ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ НАУЧНАЯ СТАНЦИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК В Г. БИШКЕКЕ (НС РАН) МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР -ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ ПОЛИГОН (МНИЦ - ГП)



СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

ХVІ МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СТУДЕНТОВ

МАТЕРИАЛЫ ДОКЛАДОВ

24 - 26 апреля 2024 г. г. Бишкек



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ НАУЧНАЯ СТАНЦИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК В Г. БИШКЕКЕ

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР -ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ ПОЛИГОН В Г. БИШКЕКЕ

ХVІ МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СТУДЕНТОВ

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Сборник материалов XVI Международной конференции молодых ученых и студентов

> 24-26 апреля 2024 года г. Бишкек

УДК 001 ББК 30.6 С56

Ответственный редактор: Забинякова О.Б.

Редакционная коллегия: Баталева Е.А., Валуйский А.Ю., Воронцова Е.В., Кенигсберг Д.В., Кирилов А.А., Кожогулова Г.К., Коломейцев Д.В., Кульков Д.С., Лазарева Е.А., Лисимов М.О., Матюков В.Е., Морозова Л.Е., Непеина К.С., Паров С.В., Прохоров О.А., Саламатина Ю.М., Юнусов А.И.

Рецензенты: Рыбин А.К., Скляр С.Н.

Дизайн обложки: Борисова О.Г.

С56 Современные техника и технологии в научных исследованиях: Сборник материалов XVI Международной конференции молодых ученых и студентов. – Бишкек: НС РАН, 2024. – 489 с.

ISBN 978-9967-12-986-3

В данный сборник включены материалы XVI Международной конференции молодых ученых и студентов «Современные техника и технологии в научных исследованиях», проведенной Научной станцией РАН и Международным научно-исследовательским центром – геодинамическим полигоном в г. Бишкеке. Мероприятие было приурочено к празднованию 300-летия Российской академии наук.

В сборнике представлены работы молодых ученых и студентов из России, Киргизии, Узбекистана, Казахстана и Таджикистана, охватывающие исследования в области мониторинга геосреды, физики и механики горных пород, оценки сейсмического и геологического риска, математического моделирования различных процессов и других научных направлений.

Сборник может быть полезен студентам, аспирантам и специалистам, занимающимся исследованиями в области наук о Земле, механики и математики.

Утверждено к печати Ученым советом ФГБУН НС РАН в г. Бишкеке

УДК 001 ББК 30.6

ISBN 978-9967-12-986-3

©ФГБУН Научная станция РАН в г. Бишкеке © Коллектив авторов, 2024

КОМПЛЕКСНЫЕ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕЙСМОАКТИВНЫХ РЕГИОНОВ

DETAILED GEOLOGICAL RESEARCH WHICH CARRIED OUT USING CDP-2D METHOD IN THE SOUTH-EAST PART OF THE BHUKHARA TECTONIC STEP

Jurayev F.O.¹, Ismadullayev B.I.² *ismadullayev@mail.ru* ¹ Karshi engeenering-economic institute, Karshi, Uzbekistan ² Institute of geology and exploration of the oil and gas mines, Tashkent, Uzbekistan

In the article, the geological structure of terrigenous and pre-Jurassic deposits of the Jurassic period in the south-east part of the Bukhara tectonic step is studied. The structure of Abadkishlak (T2, apt (K1, a) above the XII-horizon and T3, (J3, tt) upper anhydrite upper titanic layer) was prepared for deep exploratory drilling works. Previously identified Eastern Ambartepa, Nartepa, Mujiza, Sahaba and similar structures were confirmed and structures such as Shirintepa, Northern Kyzilrabot were identified. North Karabair, East Dzhiidalik and other new fields were defined. Deposits such as Yulduzkak, North Mubarak, South Mubarak, Karim, Chuvama have been studied in certain order the terrigenous layers of the Jurassic period.

Key words: seismic exploration, CDP, vibrational seismic method, Jurassic, Cretaceous, anticlinal, horizon, mine, oil, structure, tectonics, time section, structural map.

Many prominent scientists and researchers specializing in the geological study of the oil and gas regions of Bukhara-Khiva, including N.V. Mushketov, V.A. Obruchev, A.D. Arkhangelsky, T.L. Bobojonov, A.A. Abidov, and others, have conducted extensive research in this area. Preliminary information on the stratigraphy and tectonics of the region was provided. To date, the entire area of the Bukhara-Khiva Oil and Gas Region (BKHOGR) has been mapped through geological surveys at a scale of 1:50,000, with additional surveys in several prospective areas conducted at scales of 1:200,000 and 1:100,000.

Since 1950, structural and deep drilling works, combined with geophysical research methods, have been employed to study the geological structure of the region.

Since 1955, geophysical research has primarily focused on identifying promising structures for oil and gas. This period is marked by the rapid expansion of research and exploration well drilling. Deep well drilling in the region began in 1959, led by the Karshi Oil and Gas Exploration Trust. In 1961, for the first time, V.D. Ilin and V.V. Kutuzova identified the presence of reef limestones in the Jurassic deposits in the southwest and northeast parts of the Beshkent Trough, based on core sample analysis.

In 1968, V.V. Ilin and A.G. Ibragimova concluded that the productive horizons of this field are associated with reef layers, based on a comprehensive analysis of core samples from deep drilling and partially from the exploration data of the Ortabulok field. From the perspective of reef formation theory, the origins of Jurassic carbonate rocks were determined by M.Kh. Arifjonov. Between 1968 and 1980, P.U. Akhmedov and A.G. Ibragimov contributed further studies, followed by N.Kh. Alimuhammedov in 1973, V.V. Korsun from 1971 to 1975, and P.U. Akhmedov and Z. Ubaykhojaeva in 1999. Comprehensive information about Upper Jurassic carbonate rocks in the southwestern regions of Uzbekistan can be found in the works of V.D. Ilin, N.B. Beznosova, and A.G. Ibragimov.

In 1971, V.V. Korsun and N.Kh. Alimuhammedov conducted a detailed correlation of different facies sections of the Upper Jurassic carbonate formation in the area of the Muborak Uplift and the northern parts of the Beshkent Trough. As a result, they identified the presence of barrier reef systems from two distinct ages.

In the southwestern part of the Bukhara tectonic step, the efficiency of reserve development and geological exploration had been low for a long time. This was largely due to the fact that, compared to other regions-particularly the Chorjou step-the ratio of exploration drilling was insufficient and unevenly distributed. Structural drilling led to the creation of structural maps of the main seismic reflectors across the entire Bukhara tectonic step. One of the key conclusions from these studies is that oil and gas accumulation zones are associated with large negative depressions, with hydrocarbon deposits potentially located within these depressions, as well as on their slopes and uplifts.

These works emphasize the importance of developing oil and gas reserves by exploring nonanticlinal traps in Cretaceous deposits, Jurassic carbonate, terrigenous deposits, and potentially even pre-Jurassic formations. In the Bukhara tectonic step, studying non-anticlinal traps in these structural layers is possible only through the combined use of geophysical methods, especially seismic exploration. Currently, the development of oil and gas reserves in Uzbekistan is primarily reliant on the high-porosity limestones of the Callovian and Oxford-Kimmeridgian layers. Studying Jurassic terrigenous deposits is crucial for the creation of future oil and gas reserves.

Research on the structural characteristics of Lower-Middle Jurassic and pre-Jurassic deposits in the Beshkent Trough has been carried out by A.G. Babaev, N.V. Bakun, V.V. Korsun, and other researchers. Several prospective oil and gas fields have been discovered in the research area, including Karabair, Kyzilrabot, North Mubarak, South Mubarak, Yulduzkak, Shumak, Khodzhakhairam, Chuvama, Shortepa, and Istiqlal-25.

Performance results for the Karabair-Chuvama-Shumak area (PR 21192118a): CDP time sections.



Figure 1 – Initial time section



Figure 2 – Final time section



Figure 3 – According to the final time section which FK1 – FKFIL



Figure 4 – According to the final time section which FK2 – DECV + FKFIL



Figure 4 – According to MIGRV FK2

Assessment of Material Quality. During the field seismic investigations, primary focus was placed on acquiring reflection waves recorded within the time interval of 0.60-1.60 seconds, corresponding to reflections from the Upper Jurassic (T3) and Terrigenous Jurassic (T7) reflecting horizons.

Based on these criteria, the quality of the primary data was evaluated. The evaluation was conducted by leading experts from "Uzbekgeofizika" Joint Stock Company and the "Yakkabog Geophysics Expedition" branch.

Overall, field materials of varying quality were obtained in the study area. This variability was influenced by differing surface and deep seismogeological conditions, as well as by different methodological approaches used for profiling in the field.

From the perspective of seismogram information content, high-quality reflection data within the 0.6-1.60 second time interval were recorded on profiles where the field material quality was good. It is important to note that the quality of the raw data for many of the reporting profiles was suboptimal. Attempts to improve the material through static and kinematic corrections did not yield positive results, making interpretation of these profiles more challenging. In general, through various methods of data processing and filtering in the field, as well as through static and kinematic corrections, it was possible to obtain sections of satisfactory quality. However, with stable recording equipment performance and strict adherence to fieldwork technology, the quality of the material would undoubtedly be significantly higher.

Wave Correlation. The correlation of waves was performed on time sections obtained through machine processing from the +200 m transmission line. The starting point for the analysis was 0.0-0.2 seconds, with a time interval extending from 0.2 to 2.4 seconds. The correlation sum was based on CDP-2D time sections with full stacking, and additional processing techniques were employed, including velocity distortion, D-transforms, migration, and others.

Depending on the geological structure of the research region, wave correlation in the time sections was carried out using both dynamic and kinematic indicators for their identification. In the Bukhara tectonic stage, due to the significant attenuation of the strength of the salt-anhydrite layer of the Tithonian, the waves reflected from the T3 and T7 horizons often appear in close interference, making it nearly impossible to differentiate individual phases bound to specific stratigraphic horizons. Correlation in the time sections was carried out based on reflections associated with the Upper Anhydrite XV horizon (T3) and those tied to the Terrigenous Jurassic horizon (T7).

Given the consistent stratigraphic layering of Cretaceous and Upper Jurassic horizons and the slight horizontal gradient of changes in average velocities, the accuracy of the correlation at discontinuities was monitored by maintaining a constant value for $\Delta t6-2$. The final stage of wave correlation involved the creation of isochron maps, with cross-sections along the T3 and T7 horizons in the 0.02-second time domain.

Reflection Stratigraphy of Regressive Horizons. The stratigraphic correlation of reflective horizons was established by determining the values of "t0" based on Vertical Seismic Profiling (VSP) data obtained from deep wells and transferred to the research areas along the CDP profiles. Stratigraphic correlation within the study area was performed based on data from deep wells in the Chuvama gas field (wells 1, 2, 3) and Shumak (wells 1, 2). The transfer of stratigraphic data across the Polyogen was significantly complicated by the variability of the wave patterns and the presence of numerous tectonic faults.

During the correlation process, corrections were made for filtering (0.008 s), phase shifts (0.03 s), first arrivals (0.01 s), and transmission lines, determined for each specific case using RWM-BWM hodographs.

The general correction was determined by the formula:

$$T = \Delta t_{pr} - \Delta t_{\phi} - \Delta t_{intro.} - \Delta t_{phase}$$
(1)

According to VSP data, the following reflective horizons are distinguished in the research areas:

- T₁- is the top of Paleogene limestones of Bukhara;
- T_2^{III} Turonian layer sandstones (VIII horizon);
- T₂^{II} Cenomanian sandstones (IX horizon);
- T_2^{I} Albian sandstones (IX horizon);
- T₂- is a Neocomian layer, the reference horizon representing the sandstones of the XIII horizon;
- T₃ upper titonite of upper titonite anhydrites;
- T₆ upper of Kellovian-Kimmeridgian limestone;
- T₇ above terrigenous Jurassic limestone.

In the process of stratification, it became clear that the extended axes of the synphase of the reflected waves limited the horizons in the area of the report works:

- T₂ above the XIII horizon;
- T₃ titanite surface of upper anhydrites;
- T₆ Kellovian-Kimmeridgian limestone;
- T^I₇ above the XVIII horizon.

Orientation of Reflected Waves to Known Geological Boundaries. The orientation of reflected waves to known geological boundaries was conducted using the H=f(t0) curve for the wells mentioned earlier. Appropriate corrections were then made for the shortening directions, and the time values from the older CDP profiles were transferred to the CDP profiles from the current study.

The stratigraphic correlation of the T3 and T7 reflecting horizons posed no particular difficulties due to their strong dynamic expression, which is well-researched and clearly defined across all areas.

Wave Field Properties. Simultaneously with the correlation of time sections, wave patterns were analyzed for all the profiles studied. Special attention was given to the characteristics of the observed horizons, the simplicity and precision of the recordings, changes in the time differences of the main reference waves, and regions exhibiting abnormal complexity in wave recordings.

Alongside clear and reliable observations, there were areas with complex recordings, intermittent wave synphase axes, and variations in intensity proportional to background interference waves. These variations in wave patterns were attributed to changes in the geological and geophysical properties of the environment.

The reflected waves recorded from the boundaries of the Cretaceous rock complex exhibit a regular, conformal pattern. Among them, the wave associated with Horizon XIII of the Neocomian-Aptian (T2) is the most intense. In the time sections, it appears as a distinct, smooth, two-phase oscillation with no significant complications, and the reflection coefficient from VSP data ranges between 0.18-0.23.

The wave associated with the top of the Tithonian horizon (T3) has the strongest dynamic expression, with a reflection coefficient (Krefl) between 0.08-0.23. This wave is reliably observed, and the difference in recording times between the T2 and T3 waves is influenced by slight variations in the strength of Lower Cretaceous sediments. In some areas (Chuvama, Yangi Marjon, Yangikizilrabot, etc.), Horizon T3 is observed at relatively greater depths. The T7 wave is distinguished from the XVIII horizon, being less intense but still dynamically expressed as a two-phase oscillation.

Summary:

- Continue seismic exploration and detailed surveys in the southeastern part of the Bukhara tectonic step, including areas such as Djarqum, East Ambartepa, East Djiydalik, North Kyzilrabot, and similar regions;
- To study deeper layers and enhance the quality of seismic exploration, employ the CDP-2D method with increased efficiency, utilizing modern techniques and technologies;
- To gain a deeper understanding of the geological structure of newly identified objects in Jurassic terrigenous and pre-Jurassic deposits within the researched areas, conduct detailed seismic surveys and prepare the most promising sites for deep exploration drilling.

References

- 1. Шоймуратов Т.Х., Худойбердиев Х.Ф., Буриева С.Р, Гафуров Ш.О, Жураев Ф.О. Гидрогеологические особенности пластовых вод юрского водонапорного комплекса структуры Иймон Бешкентского прогиба и перспективы его нефтегазоносности // Геология и минеральные ресурсы. 2019. № 2. С. 53-55.
- 2. Жураев Ф.О. Гидрогеохимический контроль за обводнением газоконденсатного месторождения Шуртан // Инновацион технологиялар. Карши. 2019. № 3 (35). С. 18-22.
- 3. Жураев Ф.О. Гидрогеохимические параметры как основа поисков залежей углеводородов (на примере Бешкентского прогиба) // Инновацион технологиялар. Карши. 2020. № 1 (37). С. 3-7.

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ГЛАВНОГО ДЖУНГАРСКОГО РАЗЛОМА (РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН)

Абдрахматов К.Е.¹, Ельдеева М.С.² kanab53@yandex.ru, m.eldeeva@seismology.kz ¹ Институт сейсмологии НАН КР, г. Бишкек, Кыргызстан ² Национальный научный центр сейсмологических наблюдений и исследований МЧС РК, г. Алматы, Казахстан

Приведено описание зоны Главного Джунгарского разлома, протяженностью свыше 300 км, простирающегося в северо-западном направлении. Происходит изменение простирания разлома примерно на ~25° около озера Алаколь Это изменение совпадает в плане с максимальным воздыманием хребта Джунгарский Алатау. Этот район также разделяет участки с различным структурным рисунком. Южнее этого места зона разлома довольно однообразна, представлена одной, реже двумя ветвями, между которыми появляются структуры растяжения в виде грабенов и рвов. Северо-западнее указанного района зона разлома усложняется, появляется значительное количество разломов, отклоняющихся в северо-западном направлении и приобретающих характер самостоятельных структур. Скорость правосдвиговых смещений в позднечетвертичное время в зоне Джунгарского разлома составляет около 2.2 мм/год.

Ключевые слова: разлом, смещение, простирание, отложения.

Введение. Одной из примечательных особенностей Южного Казахстана (Тянь-Шань и Джунгарский Алатау), является наличие серии новейших разломов, которые начинаются от орогенической области и протягиваются в северо-западном направлении, вспарывая тело Казахской платформы (Восточно- и Западно- Джунгарские, Джалаир-Найманский, Каратауский разломы). Однако, несмотря на достаточно хорошую выраженность указанных разломов в рельефе, имеется весьма мало доказательств того, что эти разломы были активны в течение позднего плейстоцена-голоцена и ещё меньше свидетельств того, что в пределах этих разломов происходили сильные сейсмические события. Именно поэтому оценка сейсмической опасности этих разрывных структур часто занижена, а некоторые из таких разломов вообще не учтены при подобных исследованиях.

Необходимость проведения исследований по выявлению и картированию активных разломов является весьма актуальной в связи с планами освоения новых территорий, прежде всего, в оценке, связанной с ними сейсмической опасностью, с целью обеспечения нормального бесперебойного функционирования инфраструктурных объектов и, прежде всего, безопасности людей.

В настоящей статье особое внимание уделено зоне Джунгарского разлома, протяжённостью свыше 300 км, простирающегося в северо-западном направлении. Работами предыдущих исследователей [1-6] установлено, что данный разлом представляет собой правый сдвиг, но детального описания особенностей отдельных частей этого крупнейшего дизьюнктива не было дано.

Результаты и обсуждение. Главный Джунгарский разлом на большей части территории прослеживается чёткой линией и на значительном протяжении проходит непосредственно у основания склона Джунгарского Алатау (рисунок 1).



Рисунок 1 – Строение зоны Джунгарского разлома (Изображение Google Earth). Видно, что напротив озера Алаколь происходит изменение простирания разлома примерно на ~25°

Это изменение совпадает в плане с максимальным воздыманием хребта Джунгарский Алатау, а также с широким развитием аллювиально-пролювиальных конусов выноса, образованных многочисленными речными долинами, рассекающими северо-восточный склон хребта. Отметим, что район, где происходит изменение простирания разлома, также разделяет участки с различным структурным рисунком. Южнее этого места зона разлома довольно однообразна, представлена одной, реже двумя ветвями, между которыми появляются структуры растяжения в виде грабенов и рвов. Северо-западнее указанного района зона разлома усложняется, появляется значительное количество разломов, отклоняющихся В северо-западном направлении И приобретающих характер самостоятельных структур.

Местами разлом несколько отступает от подножия гор и протягивается на поверхности предгорного четвертичного шлейфа. На других участках, наоборот, линия дизьюнктива заходит в окраинные части хребта, где особенно хорошо виден чёткий шов, рассекающий палеозойские и кайнозойские отложения, при этом плоскость сместителя залегает либо вертикально, либо круто ($70^{\circ} - 80^{\circ}$) наклонена к юго-западу. Так, например, в районе р. Тентек, Джунгарский разлом выражен чёткой седловиной, шириной в несколько метров, по которой проходит грунтовая дорога либо тропа. По обе стороны от седловины залегают резко различающиеся по составу и возрасту палеозойские отложения [2]: к северовостоку - кремнисто-алевролитовые породы верхнего девона – нижнего карбона (турне), простирающиеся примерно вдоль разлома и залегающие с вертикальными углами падения, а к юго-западу - карбонатно-терригенные отложения нижнего (визе и намюр) - среднего карбона, слои которых падают к югу и юго-западу под углами от 50° до 60° - 70° и срезаются линией разлома. В канавах, вскрывших разлом, видна неширокая (в несколько метров) зона дробления в палеозойских породах, местами – бурые, ожелезнённые, окремнённые массивные породы шириной выхода от 0.5 до 2-3 м.

В южной части разлома характерны грабены - провалы, шириной до 100 м и протяжённостью до нескольких сот метров (рисунок 2). Во всей видимости, это грабены растяжения, характерные для разломов сдвигового типа.



Рисунок 2 – Грабен, сформированный в зоне Джунгарского разлома. Стрелками показаны западный (справа) и восточный (слева) борта грабена. Вдали – холм Кароолтобе

К северо-западу от горы Актас по разлому наблюдается уступ (от нескольких до 10-20 м) на поверхности предгорного пролювиально-делювиального шлейфа. Близ устья ручья Токты, к северо-востоку от линии разлома, на 30 - 40 м над поверхностью верхнечетвертичного предгорного шлейфа возвышается холм Караултобе, хорошо видный издалека и сложенный нижне-среднечетвертичными делювиально-пролювиальными отложениями (рисунки 3, 4).



Рисунок 3 – Холм Кароолтобе, сложенный нижне-среднечетвертичными делювиальнопролювиальными отложениями. Магистральный разрыв Главного Джунгарского разлома пересекает холм прямо в его центральной части



Рисунок 4 – Структурный рисунок Джунгарского разлома в устье р. Токты (Изображение Google Earth)

К северо-западу от р. Ргайты Главный Джунгарский разлом несколько отличается по морфологии от его отрезка, расположенного в Джунгарских воротах (рисунок 5).



Рисунок 5 – Структурный рисунок разрывов в районе долины р. Ргайты (Изображение Google Earth)

Здесь линия разлома не была повсеместно обновлена в конце верхнего плейстоценаголоцене и местами, вследствие этого, не выражена чётким уступом в рельефе. Ещё далее к северо-западу Главный Джунгарский разлом обычно выражен более или менее прямолинейным в плане уступом к северо-востоку высотой от нескольких до первых десятков, реже сотен метров. К северо-востоку от него развиты отложения верхнечетвертичного делювиально-пролювиального шлейфа, а к юго-западу-более древние нижне-среднечетвертичные отложения, из-под которых местами выступают красно-бурые глины миоцена.

Местами линия разлома распадается на сближенные, кулисообразно расположенные отрезки. Северо-западнее р. Жаманты до окончания Джунгарского Алатау Главный

Джунгарский разлом проходит непосредственно у основания склона хребта. На отдельных участках он не выражен чёткой единой линией, а наблюдается ряд сближенных разрывов с небольшими уступами по ним (рисунок 6).



Рисунок 6 – Структурный рисунок Джунгарского разлома в устье р. Жаманты. Вид с севера (Изображение Google Earth)

К северо-западу от Джунгарского Алатау разлом продолжается среди рыхлых четвертичных отложений Алакольской впадины в виде уступа к северо-востоку высотой от нескольких до 100 - 150 м, вдоль которого на отдельных участках выступают красно-бурые глины миоцена (рисунок 6).

Главный Джунгарский разлом чётко наблюдается у подножия склонов гор Улькенсайкан, Баласайкан и Арганаты, отделяя их от Алакольской котловины; однако между этими островными горами на равнине разлом дешифрируется слабозаметной, иногда исчезающей линией на аэрофотоснимках. На северной оконечности гор Арганаты чётко видно, что новейшая линия разлома, выраженная в рельефе, возникла над крупным палеозойским швом.

В Прибалхашье к востоку от горы Тюлькулам прямолинейная линия главного Джунгарского разлома резко отделяет палеозойские образования мелкосопочных гор от рыхлых четвертичных отложений Алакольской котловины.

Заключение. Как указывалось выше, Джунгарский разлом является правым сдвигом. На это указывают структурные рисунки в различных его частях. Кроме того, на наличие сдвиговой составляющей указывают грабены растяжения, валы выпирания и многие другие признаки. Величина правостороннего смещения уступов временных потоков, стекающих со склонов Джунгарского хребта составляет около $\sim 54 \pm 4$ м (рисунок 7). Оценка скорости правосдвиговых смещений в позднечетвертичное время в зоне Джунгарского разлома [6] показывает, что она составляет около 2.2 мм/год.



Рисунок 7 – Джунгарский разлом [6]. (А) Цифровая модель смещения русел временных потоков в районе оз. Алаколь. Правостороннее смещение уступов временного потока Y к юго-западу и северо-востоку на \sim 54 ± 4 м (маркеры, использованные для этого восстановления, показаны в виде чёрных кругов, оконтуренных белым). Правостороннее смещение тальвегов русла временного потока X к юго-востоку и северо-востоку на \sim 53 ± 7 м (маркеры, использованные для этого восстановления, показаны в виде чёрных кругов, оконтуренных белыми); на рисунке (б) и (с) показаны топографические профили через русло временного потока X и уступа между поверхностями F1-T1, соответственно; Участки профилей, обозначенных жёлтым цветом, ограничивают минимальные и максимальные отклонения от «среднего значения» и используются для оценки величины ошибок; (D) вид на юго-восток по простиранию разлома, показывающий правосторонне смещённые русла временных потоков X (на первом плане) и Y (на дальнем фоне)

Литература

- 1. Курдюков К.В. Современные разломы вдоль подножия Джунгарского Алатау // Природа. 1953. № 12. С. 100-102.
- 2. Войтович В.С. Природа Джунгарского глубинного разлома. Труды АН СССР. М. 1969. С. 220-249.
- 3. Никонов А.А. Голоценовые и современные движения земной коры М.: Наука. 1977. 240 с.
- 4. Трифонов В.Г. Позднечетвертичный тектогенез. М.: Наука. 1983. 224 с.
- 5. Курскеев А.К., Тимуш А.В. Альпийский тектогенез и сейсмогенные структуры. Алма-Ата: Наука.1987. 179 с.
- 6. Тимуш А.В. Сейсмотектоника литосферы Казахстана. Алматы. 2011. 590 с.
- Campbell G.E., Walker R.T., Abdrakhmatov K., Schwenninger J.L., Jackson J., Elliott J.R., Copley A. The Dzhungarian fault: Late Quaternary tectonics and slip rate of amajor rightlateral strike-slip fault in the northern Tien Shan region // J. Geophys. Res. Solid Earth, 2013, 118, 5681–5698, doi:10.1002/jgrb.50367.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕТЕОФАКТОРОВ НА МНОГОЛЕТНИЙ ХОД УРОВНЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В СВЯЗИ С СЕЙСМИЧНОСТЬЮ В ЮГО-ВОСТОЧНОМ КАЗАХСТАНЕ

Абдуллаев А.У., Есенжигитова Е.Ж., Турабаева Ж.Т., Уркембаева А.Е. u.abdullaev@mail.ru, liza_1103@mail.ru, z.turabaeva@mail.ru, u_a_e91@mail.ru Национальный научный центр сейсмологических наблюдений и исследований МЧС РК, г. Алматы, Казахстан

В работе рассмотрены результаты изучения влияния метеофакторов на многолетний ход подземных вод по данным Отдела дежурной службы, мониторинга и оповещения ГУ «Казселезащита» МЧС РК. Приведены примеры многолетнего хода изменения уровня подземных вод (УПВ) и дебита самоизливающих скважин Q_{скв} и температуры воды (T_{воды}) в корреляции с ходом во времени атмосферных осадков (O_{осадки}), атмосферного давления Р_{атмь} и температуры воздуха (T_{воз}). Отмечается, что они развиваются волнообразно с определенной периодичностью. Показана взаимообусловленность между ходом во время сейсмического режима и гидрогеометеофакторов.

Ключевые слова: сейсмология, подземные воды, землетрясение, осадки, Алматинский порогностический полигон.

Подземные воды являются своеобразным индикатором, отражающим особенности неотектонической активизации отдельных регионов. Поэтому процессы подготовки землетрясений находят своё отражение в гидрогеологическом режиме подземных вод [1]. В мировой практике гидрогеологические методы признаны одними из наиболее эффективных при разработке методов краткосрочного прогноза сильных землетрясений. Изучению режима подземных вод в сейсмоопасных регионах уделяется значительное внимание во многих странах – Россия, Китай, Япония, США, Италия, Узбекистан, Киргизия и другие. Наиболее информативным и влияющим фактором на формирование хода подземных вод являются атмосферные осадки [1-4].

На рисунке 1 приведены временные ряды аномалий годовых сумм осадков, рассчитанных в % от нормы за базовый период 1961-1990 гг. и осредненных в целом по территории Казахстана. Временные ряды аномалий годовых сумм осадков, пространственно осреднённых по территории Казахстана, дают общее представление о характере современных изменений регионального режима атмосферных осадков. Годовое количество осадков в среднем по территории Казахстана убывало в 1960-х и 1970-х годах (рис.1).

Для проведения исследований использовались данные с 5 станций отдела дежурной службы, мониторинга и оповещения ГУ «Казселезащита», наиболее близкорасположенных к станциям наблюдения Алматинского прогностического полигона (АПП) ННЦСНИ.

В последний 40-летний период долгопериодные тенденции отсутствовали, наблюдалось чередование коротких периодов с положительными и отрицательными аномалиями количества атмосферных осадков. В 2021 году средняя по территории Казахстана годовая сумма атмосферных осадков составила 272 мм, что составило 85,5 % от нормы.

Алматинский прогностический полигон (рис.2) имеет стационарную сеть гидрогеологических пунктов наблюдений, состоящую из 12 станций. Наблюдения проводятся в непрерывном режиме более 40 лет. Предметом исследований выбраны азотные термы, распространённые в областях сейсмической активности, имеющие специфический газовый и химический состав. В основном пункты наблюдений базируются на самоизливающихся скважинах в зонах тектонических нарушений в массивах кристаллических горных пород.

Согласно представлениям, учёных Казахстана и России, тектонические нарушения играют как роль глубинных каналов, проводящих возмущения из очаговой области в окружающее пространство, так и роль экранов, препятствующих распространению этих возмущений в поперечном направлении [1].

2	р.Кіші Алматы - г/п Медео на высоте 2000 м		р. Кіші -г/п Мыңжылқы на высоте 3017 м		р. Улкен Алматы -г/п водоприемник на высоте 1200 м		р.Акжар- Аксай высоте 1450 м	
3	дата	осадки,мм	дата	осадки,мм	дата	осадки,мм	дата	осадки,мм
4	01.01.23	3.5	01.01.23	2.4	01.01.23	5	01.01.23	7
5	02.01.23		02.01.23		02.01.23		02.01.23	
6	03.01.23		03.01.23		03.01.23		03.01.23	
7	04.01.23	11.8	04.01.23	22	04.01.23	8.1	04.01.23	10.4
8	05.01.23		05.01.23	0.6	05.01.23		05.01.23	
9	06.01.23		06.01.23		06.01.23		06.01.23	
10	07.01.23		07.01.23		07.01.23		07.01.23	
11	08.01.23		08.01.23		08.01.23		08.01.23	
12	09.01.23	2.2	09.01.23	1.8	09.01.23	2.5	09.01.23	0.8
13	10.01.23	2.5	10.01.23	2.3	10.01.23	3.1	10.01.23	7.3
14	11.01.23	4.8	11.01.23	3.2	11.01.23	9.4	11.01.23	4
15	12.01.23	0.7	12.01.23	1	12.01.23	1	12.01.23	

Таблица 1 – Данные атмосферных осадков по разным пунктам наблюдения



Рисунок 1 – Временной ряд и 11-летние скользящие средние (за период 1941-2021 годы), линейный тренд (за период 1976 2021 годы) аномалий годовых сумм осадков (в % от нормы) [5]



Рисунок 2 – Алматинский прогностический полигон (АПП)

Мировой опыт исследований информативности гидрогеодинамических параметров подземных вод показывает, что аномальные вариации временного хода уровня подземных вод (УПВ), дебита самоизливающихся скважин (Q_{cKB}), а также температуры воды ($T_{воды}$) являются наиболее эффективными показателями геодинамического состояния в сейсмоактивных районах. В этой связи представляет большой интерес совместный анализ долговременного хода УПВ, дебита самоизливающихся скважин (Q_{cKB}) с ходом во времени и количеством метеорных осадков ($O_{ocaдku}$), температуры воды ($T^0_{воды}$), а также атмосферного давления ($P_{aтм}$) и температуры воздуха ($T_{возд}$) [5-6].

На нижеприведенных графиках показаны, что те отрезки (участки) нарушений временного хода рядов О_{осд.}, Q_{скв.}, Т_{воз}, а также Р_{атм}, как правило, отмечаются активизацией сейсмических процессов с реализацией нескольких сильных землетрясений. Такие участки хорошо видны на графиках, на примере временного хода исследуемых параметров на следующих станциях Алма–Арасан, Горельник, Известковый, Тау–Тургень, Казачка, Каскелен и Медео.



Рисунок 3 – Алма – Арасан 1998 – 2001 гг.



Рисунок 4 – Горельник 2002–2005гг.



Рисунок 5 – Известковый 2006 – 2009гг.



Рисунок 6 – Тау – Тургень 2010 – 2012гг.





В Юго-Восточном Казахстане были исследованы временные ряды указанных параметров, за определенные периоды, начиная 1998 по 2012 годы (рис.10).



Рисунок 10 - Цикличный ход сейсмического режима на АПП

При этом были вычислены среднегодовые, среднесуточные и среднемесячные значения выпавших осадков вблизи наблюдаемых водопунктов и отслеживалось их влияние на формирование УПВ или Q_{ckB} самоизливающих скважин. Во временном ходе этих параметров четко выделяются 11 – летние циклы, на фоне которых формируются более мелкие волны 2-3 и 5-6 летние циклы. Установлена прямая связь между количеством осадков и формированием УПВ (Q_{ckB}). Через 60-90 дней после выпадения осадков в результате вертикальной фильтрации подземных вод в скважинах появляется водное пополнение. Хорошая корреляция между временным ходом выпавших осадков и формированием (r=0,60-0,78), а еще более устойчивая и высокая корреляция достигается через 3 месяца (r=0,60-0,78). Однако этот фактор для каждого водопункта индивидуален. Таким образом, сезонный ход УПВ (Q_{ckB}) в скважинах, главным образом, обусловливается осадками и температурой воздуха, а также существованием 2-3,5-6 и 11-летнего циклического хода [7].

На примере временного хода дебит скважины (Q_{ckB}) на станции Горельник четко фиксирует объединение различных циклов в 11 и далее 33 летние волны. Непрерывное слежение за процессом формирования естественного долголетнего режима подземных вод показывает, что в отдельные годы в конце или начале гидрогеологических циклов отмечаются некоторые временные отрезки, которые характеризуются несоответствием хода осадков к сезонному ходу УПВ или Q_{ckB} [2,8,9].

При этом разрушаются положительные корреляции этих двух рядов. Образуется достаточно большой объем избытка воды в массивах горных пород, не отражающихся в подъеме или снижении УПВ. Такие факты были отмечены в 1999–2001, 2006–2007, 2010–2012 годах, когда имело место высокое значение УПВ (Q_{cKB} .) при недостаточном количестве выпавших осадков (1997 г.) или при обильных осадках имело место очень низкое значение Q_{cKB} (2006-2007 гг.). Такие факты отклонения в плане хода сейсмичности показывают, что именно эти интервалы характеризуются более высокой сейсмической активностью на Алматинском прогностическом полигоне с реализацией нескольких сильных землетрясений. Можно отметить, что в годы обильных осадков некомпенсируемые объемы воды на АПП создают дополнительные напряжения для развития сейсмических процессов и реализации землетрясений. В годы резкого изменения P_{atm} и УПВ(Q_{cKB} .) отмечается резкая сейсмическая активизации, например, в 1999 г., 2000 г., 2003 г., 2007 г., 2009 г., 2010–2012 гг. Как критерии активизации сейсмичности можно рассматривать резкое нарушение обычных противофазных соотношений временного хода между УПВ (Q_{cKB} , P_{atm} и $T_{воз}$.

Сейсмический режим на полигоне за эти годы характеризуется волнообразной периодичностью активизации и затишья во времени. В каждой волне, охватывающей от 3–4 до 5–6 лет в середине цикле происходили 1–3 сильных события с энергией К ≥12,6–14,6 на фоне цепочки землетрясений с К=9,6–10,6, которые происходили в этом цикле в среднем до 10–12 толчков в год. В этой связи можно утверждать, что флюидный и сейсмический режим имеет тесную взаимообусловленность во времени.

Заключение. Отчетливо устанавливается прямая положительная связь между количеством выпавших осадков, формированием долговременного хода и сезонной волны УПВ и Q_{ckB} . Сдвиг между этими параметрами составляет от 45 – 60 до 70 - 90 дней, где достигается максимальная корреляция (r_{max}). В ходе УПВ и Q_{ckB} четко отмечается 11-летний цикл на фоне которых возникает 2–3 и 5–6-летние периодичности (на примере ст. Горельник и др.). Установлены 33-летние циклы. Устанавливается противофазная взаимосвязь между УПВ или Q_{cnB} с P_{atm} . Отмечается положительная связь этих параметров с ходом во время $T_{воз}$. Любые отклонения от этих связей характеризуются геодинамической активизацией полигона. Разрушение положительных связей между осадками, УПВ и Q_{ckB} приводит к формированию избыточного объема осадков в массивах горных пород или существенного недостатка в них. Все это четко отражается в сейсмическом регионе активизаций с возникновением средних и сильных землетрясений. на этом фоне краткосрочные и гидродинамические предвестники

землетрясений возникают в виде бухтообразных или скачкообразных изменений в ходе во времени УПВ и дебита скважин на фоне его естественного хода.

Литература

- 1. Абдуллаев А.У. Флюидный режим земной коры как отражение современных геодинамических процессов (на примере Тян-Шаня). Алматы: Эверо. 2002. 352 с.
- 2. Абдуллаев А.У. Циклические процессы в гидросфере и их влияние на геодинамику. Современная геодинамика и сейсмический риск Центральной Азии. Алматы. 2014. С. 152-159.
- 3. Методические указания по организации и проведению гидрогеологических наблюдений на специализированной региональной сети в целях прогноза сильных землетрясений // М.: ВСЕГИНГЕО. 1985. 41 с.
- 4. Копылова Г.Н. Изменения уровни воды в скважинах под влиянием землетрясений // Вестник КРАУНЦ. Серия Науки о Земле. 2005. № 5. С. 113-126.
- 5. Ковалевский В.С. Условия формирования и прогноза естественного режима подземных вод. М.: Недра. 1973. 152 с.
- 6. Национальный доклад о состоянии окружающей среды и об использовании природных ресурсов Республики Казахстан за 2021 год. Электронная версия Национального доклада опубликована на сайте МЭГПР РК http://ecogeo.gov.kz/ru и Едином экологическом Интернет-ресурсе http://ecogosfond.kz.
- 7. Abdullaev A.U., Yessenzhigitova Y.Zh., Turabaeva Zh. Medium-term forecasting of strong earthquakes by anomalous variations of the groundwater regime // Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук. 2001. № 6. С. 23-29.
- 8. Турабаева Ж.Т. Абдуллаев А.У., Многолетние вариации временного хода гидрогеометеорологических сейсмологических параметров И Алматинском В сейсмоактивном районе // The Eighth International Symposium on Tianshan Earthquakes. Collection of paper abstracts. Urumqi. China. 2013. P. 7-8.
- 9. Абдуллаев А.У., Есенжигитова Е.Ж., Жунисбеков Т.С., Мухамадиев А.О., Борисов В.Н., Турабаева Ж.Т. Сейсмогидрогеохимический мониторинг флюидных параметров на Алматинском прогностическом полигоне (АПП) в системе прогнозирования землетрясений в Казахстане // Сейсмология и инженерная сейсмология. VII Междунар. конф., посвященная 100-летию Г. Алиева. Баку. 2023. С. 319-329.

АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ И БУРОВОЙ ИЗУЧЕННОСТИ МУБАРЕКСКОГО ПОДНЯТИЯ

Абдуллаев Д.Р.

dostonjon.abdullayev9375858@mail.ru

Институт геологии и разведки нефтяных и газовых месторождений, г. Ташкент, Узбекистан

Авторы статьи подробно исследовали текущее состояние Мубарекского поднятия, проведя анализ научных работ и материалов геофизических методов, таких как сейсморазведка, гравиразведка, магниторазведка и электроразведка. Авторы детально рассмотрели состояние буровой изученности каждого тектонического элемента, вычислили плотность бурения на единицу площади и оценили степень исследованности территории. В статье также содержатся рекомендации по продолжению исследований, особенно в малоизученных областях, с использованием геофизических методов и поисково-разведочного бурения.

Ключевые слова: Мубарекское поднятие, горизонт, сейсморазведка, ловушки, бурение, скважина, изученность, тектоника, нефтегазоносность.

Введение. В тектоническом отношении Мубарекское поднятие расположено в пределах Юго-Восточной части Бухарской тектонической ступени, между Каганским поднятием и Азляртепинской зоной дислокаций, к востоку от станции Мубарек [1].

Мубарекское поднятие на западе отделено от Каганского поднятия Ямбашинским прогибом, а на севере отделено от Азляртепинской зоны дислокаций Кук-Далинским прогибом.

По схеме тектонического районирования (Мамиров Ж.Р. и др.) Мубарекское поднятие с юго-востока ограничивается Кук-Далинским прогибом, а с запада – Ямбашинским прогибом (рис. 1).

Мубарекское поднятие включает в себя три вала. Северо-Мубарекский вал имеет размеры 80х7 км, Майдаджойский вал имеет меньшие размеры – 60х7 км, Южно-Мубарекский вал построен сложнее и имеет размеры 70х10 км, в нём прослеживаются диагональные нарушения и связанные с ними диагональные складки [2].

Геологическая изученность. Геолого-съемочные работы в пределах Мубарекского поднятия начались еще в 50-х годах XX века и носили, в основном, региональный характер [3]. С 1950 года для изучения тектоники региона начало проводиться структурное, структурнопрофильное и глубокое бурение.

Аспекты геологического и геофизического строения – стратиграфии, палеогеографии, петрографии, минералогии, геохимии, тектоники и нефтегазоносности юрской терригенной формации были изучены многими учеными, такими как: К.А. Сотириади, С.Н. Нуртаева, З.С. Ибрагимова, А.Г. Бабаева, Н.В. Бакун, В.В. Корсунь, Н.А. Крылова, А.К. Мальцевой, В.И. Троицкого, В.П. Алексеева, Р.А. Габрильян, С.К. Салямова и др. [3].

Геолого-поисковые работы приобретают целенаправленный характер с 1955 года, с целью выяснения перспектив нефтегазоносности территории. В 1958 г. в пределах Мубарекского поднятия было начато структурное бурение, с целью поисков и подготовки структур для бурения и с перерывами продолжалось до 1967 г. Район был полностью покрыт довольно густой сетью структурных скважин, позволившей с большой достоверностью установить разрез от неоген-четвертичных до сенонских отложений и их взаимоотношения между собой. Перечисленные геолого-съемочные работы проведены одновременно, либо после структурного бурения.

По данным глубокого бурения составлены структурные карты по поверхности карбонатных отложений верхней юры, масштаба 1:200000 (С.А. Пак, В.И. Соколов, 1970 г.)



для Бухарской и Чарджоуской ступеней, где на севере была выделена зона выклинивания всего осадочного комплекса.

Рисунок 1 – Обзорно-тектоническая карта Мубарекского поднятия

В 1970 г. Д. Сиражиддинов изучил геохимию флюидов (нефтей, газов, конденсатов и вод) Мубарекского поднятия Бухаро-Хивинской области и прилегающих территорий. В 1977 В.В. Корсунем и Н.Х. Алимухамедовым осуществлена детальная корреляция г. разнофациальных разрезов верхнеюрской карбонатной формации в пределах Мубарекского поднятия и на ее основе сделан вывод о наличии двух разновозрастных систем барьерных рифов. В 1979-81 гг. В.В. Корсунь в своих публикациях рассмотрел вопросы, связанные с типизацией рифогенных ловушек в объеме карбонатной формации и ее разрезов, а также сделал попытку объяснить причины возникновения барьерно-рифовых систем. В 1986 г. А.Х. Нугмановым была написана монография, которая основана на палеотектоническом анализе мезо-кайнозойских отложений. Впервые карта нефтегазогеологического составлена районирования изучаемой территории на основе генетического типа ловушек. Обосновываются рекомендации по выявлению и подготовке структур карбонатной толщи и определению продуктивности подготовленных ловушек до начала поискового бурения.

В 2000-2003 гг. Х. Саотовым уточнена структурная модель месторождения Кызылрабат по нижнемеловым (T₂) и верхнеюрским (T₃) отложениям, в результате чего значительно расширилась площадь структуры к юго-западу и на 50 м увеличилась ее высота, соответственно возрос углеводородный потенциал месторождения, также выявлен объект Чувама.

В 2000-2003 гг. поисковыми работами в пределах Мубарекского поднятия Л.Н. Баглаем и др. подтверждена Шуртепинская антиклинальная структура, получены новые сведения о тектонике изученного участка [4].

В 2018 году Б.И. Хожиев изучил материалы параметрической скважины №1П Мубарек, её геологический разрез, внутреннее строение палеозойских отложений и размещение в них пород-коллекторов и пород-покрышек. Установлено, что в районе работ хорошо распространены гранитовые отложения, которые являются бесперспективными в отношении УВ.

Геофизическая изученность. На территории Бухаро-Хивинского нефтегазоносного региона геофизические исследования проводятся с 1936 года (рис.2).

С 1936 по 1960 гг. основными видами исследований были гравиразведка и магниторазведка.

В 1951 году под руководством И.В. Мухиной Узбекской геофизической конторой впервые магнитометрическими исследованиями изучены юго-восточные районы Бухаро-Хивинского региона. На карте изодинам Шуртепинская складка своего отражения не находит.

В этом же году под руководством О.А. Соколовского и Т.В. Смолина Узбекской геофизической конторой проводилась гравиметрическая съемка в масштабе 1:200000. В результате проведенных работ выявлены аномалии силы тяжести в районе Карабаирской, Байбуракской и северо-западнее Шуртепинской структур, а также Бешашинская гравитационная аномалия.

В 1955 году под руководством Черкашиной Л.Г. и Камалетдинова Н.И. были проведены первые сейсморазведочные работы МОВ и КМПВ к юго-востоку от Каганского поднятия. В результате этих работ были выявлены Северо-Мубарекская и Южно-Мубарекская локальные складки.

В 1957 году в районах, примыкающих с севера к Южно-Мубарекскому месторождению, были продолжены сейсморазведочные работы силами партий 7/57 и 8/57 треста «Туркменгеофизика». В результате этих работ был выявлен ряд площадей, представляющих несомненный интерес в отношении их перспективности на газ и нефть.

За период с 1975 г. по 1995 г., благодаря использованию новых методов ОГТ, ВСП и др. и новых методологических подходов, в результате сейсморазведочных работ ОГТ был выявлен целый ряд объектов в верхнеюрских карбонатных отложениях и в дальнейшем на этих объектах были открыты месторождения нефти и газа.

С 1993 года в пределах Мубарекского поднятия возобновлены поисковые сейсморазведочные работы ОГТ (Т.А. Гафуров, Г.Б. Ким, Л.Н. Баглай, Н.А. Гафурова). Построены структурные карты по меловым и юрским отложениям в масштабе 1:100000, 1:50000. Результаты этих работ показали сложное глубинное строение, обусловленное широким развитием здесь разрывных нарушений преимущественно широтного и субширотного простирания, разбивающих этот район на блоки. Причем в каждом отдельном блоке сформировались антиклинальные ловушки, нефтегазоносность которых доказана ранее пробуренными скважинами – Южный Мубарек, Северный Мубарек, Ходжихайрам, Шумак, Кызылрабат, Янги Кизилрабат и др.

В 1998-2002 гг. проведены поисково-сейсморазведочные работы ОГТ УП «Яккабагская геофизическая экспедиция», Камарская с/п №10/98-2001 (Х. Соатов). По результатам сейсморазведочных работ на Мубарекском поднятии выделены и подтверждены Амбартепинская, Северо-Актепинская и другие антиклинальные структуры, получены новые сведения о тектонике изученного участка.

В 2000-2003 гг. Аккудукской сейсмопартией УП ЯГЭ (Х.Соатов) проведены поисковосейсморазведочные работы ОГТ в юго-западной части Бухарской тектонической ступени в масштабе 1:50000, где с учетом новых данных по материалам сейсморазведки ОГТ уточнена структурная модель месторождения Кызылрабат. В том же году по материалам сейсморазведки ОГТ установлен объект Чувама. В 2005 году Байбуракской с/п №16/04-07 была выявлена структура Ижобат и в 2006 году структура подготовлена под глубокое бурение сейсморазведкой МОГТ-2Д. Структура Ижобат подготовлена по отражающему горизонту Т₃, расположенному вблизи кровли титона (J₃ t) и по горизонту Т₇, приуроченному к кровле XVIII горизонта терригенных юрских отложений (J₂).

В 2008 году была выявлена структура Истиклол-25 в результате переинтерпретации сейсморазведочных материалов МОГТ-2Д и в этом году подготовлена к поисковому бурению по отражающему горизонту Т₃, приуроченному к кровле титона (J₃ tt).

По материалам Хатамской с/п №22-15/18 в 2016 году в результате переинтерпретации сейсморазведочных материалов МОГТ-2Д была выявлена структура Дультатепа и в 2017 году была подготовлена к поисковому бурению по отражающему горизонту Т₂, приуроченному к кровле XIII (K₁ n) и Т₃ приуроченному к кровле титона (J₃tt).

По материалам Хатамской с/п 22/15-18 в 2018 году в результате сейсморазведочных работ МОГТ-2Д была выявлена структура Чорбог и в 2020 году подготовлена к поисковому бурению по отражающему горизонту T_2 , приуроченному к кровле XIII горизонта, по отражающему горизонту T_3 , расположенному вблизи кровли титона (J_3 t) и по горизонту T_7 , приуроченному к кровле терригенных юрских отложений (J_2) [4].

В 2020 году в юго-западной части Мубарекского поднятия в пределах площадей Карим, Шимолий Дарбаза, Карабаг, Шимолий Карим силами ИП ООО «Epsilon Development Company» была проведена сейсморазведка МОГТ-3Д, которая охватила лишь 15% исследуемой территории.



Рисунок 2 – Схема сейсмической и буровой изученности Мубарекского поднятия

Глубокое бурение. Бурение параметрических, поисковых и разведочных скважин начато в 50-х годах прошлого века, с целью изучения перспективности района на нефть и газ. За прошедший период в результате геологоразведочных работ в районе Мубарекского

поднятия были открыты следующие месторождения нефти и газа: Кызылработ, Янги Кызылработ, Шимолий Дарбоза, Южный Мубарек, Шимолий Майманок, Шумак, Шимолий Мубарек, Ходжихайрам, Карим, Карабаир, Расылкудук, Дультатепа, Истиклол-25, Ижобат и другие.

По состоянию на 01.01.24 на Мубарекском поднятии на 45 месторождениях и площадях пробурено 179 параметрических, поисковых и разведочных скважин, в том числе 5 параметрических, 76 поисковых и 98 разведочных скважин. На параметрическое бурение приходится 3% всех пробуренных скважин, на поисковое – 42%, на разведочные – 55%.

Общая площадь Мубарекского поднятия составляет 3613 км², плотность бурения составляет 20,2 км² на 1 скважину, что соответствует территории со средней степенью изученности.

Заключение.

- на территории Мубарекского поднятия рекомендуется проведение сейсморазведочных работ МОГТ-3Д, с целью оценки перспектив нефтегазоносности меловых и юрских отложений;
- для определения нефтегазоносности мезозойских отложений рекомендуется начать поисковое бурение на площадях Шимолий Кизилрабат, Ширинтепа, Амбартепа;
- для определения нефтегазоносности терригенных юрских отложений рекомендуется начать поисковое бурение на площади Карабаир (терригенная юра);
- с целью уточнения ранее выявленных нефтегазоперспективных объектов, выявления новых объектов, а также уточнения тектоники и разрезов в целом, на Мубарекском поднятии рекомендуется выполнить повторную обработку и интерпретацию сейсмических данных прошлых лет на современных программных обеспечениях.

Литература

- 1. Абидов А.А. Нефтегазоносность литосферных плит. Ташкент: Фан. 2009. 628 с.
- 2. Мамиров Ж.Р. и др. Создание электронной карты тектонического районирования нефтегазоносных регионов Республики Узбекистан. Отчет НИР. Ташкент: ГУ «ИГИРНИГМ». 2021. 310 с.
- 3. Нефтяные и газовые месторождения Бухаро-Хивинского региона / Г.С. Абдуллаев, А.Н. Богданов, Н.К. Эйдельнант и др. Ташкент: Fan ziyosi. 2022. 594 с.
- 4. Буриев Ш.У. Обобщение и переинтерпретация результатов поисковых и поисководетальных сейсморазведочных работ в пределах юго-восточной части Бухаро-Хивинского и Гиссарского регионов. Отчет Яккабагской геофизической экспедиции № 20/13-16. 2019. 207 с.

ПЕРЕИНТЕРПРЕТАЦИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ И ОЦЕНКА НЕФТЕГАЗОПЕРСПЕКТИВНОСТИ ЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ПЛОЩАДИ ШИРИНТЕПА МУБАРЕКСКОГО ПОДНЯТИЯ

Абдуллаев Д.Р.

dostonjon.abdullayev9375858@mail.ru Институт геологии и разведки нефтяных и газовых месторождений, г. Ташкент, Узбекистан

В данной статье обоснована характеристика нефтегазоносности площади Ширинтепа на примере месторождений Ходжихайрам, Шуртепе, Шумак, Чувама и Ижобат. На основе анализа и обобщения данных по структуре Ширинтепа обоснована нефтеперспективность и даны рекомендации по дальнейшему направлению поисково-разведочных работ с целью увеличения ресурсов УВ.

Ключевые слова: Мубарекское поднятие, горизонт, сейсморазведка, ловушки, бурение, скважина, изученность, тектоника, нефтегазоносность.

В административном отношении структура Ширинтепа расположена на территории Мубарекского района Кашкадарьинской области Республики Узбекистан, а в тектоническом отношении структура расположена в центральной части Мубарекского поднятия, северовосточнее от месторождения Ижобат (рис.1) [1].



Рисунок 1 – Обзорная тектоническая карта района работ

Перспективы нефтегазоносности района, где расположена площадь Ширинтепа, связываются, в первую очередь, с верхнеюрскими карбонатными отложениями, которые по аналогии с близлежащими месторождениями могут содержать газоконденсатную залежь.

Нефтегазоносность. Промышленная газоносность юрских отложений подтверждена открытием ряда газоконденсатных и нефтегазоконденсатных месторождений: Ходжихайрам (1959 г.), Шумак (1975 г.), Чувама (2008 г.), Ижобат (2021 г.) и др.

Месторождение Ходжихайрам расположено в центральной части Мубарекского поднятия, при испытании которой в 1959 году получены промышленные притоки газа из отложений юрского возраста. Промышленная газоносность связана с XVa горизонтом верхней юры и XVIII горизонтом средней юры. Дебиты газа изменяются от 100 тыс.м³/сут (скв. №6, XVIII горизонт) до 1384 тыс.м³/сут (скв. № 1. XVa горизонт) [2].

Месторождение Шумак расположено в западной части Мубарекского поднятия. В 1975 году получены притоки газа из XVIII и XV горизонтов юрских отложений. Дебиты газа из XVIII горизонта достигали 339 тыс.м³/сут (скв. №3) через 10,5 мм штуцер. Газоводяной контакт принят на абсолютной отметке «-1739 м» [2].

Месторождение Чувама расположено в центральной части Мубарекского поднятия. В 2008 году при испытании XV-HP горизонта в скважине № 1 были получены промышленные притоки газа. Промышленная нефтегазоносность связана с XV-HP (северный купол), XV-HP+XV-P (северо-восточный купол), XV-HP+XV-P (южный купол) горизонтами верхнеюрских отложений. Дебиты газа изменяются от 10,0 тыс.м³/сут (скв № 2) до 37,0 тыс.м³/сут (скв. № 1) через 12 мм штуцер. Дебиты нефти доходят до 5-6 м³/сут (скв № 3, 4) [2].

Месторождение Ижобат расположено в западной части Мубарекского поднятия. В 2021 году из XV-XVa горизонтов получены притоки газа. Дебиты газа из XVa горизонта достигали 405,912 тыс.м³/сут (скв. №3) через 18 мм штуцер [2].

Литолого-стратиграфия. Юрские отложения с резким угловым и стратиграфическим несогласием залегают на верхнепалеозойских отложениях, которые представлены осадочными породами юрского и мелового возрастов. Отложения юрской системы по условиям образования и литологическому составу подразделяется на три толщи, соответствующие формациям. Снизу вверх по разрезу выделяются терригенная, карбонатная и соляно-ангидритовая формации.

Отложения юры с резким угловым и стратиграфическим несогласием залегают на палеозойских отложениях и представлены терригенными отложениями: переслаиванием серых песчаников, гравелитов, алевролитов и глин. XVIII горизонт- песчаники темно-серые с розоватым оттенокм, крупнозернистые и гравелиты полимиктовые, полевошпато-кварцевые.

В кровле терригенных отложений юры выделяется пачка мощностью 10-40 м, (XVII горизонт), представленная, в основном, глинистыми песчаниками с редкими прослоями известняков. На терригенных отложениях согласно залегает мощная карбонатная толща, состоящая из разнообразных видов известняков и имеющая повсеместное распространение.

XVI горизонт –представлен монотонной пачкой желтых и серых плотных, плитчатых, в основном микрозернистых афанитовых и, реже, комковато-водорослевых известняков, с прослоями ракушняков и мергелей. Отдельные прослои известняков обогащены песчаным материалом, имеются прослои песчаников на известково-глинистом цементе. Комковато-водорослевые известняки неравномерно доломитизированы.

Отложения XV-а горизонта сложены, в основном, серыми и темно-серыми пелитоморфными и комковато-сгустковыми известняками различной плотности, содержащими примесь алевритового и глинистого материала, органогенный шлам и детрит, породы местами трещиноватые. Трещины, секущие породу, выполнены разнозернистым кальцитом, в отдельных прожилках в незначительном количестве отмечаются примазки непрозрачного органического вещества (битума). Верхний отдел юрской системы в данном регионе (снизу вверх по разрезу) представлен карбонатной, соляно-ангидритовой формации, которым соответствуют нерасчлененные оксфорд-кимериджский и титонский ярусы.

Оксфорд-кимериджского ярус представлена сложен микрозернистой или комковатосгустковой структурой зеленовато- и темно-серыми известняками, плотными, в различной степени обогащенными органогенным детритом и шламом, с прослоями песчаников, алевролитов и глин, в верхней части разреза с прослоями ангидрита.

Разрез юрского комплекса завершается отложениями титона, представленными соляноангидритовой толщей. В этом районе они развиты не повсеместно, имеют не большой мощностью по сравнению с другими районами Бухарской ступени и представлены ангидритов, сложенных ангидритами плотными, серыми, кристаллическими, трещиноватыми, иногда с прослоями мергеля.

Автором переинтерпретированы сейсморазведочные материалы МОГТ-2Д (рис.2-5), с учетом данных бурения и испытания скважин, составлена структурная карта по кровле отражающего горизонта T_3 (J₃ tt), приуроченного к кровле верхних ангидритов (рис.2), и на основе выполненных работ в пределах Мубарекского поднятия выявлена структура Ширинтепа.



Рисунок 2 – Структурная карта по кровле отражающего горизонта T_3 (J_3 tt), приуроченного к кровле верхних ангидритов



Рисунок 3 – Сейсмический профиль МОГТ-2Д ПР11192118

Структура Ширинтепа представляет собой двухкупольную складку, с возможным наличием залежей УВ в отложениях юры. Размеры северного купола по отражающему горизонту T₃ (J₃ tt) по предельно глубокой замкнутой изогипсе «-1500 м» составляют 3,0 х 1,5 км, высота – 30 м, площадь – 3,0 км². Размеры южного купола по отражающему горизонту T₃

(J₃ tt) по предельно глубокой замкнутой изогипсе «-1480 м» составляют 3,5 x 2,1 км, высота – 40 м, площадь – 5,5 км².



Рисунок 4 – Сейсмический профиль МОГТ-2Д ПР21192118



Рисунок 5 – Сейсмический профиль МОГТ-2Д ПР22192118

Структура хорошо прослеживается на сейсмопрофилях МОГТ-2Д ПР11192118, ПР12192118, ПР21192118, ПР22192118 (рис. 3-5).

Для выяснения нефтегазоперспективности рекомендуется подготовить паспорт на структуру Ширинтепа, с целью бурения глубокой поисковой скважины и обнаружения в ней залежи УВ.

Рекомендуемая структура Ширинтепа расположена в непосредственной близости от месторождений Ходжихайрам, Шумак, Чувама, Ижобат и др., что позволяет сделать вывод о вероятности выявления залежей УВ в юрских карбонатных и терригенных отложениях.

Литература

- 1. Мамиров Ж.Р. и др. Создание электронной карты тектонического районирования нефтегазоносных регионов Республики Узбекистан. Отчет НИР. Ташкент: ГУ «ИГИРНИГМ». 2021. 310 с.
- 2. Нефтяные и газовые месторождения Бухаро-Хивинского региона / Г.С. Абдуллаев, А.Н. Богданов, Н.К. Эйдельнант и др. Ташкент: Fan ziyosi. 2022. 594 с.

ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВУОКСИНСКОЙ РАЗЛОМНОЙ ЗОНЫ В РАЙОНЕ ПОС. БОРОВИНКА (ЛЕНИНГРАДСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Бондарь И.В.^{1,2}, Королева А.О.^{1,2}, Шварев С.В.^{1,2} bond@ifz.ru, kao@ifz.ru ¹ Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия ³ Институт географии РАН, г. Москва, Россия

В работе представлены результаты геолого-геофизических исследований небольшого участка в районе Вуоксинской разломной зоны, точнее в одном из оперяющих разломом этой зоны. На всем протяжении оперяющий разлом перекрыт четвертичной озовой грядой. Выяснено, что в пределах Вуоксинского интрузивного массива действуют напряжения северо-восточного сжатия, причем как в породах фундамента, так и в четвертичных отложениях. В результате обработки геофизических данных установлена сильная дислоцированность рыхлых отложений и наличие нескольких зон нарушений сплошности, которые можно интерпретировать как тектонические разрывы.

Ключевые слова: озовая гряда, тектонофизика, зеркала скольжения, георадар, геофизика, разлом.

Введение. Территория исследований расположена в северной части Карельского перешейка между Ладожским озером и Финским заливом Балтийского моря на юговосточной периферии Фенноскандинавского щита.

В структурно-тектоническом отношении территория расположена на юго-восточной периферии Фенноскандинавского кристаллического щита в зоне развития докембрийских кристаллических пород – гранитов-рапакиви, анортозитов, габброидов и метаморфитов, разбитых на блоки крупными древними разломами преимущественно северо-западного простирания, относящимися к Ладожско-Ботнической зоне [1]. Для части этих древних нарушений характерна древняя сдвиговая кинематика. Разрывные нарушения образуют развитую иерархическую систему блоков, границы между которыми четко выражены в современном рельефе в виде протяженных ложбин, занятых элементами гидросети, уступов и седловин.

Четвертичный чехол района маломощный и представлен преимущественно гравийнопесчаными моренными отложениями последнего оледенения, плащеобразно покрывающими межгрядовые понижения, сопрягающимися с водно-ледниковыми позднеплейстоценовыми, а также озерными и болотными голоценовыми отложениями.

Целью данного исследования является выявление тектонических соотношений между породами щита и покрывающих их четвертичных отложений. Для этого был выбран объект исследования – четвертичная озовая гряда, покрывающая породы фундамента – габбронориты, габбро-диориты и метаморфизованные амфиболиты Вуоксинского интрузивного массива и метаморфические комплексы нижнего протерозоя.

Методика и результаты. В ходе полевых работ 2023 года были проведены исследования скальных обнажений фундамента, в основном техногенной природы - карьеры, врезки железнодорожных путей. Собран материал по пространственной ориентировке геологических стресс-индикаторов, произведены наблюдения по структурной геологии. Также на участке работ проведена геофизическая съемка.

Тектонофизические исследования. Для пород чехла имеются данные о пространственной ориентировки и кинематике разрывов, полученные в четвертичных преимущественно песчано-гравийных-отложениях [1].

В данной работе для реконструкции характеристик напряженного состояния был применен метод катакластического анализа разрывных смещений Ребецкого Ю.Л. [2]. Упомянутый метод позволяет определить количественные характеристики реконструируемых локальных стресс-состояний (азимут и угол погружения осей максимального сжатия, максимального растяжения и промежуточной оси). Также в работе применен структурно-парагенетический метод Расцветаева Л.М. [3]. В методе изучаются парагенетические соотношения геологических стресс-индикаторов.

Всего с помощью катакластического анализа рассчитано 7 локальных стресссостояний – 4 в западной железнодорожной врезке, 2 в восточной железнодорожной врезке, 1 в карьере Боровинском (рис. 1).



Рисунок 1 – Положение точек наблюдения, геофизических профилей и реконструированных локальных стресс-состояний на геологической схеме. 1-3 – геологические образования: 1 – метаморфические комплексы нижнего протерозоя, 2 – интрузивные породы Вуоксинского массива, 3 – четвертичные отложения (озовая гряда); 4 – железная дорога; 5 – реконструированные локальные стресс-состояния; 6-8 – оси главных нормальных напряжений: 6 – минимальных, 7 – промежуточных, 8 – максимальных (сжатие); 9 – ось максимального сжатия, реконструированная с помощью структурно-парагенетического метода; 10 – точки наблюдения; 11 – положение геофизических профилей.

Ориентировка осей в пределах-железнодорожной врезки, расположенной ≈ в 1 км к западу от озовой гряды, отличается хаотичностью. Несмотря на скученность точек наблюдения на небольшом участке скальных выходов, в каждой отдельной точке фиксируется различная ориентировка осей главных напряжений. Ось максимального сжатия ориентирована субширотно (т.н. 23566), субмеридионально (т.н. 23563 и 23565) и в северо-

западном направлении (т.н. 23564). При этом в трех точках оси субгоризонтальны, а в т.н. 23563 ось почти вертикальна. Ось максимального растяжения во всех четырех точках субгоризонтальна, ориентировки при этом различные – в субширотном направлении (т.н. 23565), субмеридиональном (т.н. 23566), северо-западном (т.н. 23563) и северо-восточном (т.н. 23564).

В железнодорожной врезке, расположенной в непосредственной близости (в 100-200 м) к востоку от оза, другая картина – в двух точках, расположенных рядом, фиксируется одинаковая ориентировка осей главных напряжений. Ось максимального сжатия полого погружается в юго-западном направлении (юго-восточном), ось максимального растяжения – в юго-восточном (северо-западном).

В пределах карьера Боровинского, в одной точке наблюдения, ось максимального сжатия полого погружается в юго-западном направлении, ось максимального растяжения – относительно круто погружается в юго-восточном направлении.

Также в этом карьере в т.н. 23569 по структурно-парагенетическим соотношениям правых и левых сдвигов ось максимального сжатия определена в северо-восточном направлении.

Этими же двумя тектонофизическими методами был проведен анализ разрывных смещений, развитых в четвертичных отложениях. Особенности такого анализа, как и методическое описание, приведены в работе [4].

В т.н. 967 ось максимального сжатия вертикальная, ось максимального растяжения пологая, ориентирована субширотно. Все сбросовые разрывные нарушения попали в расчет и представляют собой своего рода грабен.

В т.н. 290 похожая ситуация, сбросовые разрывные нарушения имеют такое же падение (в среднем азимут падения (далее – АзПд) 260 угол 40-60), оси максимального сжатия и максимального растяжения ориентированы также.

А вот в т.н. 934 прямо противоположный результат. Падение 260 угол 40-60 имеют уже взбросовые разрывные нарушения, соответственно оси главных напряжений имеют другую ориентировку: ось максимального сжатия почти субширотная и пологая, ось максимального растяжения ориентирована вертикально.

В т.н. 537 падение взбросовых нарушений «разворачивается» с западного на южное. При этом три взбросовых нарушения (АзПд 240 угол 60) образовались при северо-восточном сжатии.

При анализе ориентировок осей главных напряжений в первую очередь обращает на себя внимание следующее. В северо-западной части исследуемого района наблюдается «хаотичная» ориентировка осей главных напряжений, реконструированных в породах фундамента, тогда как в юго-восточной части зафиксирована выдержанная ориентировка осей главных напряжений, отвечающая северо-восточному сжатию.

В целом район исследования расположен в зоне «неустойчивых тектонических напряжений» [5], а именно в зоне с двойными (неустойчивыми) ориентациями осей сжатия. В этой зоне, расположенной вдоль побережья Финского залива, разломы близкого простирания могут быть как правыми, так и левыми сдвигами. Ориентация оси максимального сжатия в этой области может меняться от меридиональной до субширотной, что предположительно вызвано поочередной активизацией структур, определяющих ориентировки Ботнического (меридионального) и Финского (широтного) заливов.

Однако, согласно геологической карте (рис. 1) [6], в юго-восточной части территории исследования расположен Вуоксинский интрузивный массив габбро-норитов нижнего протерозоя. Во всех точках наблюдения, расположенных в пределах этого массива, ось максимального сжатия ориентирована в северо-восточном направлении. Причем такая же ориентировка осей максимального сжатия зафиксирована и в южной части массива [7]. То есть, авторами зафиксированы так называемые напряжения нетронутого массива [8], которые при этом унаследованы в четвертичных отложениях, о чем свидетельствует

ориентировка взбросовых разрывных нарушений, развитых в четвертичных отложениях и отвечающих северо-восточному сжатию.

Геофизические исследования. Проведенная на участке геофизическая георадиолокационная съемка позволила проследить взаимоотношения глубинных и поверхностных структур, определить пространственную связь блоковой структуры кристаллического фундамента и деформаций в рельефе и рыхлых отложениях в пределах исследуемого участка.

Георадиолокация - это геофизический метод, основанный на излучении импульсов электромагнитных волн и регистрации сигналов, отраженных от различных объектов исследуемой среды. В данном случае речь идет о границах раздела сред с различной диэлектрической проницаемостью. Георадиолокационная съемка проводилась при помощи георадара ОКО-3 антеннами 100, 250 и 400/900 МГц. Было проведено три поперечных профиля, проходящих через озовую гряду и прилегающие к ней террасовидные поверхности, сложенные водно-ледниковыми и озерными отложениями. Местоположение двух профилей в южной части Боровинского карьера (рисунок 1, профиль А-А', Б-Б') было выбрано с целью дополнения полученных ранее геоморфологических данных и увязки разрывных и складчатых деформаций в теле гряды (рис. 2а), описанных в работе [1]. Третий профиль пересекает озовую гряду, проходит вдоль железной дороги и проложен с целью увязки деформаций в восточной скальной железнодорожной врезке с деформациями рыхлых отложений (рис. 1, профиль B-B').

Наиболее показательным является профиль Б-Б', проведенный в непосредственной близости к зачищенной стенке карьера, так как имеются самые точные геологические данные для привязки георадарных разрезов.



Рисунок 2 – Южная стенка Боровинского карьера, профиль Б-Б': а) фотография разреза (С.В. Шварев); б) схема основных слоев с параметрами разрывных нарушений (по [1]); в) георадарный профиль (частота антенны 250 МГц)

В разрезе, по которому проведен георадарный профиль, можно выделить четыре характерные части, различающиеся по уровням поверхности и вскрывающимся отложениям: СВ гребень (а); ЮЗ гребень (б); СВ ступень (в) и центральное понижение между гребнями (рисунок 2б).

В разрезе выделено семь основных толщ: І. Сильно дислоцированный песчаносуглинистый слой с прослоями тяжелых суглинков и глин; ІІ. Песчаная параллельнослоистая толща с включениями крупной гальки, мелких валунов и гравия; ІІІ. Галечногравийная субгоризонтально слоистая толща; IV. Галечно-валунная слоистая толща с хорошо окатанным материалом; V. Круто наклонный (50–60°) к СВ прослой валунов с гравием и галькой; VI. галечно-гравийно-песчаная перемешанная (в СВ части) и параллельно-слоистая (в ЮЗ части) толща; VII. гравийно-галечно-песчаная параллельно слоистая толща, наклонная к осевой части межгребневой ложбины с несколькими несогласно залегающими горизонтами [1].

Наибольший интерес на георадарных данных вызывают несколько участков. На флангах озовой гряды (1,4 на рис. 2в) наблюдается резкое вертикальное изменение волновой картины, а именно переход с хаотической волновой картины на акустически-прозрачную. Затухание сигнала антенны может быть связано с заболоченностью местности, однако в точке 4 отчетливо прослеживаются смещения и даже обрывы осей синфазности отраженных волн в приповерхностных слоях. В осевой части гряды (3) также наблюдается затухание сигнала и обрывы осей синфазности. Изменение волновой картины на северо-восточном гребне (2) и обрывы осей синфазности с большой вероятностью не связаны с заболоченностью данного участка, так как он не приурочен к ложбине или впадине, а находится на возвышении. Более вероятно, что причиной подобной картины стало наличие в этом месте круто наклонных слоев V и VI. Это нарушение представляет собой серию сбросов с главным разрывом, выраженным крутопадающей зоной - шириной около 1 м и с амплитудой более 3 м. Также на георадарном профиле хорошо прослеживается выступ ленточных глин (I на рис. 2a, 5 на рис. 2в) представляющий собой диапироподобное образование, выжатое на поверхность и обрамленное пологонаклонными нарушениями (рис. 26). В результате обработки геофизических данных установлена сильная дислоцированность рыхлых отложений и наличие нескольких зон нарушений сплошности, которые можно интерпретировать как тектонические разрывы (рис. 2).

Выводы. Совместный анализ полученных геоморфологических, геофизических и тектонофизических данных свидетельствует о тесной взаимосвязи деформаций в современном рельефе, поверхности фундамента, рыхлых отложениях и коренных породах, и дает основание для их сопоставления, систематизации и создания пространственновременных моделей для постледниковой активизации разрывных структур.

По результатам сопоставления данных можно сделать вывод, что озовая гряда во всех элементах контролируется разрывными нарушениями. При этом выдавливание ленточных глин в ядре юго-западного гребня, сопровождаемое пологими нарушениями, по-видимому, вторичное, и обусловлено смещениями по основным разрывам.

По тектонофизическим данным установлена связь напряженного состояния пород фундамента и покрывающего его рыхлого чехла. В пределах Вуоксинского интрузивного массива, северо-восточная ориентировка оси максимального сжатия, по результатам реконструкции, зафиксирована как в скальных породах протерозоя, так и в четвертичных отложениях. Это говорит либо о молодом (четвертичном) возрасте структур фундамента, либо о унаследовательности напряженного состояния на протяжении длительного времени вплоть до четвертичного.

Работы выполнены в рамках проекта РНФ №23-27-00205 «Влияние постледниковых блоковых движений кристаллического фундамента на деформации рельефа и рыхлых отложений восточной Фенноскандии» (рук. в.н.с. С.В. Шварев).
- 1. Шварев С.В. Постледниковые сейсмогенные деформации озовой гряды в северной части Карельского перешейка // Геоморфология. 2019. № 3. С. 19–35.
- 2. Ребецкий Ю.Л., Сим Л.А., Маринин А.В. От зеркал скольжения к тектоническим напряжениям. Методы и алгоритмы. М.: ГЕОС. 2017. 225 с.
- 3. Расцветаев Л.М. Парагенетический метод структурного анализа дизъюнктивных тектонических нарушений // Проблемы структурной геологии и физики тектонических процессов. М.: ГИН АН СССР. 1987. С. 173–235.
- 4. Бондарь И.В., Шварев С.В. Анализ разрывных смещений, развитых в четвертичных отложениях, с помощью метода катакластического анализа // Современные техника и технологии в научных исследованиях. Сб. материалов XV Междунар. конф. молодых ученых и студентов. Бишкек: НС РАН. 2023. С. 261–264.
- 5. Маринин А.В., Сим Л.А., Бондарь И.В. Вариации напряженно-деформированного состояния в районе Вуоксинской разломной зоны (Выборгский район) // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2021. Т. 66. № 2. С. 396–412.
- 6. atlaspacket.vsegei.ru. Актуализированные ГИС-пакеты оперативной геологической информации. [online] Доступно на: http://atlaspacket.vsegei.ru/ 9d6baddea096866e0 [Дата доступа 19.04.2023].
- Бондарь И.В. Тектонофизические исследования восточного борта Вуоксинской разломной зоны (Республика Карелия) // Динамическая геология – проблемы и достижения. Материалы Всерос. науч. конф., посвященной 270-летию МГУ им. М.В. Ломоносова и 90-летию со дня рождения Н.В. Короновского, М.А. Гончарова и М.Г. Ломизе. М.: Перо. 2023. С. 4–5.
- 8. Марков Г.А. Тектонические напряжения и горное давление в рудниках Хибинского массива. Л.: Наука. 1977. 213 с.

СТАНДАРТНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АНИЗОТРОПИИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

Валуйский А.Ю. webattack@list.ru Научная станция РАН, г. Бишкек, Кыргызстан

В работе представлена обработка данных электротомографии, полученных многоэлектродной аппаратурой «СКАЛА-48», которая разработана в лаборатории электромагнитных полей Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, способом азимутальных наблюдений, в программе для решения прямых и обратных задач инверсии, а также результаты обработки, в программе, которая разработана в Малайзии компанией Geotomo Software. Необходимые полевые работы проходили на профиле «Сан-Таш» (Северный Тянь-Шань), который находится в Иссык-Атинском районе Чуйской области. Исследования анизотропии выполнялись с использованием метода электротомографии по методике азимутальных (круговых) наблюдений с использованием аппаратуры «СКАЛА-48». Приведена методика обработки получаемых данных на примере шести профилей, с углом между профилями 30° и точкой врашения, которая находилась в иентре профилей.

Ключевые слова: инверсия, метод сопротивлений, вызванная поляризация, электротомография, моделирование

Введение. Настоящее время характеризуется увеличением потребностей в малоглубинных геофизических исследованиях, призванных решать инженерные, экологические и технические вопросы. Методы постоянного тока являются одними из основных в этой области знаний и позволяют решать широкий спектр актуальных задач. Решение таких задач должно удовлетворять современным требованиям к точности геофизической съемки и интерпретации. Геофизические исследования в сложных условиях при современных жестких требованиях к темпу работ, их точности и качеству стимулируют развитие новых методик, аппаратурных комплексов и инструментов интерпретации данных. Изучение механических характеристик горного массива с достаточной степенью достоверности является важнейшей задачей при проектировании разработки месторождений полезных ископаемых и строительстве подземных объектов. Горный массив имеет неоднородную анизотропную структуру, геометрические и механические параметры нарушений которых должны быть тщательно изучены [1]. Развитие информационных технологий значительно увеличило качество интерпретации получаемых данных. Совместное проявление слоистости и неоднородностей в электрическом поле изучалось с помощью физического моделирования. Одновременно развивались аналитические подходы. Были разработаны алгоритмы численного моделирования. В настоящее время теоретические вопросы, связанные с учетом влияния неоднородностей на электрическое поле в горизонтально-слоистых средах, в целом решены. Результаты этих научных разработок используются в технологиях многоэлектродных электрических зондирований [2].

Свойства среды зависят от направления, это явление называется *анизотропией*. Физическая анизотропия может проявляться следующим образом:

- с тонкой слоистостью,
- вытянутой формой частиц грунта,
- трещиноватостью.

Анизотропия электрических свойств геологической среды изучается для решения таких геологических задач как:

• геологическое картирование (определение направления простирания слоистых толщ),

• оценка гидрогеологических и коллекторских свойств среды (определение направления трещиноватости пород).

В свою очередь, электротомография – это современное направление методов сопротивлений и вызванной поляризации разведочной геофизики, которое предназначено для получения 2D и 3D геоэлектрических разрезов из измерений, которые получены на поверхности Земли или скважинах, также, электротомография - высокоразрешающая электроразведка на постоянном токе [3].

В рамках данного доклада, были разобраны такие темы как:

- 1. Общие сведения об анизотропии и электротомографии
- 2. Краткая информация о месте проведения работ
- 3. Программа 2D обработки Res2DInv
- 4. Обработка данных

Место проведения работ. Необходимые полевые работы производились на профиле «Сан-Таш» (Северный Тянь-Шань), который находится в Иссык-Атинском районе Чуйской области. Исследования анизотропии выполнялись использованием с метола электротомографии по методике азимутальных (круговых) наблюдений (рис.1) с использованием аппаратуры «Скала-48». Круговые (азимутальные) измерения проводятся при различных направлениях оси установки (ее азимута). Эта методика используется для исследования сред с азимутальной анизотропией сопротивления [4]. Азимутальные измерения могут быть выполнены как с использованием многоэлектродной аппаратуры «СКАЛА-48» (электротомографическая (ЭТ) коса), так и пяти компонентной установкой (магнитотеллурического зондирования). Для осуществления азимутальных наблюдений достаточно провести экспериментальный физический поворот системы. Для этого необходимо проводить измерения на ровной площадке и размерами:

- для МТЗ минимум 50х50 до 100х100 м²;
- для ЭТ минимум 120х120 до 240х240 м².



Рисунок 1 – Схема расположения профилей при азимутальных измерениях

Азимутальный МТ мониторинг применяется на НС РАН в тензочувствительных пунктах наблюдательной сети – стационарных и режимных. К стационарным относятся пункты Ак-Суу и Чон-Курчак.

Работа станции «Скала-48» производилась с помощью двух многоэлектродных кабелей, длина каждого соединительного кабеля составляет 120 метров (максимальный разнос 235 м). Измерения выполнялись установкой «Шлюмберже» с шагом между электродами 5 м, общее количество электродов при развертывании двух соединительных кабелей составляет 48. Всего было сделано 6 измерений, угол между которыми был выбран 30°. Точка вращения находилась в центре пункта наблюдения.

Программа 2D обработки. Res2DInv разработана в Малайзии компанией Geotomo Software, для автоматического определения двумерной (2D) модели УЭС на основе данных, полученных в результате электроразведочных исследований. Программный продукт отличает простой рабочий процесс от импорта данных до инверсии и визуализации при полном контроле над параметрами инверсии для опытных пользователей. *Особенности программы* заключаются в поддержке всех распространенных конфигураций электродов, простой визуализации псевдоразрезов и инверсий, экспорте результатов для использования в других программах визуализации и интерпретации, импорте данных из широкого спектра исходных форматов файлов, включая стандартный формат *.dat [5].

Обработка данных. Обработка полученных данных выполнялась в программе Res2DInv. Обработка данных электротомографии начинается с конвертации файла записи (.*d2d – данные многоэлектродной аппаратуры «СКАЛА-48») в файл записи в формате *.dat, для этого, нам необходимо зайти в программу RiPPP (поставляется в комплекте с аппаратурой «СКАЛА-48») и экспортировать из *.d2d в *.dat для дальнейшей обработки. Далее, в программе Res2DInv выбираем **File – Read DATA file** открываем ранее созданный файл в программе RiPPP [6].

На рисунках 2 и 3 показаны результаты обработки, геоэлектрические разрезы для данных азимутальных измерений на 0°, 30°, 60°, 90°, 120° и 150°.



Рисунок 2 – Полученные геоэлектрические разрезы для азимутальных измерений на 0°, 30°, 60°



Рисунок 3 – Полученные геоэлектрические разрезы для азимутальных измерений на 90°, 120° и 150°

В результате обработки данных для каждого из шести измерений с центром в точке наблюдения были получены геоэлектрические разрезы, на которых прослеживаются аномалии от 600 до 860 Ом·м. Причинами повторяющихся аномалий могут быть как особенности инверсии, так и реальные геологические объекты, например, разрывные нарушения. Максимальное удельное сопротивление на разрезах составило 1090 Ом·м, а минимальное 32 Ом·м. Исходя из полученных геоэлектрических разрезов, мы видим, что для азимута:

 0° - низкоомные слои простираются по всей длине раскладки, в диапазоне от 60 до 120 Ом·м, начинаются с 19 м по глубине, а высокоомные слои от 370 до 800 Ом·м находятся в разных частях разреза;

30° - низкоомные слои от 47 до 182 Ом·м, начинаются с 24 м по глубине, а высокоомные слои становятся более «вытянутыми» в диапазоне от 317 до 700 Ом·м;

60° - низкоомные слои от 48 до 73 Ом м разделяются в середине раскладки, слоем в 165 Ом м, начинаются с 10 м по глубине вначале раскладки и с 1,25 м в конце, а высокоомные слои остаются «вытянутыми» в диапазоне от 372 до 839 Ом м;

90° - низкоомные слои в диапазоне от 56 до 87 Ом м имеют плавный переход в середине раскладки, начинаются с 19 м по глубине, в некоторых местах с 1,25 м, а высокоомные слои становятся более сжатыми в диапазоне от 713 до 1087 Ом м;

120° - сильно низкоомные находятся на малой глубине (до 6 м) в диапазоне от 32 до 52 Ом·м, начинаются с 30 м по глубине, а высокоомные слои растянуты и имеют диапазон от 570 до 923 Ом·м;

150° - низкоомные слои начинаются от 70 м раскладки в диапазоне от 35 до 54 Ом·м, начинаются с 33 м по глубине, а высокоомные ярко выражены почти по всей длине раскладки, в диапазоне от 450 до 690 Ом·м.

Вывод. Таким образом, применение многоэлектродной аппаратуры, а также комплексная интерпретация полученных данных позволяют обеспечить построение геоэлектрического разреза с оценкой анизотропных свойств грунтов послойно, что значительно повышает эффективность подобных работ. Пример использования сети точек

наземных геоэлектрических исследований на основе азимутальных ЭТ наблюдений, подтверждает высокую точность и достоверность полученных данных.

- 1. Протосеня А.Г., Куранов А.Д. Методика прогнозирования напряженно деформированного состояния горного массива при комбинированной разработке Коашвинского месторождения // Горный журнал. 2015. № 1. С. 17–20.
- 2. Ялов Т.В. Электрическая анизотропия горизонтально-неоднородных сред. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. М. 2014. 25 с.
- 3. Шапаренко И.О., Неведрова Н.Н. Применение метода электротомографии для исследования разломных зон (на примере горного Алтая) // Строение литосферы и геодинамика. XXVIII Всерос. молодёжная конф. Иркутск. 2019. С. 184-185.
- 4. Непеина К.С. Системный подход при выборе пунктов наземных геоэлектрических исследований (на примере Тянь-Шаня) // Современные техника и технологии в научных исследованиях. Сб. материалов XV Междунар. конф. молодых ученых и студентов, г. Бишкек, 26–28 апреля 2023 г. Бишкек: НС РАН. 2023. С. 109-117.
- 5. Электронный pecypc: Res2DInv DC/IP processing and inversion software. Pecypc: https://www.aarhusgeosoftware.dk/res2dinv
- Валуйский А.Ю. Особенности обработки данных электротомографии и повышения их качества // Современные техника и технологии в научных исследованиях. Сб. материалов XV Междунар. конф. молодых ученых и студентов, г. Бишкек, 26–28 апреля 2023 г. – Бишкек: НС РАН. 2023. С. 14-21.

ОБЗОР СЕЙСМИЧЕСКИХ КАТАЛОГОВ ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ КЫРГЫЗСТАНА

Воронцова Е.В.

vorontsova@gdirc.ru Научная станция РАН, г. Бишкек, Кыргызстан

В работе приведены этапы развития сейсмологических наблюдений в Кыргызстане. В настоящее время основная информация о сейсмических событиях Кыргызстана содержится в каталогах четырех независимых агентств: ИС НАН КР (KRNET), НЯЦ РК (NNC), СОМЭ (SOME) и НС РАН (KNET). Большая часть регистрируемых событий из каталогов KRNET с 2010 г., NNC с 2002 г., SOME с 2003 г. и промежуточная версия каталога НС РАН с 2003 г. передаются в Международный Сейсмологический Центр ISC. Приведены особенности поступления бюллетеней и каталогов в ISC от каждого из четырех основных агентств, а также показана их неоднородность во времени и пространстве, что необходимо учитывать при работе со сводным каталогом Кыргызстана, получаемым через ISC.

Ключевые слова: каталог сейсмических событий, эпицентр, погрешность

Инструментальные сейсмические наблюдения на территории Кыргызстана ведутся с 1927 года. За прошедшее время конфигурация сейсмологических сетей, методы расчета параметров очага сейсмических событий и их энергетических характеристик претерпели значительные изменения. До 1991 г. сейсмологические станции Средней Азии входили в единую сейсмологическую сеть СССР. В это время действовала единая система обработки данных и составления каталога землетрясений СССР [1, 2]. После распада СССР в 1991 г. на основе существовавших сейсмологических станций на территории Кыргызстана и Казахстана были сформированы три обособленных сети: Института сейсмологии Национальной академии наук Кыргызской Республики (ИС НАН КР), Национального ядерного центра Республики Казахстан (НЯЦ РК) и Сейсмологической опытнометодической экспедиции Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (СОМЭ) [3].

В 1991 г. на севере и северо-западе Кыргызстана были установлены десять цифровых станций, а новая сеть получила название KNET [4]. На основе получаемых данных на Научной станции РАН в г. Бишкеке (НС РАН) с 1994 г. проводится составление сейсмического каталога KNET – к настоящему моменту количество событий превысило 11000. Конфигурация сети и программное обеспечение за этот период оставались неизменными. Данные каталога широко используются учеными в различных исследованиях сейсмической активности Бишкекского геодинамического полигона (БГП), её связи с геофизическими и геодинамическими параметрами земной коры, а также атмосферными и ионосферными процессами.

Этапы развития сейсмологических наблюдений в Кыргызстане кратко можно представить так:

1927 г. – установлена первая сейсмостанция в г. Фрунзе,

1927–1949 гг. – первый этап («описательный»),

1949–1967 гг. – второй этап (развитие аппаратуры, методов локации, введение шкалы энергетических классов Т.Г. Раутиан, составление единой инструкции СССР для обработки сейсмических данных, составление единого пересмотренного каталога),

1957 г. – начало работы Токтогульской КСЭ ИФЗ (Центральный Тянь-Шань и Восточная Фергана, 41°10' – 42°30' с.ш., 71°50' – 74°00' в.д.),

1967 г. – создание Фрунзенского геодинамического полигона (41°30'–43°30' с.ш.,73°30'–77°30' в.д., в настоящее время – БГП),

1991 г. – обособление сетей Института Сейсмологии НАН КР, НЯЦ РК, СОМЭ, создание цифровой сети КNET,

1998 г. – переход KNET на режим реального времени,

2007–2010 гг. – развитие цифровых наблюдений в ИС НАН КР, регистрация сети KRNET, основание сети CAREMON (ЦАИИЗ).

В настоящее время основная информация о сейсмических событиях Кыргызстана содержится в каталогах четырех независимых агентств: ИС НАН КР (KRNET), НЯЦ РК (NNC), СОМЭ (SOME) и НС РАН (KNET). Практически все регистрируемые события из каталогов KRNET с 2010 г., NNC с 2002 г. и SOME с 2003 г. передаются в Международный Сейсмологический Центр ISC [5], а сведения о средних и сильных сейсмических событиях из этих каталогов содержатся в работах [6-8]. Наиболее полным сейсмическим каталогом Кыргызстана является каталог ИС НАН КР. Для территории Бишкекского геодинамического полигона (БГП) он содержит информацию о сейсмических событиях выше 6-ого энергетического класса по Раутиан, произошедших с июля 1967 г. За всё время работы конфигурация сети KRNET, методика решения обратной сейсмической задачи несколько раз претерпевала изменения, поэтому необходимо учитывать неоднородность каталога ИС НАН КР во времени. НС РАН с 2003 г. передает в ISC промежуточную версию каталога, однако, финальные результаты обработки не поступают в Международный Сейсмологический Центр и не распространяются в печатных изданиях. Помимо перечисленных каталогов для БГП в ISC содержится информация от других 17 агентств – более чем о 18000 событиях за период 1994-2020 гг. с М>0.9, произошедших на территории Бишкекского геодинамического полигона. Таким образом, формально каталог ISC может считаться общим каталогом, однако, учитывая, что финальный каталог KNET не поступает в ISC, следует признать отсутствие полного каталога обо всех событиях, зарегистрированных различными сейсмологическими сетями на территории Кыргызстана. Поэтому для получения единого каталога землетрясений Кыргызстана (и в частности, БГП) необходимо сравнить имеющиеся данные, а также убедиться в их однородности.

Каталог сейсмических событий является конечным результатом обработки данных сейсмологического мониторинга. Следует понимать, что при определении параметров гипоцентра землетрясения неизбежно возникают различные ошибки. Они обусловлены нелинейностью решения обратной задачи сейсмологии, особенностями конфигурации сетей, особенностями моделирования скоростного разреза окружающей территории и другими используемыми допущениями. Все 4 основных сейсмологических агентства, составляющих каталоги событий для территории Кыргызстана, используют различные скоростные модели: КNET – Реккера С. и др. [9], KRNET – Сабитовой Т.М. и др. [10], NNC – региональный годограф для Центрального Казахстана [6], SOME – годограф Северного Тянь-Шаня [6]. Различны и используемые программы-локаторы: в НС РАН используется Нуросеnter, в ИС НАН КР – Нуроеllipse (с конца 2001 г.) [11], в НЯЦ РК – Dbloc2 (Datascope, Antelope) [6], в СОМЭ – DIMAS [6]. Сравнение результатов обработки различными локаторами Нуросеnter, НҮР, Нуроellipse, НҮРО71, Locsat для данных мониторинга сети KNET приведены в работе [12].

Основные параметры, необходимые для определения координат гипоцентра, времени и мощности землетрясения указываются в бюллетенях для каждой станции. Это – время вступления различных волн (P, S и др.), амплитуда, период, дистанция, азимут, и, если были рассчитаны, значения энергетических характеристик: класса Кр, магнитуд Mpv, Ms, Mb, Ml [13, 14].

В каталоге для каждого события указывается основная информация: дата, время, широта, долгота, глубина, класс, количество фаз, минимальное расстояние до сейсмической станции, невязка времени прихода сейсмических волн на сейсмические станции (RMS). Помимо основной информации в каталогах содержится дополнительная информация: KNET – ошибки по горизонтали ERH, вертикали ERZ;
KRNET – магнитуды Mpv, Ml, Ms, ошибки seh, sez, Gap, Vp, Vs, Vp/Vs;
NNC – магнитуды Mpv, Mb, Ms, ошибки Smaj, Smin, Gap, максимальная дистанция;
SOME – магнитуды Mpva, Ms, Vp/Vs, класс точности.
Примеры каталогов приведены на рисунке 1.

Каталог КNET

 DATE
 ORIGIN
 LAT N
 LONG E
 DEPT MAG(XM,FM)
 K
 NO DMIN
 RMS
 ERH
 ERZ

 19980618
 7 2 33.87
 43 1.57
 77-38.72
 6.55
 7.01
 9142.8
 0.24
 2.0
 2.0

Каталог KRNET

 date
 origin
 lat
 long
 depth
 Mpv
 no d1 gap d
 rms
 avwt
 se
 KMAG

 20190101
 3 9 26.11
 42n20.25
 76e27.24
 21.00
 2.27
 34 20
 91 1 0.2472
 1.00
 0.10
 5.92

 seh
 sez q sqd
 adj in nr
 avr
 aar nm avxm
 mdxm
 sdxm
 nf avfm
 mdfm
 sdfm
 vpvs

 3.0
 0.3 b
 b
 b
 0.00
 190
 0
 2.27
 0.0
 0
 1.716

 vp
 vs
 vf
 vp/vs
 ml
 ms
 hz

 6.35
 3.70
 8.87
 1.72
 1.05
 20.64

Каталог NNC

 Date
 Time
 Err
 RMS Latitude Longitude
 Smaj
 Smin
 Az Depth
 Err
 Ndef Nsta Gap
 mdist
 Mdist Qual
 Author

 2019/01/01
 11:03:55.33
 1.02
 0.61
 41.8491
 77.5529
 7.1
 3.7
 171
 0.0
 -1.0
 20
 0
 58
 1.27
 2.34 m i se spep

 Magnitudes
 mb
 2.65
 mpv
 2.78
 2.78
 2.78
 2.78
 2.78

class 6.22

Каталог SOME

 Date
 Time
 Latitude Longitude Depth
 Kp
 MPVA
 MS
 Vp/Vs
 Klt
 Nst
 Nm
 Nms

 2003/01/01
 13:14:19.0
 41.033
 73.517
 10
 9.0
 3.9
 0.0
 1.720
 x
 21
 0
 0
 0

Рисунок 1 – Примеры каталогов KNET, KRNET, NNC и SOME.

При работе с каталогом ISC следует иметь в виду особенности поступления бюллетеней и каталогов в Международный Сейсмологический Центр ISC от каждого из четырех основных агентств:

KNET – поступают результаты обработки в Dbloc2 (промежуточный каталог), помесячно с задержкой 1-6 месяцев;

KRNET – данные «Provisional» - ежедневно, окончательный бюллетень «Bulletin» выкладывается за весь год приблизительно в июле следующего года. Следует учитывать, что «Provisional» содержит не все данные: например, за январь 2020 г. было 32 события, в окончательном бюллетене – 804 события;

NNC – бюллетень и каталог поступают помесячно, с задержкой 4-7 месяцев;

SOME – бюллетень выкладывается за весь год в августе-декабре следующего года.

Согласно принятой в ISC методике, события в сводном каталоге проверяются и уточняются при условии, что магнитуда $M \ge 3.5$, события с $2.5 \le M < 3.5$ пересматриваются частично, а с M < 2.5 - не пересматриваются и попадают в каталог в том виде, в котором поступили от сейсмологического агентства. В среднем пересматривается примерно 20% событий, пересмотренный каталог появляется с задержкой примерно 1 год.

Заключение. В работе приведен обзор каталогов для территории Кыргызстана от четырех основных сейсмологических агентств ИС НАН КР (KRNET), НЯЦ РК (NNC), СОМЭ (SOME) и НС РАН (KNET). Показано, что они неоднородны во времени, поэтому при составлении единого сводного каталога Кыргызстана необходимо пересмотреть исходные данные из каталогов и бюллетеней и проверить на ошибки в определении координат гипоцентра, времени и мощности землетрясения.

- 1. Инструкция о порядке производства и обработки наблюдений на сейсмических станциях ЕССН СССР. М.: Наука. 1982. 273 с.
- 2. Землетрясения в СССР. Ежегодники. М.: Наука. 1964–1993.
- 3. Непеина К.С. Сети сейсмических наблюдений в Центральной Азии // Вестник НЯЦ РК. 2018. Вып. 2. С. 107–115.

- Kyrgyz Seismic Telemetry Network. International Federation of Digital Seismograph Networks / Kyrgyz Institute of Seismology, IVTAN/KIS & University of California, San Diego. 1991. <u>https://doi.org/10.7914/SN/KN</u>
- 5. International Seismological Centre (20XX), On-line Bulletin, https://doi.org/10.31905/D808B830
- 6. Землетрясения Северной Евразии. Ежегодники. Обнинск: ГС РАН. 1997–2020. <u>https://doi.org/10.35540/1818-6254</u>.
- 7. Кальметьева З.А., Миколайчук А.В., Молдобеков Б.Д. и др. Атлас землетрясений Кыргызстана. Бишкек: ЦАИИЗ. 2009. 74 с.
- 8. Абдрахматов К.Е., Берёзина А.В., Уокер Р. и др. Землетрясения Кыргызстана. Бишкек. 2022. 206 с.
- Roecker S.W., Sabitova T.M., Vinnik L.P. et al. Three-dimensional elastic wave velocity structure of the Western and Central Tien-Shan // J. Geophys. Res. 1993. Vol. 98. No. B9. P. 15779–15795. <u>https://doi.org/10.1029/93JB01560</u>
- 10. Адамова А.А., Сабитова Т.М., Миркин Е.Л. и др. Модели для блочной аппроксимации распределения скорости с использованием SPHYRIT 90 (алгоритм С. Рекера) // Земная кора и верхняя мантия Тянь-Шаня в связи с геодинамикой и сейсмичностью. Бишкек: Илим/ 2006. С. 9-18.
- 11. Ильясов Б.И., Кальметьева З.А., Молдобекова С.К. и др. Каталог землетрясений Кыргызстана. Ежегодники. Бишкек: Илим. 2003–2005.
- 12. Воронцова Е.В. Анализ устойчивости определения параметров гипоцентров сейсмических событий по данным сети КNET программами Hypocenter, HYP, Hypoellipse, HYPO71, Dbloc2 // Вестник КРАУНЦ. 2022. Вып. 54. № 2. С. 50-59. DOI: 10.31431/1816-5524-2022-2-54-50-59.
- 13. Михайлова Н.Н., Калмыкова Н.А., Неверова Н.П. Энергетические и магнитудные характеристики землетрясений в практике сейсмических наблюдений на Северном Тянь-Шане // Землетрясения Северной Евразии в 1993 году. Обнинск: ГС РАН. 1999. С. 60-64.
- Bormann P. Magnitude of seismic events // New Manual of Seismological Observatory Practice NMSOP. Revised edition. GFZ German Research Centre for Geosciences, Potsdam, 2009. Chapter 3. P. 16-53. https://doi: 10.2312/GFZ.NMSOP_r1_ch3

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ НА СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ «НОВОЛАЗАРЕВСКАЯ»

Галин А.Ж.

galin@gsras.ru Единая геофизическая служба РАН, г. Обнинск, Россия

В работе представлены результаты модернизации аппаратного комплекса сейсмологической станции «Новолазаревская» для актуализации и своевременного получения данных в режиме реального времени. Так же целью модернизации аппаратного комплекса являлась проверка работоспособности станции в автоматическом режиме в экстремальных погодных условиях, а также в условиях накопления высокого статистического электричества для дальнейшего расширения сети сейсмологического мониторинга на территории Антарктиды. После модернизации станции, проведения стресс тестов и анализа работы аппаратного комплекса были установлены оптимальные настройки для работы аппаратуры в автоматическом режиме без участия оператора с передачей данных в режиме онлайн в ФИЦ ЕГС РАН в г. Обнинск.

Ключевые слова: сейсмический мониторинг Антарктиды, передача данных, сейсмометр.

В связи с заключением 13 государствами 1 декабря 1959 года в Вашингтоне Договора об Антарктике и вступления его в силу 23 июня 1961 года, проведение научных исследований и международное научное сотрудничество на континенте является актуальной задачей в интересах всего человечества. Отметим, что в районе Антарктики запрещаются любые ядерные взрывы и захоронения радиоактивных материалов, в связи с этим необходимо проводить мониторинг событий различной природы, после детектирования и определения кинематических и динамических параметров сейсмического события, проводить тщательную работу по сейсмическому распознаванию. Кроме того, на континенте наблюдается естественная сейсмичность, здесь регистрируются тектонические землетрясения слабой и умеренной силы. Ввиду того, что долгое время Антарктида была не заселена людьми, отсутствует какая либо информация о макросейсмических эффектах исторических землетрясений. Возможно сейсмическая опасность континента недооценена. Кроме того, в последнее время актуально изучение динамики криосферы, так как эти процессы наглядно иллюстрируют изменение климата на планете.

История советских сейсмологических наблюдений на территории Антарктиды началась с установки в 1956 году сейсмической станции «Мирный» с координатами $\varphi = 66.551^\circ$ ю.ш., λ =93.017° в.д., международный код MIR (рис.1). В 1961 г. была построена ещё одна советская Антарктическая станция «Новолазаревская» с координатами ф= 70.77° ю.ш., λ =11.833° в.д., высота над уровнем моря h=125 м, международный код NVL (рис. 1), начавшая регистрацию 01.04.1962 г. Станция NVL расположена в 3060 км к западу от станции MIR на крайней юго-восточной оконечности оазиса Ширмахера, примерно в 80 км от берега моря Лазарева [1]. На станции долгое время было установлено аналоговое оборудование, у которого был ряд недостатков: небольшой динамический диапазон, ограничение на точность снятия времен вступлений, которая зависела от развертки сейсмограммы и толщины сейсмической записи на фотобумаге, невозможно было применить фильтрацию записи, построить спектры, оборудование всегда требовало регулярного обслуживания и присутствия оператора. Станции «Мирный» и «Новолазаревская» с самого начала работы были включены в Единую сеть сейсмологических наблюдений СССР. С 1994 г. они входят в телесейсмическую сеть Геофизической службы РАН (ныне Федеральный исследовательский центр «Единой геофизической службы Российской академии наук» – ФИЦ ЕГС РАН), главной задачей которой является обеспечение непрерывного мониторинга сейсмоактивных зон земного шара, включая Россию [1], международный код сети RU [2].



Рисунок 1 – Карта расположения сейсмических станций MIR и NVL

На российские антарктические сейсмостанции были возложены следующие функции:

- мониторинг сильных землетрясений земного шара с магнитудой М ≥ 6;

– регистрация землетрясений сейсмоактивной зоны вокруг Антарктиды;

– регистрация локальных сейсмических событий в Антарктиде, в том числе местных землетрясений и разрывов ледникового покрова [1].

На станции «Мирный» наблюдения временно законсервированы (с 26.12.2012 г.). В 1999 г. на станции «Новолазаревская» была установлена широкополосная 16-разрядная цифровая аппаратура SDAS, разработанная и изготовленная (подготовленная для эксплуатации) Центральной опытно-методической экспедицией (ЦОМЭ) ГС РАН и НПО «Геотех». Эта аппаратура имела полосу пропускания 0.04–5 Гц, частоту квантования 20 отсч/с и динамический диапазон порядка 90 дБ, что позволило перейти на цифровую технологию сбора, хранения и обработки сейсмических записей. Комплект широкополосных сейсмометров СВКД(Z), СГКД(NS) и СГКД(ЕW) на станции «Новолазаревская» был установлен в штольне, расположенной на глубине 7 м в монолитном выходе коренных пород (гнейсах) и отстоящей от места расположения аппаратуры сбора и обработки данных на расстояние 50 м [3].

Получение данных и их начальная обработка производились непосредственно на станции. Для этого была организована работа вахтовым методом работников Геофизической службы. Сейсмограммы записывались в буфер на компьютере в помещении станции, затем дежурный сейсмолог проводил обработку в программном комплексе WSG и составлял бюллетени, которые первоначально передавались по радиосвязи (а в последующем – через спутниковый интернет) в центральное отделение ГС РАН в г. Обнинск. Но даже с появлением спутникового интернета не хватало ширины канала и выделенного трафика для отправки сейсмограмм в режиме реального времени. Поэтому оригиналы записей дежурный привозил с собой из командировки на CD диске и сдавал в архив ФИЦ ЕГС РАН. Таким образом, когда, наконец, данные оказывались в распоряжении специалистов ФИЦ ЕГС РАН, они уже, в значительной мере, утрачивали свою актуальность.

В 2022 г. при подготовке к очередной антарктической экспедиции руководством ФИЦ ЕГС РАН было принято решение о модернизации оборудования на сейсмостанции NVL Новолазаревская и изменении порядка передачи данных. В 2020–2021 гг. на станции, благодаря МТС, появилась недорогая сотовая связь, в связи с чем появилась возможность передачи данных в центральный филиал службы в г. Обнинск в режиме реального времени. Для модернизации станции было приготовлено современное оборудование - трехкомпонентный широкополосный сейсмометр Trillium compact TPC120 и 24-битный АЦП Centaur (3 канала) [4].

Оба прибора отличаются высокой надежностью работы в экстремальных условиях и могут управляться удаленно, что исключает необходимость присутствия и постоянного контроля оператора. Также для передачи данных был приготовлен и настроен 3g poyrep IRZ RU01w (рис. 2б). На рисунке 3 представлены амплитудно-частотные характеристики сейсмической станции NVL.

Из-за условий эксплуатации на фоне накопления высокого статистического электричества и работы в автономном режиме был разработан план по проведению стресс тестов для аппаратного комплекса. План включал в себя:

- автоматическое возобновление работы при плановом и аварийном отключении питания;
- автоматическое возобновление работы при потере связи;
- автоматическое возобновление работы при ошибках программного обеспечения.

В течение 68-ой антарктической экспедиции от ФИЦ ЕГС РАН А. Ж. Галиным 19.06.2023 г. было установлено оборудование в штольне. Датчик в штольне (рис. 2a) был прикреплен к бетонному постаменту и накрыт коробом для уменьшения перепадов температуры и изоляции от движений воздушных потоков, регистратор укреплен на стену павильона в штольне (рис. 2б).



Рисунок 2 – Современная аппаратура на станции NVL. а) сейсмометр TPC120; б) дигитайзер Centaur3s; в) Антенна Wi Fi в защитном коробе; г) система сбора, передачи и хранения данных



Рисунок 3 – Амплитудно-частотные характеристики сейсмической станции NVL

Для защиты от накопления статического электричества на линиях передачи данных от штольни до пункта сбора данных была смонтирована линия Wi-Fi. Приём—передающие антенны установлены в защищённых коробах для предотвращения попадания ледяной пыли, а также для защиты от ветра и осадков. (рис. 2в). Это позволяет предотвратить накопление статического электричества на корпусе. Данные передаются в помещение станции Новолазаревская, где установлен роутер для передачи данных в Обнинск и компьютер для локального сбора данных (рис. 1г).

Последующие месяцы были проведены тесты по возобновлению работы аппаратного комплекса в автоматическом режиме при аварийных ситуациях. Выявляемые недостатки в настройках системы планомерно исправлялись. В будущем, по этой же методике планируется возобновление работы станции «Мирный», а также открытие новой сейсмологической станции «Прогресс».

Уровень микросейсмического фона на станции – очень низкий (рис. 4), т. к. промышленности и городов в Антарктиде нет, а шум, создаваемый присутствием полярников, весьма незначителен. Все это существенно расширяет возможности регистрации сейсмических явлений в южном полушарии, а также открывает возможность исследования разрывов ледового покрова континента.

Передача данных в центральное отделение ФИЦ ЕГС РАН в г. Обнинск стартовала 21.06.2023 г. Частота оцифровки: 100 опросов/сек/канал, привязка временной шкалы: система GPS. Станция NVL была подключена к ССД (служба срочных донесений) и в настоящее время создается сейсмологический бюллетень на регулярной основе. Данные сейсмической станции NVL участвуют в локализации сейсмических событий мира начиная с 1964 г. и используются глобальными сейсмологическими центрами для улучшения локализации сейсмических событий и научных исследований. С начала работы по настоящее время в Международном сейсмологическом центре (ISC) станция участвовала в обработке 9327 сейсмических событий на региональных и телесейсмических расстояниях (рис. 5) [4].

На рисунке 6 приведен фрагмент записи разрушительного Учтурфанского землетрясения 22.01.24г. t0= 18:09:05, Мw=7.0, в районе Южного Тянь-Шаня [5].



Рисунок 4 – Спектр плотностей смещений на станции NVL за период с 19.02.2024 г. по 26.03.2024 г.



Рисунок 5 – Гистограмма эпицентральных расстояний сейсмических событий, для локализации которых использовались данные станции NVL



Рисунок 6 – Сейсмограмма Учтурфанского землетрясения 22.01.24г. t0= 18:09:05, Мw=7.0, Δ = км

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24).

- 1. Старовойт О.Е., Маловичко А.А., Пойгина С.Г., Бадальян Д.Г., Крумпан В.В., Милехина А.М. Сейсмологические наблюдения в Антарктиде // Российский сейсмологический журнал. 2019. Т. 1. № 1. С. 11–22. DOI: https://doi.org/10.35540/2686-7907.2019.1.01.
- 2. Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences (GSRAS). (1989). Seismic network of the European part of the Russian Federation [Data set]. International Federation of Digital Seismograph Networks. https://doi.org/10.7914/040r-yt67. (Дата обращения 27.03.2024).
- Пятунин М.С., Галин А.Ж., Горожанцев С.В. Модернизация оборудования на сейсмической станции «Новолазаревская», Антарктида // Теория и практика разведочной и промысловой геофизики: Сб. науч. тр. / Гл. ред. В.И. Костицын; Пермский государственный национальный исследовательский университет. Пермь. 2023. Вып. 6 (11). С. 177-182.
- Centaur. Technical specifications. 2 p. [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://www.nanometrics.ca/sites/default/files/2018-04/centaur_data_sheet_ctr4_-web.pdf. 3. Trillium Compact. Technical specifications. 2 p. [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://www.nanometrics.ca/sites/default/files/2018-04/trillium compact data sheet.pdf.
- 5. . Электронный pecypc: https://www.isc.ac.uk/cgi-bin/stations?stacode=NVL (Дата обращения 27.03.2024).
- 6. Соколова И.Н., Габсатарова И.П., Березина А.В., Аристова И.Л. Сильное землетрясение 22 января 2024 г. с Мw=7.0 на юге Тянь-Шаня // Российский сейсмологический журнал. 2024. Т. 6. № 1. С. 42-64. DOI: https://doi.org/10.35540/2686-7907.2024.1.03.

МЕТОД ОБЪЁМНЫХ ПОСТРОЕНИЙ ПРИ ПОЛЕВЫХ ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Гордеев Н.А. gord@ifz.ru Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия

В работе представлены результаты комплексной методики использования БПЛА для тектонофизических исследований. Данный подход позволяет исследователю ввести в свои наблюдения дополнительный масштаб работ, т.е. теперь между дистанционным зондированием Земли и полевым исследованием обнажений доступно построение моделей структур. Методика состоит последовательном наблюдаемых в применении фотограмметрии – построение объемных поверхностей объектов исследования, графическом анализе – мощности и амплитуды смещений наблюдаемых структур, дистанционном измерении параметров залегания геологических структур с помощью готовых поверхностей объектов интереса, оформлении в 3D редакторе для финальной интерпретации.

Ключевые слова: БПЛА, тектонофизика, структурная геология, 3D моделирование.

Введение. В современной геологии для эффективной полевой работы недостаточно применение известных методов исследования, т.к. зачастую то, что мы наблюдаем практически недоступно для прямого взаимодействия, например, изучение недр или высоких обнажений в горных областях. Для первой группы придуманы различные буровые работы и методы геофизики. Для второй группы до 2010-х гг. ничего, кроме скалолазов не существовало. В связи с этим мы предлагаем, чтобы для получения достоверной информации о размещении структурных элементов на различных масштабах применялась аэрофотосъемка с помощью малых беспилотных летательных аппаратов. Оптическое изображение объектов интереса дает возможность применения технологии фотограмметрии в геологических структур с точным позиционированием в пространстве и измерением их геометрических параметров. Полученные данные могут быть использованы для разработки геологических моделей и точного определения местных деформаций. При интерпретации геологических данных и анализе кинематики разрывных нарушений мы используем полученные трехмерные поверхности объекта исследования.

Аппаратура. Цель работы заключается в использовании МБПЛА (малых беспилотных летательных аппаратов) в исследованиях тектонофизики. Для исследований в тектонофизике, помимо высококачественных данных, требуется мобильность, поэтому используются небольшие МБПЛА, такие как модели GEOSCAN 801, DJI mini 2 или DJI mavic 3 [1]. Оптическая съемка позволяет использовать фотограмметрию для создания трехмерных моделей геологических структур с точной привязкой в пространстве. Полученные данные могут быть использованы для построения геологических моделей и определения локальных напряженно-деформированных состояний.

Методология работы. Обработка материалов фотосъёмки ведётся в приложении Agisoft Metashape. Применяется технология фотограмметрии – одно из направлений 3D-сканирования, основанное на получении данных о размерах и поверхностях реальных объектов за счёт фотоснимков (рис. 1) [2, 3]. Если кратко описать, то оно работает с помощью поиска похожих пикселей на каждой соседней фотографии, относительно центральной, создавая при этом объём, как это мы видим, используя стереоскоп. На выходе

фотограмметрической обработки мы получаем ряд полезных материалов: 1) 3D-поверхность; 2) карту высот; 3) ортофотоплан.



Рисунок 1 – Пример построения фотограмметрической модели с помощью «пар» снимков

Пример готовых данных о фотограмметрии представлены на рисунке 2. Данная поверхность основана на данных с полевой точки наблюдения и около 250 подробных фотоснимков на квадрокоптер.

За время полевых работ 2023 года отмечены следующие яркие признаки выхода разрывов на поверхность, видимые с помощью фотограмметрии: ломаная кривая темных оттенков, резкий цветовой градиент от песочно-ржавого до серых, большая концентрация мелкой трещиноватости, крупные вывалы пород из обнажений, наличие слабой/сильной обводнённости стенок обнажения.

Исходные данные фотограмметрии можно предварительно интерпретировать на качественном уровне, выбирая удобный ракурс для рассмотрения структуры (обычно под прямым углом к наклону склона). В программе Agisoft доступны функции измерения длин структур, что необходимо для корректного масштабирования. Таким образом, можно измерять толщины слоев, жил, зоны разрывов и дробления, а также амплитуды смещения по жилам или разрывам.

В выбранном и корректно определенном участке интереса проводятся все необходимые измерения (в метрах и сантиметрах), которые затем экспортируются в виде фотографии в любой графический редактор. После этого осуществляется визуальное выделение структурных элементов (см. рис. 2). Из приведенного примера на рисунке 2 видно, что с использованием данной технологии мы получаем точные данные об амплитуде и направлении смещений как крупных, так и мелких геологических структур, а также их местоположении в

пространстве. Таким образом, было установлено, что на точке наблюдения по нескольким жилам фиксируются субвертикальные, взбросовые смещения со средней амплитудой в 40 сантиметров.



Рисунок 2 – Интерпретированная 3D-поверхность обнажения, ориентирована под острым углом ко взгляду оператора. Красными линиями – трещины; бирюзовым полигоном – кварцевая жила

Выводы. В итоге полевой съёмки и применения новых технологий мы создали совершенно новый подход к анализу и визуализации данных о тектонофизике и структурной геологии, включающий в себя многоэтапную обработку фотоснимков и их синтез с любой другой структурной информацией, ранее не доступной человеку в таком виде.

Работы выполнены в рамках государственного задания Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН.

- Гордеев Н.А. Тектонофизическая обработка данных с МБПЛА // Динамическая геология – проблемы и достижения. Материалы Всерос. науч. конф., посвященной празднованию 270-летия МГУ им. М.В. Ломоносова и 90-летию со дня рождения Н.В. Короновского, М.А. Гончарова и М.Г. Ломизе. М.: Перо. 2023. С. 6-8. 52 Мб. [Электронное издание].
- 2. Гордеев Н.А. Применение МБПЛА в тектонофизических исследованиях, методика и алгоритмы // Современная тектонофизика. Методы и результаты. Материалы восьмой молодежной тектонофизической школы-семинара. М.: ИФЗ РАН. 2023. 197 с.
- 3. ГК «Геоскан». Приложение Agisoft. URL: https://www.geoscan.ru/ru/software/agisoftgeoscan.ru. Дата обращения: 19.11.2023.

ДОПЛЕРОВСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ В ИССЛЕДОВАНИЯХ ВОЗМУЩЕНИЙ В ИОНОСФЕРЕ

Ермашов Р.Р.

yer.romanio@gmail.com Институт ионосферы Аэрокосмического комитета МЦРИАП РК, г. Алматы, Казахстан

В данной работе предложен и реализован аппаратно-программный комплекс для проведения доплеровских измерений ионосферного сигнала, с применением SDR приёмника (Software Defined Radio). Этот комплекс разработан для изучения состояния ионосферы при различных гелио-геофизических возмущающих воздействиях. Доплеровское радиозондирование ионосферы проводится на слабонаклонных и наклонных радиотрассах «Институт Ионосферы» - «Радиополигон Орбита», Кувейт – «Радиополигон Орбита» и Урумчи (КНР) – «Радиополигон Орбита». Преимущества применения SDR приемника в доплеровской установке заключаются в возможности программной обработки радиосигналов, что позволяет достичь высокой точности и надежности при измерениях доплеровского частоты. Результаты экспериментальных сдвига исследований. выполненных с использованием аппаратно-программного комплекса доплеровских измерений, демонстрируют его высокую эффективность и пригодность для анализа ионосферных возмущений.

Ключевые слова: доплеровский сдвиг частоты, SDR приемник, возмущения в ионосфере.

Введение. Радиофизический метод доплеровского зондирования ионосферы в коротковолновом диапазоне частот — это признанный способ изучения связей между геофизическими процессами и ионосферными возмущениями. Суть метода заключается в том, что зондирующая радиоволна отражается от ионосферы и с доплеровским сдвигом частоты, зависящем от изменения электронной концентрации, принимается доплеровским радиоприемником на земле. Важным этапом в развитии доплеровских измерений было использование стандартов частоты на основе цезия или рубидия, что позволило определять фазу и частоту колебаний с высокой точностью.

Развитие доплеровского метода в Институте ионосферы было связано с использованием петли ФАПЧ (фазовой автоподстройки частоты), что решило проблему измерения доплеровских частот большего по амплитуде луча в условиях многолучевого распространения радиоволн [1].

Аппаратура и методика обработки. Ранее измерение доплеровского сдвига частоты (ДСЧ) ионосферного сигнала на наклонных радиотрассах проводилось с помощью аппаратно-программного комплекса (АПК) доплеровских измерений в основе которого использовался принцип работы петли ФАПЧ [2, 3]. В доплеровской установке применяли радиоприемное устройство типа Р-399, построенное по супергетеродинной схеме с гетеродином синтезаторного типа, где опорным генератором являлся рубидиевый стандарт частоты. С появлением технологии Software Defined Radio (SDR) появилась возможность заменить в доплеровской установке с петлей ФАПЧ радиоприемное устройство Р-399 на SDR приемник.

Принцип работы SDR приемника основывается на оцифровке принятого радиосигнала и дальнейшей его обработке в цифровой форме. Технологии Software Defined Radio (SDR) позволяют получить максимально высокие характеристики приёмного тракта. Основная обработка принимаемого сигнала осуществляется компьютером.

В представляемой доплеровской установке применен SDR приемник типа RSPdx фирмы SDRplay Ltd. Приемник RSPdx — это широкополосный полнофункциональный 14-

битный SDR приемник, который охватывает радиочастотный спектр от 1 кГц до 2 ГГц, обеспечивая ширину спектра до 10 МГц. Важным элементом приемника RSPdx является возможность подключения к приемнику внешнего высокостабильного генератора, например рубидиевого стандарта частоты, что существенно повышает частотную стабильность. Приемник RSPdx, используется в сочетании с собственным программным обеспечением SDRuno SDRplay на базе операционной системы Windows [4].

Функциональная схема доплеровской установки изображена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Функциональная схема приемной части аппаратно-программного комплекса для измерения доплеровского сдвига частоты радиосигнала, отраженного от ионосферы

Ионосферный сигнал от высокостабильного радиопередатчика, отразившись от ионосферы, поступает с антенны на вход SDR приемника типа RSPdx, который через USB порт соединен с компьютером. В программе SDRuno SDRplay, предназначенной для обработки сигнала с радиоприемника RSPdx выбирается режим для приема телеграфных сигналов СW в полосе 150 Гц. В результате, на выходе звуковой карты компьютера появляется сигнал с частотой около 1 кГц, в котором содержатся данные о доплеровской частоте ионосферного сигнала. Для регистрации ДСЧ организуется петля ФАПЧ. Для этого сигнал с частотой 1 кГц преобразуется в смесителе в частоту 215 кГц и далее после фильтрации узкополосным (300 Гц) электромеханическим фильтром подается на один из входов фазового детектора (ФД). На другой вход ФД подается сигнал от генератора, управляемого напряжением (ГУН). Сигнал с выхода ФД после пропорциональноинтегрирующего фильтра, который определяет параметры петли ФАПЧ, в виде напряжения постоянного тока воздействует на ГУН и подстраивает его под частоту принимаемого сигнала, причем изменение напряжения с выхода ФД пропорционально ДСЧ. Сигнал, пройдя ФНЧ-2 и усилитель постоянного тока (УПТ), оцифровывается с помощью аналогоцифрового преобразователя (АЦП) типа E-154 (Российской фирмы L-card) и в виде файла сохраняется в памяти персонального компьютера (ПК). ФНЧ-2 необходим для выделения доплеровской частоты большего по амплитуде луча при многолучевом приеме [2, 3]. Для удаленной связи компьютер доплеровской установки по Wi-Fi модему подключен к сети Интернет. Синхронизация бортового времени компьютера осуществляется от атомного

стандарта частоты и времени по сети Интернет по протоколу NTP. Для организации съема данных с АЦП, автоматизации процессов измерения, хранения данных в ПК и их визуализации написана специальная компьютерная программа.

Нелинейность преобразования доплеровской частоты в пропорциональное напряжение фазового детектора было оценено следующим образом. На вход SDR радиоприемника подавали высокостабильный сигнал с частотой 5 МГц, который перестраивали с шагом 0,5 Гц в интервале частот 5 Гц. Далее построили график зависимости изменения частоты от количества этих перестроек (N). В результате получили реальную характеристику преобразования. График реальной характеристики аппроксимировали прямой линией, соответствующей уравнению Y=1,0074*X-3.3974. Результаты расчета измерений приведены на рисунке 2.



Рисунок 2 – Сравнение реальной характеристики преобразования петли ФАПЧ в напряжении пропорциональном доплеровской частоте с идеальной характеристикой

На рисунке видим, что при сравнении идеальной характеристики преобразования с реальной характеристикой наблюдается нелинейность. В полосе удержания петли ФАПЧ (15 Гц) нелинейность реальной характеристики составила менее одного процента и имела величину 0,46%, что вполне достаточно для качественного измерения ДСЧ радиосигнала, отраженного от ионосферы в коротковолновом диапазоне частот.

Доплеровское зондирование ионосферы проводится, как на слабонаклонной радиотрассе, протяженностью 13 км, так и на наклонных радиотрассах, протяженностью 800 – 3000 км. На рисунке 3 представлена радиотрасса «Институт Ионосферы» – «Радиополигон Орбита», находящаяся в непосредственной близости от эпицентров Верненского и Кеминского катастрофических землетрясений, что позволит более эффективно регистрировать сейсмогенные эффекты в ионосфере.



Рисунок 3 – Слабонаклонная радиотрасса «Институт Ионосферы» – «Радиополигон Орбита»

Также доплеровское радиозондирование проводятся на наклонных радиотрассах Кувейт – «Радиополигон Орбита» и «Радиополигон Орбита» - Урумчи, протяженностью 3800 км.



Рисунок 4 – Схема расположения радиотрасс наклонного зондирования ионосферы: Кувейт – «Радиополигон Орбита» и «Радиополигон Орбита» - Урумчи

Результаты. Приведём пример регистрации ДСЧ ионосферного сигнала во время рентгеновских солнечных вспышек. На рисунке 5 представлена рентгеновская солнечная вспышка, произошедшая 24 февраля 2024 года (https://xras.ru), представляющая интересный случай для такого исследования.

Начало вспышки класса М4.5 было зафиксировано в 9:21 по московскому времени (6:21 UTC). Этот феномен сопровождался значительным увеличением солнечной активности

в области рентгеновского излучения. Максимальная мощность вспышки достигалась в 9:34 по МСК (6:34 UTC), после чего интенсивность вспышки начала постепенно снижаться. Вспышка завершилась около 9:44 по МСК (6:44 UTC).



Рисунок 5 – Рентгеновская солнечная вспышка, зарегистрированная 24.02.2024 г.

Наблюдения показали, что примерно в 6:28 по мировому времени (UTC), при реальном приеме ионосферного сигнала на наклонной радиотрассе Урумчи - Институт ионосферы на частоте 9560 кГц, был зафиксирован отклик ионосферы, появившийся примерно через 7 минут после начала регистрации рентгеновской солнечной вспышки. Доплеровский сдвиг частоты ионосферного сигнала составил приблизительно 3 Гц от фоновых значений. Длительность отклика составила примерно 50 секунд (рис. 6).



Рисунок 6 – Отклик ионосферы в доплеровском сдвиге частоты на рентгеновскую солнечную вспышку. 1 – всплеск ДСЧ на рентгеновскую вспышку. По оси X – время в секундах от начала суток

Пример регистрации ДСЧ во время геомагнитной бури. 3 марта в 16:22 по московскому времени (13:22 UTC) произошла слабая геомагнитная буря уровня G1, представленная на рисунке 7 (<u>https://xras.ru</u>).



Рисунок 7 – геомагнитная буря уровня G1, произошедшая 03.03.2024 г.

Влияние этой геомагнитной бури на ионосферу было зарегистрировано аппаратнопрограммным комплексом доплеровских измерений. На рисунке 8 представлены вариации ДСЧ в течение трех временных интервалах: за сутки до начала геомагнитной бури, во время ее активности и в течение суток после ее завершения. Возмущения в вариациях доплеровского сдвига частоты продолжались в течение примерно 13 часов 28 минут, начиная с 3 марта в 16:22 по московскому времени (13:22 UTC) и завершаясь 4 марта в 5:50 МСК (2:50 UTC). Доплеровская частота изменялась в интервале от -5 Гц до 4 Гц, причем его максимальная амплитуда достигала 5 Гц.



Рисунок 8 – Регистрация вариации доплеровского сдвига частоты ионосферного сигнала во время геомагнитной бури

Выводы. Аппаратно-программный комплекс доплеровских измерений с использованием SDR приемника (Software Defined Radio) был успешно применен для регистрации эффектов в ионосфере, во время рентгеновских солнечных вспышек класса M4.5 и геомагнитной бури уровня G1. В результате проведенных экспериментов была

продемонстрирована высокая эффективность комплекса и его пригодность для анализа ионосферных возмущений.

Работа выполнена в рамках реализации фундаментального научного исследования BR20280979 "Комплексное исследование воздействия источников возмущений солнечного происхождения на состояние околоземного космического пространства".

- 1. Салихов Н.М. Отклик ионосферы на акустические источники естественного и искусственного происхождения. Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Томск. 1985. 18 с.
- 2. Салихов Н.М. Новый метод регистрации динамики вспышек ионизации в ионосфере аппаратно-программным комплексом доплеровских измерений на наклонной радиотрассе // Известия НАН РК. Серия физико-математическая. 2016. № 4 (308). С. 27-33. ISSN 1991-346X.
- 3. Салихов Н.М., Сомсиков В.М. Аппаратно-программный комплекс для регистрации доплеровского сдвига частоты ионосферных радиосигналов над очагами землетрясений // Известия НАН РК. Серия физико-математическая. 2014. № 4 (296). С. 115-121. ISSN 1991-346X 47).
- 4. Интернет pecypc: https://www.sdrplay.com/

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ СТРУКТУРЫ БОБОТОГ СУРХАНДАРЬИНСКОГО РЕГИОНА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Закирова Г.С.

G.Zakirova@mingeo.uz

Министерство горнодобывающей промышленности и геологии РУз, г. Ташкент, Узбекистан

В статье описано геологическое и тектоническое строение площади Боботог Сурхандарьинской мегасинклинали, дана литолого-стратиграфическая характеристика разреза. Проведен сравнительный анализ геологической позиции структуры Боботог с месторождением Мустакилликнинг 25 йиллиги (Гаджак). На основе имеющегося геологогеофизического материала обоснована возможная перспективность выявленной структуры Боботог на нефть и газ, оценены перспективные ресурсы категории С₃. Даны рекомендации по дальнейшему направлению поисково-разведочных работ на данной площади.

Ключевые слова: мегасинклиналь, отложения, поднятие, горизонт, литология, стратиграфия, тектоника, ресурсы, ловушки, бурение, скважина.

Введение. Сурхандарьинский регион на сегодняшний день является одним из наиболее перспективных в отношении поиска нефтяных и газовых месторождений с целью наращивания углеводородной ресурсной базы Республики. Весьма актуален вопрос вовлечения в геологоразведочные работы стратиграфических комплексов, которые характеризуются незначительным объемом поисковых работ на нефть и газ, либо не вводились в поисковое бурение совсем. Особый интерес в данном регионе представляют юрские карбонатные отложения, которые ранее не были достаточно изучены в связи со сложным геолого-тектоническим положением территории, большими глубинами залегания, а также сложными поверхностными условиями. С целью обоснования подготовки новых локальных объектов к бурению на нефть и газ был проведен анализ геолого-геофизических материалов по выявленной структуре Боботог.

Тектоника. Сурхандарьинская мегасинклиналь является одним из элементов Афгано-Таджикской межгорной впадины и имеет очень сложное строение. Структура Боботог в тектоническом отношении расположена в пределах Ляльмикар-Джайранханинской зоны локальных поднятий восточной части Сурхандарьинской мегасинклинали, южнее на 4,5-5 км нефтяного месторождения Кокайты, нефтеносность которого связана с бухарскими известняками нижнего палеогена. (рис. 1).

Структура Боботог выявлена в 2023 году по результатам сейсморазведочных работ МОГТ-2Д, проведенных Каштарской с/п 19/2018-2021 филиала ФГЭ АО «Узбекгеофизика», в результате которых была построена структурная карта по отражающему горизонту T_1 (P₁), расположенному вблизи кровли бухарских слоев палеогена. Структура представляет собой антиклиналь субмеридионального простирания, размеры которой по отражающему горизонту T_1 по замыкающей изогипсе «-1700 м» составляют 2,5х3,75 км, амплитуда – 200 м, площадь – около 9 кв.км. В северной части структура экранируется разрывным нарушением северо-западного простирания, получающим своё продолжение в южном направлении справа от структуры (рис.2).

Литолого-стратиграфическая характеристика. В геологическом строении исследуемого региона принимают участие палеозойские отложения, формирующие фундамент, а также мезозойские и кайнозойские отложения осадочного чехла. Характерной особенностью разреза отложений платформенного этажа является большая мощность мезозой-кайнозойских образований (до 5 км) и наличие верхнеюрской соленосной толщи,

которая обусловливает резкое несоответствие структурных планов подсолевых и надсолевых комплексов пород [2].

Юрские отложения по своим литолого-фациальным особенностям делятся на три толщи: угленосную, карбонатную и сульфатно-галогенную.

Угленосная толща порядка 800-900 м, сложенная породами континентального генезиса (песчаники, алевролиты, угольные сланцы и т.д.), соответствует осадкам нижней и средней юры.

Карбонатная толща средне- и позднеюрского возраста сложена преимущественно морскими отложениями (песчаниками и алевролитами – в нижней части, известняками, доломитами и мергелями – в верхней). Мощность толщи достигает 600-700 м. Данная карбонатная толща обладает хорошими коллекторскими свойствами.

Сульфатно-галогенная толща титона (гаурдакская свита) сложена комплексом гидрохимических пород – каменной и калийной солями с прослоями песчаников и алевролитов, ангидритами и гипсами. Сульфатно-галогенный состав толщи обеспечивает хорошие пластичные и экранирующие свойства покрышки. Мощность толщи достигает 600-700 м [2].



Рисунок 1 – Схема тектонического районирования Сурхандарьинской мегасинклинали (по материалам ГУ «ИГИРНИГМ», 2022 г.)



Рисунок 2 – Структурная карта площади Боботог по кровле бухарских слоев палеогена T₁ (P₁Bch) (по данным АО «Узбекгеофизика»)

Нефтегазоносность. К настоящему времени в пределах Сурхандарьинского нефтегазоносного региона выявлено всего 14 месторождений: Мустакилликнинг 25 йиллиги (Гаджак), Миршади, Коштар, Ляльмикар, Джалаир, Хаудаг, Кокайты, Актау, Учкызыл, Джейранхона, Дасманага-Корсаглы, Амударья, Жанубий Миршади и Акджарсой. Основная часть этих месторождений являются нефтяными – 12, одно из них газовое (Гаджак) и одно нефтегазовое (Ляльмикар).

В восточной части Сурхандарьинской мегасинклинали находится 13 месторождений. Доказанная к настоящему времени продуктивность месторождений восточной части Сурхандарьинской мегасинклинали связана с палеогеновыми отложениями; преимущественно с горизонтами бухарских слоев палеоцена, а также с сузакскими, алайскими, туркестанскими слоями эоцена.

Очевидна закономерность, что имеющиеся открытые, преимущественно нефтяные, месторождения Сурхандарьинской мегасинклинали расположены на протяжении локальных поднятий, имеющих северо-западное простирание (рис. 1). В пределах Ляльмикар-Джайранханинской зоны локальных поднятий, где также находится структура Боботог, имеется 3 месторождения – Ляльмикар, Кокайты и Джейранхона.

Структура Ляльмикар была выявлена в 1936 г. по результатам геологической и гравиметрической съемок, а в 1939 г. подготовлена детальной геологической съемкой с учетом результатов бурения 8 структурно-картировочных скважин.

Поисково-разведочные работы начаты в 1942 г. Первооткрывательницей месторождения была поисковая скважина № 1, заложенная на северо-западном крыле

складки, из которой в 1943 г. с глубины 952,6 м был получен мощный фонтан газа дебитом 4000 тыс. м³/сут. В разряд месторождений структура была введена в 1943 году, а в эксплуатацию – в 1947 году.

Вскрытый разрез на месторождении Ляльмикар представлен породами мелового, палеогенового, неогенового и четвертичного возрастов.

Промышленная нефтегазоносность связана с палеогеновыми и меловыми отложениями. В алайских слоях эоцена вскрыта нефтегазовая залежь. В бухарских слоях палеогена выявлены пять залежей (I, II, III, IV, V горизонты) из которых 3 нефтегазовые (I, II, III горизонты) и 2 нефтяные (IV, V горизонты). Кроме того, в VIII горизонте меловых отложений выявлена газовая залежь.

Нефти продуктивных горизонтов месторождения Ляльмикар идентичны. По физикохимическим свойствам они относятся к среднетяжелым и тяжелым (0,887-1,054 г/см³), средне - и высокосернистым, парафинистым, высокосмолистым [1].

На сегодняшний день месторождение находится в разряде разрабатываемых.

Структура Кокайты выявлена в 1934 г. в результате геологической съемки. Позже, в 1936 г. детализирована геологической съемкой в масштабе 1:50000, по материалам которой составлена геологическая карта, явившаяся основой для заложения глубоких скважин.

Глубокое бурение начато в 1937 г., а в 1939 г. в скважине № 2 установлена промышленная нефтеносность бухарских слоев. Скважинами вскрыты отложения мелового, палеогенового и неогенового возрастов. Месторождение было введено в эксплуатацию в 1940 году.

Кокайтинская структура по кровле I горизонта бухарских отложений палеоцена представляет собой узкую, асимметричную антиклинальную складку северо-восточного простирания с пологим северо-западным крылом и более крутым юго-восточным. Размеры складки 7,5 х 1,2 км, высота 175 м.

Вдоль всего юго-восточного крыла проходит нарушение типа взброса (между скважинами № 44 и № 4) с амплитудой смещения пород – 70 м. Плоскость нарушения падает на северо-запад под углом 80-83°.

На месторождении Кокайты промышленная нефтеносность установлена в I, II, III горизонтах бухарских слоев палеоцена. Дебиты нефти от 1,5 т/сут (І горизонт) до 50 т/сут (ІІ горизонт). [1]

На сегодняшний день месторождение находится в разряде разрабатываемых.

Структура Джейранхона впервые была выявлена в 1934 г. и подготовлена в 1942 г. детальной геологической съемкой. В 1987 г. начата бурением скважина № 11, при испытании которой в 1988 г. были получены промышленные притоки нефти из палеогеновых отложений. В том же году структура введена в разряд месторождений. Вскрытый разрез на месторождении Джейранхона представлен породами палеогенового, неогенового и четвертичного возрастов. Структура Джейранхона по кровле I горизонта бухарских слоев палеогена представляет собой крупную брахиантиклинальную складку северо-восточного простирания, располагающуюся на территории двух государств – Узбекистана и Афганистана. Большая часть структуры (до 80 %) приходится на территорию Афганистана. Часть структуры, находящаяся на территории Узбекистана, по изогипсе «-1650 м» имеет размеры: длина 6,1 км, ширина 1,6 км, высота более 250 м.

Промышленная нефтеносность месторождения Джейранхона установлена в отложениях бухарских слоев палеогена (I, II, III горизонты).

Дебиты нефти изменяются от 0,6 м³/сут (II горизонт) до 3,0 м³/сут (I горизонт). Тип залежей – пластовый сводовый. Водонефтяные контакты приняты на абсолютных отметках: «-1625 м» (I пласт); «-1575 м» (II пласт); «-1525 м» (III пласт).

На сегодняшний день месторождение Джейранхона находится в разряде разрабатываемых. Было введено в эксплуатацию в 1988 г. [1].

Таким образом во всех трех месторождениях Ляльмикар-Джайранханинской зоны локальных поднятий доказанная продуктивность связана, в основном, с палеогеновыми и

частично с меловыми отложениями. Однако, вопрос продуктивности юрских отложений остается открытым, поскольку они не пройдены и не вскрыты скважинами в связи со сложным геолого-тектоническим положением и особенностями строения рельефа. Продуктивность юрских отложений доказана на месторождении Мустакилликнинг 25 йиллиги (Гаджак), находящемся в западной части Сурхандарьинской мегасинклинали.

Структура Гаджак впервые выявлена геологической съемкой в 1933 г. и подготовлена к бурению в 1938 г. В 1941 г. была пробурена первая поисковая скважина, при опробовании которой были получены непромышленные притоки нефти. В 1974 году при опробовании скважины № 5 получены промышленные притоки газа из нижнемеловых отложений. В этом же году структура введена в разряд месторождений. Первооткрывательницей месторождения является скважина № 5. По кровле XV горизонта верхнеюрских карбонатных отложений структура Гаджак представляет собой крупную пологую брахиантиклиналь субширотного простирания, ограниченную с юго-востока и востока региональным разломом надвигового типа. В западной части проходит субмеридиональный сброс с небольшой амплитудой смещения западного и восточного блоков. Промышленная газоносность связана с XIV горизонтом нижнемеловых терригенных отложений и XV+XVa горизонтами карбонатных отложений верхнеюрского возраста.

Дебиты газа из XIV горизонта изменяются от 5 тыс. м³/сут (скв. № 5 Баянгора) через 22 мм штуцер до 54 тыс. м³/сут (скв. № 5 Баянгора) через 8 мм штуцер. Тип залежи пластовый сводовый. Газо-водяной контакт принят на абсолютной отметке «-1801 м».

Дебиты газа из верхнеюрских отложений изменяются от 12 тыс. м³/сут (скв. № 15 - Гаджак) через 22 мм штуцер до 547 тыс. м³/сут (скв. № 40 Гаджак) через 12 мм штуцер. Тип залежи массивный сводовый, тектонически-экранированный. Газо-водяной контакт принят на абсолютной отметке «-2700 м» [1].

На сегодняшний день месторождение находится в разряде подготовленных для промышленного освоения.

По аналогии с имеющимися ближайшими месторождениями к выявленной структуре Боботог по данным и с помощью специалистов АО «Узбекгеофизика» подсчитаны и оценены перспективные ресурсы сухого газа для данной площади по меловым и юрским отложениям, которые составили 19221 млн.м³.

Учитывая, что юрские и меловые отложения накапливались в единых условиях осадконакопления, можно предполагать, что юрские отложения на всей территории Сурхандарьинской мегасинклинали являются продуктивными. Тем более, что они имеют все благоприятные предпосылки для скопления залежей нефти и газа в виде пород-коллекторов и пород-покрышек.

Исходя из проведенного анализа, можно прийти к выводу, что юрские отложения в пределах Сурхандарьинской мегасинклинали практически не изучены глубоким бурением. Целенаправленные геологоразведочные работы, ориентированные на опоискование юрских карбонатных отложений в данном регионе, приведут с большой долей вероятности к открытию новых месторождений, аналогичных месторождению Мустакилликнинг 25 йиллиги (Гаджак). В связи с этим рекомендуется подготовить к поисковому бурению по меловым и юрским отложениям структуру Боботог с целью поиска залежей нефти и газа.

- 1. Абдуллаев Г.С., Богданов А.Н., Эйдельнант Н.К. Месторождения нефти и газа Республики Узбекистан. Ташкент: Zamin Nashr. 2019. 820 с.
- 2. Пулатова У.П. «Геолого-геофизический отчет о перспективах нефтегазоносности Сурханского инвестиционного блока, выполненный по результатам геологоразведочных работ, проведенных компанией Petronas согласно Соглашению по проведению геологического изучения недр Сурханского инвестиционного блока». Ташкент: ОАО «ИГИРНИГМ». 2012.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И ПОТЕНЦИАЛ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ МЕЛОВЫХ И ЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ СУРХАНДАРЬИНСКОЙ МЕГАСИНКЛИНАЛИ

Закирова Г.С.¹, Хожиев Б.И.², Сариев Р.Х.³

bixojiyev@mail.ru, sariev_83@mail.ru ¹ Министерство горнодобывающей промышленности и геологии РУз, г. Ташкент, Узбекистан ² Ташкентский государственный технический университет им. И. Каримова, г. Ташкент, Узбекистан ³ АО «Узбекгеофизика», г. Ташкент, Узбекистан

B особенности статье освещены геологического тектонического строения u Сурхандарьинской мегасинклинали, охарактеризованы литологодетально стратиграфические параметры разреза. Описано строение юрского разреза по литологофациальным особенностям. Дана характеристика нефтегазоносности Сурхандарьинского региона на примере месторождений Мустакиллик-25 йиллиги (Гаджак) и Ляльмикар. На основе анализа и обобщения данных по региону даны рекомендации по дальнейшему направлению поиково-разведочных работ с целью увеличения ресурсов УВ.

Ключевые слова: поднятие, горизонт, литология, фация, стратиграфия, ловушки, бурение, скважина.

Введение. За годы независимости в Республике Узбекистан наблюдается интенсивный рост потребления углеводородного сырья, что требует наращивания темпов геологоразведочных работ, обеспечивающих достаточно высокий прирост запасов нефти и газа. В настоящее время в республике основной задачей геологоразведочных работ является обеспечение промышленности стабильными энергоресурсами. В последние годы рост и развитие промышленных предприятий привели к увеличению энергопотребления, что, в свою очередь, способствует уменьшению запасов нефти и газа. В связи с этим одной из приоритетных задач нефтегазовой отрасли является восполнение ресурсной базы углеводородов, в том числе на основе исследований продуктивности и потенциала нефтегазоносности новых стратиграфических комплексов и площадей, с учетом последних полученных геолого-геофизических данных.

В нашей республике геологоразведочные работы на углеводородное сырьё сконцентрированы в основном в Бухаро-Хивинском и Устюртском регионах, и открываемые месторождения имеют сложное геологическое строение и небольшие запасы, которые не могут удовлетворить сегодняшний спрос. Чтобы гарантированно обеспечить будущие потребности республики в углеводородах, необходимо ускорить геологические исследования в Сурхандарьинском регионе, который на сегодняшний день считается второстепенным.

Тектоника. В тектоническом отношении Сурхандарьинская мегасинклиналь является одним из составных элементов сложно построенной гетерогенной Афгано-Таджикской межгорной впадины. На схеме тектонического районирования Сурхандарьинская мегасинклиналь разделена на Западно-Сурхандарьинский и Восточно-Сурхандарьинский блоки (рис. 1). Эти блоки отделяются друг от друга по линии Западно-Хаудагского разлома и различаются между собой по степени дислоцированности надсолевых отложений, а также по истории геологического развития. Более интенсивно дислоцированным блоком является Восточно-Сурхандарьинский. В пределах указанных блоков выделяется ряд зон антиклинальных поднятий с входящими в их состав локальными складками [2].

В пределы Сурхандарьинской мегасинклинали входят Дербентская, Акташ-Гаджакская, Бешкыз-Аккапчигайская, Сангардакская, Каракурт-Истаринская, Аширхан-Баташская, Ангорская, Юрчи-Пахтаатадская, Учкызыл-Миршадинская, Джаркурганская, Ляльмикар-Джайранханинская, Каттабаш-Кошчекинская, Актау-Раджабмархурская, Коштар-Курганчинская, Заркоса-Корсаглинская, Амударья-Карасыртская зоны антиклинальных поднятий (рис.1).



Рисунок 1 – Схема тектонического районирования исследуемой территории (по данным ГУ "ИГИРНИГМ")

Литолого-стратиграфическая характеристика. Мезозойские отложения с угловым и стратиграфическим несогласием залегают на дислоцированной поверхности палеозойских отложений. Они представлены породами юрской и меловой систем.

В разрезе юры по литолого-фациальным особенностям выделяются три формации: терригенная – нижнесреднеюрского, карбонатная – келловей-оксфорд-кимериджского и галогенная – титонского ярусов.

Нижнесреднеюрские отложения наземного и прибрежно-морского генезиса представлены внизу пачкой переслаивания светло-серых гравелитов и конгломератов и крупнозернистых кварцевых песчаников, переходящих выше по разрезу в толщу чередующихся темно-серых до черных алевролитов, углистых сланцев, песчаников и углей. Венчается разрез пачкой переслаивания серых аргиллитов, известняков и мергелей. Общая мощность изменяется от 250 м до 900 м и более.

Разрезы карбонатной формации сложены в нижней секции (келловей) серыми известняками, ракушняками, мергелистыми глинами и мергелями. Мощность этих отложений 300-390 м. Верхняя часть разреза (оксфорд-кимериджа) сложена известняками темно-серыми, черными битуминозными слоистыми с прослоями органогенных известняков с пропластками вверху песчано-глинистых мергелей. Общая мощность карбонатной формации варьирует в широком диапазоне от 160 м до 750 м [1].

Завершает разрез юрской системы соляно-ангидритовая формация титонского яруса, в которой обособляются три различные по литологическому составу толщи пород: ангидритовая, соляная и гипсово-ангидритовая. Ангидритовая толща сложена ангидритами мощностью до 400м, соляная – мощными пластами галита с прослоями сильвинита, карналлита, гипса, ангидрита и известняка, мощностью до 500м, гипсово-ангидритовая - гипсами, ангидритами с прослоями красно-бурых глин, мергелей с редкими прослоями известняков и доломитов. Общая мощность этой толщи около 900 м, к северу она резко уменьшается до 50 м, в центральной части Сурхандарьинской мегасинклинали, повидимому, достигает 1000 м. На площади Гаджак мощность этой толщи составляет 1620 м.

Меловая система представлена в объеме нижнего и верхнего отделов, отложения которых на отдельных участках обнажаются в горных обрамлениях. По литологическим признакам в разрезе меловой системы выделяются две толщи: красноцветная в объеме неокомского надъяруса и сероцветная, охватывающая диапазон от аптского яруса до сенонского надъяруса [1].

В разрезе нижнего мела выделяются валанжинский, готеривский, барремский (неокомский надъярус), аптский и альбский яруса. В разрезе валанжинского яруса выделяются карабильская и альмурадская свиты, готеривского – кызылташская, аптского - калигрекская. Разрез неокомского надъяруса сложен, в основном, чередующимися глинами, алевролитами и песчаниками с прослоями мергелей, известняков и гипсов. В основании преобладают красноцветные породы, а вверх по разрезу цвет их меняется от зеленовато-серого до темно-серого. Мощность неокома достигает более 800м.

Разрез апта (калигрекская свита) представлен, в основном, серыми, зеленоватосерыми песчаниками с прослоями алевролитов, глин и известняков морского генезиса. Мощность их до 106 м.

Альбские отложения с размывом залегают на аптских породах, в подошве разреза – песчаники с прослоями конгломератов, выше по разрезу чередующиеся мергели, известняки с прослоями алевролитов и песчаников. Завершают разрез пестроцветные песчаники с прослоями глин, серых устричных известняков, мергелей, алевролитов. Мощность альба до 410 м.

Верхнемеловые отложения представлены морскими образованиями. В разрезе выделяются сеноманские, туронские и сенонские отложения.

Сеноманский разрез сложен песчаниками, алевролитами, известняками, в средней части появляются глины с прослоями алевролитов, песчаников и известняков, кровельная

часть представлена оолитовыми известняками, мергелями, песчаниками, алевролитами и глинами. Мощность отложений до 330м.

Разрез туронского яруса представлен внизу алевролитами, глинами и мергелями, кверху сменяющимися глинами с прослоями ракушняков и известняков, мощность их до 360 м.

Сенонский разрез сложен переслаивающимися глинами, песчаниками и алевролитами с прослоями известняков. Мощность сенона до 600 м. Общая мощность меловых отложений более 2600 м.

Нефтегазоносность. В результате геологоразведочных работ Сурхандарьинской мегасинклинали открыто 14 месторождений углеводородов, из них 12 по палеогеновым отложениям, 2 по меловым отложениям и 1 только по юрским отложениям.

В Сурхандарьинской мегасинклинали по юрским и меловым отложениям открыто два месторождения это Мустакиллик-25 йиллиги (Гаджак) и Ляльмикар.

В тектоническом отношении месторождение Мустакиллик-25 йиллиги (Гаджак) приурочено к Акташ-Гаджакской зоне поднятий.

В 1962 году структура Мустакиллик-25 йиллиги (Гаджак) переподготовлена структурным бурением и в 1974 году при опробовании скважины № 5 получены промышленные притоки газа из нижнемеловых отложений.

Промышленная газоносность месторождения Мустакиллик-25 йиллиги (Гаджак) связана с XIV горизонтом нижнемеловых терригенных отложений и XV+XVa горизонтами карбонатных отложений юрского возраста.

Дебиты газа из XIV горизонта изменяются от 5 тыс. м³/сут (скв. № 5) через 22 мм штуцер до 54 тыс. м³/сут (скв. № 5) через 8 мм штуцер. Тип залежи пластовый сводовый. Дебиты газа из верхнеюрских отложений изменяются от 12 тыс. м³/сут (скв. № 15) через 22 мм штуцер до 547 тыс. м³/сут (скв. № 40) через 12 мм штуцер. Тип залежи массивный сводовый, тектонически-экранированный [1].

В тектоническом отношении месторождения Ляльмикар приурочено к Ляльмикар-Джайранханинской зоне поднятий Восточно-Сурханской структурно-тектонической зоны.

Промышленная нефтегазоносность связана с палеогеновыми и меловыми отложениями. В алайских слоях эоцена вскрыта нефтегазовая залежь. В бухарских слоях палеогена выявлены пять залежей (I, II, III, IV, V горизонты) из них 3 нефтегазовые (I, II, III горизонты) и 2 нефтяные (IV, V горизонты). Кроме того, в VIII горизонте меловых отложений выявлена газовая залежь.

Дебиты газа составляют от 55,0 тыс. м³/сут (скв. № 45) до 1944,0 тыс. м³/сут и по типу залежи относятся к пластовым сводовым.

Заключение. Для увеличения ресурсной базы Сурхандаринской мегасинклинали необходимо:

– в пределах Сурхандаринской мегасинклинали увеличить объем сейсмических работ, направленных на подготовку структур по юрским и меловым отложениям, а именно в пределах Восточно-Сурханского блока;

– для увеличения запасов углеводородов необходимо бурение поисковых скважин на площадях месторождений, продуктивность которых доказана по палеогеновым отложениям, с целью оценки потенциала нижележащих отложений.

- 1. Абдуллаев Г.С., Богданов А.Н., Эйдельнант Н.К. Месторождения нефти и газа Республики Узбекистан. Ташкент: Zamin Nashr. 2019. 820 с.
- 2. Мамиров Ж.Р. Создание электронной карты тектонического районирования нефтегазоносных регионов Республики Узбекистан. Отчет НИР (заключ.). Ташкент: ИГИРНИГМ. 2022. 310 с.

ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ И БУРОВОЙ ИЗУЧЕННОСТИ ЮРСКИХ И МЕЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ СУРХАНДАРЬИНСКОЙ МЕГАСИНКЛИНАЛИ

Закирова Г.С.¹, Хожиев Б.И.², Сариев Р.Х.³

G.Zakirova@mingeo.uz, bixojiyev@mail.ru, sariev_83@mail.ru ¹ Министерство горнодобывающей промышленности и геологии РУз, г. Ташкент, Узбекистан ² Ташкентский государственный технический университет им. И. Каримова, г. Ташкент, Узбекистан ³ АО «Узбекгеофизика», г. Ташкент, Узбекистан

Авторами статьи проведен детальный анализ состояния изученности восточной части Сурхандарьинской мегасинклинали, основанный на изучении научно-исследовательских работ по данной территории, комплексном анализе материалов геофизической изученности. Описано состояние буровой изученности, в результате чего вычислена плотность проведенного бурения, а также сейсморазведочных работ на единицу площади, дана оценка степени изученности данной территории. Рекомендовано продолжение изучения относительно малоизученных глубокозалегающих стратиграфических комплексов геофизическими методами и поисково-разведочным бурением.

Ключевые слова: поднятие, прогиб, мегасинклиналь, горизонт, карбонатные отложения, сейсморазведка, ловушки, бурение, скважина.

Сурхандарьинская мегасинклиналь, являющаяся составной структурной единицей Афгано-Таджикской депрессии, характеризуется очень сложным тектоническим строением. Этой проблеме посвящены труды многих исследователей (Азимов П.К., Абрамов Р.Н., Абидов А.А., Бабаев А., Варенцев М.Н., Гарецкий Р.Г., Лебзин Е.В., Мусаев С.Н., Рыжков О.А., Ситдиков Б.Б., Гильвирский Е.Е., Умарходжаев У.С. и др.).

В современном структурном плане Сурхандарьинской мегасинклинали на основании различной по характеру и интенсивности складчатости, а также мощности осадочного чехла выделяются 4 структурные зоны: Байсунская, Келиф-Сарыкамышская, Западно-Сурханская и Восточно-Сурханская [3].

Согласно геодинамической карте Узбекистана, составленной Бабаджановым Т.Л. (2009 г.), по кровле палеозойских образований Сурхандарьинская мегасинклиналь имеет очень сложное строение. В первом приближении можно выделить две бортовые зоны – западную и восточную, а также центральную часть впадины, каждая из которых осложнена морфоструктурами различных порядков. Восточно-Сурхандарьинский блок является более интенсивно дислоцированным [2].

Восточная часть Сурхандарьинской мегасинклинали в направлении с запада на восток включает зоны локальных поднятий: Учкызыл-Миршадинскую, Джаркурганскую, Ляльмикар-Джайранханинскую, Каттабаш-Кошчекинскую, Актау-Раджабмархурскую, Коштар-Кургачинскую, Заркоса-Карсоглинскую и Амударья-Карасыртскую. Все они имеют субмеридиональное простирание.

Большой вклад в изучение глубинного строения, тектоники, стратиграфии и нефтегазоносности Сурхандарьинской мегасинклинали внесли многие выдающиеся ученые, такие как: И.В. Мушкетов, А.Д. Архангельский, Н.С. Шатский, А.П. Марковский, О.С. Вялов, М.В. Муратов, Н.П. Туаев, О.А. Рыжков, Б.Б. Таль-Вирский, Г.Х. Дикенштейн, Д.П. Резвой, А.Л. Яншин, В.И. Браташ, В.И. Попов, А.М. Акрамходжаев, Б.Б. Ситдиков, А.Г. Бабаев, А.А. Абидов, П.К. Азимов Т.Л. Бабаджанов, Ш.Д. Давлятов, Ф.Х. Зуннунов, З.С. Ибрагимов, Р.У. Каломазов, В.А. Пак, Ю.Г. Педдер, Х.И. Юсупходжаев и многие другие.

Изучение территории восточной части Сурхандарьинского региона началось с геолого-съемочных работ в конце 20-х годов прошлого столетия и продолжались вплоть до
90-х годов. В результате были выявлены и закартированы многие структуры и определены места заложения первых глубоких скважин на месторождениях Амударья (1964), Коштар (1966), Миршади (1985) и др.

Также по всей территории Сурхандарьинской мегасинклинали проводилось дешифрирование аэрокосмофотоаномалий. По мнению В.У. Внучнова и К.И. Руссо (1980), все концентрические объекты Байсунской впадины и сопредельных территорий отождествляются с подсолевыми антиклиналями, на примере Гаджакской антиклинальной ловушки. В результате дешифрирования аэрокосмофотоаномалий различными авторами были выявлены линейные фотоаномалии, отождествленные с разрывными дислокациями, установлены площадные фотоаномалии, выделены линейные и дуговые элементы, которые могут использоваться при трассировании разломов (линеаментов) и картировании погребенных антиклиналей (кольцевых структур). На основе этих данных рекомендована постановка геофизических работ на ряде площадей [4].

Геофизические исследования в Сурхандарьинском регионе проводятся с 1957 года и направлены на изучение глубинного геологического строения территории, выявление закономерностей в размещении залежей нефти и газа, поиск нефтегазоперспективных ловушек в отложениях палеогена, мела и юры.

Район исследований полностью покрыт гравиметрической и аэромагнитной съёмками масштаба 1:200000 (Фузайлов И.А., Котляревский Л.Н., 1959-1961; Смолина Т.В., Кузнецов Е.С., 1959-1984). В результате получено общее представление о тектоническом строении региона, главным образом по поверхности отложений палеозойского возраста [1].

Магниторазведка. Аэромагнитной съемкой покрыта вся площадь Сурхандарьинской мегасинклинали. Крупномасштабная наземная съемка выполнялась по отдельным участкам в пределах горного обрамления. Работы выполнялись под руководством Л.Н. Котляревского, И.А. Фузайлова, Я.Г. Воробьева, А.К. Шукевича, М.А. Вахрушевой [4].

Установлено, что магнитное поле Сурхандарьинской мегасинклинали преимущественно отрицательное, имеет близкие к нормальному значения, характеризует, в основном, особенности геологии и тектоники верхней части складчатого основания. Анализ результатов аэромагнитной съемки позволил сделать вывод, что состав верхней части фундамента испытывает изменения в субмеридиональном направлении, в пределах выделенных здесь субширотных аномальных зон и с запада на восток, что проявляется в локальных аномалиях северо-восточного и северо-западного простираний [4].

Электроразведка. Вся территория Сурхандарьинской впадины за период с 1957 г. по 1963 г. (А.А. Саркисян, А.М. Каспарьян, А.А. Акрамов) покрыта съемкой методом ВЭЗ масштаба 1:200000.

Итоговым результативным материалом этих работ является сводная структурная карта по кровле бухарских слоев (Акрамов, 1964), которая вплоть до 1984 г. служила геологической основой при направлении геолого-поисковых работ, особенно, в глубоко погруженных зонах, остающихся до сих пор малоизученными. Данные электроразведки о тектонике района легли в основу составленных структурно-тектонических схем С.И. Мусаева, В.В. Рубо, Р.Х. Сайфи, Б.Б. Таль-Вирского и др. [1].

В течение 1960-1963 гг., а затем 1969-1972 гг. Яккабагской и Бухарской экспедициями в пределах Байсунской котловины и Келиф-Сарыкамышской гряды выполнены в большом объеме электроразведочные работы ВЭЗ, ДЭЗ, МТЗ, МТПП.

С конца 1970-х годов XX века для изучения глубинного строения мегасинклинали стал широко использоваться метод магнитотеллурического зондирования (МТЗ) [1].

Электроразведка ГМТЗ масштаба 1:500000 проводилась на территории к востоку от Келиф-Сарыкамышской гряды и охватила площадь около 7 тыс. км². По результатам работ получены данные о строении геоэлектрического разреза. По мнению авторов, высокоомные интервалы соотносятся с поверхностью фундамента [4].

С 1970-1979 гг. (В.Я. Синельников, Э.Г. Нюссер, Белявский В.В., Ким Г.В.) проводилось опробование и внедрение в производство метода TT с целью поиска локальных

аномалий, возможно обусловленных поднятиями в палеогеновых отложениях, и МТЗ с целью изучения глубинного строения и картирования поверхности складчатого фундамента. Исследования проводились в пределах восточного борта Сурхандарьинской впадины от площадей Южный Ляльмикар, Северный Актау на юге до площади Пахтаабад на севере [1].

Полученные данные ТТ позволили качественно дополнить и уточнить схему тектоники восточного борта Сурхандарьинской впадины.

В результате работ МТЗ, выполненных по равномерной сети (12-15 х 3-5 км) региональных профилей, секущих Сурхандарьинскую впадину в субширотном направлении, получены более надежные сведения о рельефе и глубинах залегания поверхности геоэлектрического горизонта (Pz), оцениваемые в 10-12 км в Сурхандарьинском прогибе и в 9-10 км на северо-западном крыле Бабатагской мегасинклинали, в районе месторождения Коштар [1].

Сейсморазведока. На начальном этапе исследований сейсморазведочные работы носили регионально-поисковый характер, что в совокупности со значительным объемом выполненных работ, позволило выделить отражающие горизонты палеогеновых, меловых и, отчасти, юрских отложений. Полученные данные были использованы при построении структурных карт, составленных по кровле залегания бухарских известняков палеогена, на которых выделены участки субмеридиональных взбросов, надвигов и субширотных сдвигов. Региональные исследования подтвердили мозаично-блоковый характер тектонического строения региона. При этом удалось определить и глубину залегания продуктивных юрских отложений в пределах погруженных участков мегасинклинали (6,5-7,5 км). Однако наиболее полезная информация получена в основном для палеогеновых отложений. Детальные сейсморазведочные работы позволили уточнить геологическое строение локальных структур Джейранхана, Северный Акджар, Пограничная и др.

На сегодняшний день с целью изучения скоростной характеристики отложений мелового и юрского возрастов на исследуемой территории в 34 скважинах выполнено вертикальное сейсмическое профилирование (ВСП).

Сейсморазведочные исследования МОВЗ, КМПВ и ГСЗ проводятся в регионе с конца 50-х годов с целью изучения осадочного чехла и палеозойского фундамента и поисков перспективных структур по палеогеновому (Сурхандарьинская впадина), верхнеюрскому (Байсунская котловина) нефтегазоносным комплексам для подготовки их под глубокое бурение.

Наиболее эффективным методом изучения глубинного геологического строения Сурхандарьинской впадины является сейсмическая разведка МОВ и, особенно, его модификация МОГТ. С середины 1960-ых годов сейсморазведка МОВ ориентируется на поиски ловушек в подсолевых юрских отложениях.

В восточной части Сурхандаринской мегасинклинали, площадью 6664 км², объём выполненных сейсморазведочных работ 2D составляет 6912 пог.км, следовательно средняя плотность покрытия сети профилей 2D – 1,04 пог.км/км².

Сейсморазведочные работы 3D в восточной части Сурхандаринской мегасинклинали не выполнялись.

Изученность района работ глубоким бурением в таких сложных условиях остаётся низкой и без тесного комплексирования с сейсморазведочными работами невозможно получить достаточно полную надежную информацию о его геологическом строении.

Наиболее высокой степенью разбуренности характеризуется палеогеновый комплекс отложений. Меловые отложения вскрыты единичными скважинами на месторождениях Учкызыл, Хаудаг, Ляльмикар, Амударья, Кокайты, Коштар и площадях Актау, Дасманага и др. [4].

Всего по восточной части Сурхандарьинской мегасинклинали было пробурено 542 скважины, общим метражом 559,5 тыс.м м Плотность бурения для рассматриваемой территории площадью 6664 км² составляет 12,3 км² на 1 скважину по кайнозойским

отложениям, что соответствует территории со средней степенью изученности. Меловые и юрские отложения на исследуемой территории вскрыты единичными скважинами.

Анализ материалов региональных геолого-геофизических исследований показал, что в Сурхандарьинской мегасинклинали они проведены в недостаточном объеме и практически ограничились выявлением общего структурного плана верхнего надсолевого комплекса и оценкой его нефтегазоносности. Важнейшие вопросы глубинного строения основных тектонических элементов и соотношения структурных планов по различным горизонтам остались нерешенными. Нет четкой гипотезы о строении подсолевых юрских горизонтов, пространственном положении зон нефтегазонакопления, типах поисковых объектов в нижнем структурном этаже. До настоящего времени слабо изученной остается северовосточная и восточная части Сурхандарьинской мегасинклинали.

В заключении хотелось бы отметить, что на сегодняшний день в восточной части Сурхандарьинской мегасинклинали проведён значительный объем геолого-геофизических исследований, но целенаправленное изучение юрских подсолевых отложений и поднадвиговых ловушек остается на недостаточном уровне. Для увеличения эффективности геологоразведочных работ рекомендуется целенаправленное изучение верхнеюрских карбонатных и меловых терригенных отложений.

Литература

- 1. Деревянко В.И. и др. Поисково-детальные сейсморазведочные работы ОГТ в юговосточной части Сурхандарьинской впадины. Отчет. Ташкент. 2008. С. 26-28.
- 2. Мамиров Ж.Р. и др. Создание электронной карты тектонического районирования нефтегазоносных регионов Республики Узбекистан. Отчет. Ташкент. 2021. С. 40, 143.
- 3. Пулатова У.П. и др. Геологический отчет о результатах нефтегазопоискового бурения на площадях Кызыларча, Акпиляль, Западный Шорбулак, Восточный Муян (Ферганская впадина) и Ляйлякан (Сурхандарьинская мегасинклиналь) с целью определения дальнейших ГРР в их пределах. Отчет. Ташкент. 2005. С. 203.
- 4. Пулатова У.П. и др. Комплексное изучение подсолевых карбонатных юрских отложений Сурхандарьинского региона с целью обоснования постановки геолого-геофизических работ на нефть и гази разработка программы геологоразведочных работ на 2008-2010 гг. Отчет. Ташкент. 2008. С. 30-32, 63.

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ И МАГНИТУДЫ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА

Зверева А.С. zvereva.as59@gmail.com Единая геофизическая служба РАН, г. Обнинск, Россия

По данным сети сейсмических станций ФИЦ ЕГС РАН выполнены оценки спектральных параметров очагов 127 землетрясений Северного Кавказа за период 2008-2021 гг. с использованием модели очага по Брюну. В результате определены скалярные сейсмические моменты, на основании которых рассчитаны моментные магнитуды M_w для очагов региональных сейсмических событий Северного Кавказа умеренной энергии (9< K_P <13). Полученные оценки моментной магнитуды будут использованы для улучшения качества и полноты каталогов землетрясений Северного Кавказа, поскольку шкала моментных магнитуд является предпочтительной магнитудой в каталогах землетрясений. Сравнение полученных автором спектральных параметров с данными других источников (GCMT) показало их близкое соответствие. Для землетрясений малой и средней силы для территории Северного Кавказа установлены зависимость $M_w=M_L+0.02$ в диапазоне магнитуд $M_w=3.0-4.5$, т.е. установлено их близкое соответствие. Также получена зависимость между значениями энергетического класса и двух региональных магнитуд $M_w=M_L$.

Ключевые слова: Северный Кавказ, спектральные параметры, модель Брюна, сейсмический момент, моментная магнитуда

Введение. Изучение очаговых спектров землетрясений интересно для физики очага землетрясения, а также важно для решения инженерно-сейсмологических задач. Кавказский регион является частью Альпийско-Гималайского орогенного пояса, расположенного между Черным и Каспийскими морями, вместе с прилегающей к ним южной частью молодой эпигерцинской Скифской плиты, занимающей равнинное Предкавказье. Согласно карты детальной оценки сейсмической опасности [1] уровень сейсмических воздействий в целом достигает 8 баллов по картам ОСР А, В и несколько превышает 9 баллов по карте С, что соответствует территориям с высоким уровнем сейсмической опасности. За 2000–2022 гг. в зоне ответственности ФИЦ ЕГС РАН было зарегистрировано более 20 тысяч событий [2].

Расчет региональных значений затухания в виде частотно-зависимой добротности среды Q позволил начать работы по оценке очаговых спектров и расчету спектральных параметров для кавказских землетрясений [3, 4]. Таким образом, по данным действующей сети сейсмических станций ФИЦ ЕГС РАН выполнен расширенный анализ очаговых спектров, в результате которого определены скалярные сейсмические моменты и моментные магнитуды M_w для очагов региональных сейсмических событий Северного Кавказа умеренной энергии (9<K_P<13). В настоящее время наиболее предпочтительной магнитудой в каталогах землетрясений [5], является моментная магнитуда M_w [6], однозначно связанная с сейсмическим моментом очага, M_0 . Полученные оценки моментной магнитуды могут быть использованы для улучшения качества и полноты каталогов землетрясений Северного Кавказа, которые публикуются в ежегодных изданиях «Землетрясения Северной Евразии» и «Землетрясения России» [7,8].

Методика. Для решения различных задач сейсмологии в качестве модели сейсмического очага наиболее распространена модель «омега-квадрат» (ω^{-2}) Дж. Брюна [9], включающая плоский ($\sim f^{0}$) участок на низких частотах и убывание по f^{2} на высоких

частотах. Эта модель широко применяется и хорошо согласуется с данными наблюдений в регионах с различными тектоническими условиями.

$$S(f) = \frac{M_0}{\left(1 + \left(\frac{f}{f_c}\right) 4\pi\rho V^3\right)},\tag{1}$$

где M_0 – сейсмический момент [H·м], ρ – плотность (кг/м³), V – скорость в очаге (м/с) (V_p или V_s), f – частота (Гц) и f_c – угловая (характерная) частота (Гц).

Для расчета очагового спектра в наблюденный станционный спектр необходимо внесение поправки за геометрическое расхождение и неупругое затухание, после чего он используется для получения наблюденных параметров угловой частоты f_c и уровня плато Ω_0 (м·с). Сейсмический момент вычисляется по формуле:

$$M_0 = \frac{\Omega_0 4\pi\rho V^3}{0.6 \times 2.0 \times G(\Delta, h)},\tag{2}$$

где $G(\Delta, h)$ – геометрическое расхождение (Δ – эпицентральное расстояние, h – глубина), Ω_0 – спектральная плотность [м·с] определялось по низкочастотному уровню очагового спектра S-волн через сумму квадратов спектров горизонтальных компонент, ρ – плотность, V – скорость распространения S волны. 0.6 – коэффициент, учитывающий средний эффект радиального расхождения лучей, 2.0 – коэффициент, учитывающий влияние эффекта свободной поверхности.

Моментная магнитуда *М*_w рассчитывается по формуле [6]:

$$M_{w} = 2/3(\lg M_{0}[\mathrm{H} \cdot \mathrm{M}]) - 6.06.$$
(3)

Исходные данные и расчет. В качестве исходных данных для расчёта были отобраны 127 землетрясений (*K*_P=8.7–14.5) на территории Северного Кавказа, за период 2008–2021 гг., с *h*=1-85 км. Параметры гипоцентров исследуемых землетрясений были определены по данным сетей региональных сейсмических станций ФИЦ ЕГС РАН [ЗСЕ].

Процесс обработки реализован в программном комплексе SEISAN [10] (рис. 1). На исходной сейсмограмме выбирается окно для расчета спектра смещения S-волны (рис. 1а), далее быстрым преобразованием Фурье рассчитывается станционный спектр смещения, в который вносятся поправки (рис. 1в) за АЧХ аппаратуры, геометрическое расхождение $G(\Delta, h)$ и неупругое затухание, определяемое приповерхностным затуханием к и частотнозависимой добротностью Q(f). Полученный спектр аппроксимируется двумя асимптотами в соответствии с моделью Брюна [9] (рис. 16, в) и определяется спектральная плотность Ω_0 и угловая частота f_0 . Далее с помощью полученных параметров вычисляется сейсмический момент M_0 и моментная магнитуда M_w [6]. Подробнее процедура расчета представлена в [11]. Таким образом, проводится расчет для каждой сейсмической станции и далее оценивается общее среднее значение каждого из параметров.

Сравнение с данными других источников. Полученные оценки параметров очагов сравнивались с каталогами тензора сейсмического момента (СМТ) [The Global Centroid..., 2022] и Крымского центра данных [3, 12]. Из каталога землетрясений «Северного Кавказа» ФИЦ ЕГС РАН за рассматриваемый период было всего 7 событий, имеющих решение в GCMT [3], среднее значение разностей между магнитудными оценками составило 0.04, для значений магнитуд $M_w > 5.0$ наблюдается полное соответствие. Также была выполнена оценка среднего значения разностей между определением сейсмического момента M_0 , которая составила 1.0 Н·м·10¹⁶.



Рисунок 1 – Пример расчёта спектральных параметров очага землетрясения 3 сентября 2021 г. на записи горизонтальной N компоненты сейсмической станции «Ахты» (АКТ) в соответствии с моделью Брюна: а –фрагмент сейсмограммы и временной интервал для расчёта спектра смещений S-волны. б – спектр смещений с поправками за затухание и геометрическое расхождение; Серым цветом показан исходный спектр сейсмического сигнала, тонкой чёрной линией – сглаженный спектр, чёрными прямыми линиями – асимптоты по модели Брюна; в – исходные параметры для расчета очагового спектра и сейсмического момента: V – скорость распространения S волны, ρ – плотность, Δ – эпицентральное расстояние, h – глубина, к – приповерхностное затухание, $Q_0(f)$ – частотнозависимая добротность; рассчитанные спектральные параметры: f_c – угловая частота, Ω_0 – уровень площадки спектра, M_0 – сейсмический момент, M_w – моментная магнитуда

Проведено сравнение полученных значений логарифма сейсмического момента $\lg M_0$ [H·м] в зависимости от энергетического класса K_P по номограмме Т.Г. Раутиан с долговременными зависимостями для различных территорий Кавказа [12, 13]:

$$\lg M_0 = 0.58 \cdot K_{\rm P} + 9.1 - Дагестан,$$

 $\lg M_0 = 0.65 \cdot K_{\rm P} + 7.5 - Кавказ.$
(4)

Для корректного сопоставления энергетического класса K_{Π} (по Пустовитенко Б.Г.) и K_{P} , используется следующее соотношение [14]:

$$K_{\rm P} = 0.89 K_{\rm II} + 0.9 \,, \tag{5}$$

Как видно из рис. 4.6, в целом полученная зависимость для всего Кавказа в настоящем исследовании занимает промежуточное положение между Крымом и средней зависимостью по всему Кавказу из работы [13] и имеет вид:

$$\lg M_0 = 0.72 \cdot K_{\rm P} + 7.1 \tag{6}$$



Рисунок 2 – Сравнение долговременных зависимостей $\lg M_0$ от K для Кавказа. K^* – В расчете использовался энергетический класс K_P по Раутиан, за исключением данных Крыма где использовался энергетический класс K_{Π} по Пустовитенко (5). ¹ – долговременные зависимости, представленные в работе [13], зависимость для Крыма; ² – зависимость, полученная в настоящем исследовании для территории Северного Кавказа

Взаимосвязь между M_w и M_L и M_w и K_P . Большой практический интерес имеет сопоставление оценок M_w с локальной магнитудой M_L и энергетическим классом K_P . Накопившийся к настоящему времени объем индивидуальных оценок K_P , M_L и M_w позволяет провести более детальное изучение их взаимозависимостей. На рисунке 3 показана зависимость M_w от M_L в изученном диапазоне $M_w = 3.0 \div 5.1$ ($M_L = 2.6 \div 5.6$) [11]. Сплошная синяя линия представляет собой линейную зависимость, полученную в результате простой регрессии методом наименьших квадратов:

$$M_{\rm w} = 0.77 M_{\rm L} + 0.89 \,. \tag{7}$$

Черная линия представляет отношение 1:1 между M_w и M_L (что предполагает $M_w=M_L$), красная линия представляет собой линейную зависимость наилучшего соответствия между магнитудами в предположении, что угол наклона b = 1 или, что-то же самое, что разность этих магнитуд близка к постоянной:

$$M_{\rm w} = M_{\rm I} + 0.05 \,. \tag{8}$$

Видно, что линейная зависимость с углом наклона b = 1 хорошо описывает события с диапазоном магнитуд $M_w=3.0 \div 4.5$ ($M_L=2.6 \div 4.5$), что позволяет говорить об устойчивой связи между магнитудами в данном диапазоне и рекомендовать для использования зависимость типа (8). Однако в области более высоких магнитуд $M_w>4.5$ недостаточное количество событий для более точной статистической оценки, вид зависимости M_w-M_L более точно описывается выражением 7.

Поскольку линия наилучшего соответствия (рис. 8 красная) и отношения $M_w = M_L$ (рис. 3 черная) практически совпадают, то можно сделать предположение о возможности

использования локальной магнитуды M_L в диапазоне ниже $M_L < 3.0$ как региональной «квази M_w » магнитуды для Северного Кавказа, по аналогии как было предложено в работе [15] относительно магнитуды $m_b^{\rm ISC}$. Данная связь может найти широкое применение в практическом использовании. Таким образом, в настоящее время для землетрясений Северного Кавказа в диапазоне локальных магнитуд $M_L=2.6-4.5$ представляется возможным рекомендовать к применению линейную зависимость вида (8).



Рисунок 3 – Сравнение магнитуд M_w и M_L для всех событий. 1 – оценки индивидуальных землетрясений; 2 – аппроксимация данных обычной линейной регрессией без фиксации наклона (уравнение а); 3 – средняя связь в предположении линейной связи с наклоном b = 1 (уравнение б); 3 – линия при соотношении 1:1 ($M_w=M_L$); пунктирной линией показан диапазон стандартных отклонений

В качестве одного из практически значимых результатов представлена зависимость локальных магнитуд *M*_L и энергетических классов *K*_P сейсмических событий:

$$M_{\rm L} = 0.61 K_{\rm P} - 2.66 \,. \tag{9}$$

На основании полученных значений моментных магнитуд M_w также была получена средняя связь между моментной магнитудой M_w и энергетическим классом $K_P[11]$:

$$M_{\rm w} = 0.48K_{\rm P} - 1.29\,. \tag{10}$$

Соотношения 9 и 10 могут быть рекомендованы для пересчёта, полученных параметров K_P и M_L в результате ругинной обработке первичных инструментальных данных в M_w для составления итоговых региональных каталогов в диапазоне магнитуд M_w =3.0÷5.0.

Заключение. Выполнены оценки спектральных параметров очагов 127 землетрясений Северного Кавказа с использованием модели очага по Брюну. Сравнение значений

полученных параметров с другими источниками показало близкое соответствие значений. Для землетрясений малой и средней силы для территории Северного Кавказа установлены зависимости между моментной M_w и локальной магнитудой M_L и рекомендуется к применению линейная зависимость $M_w=M_L+0.02$ в диапазоне магнитуд $M_w=3.0-4.5$. Также получена зависимость между значениями энергетического класса и двух региональных магнитуд $M_w=M_L$.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания 075-00682-24) и с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира».

Литература

- 1. Эндогенные опасности Большого Кавказа / Рогожин Е.А., Овсюченко А.Н., Лутиков А.И. и др. М.: ИФЗ РАН. 2014. 256 с
- 2. Габсатарова И.П., Зверева А.С. Сейсмический мониторинг Северного Кавказа в первую четверть XXI века // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Т. XIII. М.: ИИЕТ РАН. 2023. С. 257-264.
- 3. Зверева А.С., Собисевич А.Л., Габсатарова И.П. Добротность геофизической среды восточной зоны Северного Кавказа // Физика Земли. 2024. № 1. С. 140-156.
- 4. Зверева А.С., Габсатарова И.П., Лиходеев Д.В. Региональные особенности затухания сейсмических волн на территории Северного Кавказа // Физика Земли. 2024. № 6 (в печати).
- 5. Bormann P., Dewey J.W. The new IASPEI standards for determining magnitudes from digital data and their relation to classical magnitudes // New manual of seismological observatory practice 2 (NMSOP-2).–Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, 2012. P. 1-44.
- Kanamori H. The energy release in great earthquakes // J. Geophys. Res. 1977. Vol. 82. No. 20. Pp. 2981-2987.
- 7. Землетрясения Северной Евразии [Электронный ресурс]: ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск. DOI: 10.35540/1818-6254.
- 8. База данных «Землетрясения России» [электронный ресурс]. [Обнинск: ФИЦ ЕГС PAH. 2023]. URL: <u>http://eqru.gsras.ru/</u>.
- 9. Brune J.N. Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes // J. Geophys. Res. 1970. V. 75. № 26. P. 4997–5009.
- Havskov J, Voss PH, Ottemöller L (2020). Seismological observatory software: 30 Yr of SEISAN. Seismological Research Letters, 91(3), 1846-1852. DOI: 10.1785/0220190313.
- 11. Зверева А.С., Собисевич А.Л., Лиходеев Д.В. К вопросу о взаимосвязи моментных и локальных магнитуд землетрясений Северо-Западного Кавказа. Доклады РАН. Науки о Земле. 2023. Т. 508. № 1. С. 98–107.
- Зверева А.С., Малянова Л.С., Габсатарова И.П. Спектральные и очаговые параметры землетрясений Северного Кавказа в 2018–2019 гг. // Землетрясения Северной Евразии. 2023. Вып. 26 (2018–2019 гг.). С. 257–263. DOI: https://doi.org/10.35540/1818-6254.2023.26.22 EDN: JQHTEX
- 13. Пустовитенко Б.Г., Пантелеева Т.А. Спектральные и очаговые параметры землетрясений Крыма. Киев: Наукова думка. 1990. 252 с.
- 14. Малянова Л.С., Зверева А.С., Габсатарова И.П. Спектральные и очаговые параметры землетрясений Северного Кавказа // Землетрясения Северной Евразии. 2022. № 25 (2016-2017 гг.). С. 253-260.
- Gvishiani A.D., Vorobieva I.A., Shebalin P.N., Dzeboev B.A., Dzeranov B.V., Skorkina A.A. Integrated Earthquake Catalog of the Eastern Sector of the Russian Arctic. Appl. Sci. 2022, 12, 5010. https://doi.org/10.3390/app12105010

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПРИРОДА БАЛЬНЕОЛОГИЧЕСКОГО ФЕНОМЕНА НАФТАЛАНСКОЙ НЕФТИ

Зейналов С.Г. zeynalov.samir.98@mail.ru Институт геологии и геофизики НАН Азербайджана, г. Баку, Азербайджан

Нефть месторождения "Нафталан" является феноменальной с точки зрения лечебного воздействия не только в истории нефтяной промышленности Азербайджана, но и всего мира. Индивидуальность Нафталанского месторождения объясняется приуроченностью к зоне разломов и участием глубинных флюидов в формировании свойств нефти. При образовании уникальной залежи имел место следующий литологический состав пород: породы песчаного состава составили ~27%, а глины ~ 73 %. На месторождении Нафталан добывается два разных типа нефти: целебная тяжелая нефть - в верхних горизонтах верхнего майкопа (I, мергельный и II горизонты) и топливная легкая – в нижних горизонтах верхнего Майкопа и нижнем Майкопе. В работе произведена геологическая интерпретация лечебной и топливной Нафталанской нефти по геохимическим параметрам, полученным с помощью хромато-масс спектрометрии.

Ключевые слова: нефть, хромато-масс спектрометрия, биомаркер, олеананового индекс.

Введение. В научных публикациях отмечалось, что в разрезе Нафталанского месторождения развиты отложения акчагыльского и сарматского ярусов, которые участвуют в строении двух брахиантиклинальных складок. Акчагыльские отложения были замечены на породах майкопской свиты [1]. Отложения майкопской свиты отличаются высоким содержанием С_{орг}, достигающим 15,1% при среднем содержании 1,86%.

Нафталанское месторождение является уникальным природным объектом не только в связи с широко известными лечебными свойствами нефтей, но и из-за пестроты состава, имеющихся здесь нефтей. Вместе с тем, разнотипные нефти на этом месторождении пространственно разобщены, а именно, лечебные нефти строго приурочены к верхним горизонтам майкопской свиты в интервале глубин 500-600 м, тогда как топливной нефтью насыщены нижние горизонты этой свиты. Факт присутствия в отложениях майкопской свиты в месторождении Нафталан двух сортов качественно различных нефтей: целебной тяжелой нефти - в верхних горизонтах верхнего майкопа (I, мергельный и II горизонты) и топливной легкой – в нижних горизонтах верхнего майкопа и нижнем майкопе отражен в трудах Ш.Ф. Мехтиева [1].

В этой связи представляет большой интерес изучение геологических процессов, имевших место в кайнозойской истории Среднекуринской впадины обусловившие данную неоднородость Нафталанского месторождения. Достаточно отметить, что структура Нафталан расположена в пределах антикавказской линеаментной зоны разломов, которая во все времена от палеозоя до настоящего времени являлась зоной активного проявления тектонических движений, проводником магматических расплавов, рудоносных растворов и сейсмичности. Э.Ш. Шихалибейли она была названа транскавказской сейсмоактивно-металлоносной зоной разломов глубокого заложения.

В связи с вышеизложенным не исключено, что индивидуальность и уникальность Нафталанского месторождения объясняется его приуроченностью к данной зоне разломов и возможным участием в формировании специфического облика нефти глубинных флюидов как в результате взаимодействия с органическим веществом во время его фоссилизации или на стадии трансформации в нефть, так и взаимодействием мантийных эманаций с уже сформированной нефтью. В тоже время вполне вероятным представляется эманация флюидов в палеобассейн и формирование специфических условий ферментации исходной органики на определенных этапах седиментогенеза, что в принципе может объяснить наличие в пределах одного месторождения разнотипных нефтей.

Существенное значение для образования и сохранения залежей нефти в Нафталане имеет литологический состав пород. В работах [2,3] приведены данные по уточнению геологической структуры, имеющей блочное строение и разбитой рядом дизъюнктивных нарушений, а также установлено, что в исследуемом интервале коллекторские свойства возрастают в северо-восточном направлении, причем породы преимущественно песчаного состава для данного интервала составили - 27%, а глины – 73 %.

Объекты и методы исследования. Для исследований были выбраны две пробы Нафталанской нефти:

- 1. Лечебная нафталанская нефть с нефтебазы І-ІІ горизонт, фильтр 151-586 м
- 2. Топливная нафталанская нефть с нефтебазы III-IV горизонт, 1 скважина

Исследования Нафталанской нефти проводились на хроматомасс-спектрометре Perkin-Elmer на системе, включающей хромато-масс-спектрометр Clarus 680, имеющий интерфейс с высокоэффективным масс-селективным детектором Clarus SQ8T. Хроматограммы углеводородов были получены по общему ионному току (TIC). Хроматограф снабжен кварцевой капиллярной колонкой длиной 60 м, диаметром 0,25 мм, импрегнированной фазой Rtx-1MS. Газ-носитель - гелий, скорость потока 1мл/мин. Температура испарителя 300 °C; программирование подъема температуры от 80 до 300 °C со скоростью 2 °C/мин с последующей изотермой в течение 70 мин. Ионизирующее напряжение источника 70 эВ, температура источника 250°C. В качестве растворителя применяли сернистый углерод CS₂.

Результаты и обсуждение. По данным хромато-масс спектроскопии был определен УВ состав нафталанской нефти. Судя по углеводородному составу, лечебная нафталанская нефть существенно отличается от топливной (табл. 1). В топливной нефти содержание нафтеновых УВ~59.37 %, тогда как в лечебной ~83.69%. ∑ содержание алканов в лечебной нефти всего лишь 3.53%, тогда как в топливной ~ 22.93%. Содержание ароматических УВ примерно одинаковое [4].



Рисунок 1 – Масс – хроматограмма лечебной (зеленая) и топливной (фиолетовая) нафталанской нефти

Название образца	∑ алка- нов	Нафтеновые					Σ	Арены			Σ
		моно	ди	три	тетр а	пента	∠ нафте- нов	МОН О	ди	три (тетра)	∠ арено в
Нафталан лечебный	3.53	44.08	35.3	4.3 1	-	-	83.69	2.33	4.6 7	5.11	12.11
Нафталан топливный	22.93	41.7	17.14	-	0.53	-	59.37	3.7	1.7 6	12.02	17.48

Таблица 1 – Углеводородный состав лечебной и топливной нафталанской нефти

Во всех пробах нефти была проведена идентификация терпанов, гопанов, стеранов и адамантанов. На основании геохимических параметров, полученных в результате биомаркерного анализа, произведена геологическая интерпретация нефтей.

В таблице 2 представлено количественное содержание биомаркеров (% отн.) в пробах лечебной и топливной нафталанской нефти. Гопаны состоят из трех стереоизомерных рядов, а именно: $17\alpha(H),21\beta(H), 17\beta(H),21\alpha(H), 17\beta(H),21\beta(H)$ -гопанов. Соединения в ряду $\beta\alpha$ называются моретанами. Обозначения альфа (α) и бета (β) указывают, что водородные атомы ниже или выше плоскости колец.

Таблица 2 - Соотношение гопанов

Образец	1 -	2 -
Гопаны	Лечебный, %	Топливный,%
Ts / Tm	1.01	1.22
Адиантан	14.84	10.85
Диагопан С ₃₀	2.2	2.04
Моретан С29	0.92	1.11
Олеанан	7.47	5.64
Гопан H ₃₀	19.19	24.52
Моретан С ₃₀	3.06	3.03
Гомогопан С ₃₁	15.63	15.78
Бис гомогопан С ₃₂	10.14	10.34
Трис гомогопан С ₃₃	9.45	7.79
Тетракис гомогопан С ₃₄	4.8	5.67
Пентакис гомогопанС ₃₅	3.35	2.73
Олеанан/Н30	0.4	0.23
С ₃₅ /∑ (С ₃₁ -С ₃₅₎ Гомогопановый		
индекс	0.08	0.06
C ₃₄ /C ₃₅	1.43	2.08
Адиантан /Н ₃₀	0.77	0.44
17β,21α-моретаны		
С ₂₉ +С ₃₀ /17а,21β-гопаны С ₂₉ +С ₃₀	0.12	0.12

Содержание основных гопановых УВ в пробах лечебной и топливной составляет: адиантан – 14.84 в лечебной и 10.85 - в топливной нефти; олеанан – 7.47 в лечебной и 5.64 – топливной; а также гопан Н30 – 19.19 и 24.52.

Для оценки степени катагенетической превращенности нефтей используется ряд соотношений: Ts/Tm; 17β,21α-моретаны C₂₉+C₃₀ /17α,21β-гопаны C₂₉+C₃₀. Соотношение

Ts/Tm увеличивается с повышением зрелости, и в главной зоне нефтеобразования составляет 1, а на поздних стадиях катагенеза ~ 5-10. Применение этого показателя для оценки степени зрелости нефтей желательно проводить только для групп нефтей, генерированных в единых фациальных условиях, что соответствует исследуемым пробам нефти: для 1 - Ts/Tm = 1.01, для 2 - Ts/Tm = 1.22 (нефть зрелая).

Олеананы являются диагностическими биомаркерами возраста материнских пород, которые предоставляют ценную геохимическую информацию об источнике органического вещества и возрасте нефти. $18\alpha(H)$ -Олеанан был описан как природное производное источника покрытосеменных растений. Следовательно, их присутствие в сырой нефти накладывает возрастные ограничения на нефтяную систему. $18\alpha(H)$ олеанан в нефтях присутствует в более высоких процентных количествах в отложениях мелового периода или более молодого возраста. Петерс и др. [5] считали, что олеанан геологически связан с меловым и более поздними периодами. Присутствие олеананов также помогло оценить возраст материнских пород; олеананы указывает на нефть, которая, несомненно, имеет меловое или более молодое происхождение. А более высокое соотношение олеанана и гопана (олеаненовый индекс> 0,2) указывает на то, что нефть имеет Палеоген-нижне Миоценовый возраст [6]. Олеанановый индекс в лечебной и топливной нефти характеризуется значениями 0,4 и 0,23 соответственно.

Выводы. На основании геохимических параметров, полученных в результате хроматомасс-спектрометрического исследования лечебной и топливной Нафталанской нефти, сделано заключение об их геологической природе. Установлено, что многие значения биомаркеров и геохимических параметров характеризуются близкими значениями в обеих нефтях. Также по показателю олеананового индекса было высказано предположение, что материнская порода Нафталанской нефти имеет Палеоген-нижне Миоценовый возраст.

Литература

- 1. Мехтиев Ш.Ф., Ахмедбейли Ф.С. Нафталан. Баку. 1969. 129 с.
- 2. Шихмамедова Т.Н., Аллахвердиев Э.Г., Абасова П.Д. Уточнение геологического строения майкопской свиты на площади Нафталан на основе интерпретации 3D сейсморазведочных данных и результаты моделирования совместно с данными ГИС // Азербайджанское нефтяное хозяйство. 2014. № 11. С. 3-7.
- 3. Geoscinces of Azerbaijan / Akif A. Alizadeh, Ibrahim S. Quliyev, Fakhraddin A. Kadirov, Lev V. Eppelbaum. Switzerland: Springer. Vol. I: 2016. 237 p. Vol. II: 2016. 340 p.
- Martynova G.S., Nanajanova R.G., Velimetova N.I., Zeinalov S.Q., Babayava N.I., Muradkhanova L.R. About some aspects of Naftalan oil properties // Chemical Problems. 2022. No. 2. P. 122-132.
- 5. Peters K.E., Clutson M.J, Robertson G., (1999). Mixed marine and lacustrine input to an oilcemented sandstone breccia from Brora, Scotland, Organic Geochemistry, 30, 4, 237-248.
- 6. Nakamura H., (2019). Plant-derived triterpenoid biomarkers and their applications in paleoenvironmental reconstructions: chemotaxonomy, geological alteration, and vegetation reconstruction, Research in Organic Geochemistry, 35, 11-35.

ПОЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ВЫБОРУ МЕСТА ДЛЯ НОВОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ГРУППЫ В ЗАПАДНОМ КАЗАХСТАНЕ

Исагали А.А.^{1,2}, Михайлова Н.Н.¹, Умирова Г.К.²

aydarovna.98@mail.ru

¹ Институт геофизических исследований Национального ядерного центра, г. Алматы, Казахстан ² Казахский национальный исследовательский технический университет, г. Алматы, Казахстан

Аннотация. Статья рассматривает степень изученности сейсмичности территории Казахстана с учетом обновленной карты зонирования по сейсмогенерирующим зонам 2017 года. Исследование акцентирует внимание на изменения в области активной сейсмичности в Западном Казахстане, которые вызваны как природными, так и техногенными факторами, последние из которых связаны с длительным освоением месторождений нефти и газа. Авторы обсуждают необходимость установки сети сейсмических станций для точного определения эпицентров землетрясений и вычисления параметров геодинамических событий.

Представлены результаты совместных исследований Мичиганского государственного университета (США) и Института геофизических исследований Национального ядерного центра Республики Казахстан. Особое внимание уделено установке Мангистауской временной сети сейсмических станций для выбора места новой сейсмической станции в Западном Казахстане и изучения сейсмичности региона. Обобщены результаты обработки данных с полевых станций, подчеркнута высокая эффективность станций в регистрации сейсмических событий и выявлении новых сейсмически активных зон. Демонстрируется необходимость создания стационарной сейсмической группы в Западном Казахстане для мониторинга как природных, так и техногенных землетрясений.

Ключевые слова: сейсмическая опасность, землетрясение, Западный Казахстан, сейсмические станции, геология, геофизика, сейсмология.

Традиционно территория Западного Казахстана Ввеление. относилась к слабосейсмичным зонам, что было отражено на карте сейсмического районирования Республики Казахстан, созданной в 2006 году. После выхода в 2017 году обновленной версии карты, в западной части Казахстана были выделены сейсмически активные зоны [1]. Из-за нехватки сейсмических станций в Западном Казахстане, все эти зоны не подтверждены надежными инструментальными сейсмическими данными. При этом имеются сведения о происходящих в Западном Казахстане достаточно сильных природных и техногенных землетрясений. Так. например, Шалкарское землетрясение в 2008 голу было неожиданностью для сейсмологов, оно проявилось с интенсивностью 7 баллов и принесло значительный ущерб [2]. Сетью НЯЦ РК регистрируются техногенные землетрясения на территории Тенгизского месторождения и в других районах добычи последних ископаемых. Все это дает основание считать необходимым установить в этом районе новую современную станцию или сейсмическую группу, данные которой позволят достоверно оценить сейсмическую опасность.

Цель совместного эксперимента Мичиганского университета и ИГИ НЯЦ РК – изучение сейсмических условий регистрации сейсмических волн и выбор наилучшего места для будущей стационарной станции или сейсмической группы для получения новой информации о слабой локальной и региональной сейсмичности, сведения о которой впоследствии можно использовать для оценки сейсмической опасности Западного Казахстана. Актуальность исследований обосновывается тем, что в этой части РК никогда не проводились стационарные наблюдения, поэтому направление исследований является новым и необходимым для территории изысканий.

Объектом исследования является юго-восточная территория Прикаспия, где установлена Мангистауская временная сеть сейсмических станций (сеть MSUAR). с целью изучения сейсмических условий для выбора места установки новой сейсмической станции и сейсмичности региона.

В 2016 году состоялся первый этап подобных работ, который длился с 19 августа по 12 сентября 2016 года. Целью работ было изучение характеристик сейсмического шума на 10 различных площадках. 10 сейсмических станций были установлены в Западной части Туранской плиты, из них 6 станций были установлены на плато Устюрт: одна – на плато Мангышлак, две были установлены вблизи гор Мангистау и одна на Кендирли-Каясанском плато (рисунок 1).



Рисунок 1 – Карта расположения полевых сейсмических станций во время эксперимента. Красные треугольники – сейсмические станции 2016 г.; зеленые ромбики – сейсмические станции 2021-2022 г. г.; сплошная оранжевая линия – крупные шоссе; черные линии – железные дороги; заштрихованные области – нефтегазовые месторождения; крестики – работающие карьеры

Второй этап работ проводился в Западном Казахстане в юго-восточной части Мангистауской области с восточной стороны п-ова Мангыстау (Мангышлак). В годовом интервале были установлены 16 сейсмических станций (рисунок 1, зеленые треугольники).

На всех 16 пунктах был установлен стандартный комплект приборов, состоящий из дигитайзера Qanterra Q330 и трёхкомпонентного широкополосного сейсмометра **STS 2.** На всех станциях выставлялись одинаковые параметры регистрации с форматом записи miniSEED и частотой дискретизации – 200 Гц.

Обработка данных. В Казахстанском Национальном центре данных (KNDC, Алматы) проведены работы по конвертации данных, создана полноценная база сейсмических записей в формате CSS3.0 (Center for Seismic Studies) [3], широко применяемом в мировой практике. Процесс обработки начинался с поиска сигналов от событий и интерпретации волновой картины записей. После идентификации типов сейсмических волн производились замеры времен вступлений каждой фазы, амплитуд А и периодов Т. Такие действия проводились по всем станциям, зарегистрировавшим определенное событие.

Далее проводилась локализация источников сейсмических сигналов, определение их энергетических и магнитудных характеристик. Процесс обработки включал расчет спектральных моделей шумов и сравнение их с мировыми моделями шума [4].

Для обработки данных сети MSUAR использованы программы dbpick и dbloc2, входящие в пакет DATASCOPE. В программе dbpick проводилась визуализация волновых форм по всем станциям, проставление идентифицированных сейсмических фаз, фильтрация и замеры A и T (на фильтре, аналогичном характеристике прибора CKM).

Отдельно проводились эксперименты с обработкой по минигруппам, составленным из станций полевой сети. Всего было установлено три минигруппы (рисунок 2): MSA, MSI, MSU. Апертура всех групп была примерно одинаковой и составляла около 500 м. MSA работала с октября 2021 г. по апрель 2022 г.; MSI с апреля 2022 г. по октябрь 2022 г.; MSU с октября 2021 г. по октябрь 2022 г.



Рисунок 2 – Конфигурация сейсмических групп MSA, MSI, MSU

Для каждой минигруппы в период ее работы подобраны эталонные события с хорошо известными параметрами – эпицентром и глубиной. По ним оценивались азимуты по группе и сравнивались с истинными значениями. Применялся F-k-анализ для волн P и S. Пример построения F-k-диаграммы по группе MSA приведен на рисунке 3. В качестве одного из эталонных событий использовано землетрясение на территории Азербайджана (Шемаха). Истинный азимут на эпицентр Az_{ист}=245,167°с.ш.; расчетный по минигруппе Az=241,25°. Ошибка в определении азимута составила $\delta Az=3.917^{\circ}$.



Рисунок 3 – Пример F-k диаграммы по группе MSA

Анализ параметров F-K-анализа для волн P, Pn, Pg показал оптимальность фильтра 2-6 Гц. Для волн S, Sn, Lg эта полоса частот составила 0.5-3 Гц. В целом, выполненные изыскания показали высокую трудо- и времяёмкость обработки разных сейсмических событий и позволили выделить некоторые общие особенности:

- параметры обработки для каждой станции подбираются индивидуально;

- все параметры нужно подбирать в зависимости от направления прихода волны и расстояния до источника;

- азимуты сейсмических событий во многих случаях определяются с большим разбросом, что, возможно, можно объяснить малой апертурой и недостаточным количеством станций.

Результаты определения азимутов по минигруппам для землетрясения в Азербайджане 20.11.2021 г. и землетрясения на Тенгизе 03.05.2022 г. приведена в Таблице 1.

Землетрясение в	Стан ция	Az. ист.	Az (P)		Az (S)		δAz (P)		δAz (S)	
Азероаиджане	MSA	245,17	241,25		241,19		3,917		3,977	
20.11.2021	MSU	247,97	252,79		253,44		4,822		5,472	
201407794004440	Стан	Az.	Az	Az	Az	Az	δAz	δAz	δAz	δAz
землетрясение	ция	ист.	(Pn)	(Pg)	(Sn)	(Lg)	(Pn)	(Pg)	(Sn)	(Lg)
	MSI	339,82	342,23	335,12	346,05	338,96	-2,41	4,7	6,23	0,86
03.03.2022	MSU	335,86	328,46	336,28	314,12	315,37	7,40	0,41	21,74	20,49

Таблица 1 – Результаты определения азимутов двух сейсмических событий по минигруппам

Результаты обработки данных. В результате обработки данных полевых станций был составлен региональный бюллетень сейсмических событий (рисунок 4), в который вошли основные параметры 6 020-ти событий. Основная масса эпицентров сконцентрирована на Копетдаг-Балханской зоне активных разломов. К этой зоне приурочены наиболее сильные землетрясения. Сейсмическая активность также наблюдается на Эльбурсской складчатой системе, в Мангышлак-Кызылкумской и Бандитуркестан-Гиссарской зоне разломов, а также в районе Гиндукуш [5].



Рисунок 4 – Карта эпицентров сейсмических событий по данным ручной локализации

На рисунке 5 наблюдается область концентрации очень слабых сейсмических событий тектонической природы с магнитудой менее 2 на участке установки полевых станций в Мангистауской области, которая приурочена к крутому восточному борту впадины Карынжарык.



Рисунок 5 – Карта эпицентров сейсмических событий и тектоническая характеристика района

Также были зарегистрированы техногенные события по месторождениям Тенгиз, Бузачи, Прорва, Каражанбас, Каламкас и т. д. Район расположения сейсмических станций находится в зоне пересечения тектонических разломов северо-западного и северо-восточного направлений. Среди них отмечаются разломы первого порядка Мангышлакский (северозападный) и Карынжарыкский (северо-восточный), который является продолжением Мугоджарского (Предуральского) разлома на юго-запад в Туранскую плиту. Остальные разломы являются второстепенными. Наиболее благоприятным местом для размещения стационарной сейсмической станции (или группы) является, по-видимому, юго-восточная часть расположения полевых станций, добротность геологической среды которой определяется меньшей тектонической нарушенностью.

Выводы. Данное исследование является значимым в контексте изучения сейсмической активности в регионе Западного Казахстана. Впервые полученные результаты изысканий расширяют наше понимание сейсмических процессов в этом районе и подчеркивают необходимость дальнейших мониторинговых исследований. Отмечено разнообразие сейсмических источников, включая тектонические землетрясения, техногенно-

индуцированные события в местах добычи углеводородных полезных ископаемых, а также взрывов в карьерах на месторождениях твердых полезных ископаемых.

Проведенный полевой эксперимент по регистрации сейсмических сигналов продемонстрировал высокую эффективность в регистрации как региональных, так и телесейсмических событий. За год работы было зарегистрировано значительное количество событий, что подтверждает активность сейсмических процессов в регионе. Кроме того, эксперимент позволил выявить новые, ранее неизвестные сейсмически активные зоны.

Найденные инструментальные сейсмологические подтверждения сейсмоопасных зон, выделенных ранее только по геофизическим данным, подчеркивают значимость сейсмического мониторинга в этом регионе. Результаты исследования подчеркивают необходимость создания стационарной сейсмической группы для мониторинга природных и техногенных землетрясений, а также взрывов, что поможет улучшить понимание и прогнозирование сейсмической опасности в Западном Казахстане

Литература

- 1. СП РК 2.03-30-2017. Строительство в сейсмических зонах.
- Михайлова Н.Н., Великанов А.Е. О природе Шалкарского землетрясения (Западный Казахстан. 26 апреля 2008 года) // Промышленность Казахстана. 12. 2008 - 02. 2009. Вып. 6 (51) – 1 (52). С. 52-55.
- 3. Anderson J., Farell W.E. et al. Center for seismic studies. Version 3 database: Schema reference manual. Technical report c 90-01. Arlington. 1990.
- 4. Peterson J. Observation and Modeling of Seismic Background Noise. Open-File Report 93-322, Albuquerque, New Mexico, 1993, 42 p.
- 5. Полетаев А.И. Сейсмотектоника зоны Главного Копетдагского разлома. М.: Наука. 1986. 131 с.

АНАЛИЗ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ И ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВНЫХ РЕСУРСОВ МЕЛОВЫХ И ЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ПЛОЩАДИ САДИРКАЗГАН ЯНГИКАЗГАНСКОГО ПОДНЯТИЯ

Истамов Ф.И.

F.Istamov@mail.ru

Министерство горнодобывающей промышленности и геологии РУз, г. Ташкент, Узбекистан

В статье обосновано геологическое и тектоническое строение площади Садирказган Янгиказганского поднятия, охарактеризована литолого-стратиграфическая характеристика разреза. Освещена нефтегазоперспективность площади Садирказган по аналогии с месторождениями Янгиказган и Ёркин. На основе анализа и обобщения данных по структуре Садирказган предварительно оценены ресурсы УВ и рекомендовано проведение поисково-разведочных работ.

Ключевые слова: поднятие, горизонт, литология, стратиграфия, ловушки, бурение, скважина.

Введение. В последние годы на фоне продолжающегося падения добычи УВ в традиционных нефтегазоносных регионах Узбекистана, требуется активизация работ по поиску новых месторождений и вовлечению потенциала малоизученных территорий и литолого-стратиграфических комплексов, которые не были введены в поисковое бурение, либо характеризующихся незначительным объемом поисковых работ на нефть и газ. Для решения этих вопросов необходимо увеличить качество проводимых геологоразведочных работ и целенаправленно проводить сейсморазведочные и буровые работы на относительно малоизученных территориях, необходимо провести комплексный анализ старого фонда скважин.

Тектоника. В тектоническом отношении структура Садирказган расположена в пределах Бухарской ступени Янгиказганского поднятия, северо-восточнее месторождения Янгиказган. На юго-западе структура сочленяется с месторождением Янгиказган на котором получены промышленные притоки УВ из меловых и юрских отложений (XII, XIII и XV горизонтов) (рис. 1) [1].

Структура Садирказган впервые выявлена в 2015 году по результатам переинтерпретации материалов сейсморазведочных работ МОГТ-2D, в результате чего были построены структурные карты по двум горизонтам: по кровле нижнего мела T_2 (K₁n) и по кровле известняков карбонатной юры T_6 (J₃o+km). Структура представляет собой антиклиналь северо-восточного простирания, размеры которой по ОГ T_2 по замыкающей изогипсе «-1060 м» составляют 7,0х3,4 км, амплитуда 80 м, площадь 16 кв.км. Размеры по ОГ T_6 по замыкающей изогипсе «-1220 м» составляют 6,6х2,8 км, амплитуда 80 м, площадь 14,60 кв.км. (рис. 2).

Литолого-стратиграфическая характеристика. В отложениях карбонатной юры выделяются три осадочных комплекса, в совокупности образующие отдельные пачки и толщи, сохраняющие свои свойства на значительной территории БХР. Карбонатная юра представлена преимущественно известняками, среди которых выделяются оолитовые, комковатые, пелитоморфные известняки и их переходные разновидности. Породами коллекторами являются комковато - сгустковые, комковато - обломочные, оолитовые, комковатые водорослевые известняки. Известняки часто доломитизированные и сильно доломитизированные. Мощность карбонатных отложений оксфорд-кимериджа варьирует на Янгиказганском поднятии от 95 м (пл. Карвоньер, скв. № 1), до 280 м (пл. Янгиказган, скв. № 1, 12), до 109 м (пл. Даутепе, скв. №1). Опорным горизонтом в этих отложениях

является горизонт, приуроченный к поверхности верхнеюрских карбонатных отложений оксфорд-кимериджа. На карбонатных отложениях оксфорд-кимериджа залегает соляноангидритовая толща титона. Эта пачка служит покрышкой для залежи газа XV горизонта (T₆).



Рисунок 1 – Схема тектонического районирования исследуемой территории (по данным ГУ "ИГИРНИГМ")

Отложения титона представлены ангидритами, пёстроцветными глинами, алевролитами и песчаниками с линзами доломитизированных известняков и мергелей.

В пределах рассматриваемой площади отложения титона маломощны и изменяются от 5 м до 50 м.

Отложения мелового возраста залегают на размытой поверхности карбонатов, либо ангидритов и представлены нижним и верхним отделами. Нижний мел (К₁) сложен красноцветными терригенными образованиями неокома и морскими сероцветными

терригенными осадками апта и альба. Проницаемые песчаники выделены в XII, XIII, XIV горизонтах. Мощность нижнего мела меняется на Бухарской ступени от 310 м (пл. Даутепе, скв. №1) до 516 м. (пл. Янгиказган, скв. №6). Отложения верхнего мела представлены породами сеноманского, туронского и сенонского надъяруса, сложенными сероцветными терригенными осадками с редкими прослоями известняков и мергелей. Мощность варьирует от 340 м (пл. Даутепе, скв. №2) до 950 м (пл. Янгиказган, скв. № 6).



Рисунок 2 – Структурная карта площади Садирказган по отражающему горизонту $T_6 \ (по данным АО «Узбекгеофизика»)$

Нефтегазоносность. Янгиказганское поднятие в отношении нефтегазогеологического районирования находится в Бухаро-Хивинском нефтегазоносном регионе, являющимся частью Амударьинского нефтегазового бассейна.

В западной части Бухарской ступени продуктивность связана с юрскими (XV – горизонт) и нижнемеловым отложениям (XII, XIII, XIV– горизонты), где открыты месторождения Янгиказган и Ёркин (таблица 1). [2]

№ п/п	Месторождение	Полезные ископаемые	Продуктивные горизонты	Глубина залегания, тыс.м	Коллектор
1	Янгиказган	газ, конденсат	XII; XIII; XIV; XV	1200-1300 1400-1450 1500-1550	песчаники, известняки
2	1- Ёркин	газ, конденсат	XV-J ₃ k+o	1473-1572	известняки
3	2- Ёркин	газ, конденсат	XV-J ₃ k+o	1459-1572	известняки
4	3- Ёркин	газ, конденсат	XV-J ₃ k+o	1505-1543	известняки

Таблица 1 – Характеристика месторождений нефти и газа Янгиказганского поднятия

На основе аналогии месторождений Янгиказган, Ёркин по структуре Садирказган предварительно оценены перспективные ресурсы по категории С₃: газ (сыр/сух) – 8396 млн.м³, конденсат (геол/извл.) – 221 тыс.т.

Также, на территории Янгиказганского поднятия подготовлены под глубокое поисковое бурение 4 структуры и имеется 7 выявленных структур. На рисунке 1 видно, что в пределах слабоизученных поисково-разведочным бурением северной и центральной части Янгиказганского поднятия не имеется месторождений углеводородов.

Заключение. Для увеличения ресурсной базы Янгиказганского поднятия необходимо:

- в пределах слабоизученных поисково-разведочным бурением северной и центральной части Янгиказганского поднятия проводить целенаправленную поэтажную разведку месторождения;
- для увеличения запасов углеводородов ускорить поисковое бурение на площади Садирказган.

Литература

- 1. Хожиев Б.И. Геологическое строение и нефтегазоносность мезозойских отложений западной части Бухаро-Хивинского региона // Современные техника и технологии в научных исследованиях. Материалы XIV Междунар. конф. молодых ученых и студентов. Бишкек. 2022. С. 209-212.
- 2. Истамов Ф.И. Поисковые электроразведочные работы МТЗ, ВП и ЗСД-ЗИ в пределах северо-западной части Чарджоуской, Центральной и северо-западной частей Бухарской тектонических ступеней БХНГО. Отчет Камышлинской ЭРП № 01/2013-2017. Бухара: АО «Узбекгеофизика». 2018.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И НЕФТЕГАЗОНОСНОСТЬ МЕЛОВЫХ И ЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЯНГИКАЗГАНСКОГО ПОДНЯТИЯ

Истамов Φ .И.¹, Хожиев Б.И.²

F.Istamov@mail.ru, bixojiyev@mail.ru

¹ Министерство горнодобывающей промышленности и геологии РУз, г. Ташкент, Узбекистан ² Ташкентский государственный технический университет им. И. Каримова, г. Ташкент, Узбекистан

В статье освещены особенности геологического и тектонического строения Янгиказганского поднятия, описаны размеры и строение тектонических элементов, охарактеризована перспективность меловых и юрских отложений в нефтегазоносном подробная характеристика продуктивным отношении, дана горизонтам. Проанализированы объемы и виды проведенных геолого-геофизических и буровых работ, в результате чего на основании фактических данных рекомендовано целенаправленное изучение меловых и юрских отложений. Обоснована нефтегазоперспективность слабоизученных территорий и далее постановка поискового бурения на этих участках.

Ключевые слова: поднятие, горизонт, литология, стратиграфия, ловушки, бурение, скважина.

Введение. За годы независимости в Республике Узбекистан наблюдается интенсивный рост потребления углеводородного сырья, что требует наращивания темпов геологоразведочных работ, обеспечивающих достаточно высокий прирост запасов нефти и газа. На сегодняшний день основные проблемы в нефтегазовый отрасли связаны с обеспечением восполнения запасов углеводородов, за счет открытия новых месторождений углеводородов. Для решения этих вопросов необходимо увеличить качество проводимых геологоразведочных работ и целенаправленно проводить сейсморазведочные и буровые работы на относительно малоизученных территориях, необходимо провести комплексный анализ старого фонда скважин.

Тектоника. Исследуемая территория находится в северо-западной части Бухарской тектонической ступени Бухаро-Хивинского нефтегазоносного региона. Янгиказганское поднятие размерами 60км х 50км имеет почти изометричную форму [1]. С запада и востока оно ограничено соответственно Дашкалинским и Тузкойским прогибами, с севера и юга – Предкызылкумской и Учбаш-Каршинской флексурно-разрывными зонами (рис. 1).

Литолого-стратиграфическая характеристика. Мезозойские отложения с угловым и стратиграфическим несогласием залегают на дислоцированной поверхности палеозойских отложений. Они представлены породами юрской и меловой систем.

Среднеюрские терригенные отложения исследуемой территории, мощностью от 50 до 200м, представлены, в основном, терригенными осадками континентального и немного прибрежно-морского генезиса. В разрезе выделяются XVIII и XVII проницаемые горизонты [2].

XVIII горизонт представлен песчаником, серым, мелко- и среднезернистым, плотным, глинистым, с прослоями глин и тёмно-серых аргиллитов. Глины тёмно-серые, плотные, песчанистые, аргиллитоподобные.

XVII горизонт сложен песчаниками зеленовато-серыми, серыми средне и мелкозернистыми, пористыми, с прослоями глин и тёмно-серых аргиллитов.

В средне-верхнеюрских карбонатных отложениях выделяются (снизу-вверх): XVI, XVa, XV – горизонты и представлены, в основном, известняками. Мощность юрских карбонатных отложений варьирует от 120 м до 160 м.

XVI горизонт представлен, в основном, известняками темно-серыми, почти черными, плотными, тонкослоистыми, в различной степени глинистыми, нередко трещиноватыми.

XVa горизонт представлен, основном серыми, светло-серыми, белыми, обломочными известняками. Известняки пористые с примесью глинистого и органического вещества, кальцитизированные и пиритизированные.



Рисунок 1 – Схема тектонического районирования исследуемой территории (по данным ГУ "ИГИРНИГМ")

XV горизонт, слагающий верхнюю часть разреза карбонатной формации будет сложен, как в прилегающих площадях, преимущественно плотными, темно-серыми, скрытокристаллическими известняками с проницаемыми прослоями толщиной от нескольких сантиметров до 1-2метров.

В пределах Янгиказганского поднятия отложения соляно-ангидритовой толщи полностью выклиниваются.

Отложения мелового возраста залегают на размытой поверхности верхнеюрских карбонатов. Нижнемеловые отложения представлены красноцветными терригенными образованиями неокомских надъярусов и аптских, альбских ярусов. В них выделяются XI, XII, XIII, XIV промысловые горизонты, представленные проницаемыми песчаниками. Мощность отложений нижнего мела варьирует от 400 м до 500 м.

Неокомский надъярус сложен несколько отличающими по литологическому составу пачками пород. В нижней части разрез представлен темно- и светло-коричневыми глинами, плотными, песчанистыми, местами известковистыми, с прослоями ангидрита. Выше по разрезу залегает коричневая толща песчаника, мелко и среднезернистого, сильно известковистого, реже глинистого с прослоями коричневых глин, плотных и выделяется, как XIV проницаемый горизонт.

Над XIV горизонтом залегают серые глинистые, алевролитовые породы, которые разделяют XIV и XIII горизонты. Глина песчанистая, серая, плотная, крепкая с включением чёрных аргиллитов. Алевролит серый, слабо песчанистый, плотный, крепкий, с прослойками глин.

Выше по разрезу песчаники, серые, зеленовато-серые и коричневые, мелко и среднезернистые, кварцево-слюдистые, участками известковистые, с прослоями глин и алевролитов. Эта толща выделяется, как XIII проницаемый горизонт.

XIII горизонт перекрывается пачкой глин серых, темно-серых, плотных с буроватым оттенком.

Аптский ярус сложен в основном песчаниками серыми мелко и среднезернистыми, кварцево-слюдистыми, реже глинистыми, с прослоями глин и алевролитов, серых и тёмносерых, плотных. Пачка выделяется как XII проницаемый горизонт.

Альбский ярус сложен двумя пачками пород легко выделяющимися. Нижняя пачка сложена глинами серыми, плотными, слабосцементированными с прослоями песчаников мелкозернистых, серых, иногда глинистых, в средней части с прослоями алевролитов серых и тёмно-серых мелкозернистых плотных. Эта пачка является хорошим репером альбского яруса (альбские глины). Выше по разрезу залегают песчаники серые и тёмно-серые, мелкозернистые, реже глинистые с прослоями глин, серых, плотных. Эта толща выделяется как XI проницаемый горизонт.

Отложения верхнего мела представлены породами сеноманского, туронского ярусов и сенонского надъяруса, сложенными сероцветными терригенными осадками с редкими прослоями известняков и мергелей. В них выделяются VIII, IX, X промысловые горизонты, представленные проницаемыми песчаниками. Мощность отложений нижнего мела меняется от 800 м до 900 м.

В нижней части сеноманского яруса залегает толща песчаников зеленовато-серых и серых, мелко – и среднезернистых, участками глинистых, с прослоями глин серых, плотных. Эта часть разреза выделяется как X проницаемый горизонт.

Выше по разрезу залегает пачка серых и тёмно-серых глин, плотных, участками песчанистых с редкими прослоями глинистого песчаника, которые являются водоупором, отделяющих X горизонт от IX горизонта. В кровельной части сеноманских отложений залегает пачка мелко- и среднезернистых песчаников, зеленовато-серых и серых, реже глинистых, с прослоями глин серых, плотных и эта часть разреза выделяется как IX проницаемый горизонт.

Разрез туронского яруса сложен мощной толщей серых глин с голубоватым оттенком, плотных, слюдистых, жирных на ощупь, слабо известковистых с тонкими прослоями серых, тонкозернистых, слюдистых песчаников.

Выше по разрезу залегает толща песчаников серых с зеленоватым оттенком, мелко и среднезернистых, местами глинистых слабосцементированных, известковистых с тонкими прослоями серых глин и эта часть разреза выделяется как VIII проницаемый горизонт. В

кровельной части туронских отложений залегает пачка серых глин плотных, слюдистых жирных на ощупь, слабо известковистых с тонкими прослоями серых, тонкозернистых слюдистых песчаников.

Сенонский надъярус сложен довольно монотонной толщей терригенных пород, состоящей из переслаивания глин, алевролитов, песчаников и известковистых пород. Песчаники зеленовато-серые и серые, мелкозернистые кварц-глауконитовые, с прослоями глин, серых и зеленовато-серых, в нижней части известковистых.

Глины зеленовато-серые, плотные, оскольчатые, песчанистые. В верхней части разреза сенона переслаивается толща песчаников зеленовато-серых, мелкозернистых.

Нефтегазоносность. Янгиказганское поднятие в отношении нефтегазогеологического районирования находится в Бухаро-Хивинском нефтегазоносном регионе, являющимся частью Амударьинского нефтегазового бассейна.

В западной части Бухарской ступени продуктивность связана с юрскими (XV – горизонт) и нижнемеловым отложениям (XII, XIII, XIV – горизонты), где открыты месторождения Янгиказган и Ёркин.

На территории Янгиказганского поднятия подготовлены под глубокое поисковое бурение 4 структуры и имеется 7 выявленных структур. На рис.1 видно, что в пределах слабоизученных поисково-разведочным бурением северной и центральной части Янгиказганского поднятия, не имеется месторождений углеводородов.

Заключение. Для увеличения ресурсной базы Янгиказганского поднятия:

– нефтегазоперспективность исследуемого района связана с многопластовыми ловушками и, в связи с этим, рекомендуется проводить целенаправленную поэтажную разведку месторождения;

– в пределах северной и центральной части Янгиказганской поднятия увеличить объем буровых работ с целью оценки перпективности в отношении углеводородов.

Литература

1. Абидов А.А. Нефтегазоносность литосферных плит. Ташкент: Фан. 2009. 28 с.

2. Хожиев Б.И. Геологическое строение и нефтегазоносность мезозойских отложений западной части Бухаро-Хивинского региона // Современные техника и технологии в научных исследованиях: Сб. материалов XIV Междунар. конф. молодых ученых и студентов, г. Бишкек, 27–29 апреля 2022 г. Бишкек: НС РАН. 2022. С. 209-212.

ОЦЕНКА ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ, ВЫПОЛНЕННЫХ НА ЯНГИКАЗГАНСКОМ ПОДНЯТИИ БУХАРСКОЙ ТЕКТОНИЧЕСКОЙ СТУПЕНИ

Истамов Φ .И.¹, Хожиев Б.И.²

F.Istamov@mail.ru, bixojiyev@mail.ru

¹ Министерство горнодобывающей промышленности и геологии РУз, г.Ташкент, Узбекистан ² Ташкентский государственный технический университет им. И. Каримова, г. Ташкент, Узбекистан

Авторами статьи проведен комплексный анализ электроразведочных данных, выполненных в пределах Янгиказганского поднятия Бухарской тектонической ступени. Дана оценка достоверности полученных параметров геоэлектрических разрезов и их геологическое истолкование для характерных участков с учетом всей геолого-геофизической информации. Дана рекомендация на продолжение изучения относительно малоизученных территорий комплексными геофизическими методами с целью выявления новых и оконтуривания выявленных нефтегазоперспективных объектов в мезозойских отложениях и подготовки наиболее значимых из них к глубокому поисковому бурению.

Ключевые слова: ступень, поднятие, горизонт, скважина, углеводород, разрез, бурение.

Бухаро-Хивинский регион является главным источником добычи углеводородного сырья в Республике Узбекистан. Залежи углеводородов здесь связаны с меловой и верхнеюрской карбонатной формациями и представлены ловушками двух генетических типов – пластовыми сводовыми и массивными.

В условиях высокой степени буровой и геофизической изученности, опоискованности крупных и средних по размерам ловушек нефти и газа, объектами исследований становятся небольшие и средние по размерам ловушки углеводородного сырья на недоизученных территориях, к которым относится северо-западная часть Бухарской ступени, нуждающаяся в опоисковании, поскольку разведка этой территории остается не завершенной. Одним из малоизученных тектонических элементов является Янгиказганское поднятие.

В тектоническом отношении Янгиказганское поднятие расположено в пределах северо-западной части Бухарской ступени, являющейся тектоническим осложнением северовосточного борта Амударьинской синеклизы, характерной особенностью которой является ступенчатое погружение палеозойских образований с северо-запада на юго-восток, к осевой части синеклизы [1].

Янгиказганское поднятие на северо-западе отделяется от Мешеклинского поднятия Дашкалинским прогибом, на юго-востоке от Газлийского поднятия – Тузкойским прогибом. Поднятие с северо-запада на юго-восток протягивается на 60-65 км, а с юго-запада на северовосток на 50-55 км.

Янгиказганское поднятие, особенно его северная половина, располагается в непосредственной близости от Предкызылкумской зоны, являющейся северной периферией Бухаро-Хивинской нефтегазоносной области. Эта часть района отличается сильной сокращённостью разреза мезозойской продуктивной толщи и неглубоким залеганием складчатого основания. Разрез терригенной формации выражен незначительной по мощности пачкой пород преимущественно континентального генезиса, лишенной признаков нефти и газа.

Геофизическая изученность. Электроразведочные работы на площади Янгиказган были начаты в 1963 году. Задачей работ являлась оценка этой структуры на наличие залежи УВ. К моменту их проведения на структуре были проведены сейсморазведочные работы МОВ; одновременно с электроразведочными работами методом ДЭЗ на площади осуществлялось бурение двух глубоких скважин (№1 и 2). Янгиказганская структура была

пересечена двумя профилями ДЭЗ, вкрест и по простиранию, с максимальным разносом 10 000 м.

В результате проведенных исследований и по данным электрокаротажа скважин геоэлектрический разрез был представлен в виде восьмислойного p1<p2<p3<p4<p5<p6<p7<p8→∞

В 1965-1966 гг, А.А. Зарипова, Р.М. Малютин проводили региональные электроразведочные исследования методом ВЭЗ в масштабе 1:500 000, в результате которых были получены данные о глубине залегания палеозойского фундамента и построена структурная карта по кровле карбонатных отложений на Янгиказганской структуре.

В 1987-1990 гг. Западно-Узбекистанской э/п № 30/87-90 проводились региональные электроразведочные работы МТЗ, ГМТЗ по геотраверсам (I и II) с целью изучения глубинного геоэлектрического строения земной коры, выделения нефтегазоперспективных комплексов и зон возможного нефтегазонакопления. В результате была изучена пространственно-частотная структура магнитотеллурического поля (МТП), оценена степень геоэлектрической неоднородности разреза и проведено районирование территории исследования по типам кривых МТЗ; изучен характер распределения продольной проводимости, выявлена и качественно оценена Эргашкудукская аномалия; проведена стратификация опорного электрического горизонта высокого сопротивления (РZ), выделены области его наибольшего погружения и, следовательно, области увеличения мощности мезокайнозоя, перспективные на обнаружение возможных залежей УВ.

В 1996-2001 гг. Н.М. Рашидов провел электроразведочные работы МТЗ с аппаратурой ЦЭС-2, ЭИН-МТЗ, были выделены уверенные аномалии повышенного сопротивления на месторождении Янгиказган, а также на известных структурах Шаркий Янгиказган, Карвоньер, Жанубий Янгиказагн.

вводом С В 2008 году в производство нового многофункционального электроразведочного комплекса V5 System 2000 компании «PHOENIX Geophysics Limited», обеспечивающего существенное увеличение производительности (почти на порядок) работ, впервые появилась возможность проведения широкомасштабных электроразведочных исследований с охватом труднодоступных для сейсморазведки перспективных районов (зоны развития барханных песков, солончаки, предгорные и горные области, густонаселённые районы с развитой инфраструктурой и др.), что позволило резко повысить качество и достоверность геофизических материалов на подготавливаемые к глубокому бурению объекты и оптимизировать размещение поисковых и разведочных скважин, что в конечном счёте должно обеспечить прирост запасов УВ с меньшим количеством «сухих» скважин.

На основании проведенных электроразведочных работ методами МТЗ, ЗСД-ЗИ и ВП с комплексом V5 System 2000 на Янгиказганском поднятии было выполнено 17 316 точек физических наблюдений по сети 500х500, 250х500. По состоянию на 1 января 2024 года объем выполненных физических наблюдений составляет: по методу МТЗ-48%, по методу ЗСД-ЗИ-26% и по методу ВП-26% (рис. 1)



Рисунок 1 — Диаграмма изученности Янгиказганского поднятия электроразведочными методами. Составил Ф.И. Истамов, 2024 г.

Основные результаты работ сводятся к следующему:

По результатам обработки и интерпретации данных МТЗ геоэлектрическими аномалиями относительно повышенных сопротивлений на разрезах кажущихся сопротивлений, фаз импеданса, 1-Д инверсий и картах сопротивлений на интересующих глубинах подтверждены месторождения Янгиказган и Ёркин. Структура Ёркин была подготовлена как нефтегазоперспективная в комплексе с сейсморазведкой ОГТ 2Д.

Показано, что на этих месторождениях продуктивные скважины расположены на склонах аномалий относительно повышенных сопротивлений вблизи зон пониженных сопротивлений, характеризующих тектонические нарушения. На геоэлектрических разрезах 1-Д инверсий над залежами углеводородов в верхней части разреза фиксируется изменение электрических свойств. При этом в толще пород над залежью контуры аномалий близки к контуру залежи.

Особо надо отметить структуры, геоэлектрические аномалии которых оконтуриваются изолиниями, отождествляемыми с меловыми и юрскими отложениями, но расположены в зонах прогибов изолиний, увязываемых с границами палеозойских образований и фундамента (Аузбай, Гультепа, Карвоньер). Последнее обстоятельство снижает шансы структур быть нефтегазоперспективными.

Аномалии, по местоположению соответствующие структурам Тандирли, Тупроккола подсекаются наклонными тектоническими нарушениями, которые, как известно, характеризуются пониженными сопротивлениями. Это можно интепретировать как понижение границы палеозойских образований, так и их возможную водонасыщенность, что подтвердили результаты испытания первых скважин Тандирли и Тупроккола.

На региональных геоэлектрических разрезах и картах, полученных на Янгиказганском поднятии, наиболее крупными поднятиями и приуроченными к ним аномалиями выделяются непосредственно Янгиказганское с одноименным месторождением и месторождением Ёркин и расположенная западнее скважины Аузбай довольно крупная аномалия преимущественно северо-западного простирания, ограниченная зонами пониженных сопротивлений и связанная с подъемом границы поверхности фундамента. Окраины этой аномалии возможно перспективны и требуют дополнительных исследований сейсморазведочными и электроразведочными работами [2].

Заключение. Исходя из того, что объектами исследований становятся небольшие и средние по размерам ловушки углеводородного сырья на недоизученных территориях, к которым относится северо-западная часть Бухарской ступени, нуждающаяся в опоисковании, и разведка этой территории остается не завершенной, необходимо комплексно использовать сейсморазведочные и электроразведочные методы с целью выявления новых и оконтуривания выявленных нефтегазоперспективных объектов в мезозойских отложениях и подготовки наиболее значимых из них к глубокому поисковому бурению.

Литература

- 1. Бабаджанов Т.Л., Кунин Н.Я., Лук-Зильберман В.И. Строение и нефтегазоносность глубокопогруженных комплексов Средней Азии по геофизическим данным. Ташкент: Фан. 1986. 190 с.
- 2. Истамов Ф.И. «Поисковые электроразведочные работы МТЗ, ВП и ЗСД-ЗИ в пределах северо-западной части Чарджоуской, Центральной и северо-западной частей Бухарской тектонических ступеней БХНГО». Отчет Камышлинской ЭРП № 01/2013-2017. Бухара, 2018 г. АО «Узбекгеофизика».

О КОРРЕЛЯЦИИ ВАРИАЦИЙ ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЯ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ЗЕМНОЙ КОРЫ С ЛУННО-СОЛНЕЧНЫМИ ТВЕРДЫМИ ПРИЛИВАМИ В ЗОНЕ ИССЫК-АТИНСКОГО РАЗЛОМА

Калашников Р.В.¹, Рыбин А.К.² *romandr230@mail.ru* ¹ Кыргызско-Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызстан ² Научная станция РАН, г. Бишкек, Кыргызстан

Рассмотрены результаты исследования по выявлению и оценке влияния регулярно действующих лунно-солнечных приливных деформаций на электрофизические параметры верхней части земной коры Северного Тянь-Шаня в зоне Иссык-Атинского разлома с использованием метода электротомографии (ЭТ). Проведен анализ корреляционной связи временных вариаций кажущегося электросопротивления с параметрами лунно-солнечных твердых приливов на основе расчета функции взаимной корреляции с использованием полевых материалов мониторинговых ЭТ-зондирований по профилю «Бек-Тоо 2». При этом из-за сильной неоднородности верхней части геоэлектрического разреза профиля знак корреляции кажущегося электросопротивления с вертикальной компонентой приливных деформаций может меняться на разных участках профиля.

Ключевые слова: Северный Тянь-Шань, Иссык-Атинский разлом, геодинамическая активность, электротомографический мониторинг, кажущееся электросопротивление, лунно-солнечные твердые приливы, функция взаимной корреляции

Введение. Гравитационное взаимодействие в системе Земля-Луна-Солнце является одним из основных факторов, которые определяют режимы большинства геодинамических процессов в недрах Земли. Если собственное гравитационное поле стремится придать Земле форму шара, то притяжение Луны и Солнца вызывает изменение формы Земли, придавая ей форму сплюснутого эллипсоида. Такая изменяющаяся во времени деформация Земли носит глобальный характер и затрагивает все ее оболочки (от внутреннего ядра до атмосферы). Вследствие изменения относительного положения Земли, Луны и Солнца деформация, вызванная притяжением Луны и Солнца, перемещается по поверхности Земли в виде приливных волн [1, 2]. Возникающие в твердых оболочках Земли крупномасштабные движения вещества и деформационные процессы сопровождаются изменением напряженного состояния среды. Изменение напряженно-деформированного состояния среды приводит к сдвиговым перемещениям вещества и, как результат, к диссипации энергии. Энергия лунносолнечных приливов достигает ~10²⁰ Дж/год и находится на уровне глобальных природных источников энергии, таких, например, как тепловой поток из недр Земли (~10²¹ Дж/год), радиоактивный распад глубинного вещества (~10²⁰-10²¹ Дж/год), энергия тектонических деформаций (~10¹⁹-10²⁰ Дж/год), энергия вулканических извержений (~10¹⁵-10²⁰ Дж/год) [3]. Такая оценка энерго-вклада лунно-солнечных приливов, сопоставимая по величине с другими известными природными источниками энергии, и то, что длительное, постоянно повторяющееся приливное лунно-солнечное возмущение носит глобальный характер воздействия, могут означать только одно, что лунно-солнечный прилив представляет собой один из важнейших факторов, определяющих современную геодинамику земной коры, а также режимы геофизических полей и интенсивность их взаимодействий.

Достоверно установлено, что в структуре геофизических полей присутствуют квазирегулярные периодичности различной длительности [4]. И одна из возможных причин появления таких периодичностей – это результат воздействия на геофизическую среду лунносолнечных приливов. Однако, практика геофизической науки на сегодняшний день не обладает достаточной базой экспериментальных данных, которые давали бы надежные количественные оценки влияния фактора лунно-солнечных твердых приливов на геофизические поля. И поэтому эта задача особенно актуальна в проводимых исследованиях недр Земли.

Электротомографические исследования в Северном Тянь-Шане. В последние годы силами Научной станции РАН в г. Бишкеке выполнены электротомографические измерения на территории Северного Тянь-Шаня с использованием современной многоэлектродной станции «Скала-48». Электротомография представляет собой современную модификацию метода сопротивлений, которая позволяет получить сплошную картину зондирования одной расстановкой электродов и тем самым существенно повысить разрешающую способность метода в изучении электрических свойств сложно построенных сред. Особенно полезно метод электротомографии проявил себя в ходе выполнения сотрудниками Научной станции проекта Российского научного фонда (РНФ) № 22-27-00567, посвященного изучению внутренней геоэлектрической структуры и ее изменения во времени в зоне активного геологического Иссык-Атинского разлома. Результаты этих электротомографических исследований отражены в ряде публикаций и научных отчетах проекта [5, 6]. В ходе выполнения проекта были получены начальные оценки корреляционной связи (коэффициенты линейной корреляции) наблюденных вариаций кажущегося сопротивления (данные ЭТ-мониторинга по профилю «Бек-Тоо 2») с модельными параметрами твердых приливов, рассчитанными для этого места и периода мониторинга.

Целью настоящей работы является продолжение этих исследований: проведение статистически более полного и детального анализа корреляционной связи вариаций электросопротивления с лунно-солнечными твердыми приливами, в первую очередь, на основе расчета функции взаимной корреляции исследуемых временных рядов.

Отметим, что в ходе выполнения этой работы также решался вопрос автоматизации подготовки временных рядов вариаций кажущегося сопротивления ЭТ-мониторинга для проведения корреляционного анализа, т.к. ранее формирование временных рядов мониторинга осуществлялось вручную с использованием средств EXCEL для обработки табличных данных. Далее подробнее остановимся на описании программных средств, разработанных авторами в среде MatLab, с помощью которых были подготовлены временные ряды сеансов ЭТ-мониторинга и реализована процедура корреляционного анализа этих данных.

Используемые данные ЭТ-мониторинга. Для проведения анализа корреляционной связи вариаций электросопротивления с лунно-солнечными твердыми приливами использовались полевые материалы мониторинговых ЭТ-зондирований на профиле «Бек-Тоо 2», выполненные в ходе выполнения проекта РНФ № 22-27-00567 в 2023 году [6].

Методика мониторинговых ЭТ-исследований заключалась в повторном выполнении профиля наблюдений методами электротомографии и вызванной поляризации в течение нескольких суток с помощью многоэлектродной станции «Скала-48» (отечественная аппаратура, разработанная в ООО «Конструкторское Бюро Электрометрии») [7]. Было проведено два 3-х суточных сеанса ЭТ-мониторинга на профиле «Бек-Тоо 2». При этом использовалась 4-электродная установка Шлюмберже, которая на больших глубинах является наиболее эффективной по сравнению с другими установками для качественного выделения вертикальных и горизонтальных границ. Измерения производились с помощью двух электродов при развертывании двух электроразведочных кос составляло 48, расстановка электродов осуществлялась с шагом 5 м, максимальный разнос питающих электродов – 235 м, а минимальный – 5 м. Полный единичный цикл измерений для всего профиля укладывался в 40 минут. Соответственно, собранный массив измерений профиля с дискретностью 40 минут в течение 3-х суток определял информационную базу ЭТ-мониторинга для «Бек-Тоо 2».

Формирование временных рядов вариаций кажущегося сопротивления ЭТмониторинга. После проведения полевых зондирований результаты электротомографических измерений сохранялись в файлах формата *.d2d. Затем эти данные считывались и переносились на компьютер оператора-геофизика для первичной обработки с помощью программы SiBER Tools, которая входит в штатный комплект аппаратуры «Скала-48» [7]. Здесь оператором-геофизиком-осуществлялся просмотр, анализ и редактировании полевых данных, в результате которых из дальнейшей обработки исключались измерения-выбросы, которые могут внести искажения в получаемые результаты инверсии.

После удаления таких бракованных точек в полевых данных производился экспорт результатов первичной обработки в формат *.dat для последующей инверсии данных.

Двумерная инверсия мониторинговых данных электротомографии, полученных на профиле «Бек-Тоо 2», осуществлялась в программе Res2DInv, разработчик – GEOTOMO SOFTWARE (Малайзия). С помощью этой программы были сформированы 108 файлов *.inv, содержатся псевдоразрезы наблюденных которых как значений кажущегося электросопротивления, так и результаты выполненной инверсии. При этом каждый файл.inv содержит наблюденные значения кажущегося сопротивления за 40-минутный период измерений всего ЭТ-профиля. Эти значения находятся в текстовом файле.inv после заголовка с 10-й строки. Формат каждой строки: количество электродов, координаты Х, Z электродов (A,B,M,N) в метрах от начала профиля, измеренное значение кажущегося сопротивления для точки (M-N)/2 в Ом-м. Минимальному значению кажущейся глубины (2,88 м) соответствует 45 точек измерений на профиле, максимальному значению кажущейся глубины (45,12 м) одна точка измерения в середине профиля. Пример графической иллюстрации псевдоразреза наблюденных значений кажущегося электросопротивления одной из сессий мониторинга для профиля «Бек-Тоо 2» показан на рисунке 1.



Рисунок 1 – Пример псевдоразреза наблюденных значений кажущегося сопротивления вдоль профиля «Бек-Тоо 2» (первая 40-минутная сессия 3-х суточного мониторинга в сентябре 2023 г.). Горизонтальная ось – расстояние от начала профиля в м. Вертикальная ось – значения кажущихся глубин в м. Цветовая шкала – значения кажущихся удельных сопротивлений в Ом-М

Для дальнейшей обработки и анализа измеренных данных ЭТ-мониторинга разработана программа *DRkform.m*, которая из всего набора псевдоразрезов, полученных для всех мониторинговых сессий на профиле, формирует временные ряды вариаций наблюденных значений кажущегося сопротивления для конкретного значения кажущейся глубины зондирования. Весь набор кажущихся глубин для профиля «Бек-Тоо 2» состоит из 23 дискретных значений (от 2,88 м до 45,12 м).

Программа *DRkform.m* для заданной кажущейся глубины (весь список значений глубин содержится в файле *depth.txt*) формирует набор временных рядов кажущегося сопротивления из файлов *.*inv* для профиля ЭТ-мониторинга. Программа создает два выходных файла: *rk.xls, sites.txt*.

Файл *rk.xls* содержит массив значений кажущихся сопротивлений точек измерения профиля для заданной кажущейся глубины. Строка соответствует одной точке измерения на профиле. Столбец определяет значение кажущегося сопротивления для текущей 40 минутной сессии мониторинга (для 3-х суточного периода мониторинга – это 108 сессий).

Файл *sites.txt* содержит положение точек измерения ЭТ-профиля для заданной кажущейся глубины как расстояние от начала профиля в м.

Полученные вариации кажущегося сопротивления характеризуют изменение электрических свойств верхней части разреза земной коры с 40-минутной дискретизацией во времени для заданной кажущейся глубины зондирования и соответствующего набора точек измерений на профиле.

Для сравнительного анализа вариаций кажущегося электросопротивления с лунносолнечными твердыми приливами будем рассматривать результаты двух сеансов 3-х суточного ЭТ-мониторинга, выполненного вдоль профиля «Бек-Тоо 2» августе и сентябре 2023 года: 07.08.2023/12:15 (GMT+6) – 10.08.2023/12:08 (GMT+6) и 20.09.2023/12:08 (GMT+6) - 23.09.2023/11:48 (GMT+6).

Примеры вариаций кажущегося сопротивления для конкретных значений кажущейся глубины и отдельных пунктов профиля, полученные с помощью программы *DRkform.m*, приведены на рисунке 2.

Расчет модельных значений параметров лунно-солнечных твердых приливов. Для центральной точки профиля «Бек-Тоо 2» были рассчитаны параметры лунно-солнечных приливов с помощью программы TIDE_3.exe [5]. На вход программы подавались координаты центральной точки профиля (ϕ° , с.ш.= 42,7908; λ° , в.д. = 74,6947), дата и время, совпадающие с началом сеанса мониторинга на профиле, а также задавался временной шаг, равный 40 минутам, для синхронизации коррелируемых временных рядов.

В итоге для каждого из двух 3-х суточных сеансов ЭТ-мониторинговых наблюдений, выполненных на профиле «Бек-Тоо 2» в августе и сентябре 2023 г., получено 108 значений параметров приливных вариаций в центральной точке профиля. Программа рассчитывает три компоненты приливообразующего ускорения (M/c^2): две горизонтальные Au – компонента "запад-восток", Av – компонента "юг-север", и одну вертикальную – An. С учетом того, что амплитуды вертикальных смещений земной поверхности твердого прилива значительно превышают амплитуды горизонтальных смещений, мы будем использовать вертикальную компоненту ускорения An лунно-солнечных приливов. Для последующего сопоставления и проведения корреляционного анализа временных рядов кажущегося электросопротивления с параметрами земных лунно-солнечных приливов был сформирован файл *vari.txt*, содержащий 108 значений An с дискретизацией 40 минут для каждого сеанса 3-х суточного ЭТ-мониторинга на профиле «Бек-Тоо 2».

Сопоставление вариаций кажущегося электросопротивления С лунносолнечными приливами (качественный анализ). Проведем визуальный анализ графического представления (рис. 2) вариаций вертикальной компоненты ускорения Ап лунно-солнечных приливов для расчетной центральной точки профиля и относительных вариаций кажущегося сопротивления $\Delta \rho \kappa(\%)$ на кажущейся глубине 24 м для 3-х пунктов профиля «Бек-Тоо 2», период ЭТ-мониторинга 07.08.2023 12:15 (GMT+6) - 10.08.2023 12:08 (GMT+6).

На графиках (рис. 2) визуально можно выделить суточную и полусуточную периодичности изменений как вертикальной компоненты приливного ускорения, так и кажущегося сопротивления. Отметим, что положительная величина вертикальной компоненты приливного ускорения соответствуют фазе подъема земной поверхности (прилив), а отрицательное значение *An* соответствует фазе опускания земной поверхности (отлив).

Рассмотрим характер взаимосвязи кажущегося сопротивления с вертикальными приливными движениями земной поверхности. Из визуального анализа рисунка 2 следует, что в одних случаях повышение кажущегося сопротивления соответствует поднятию земной

поверхности (An>0), а понижение кажущегося сопротивления - ее опусканию (An<0), т.е. значения кажущегося сопротивления изменяются синфазно с колебаниями земной поверхности. Такой характер связи кажущегося сопротивления с вертикальными приливными движениями земной поверхности будем называть положительным. В других случаях (рис. 2) значения кажущегося сопротивления изменяются в противофазе с колебаниями земной поверхности. Такую корреляцию будем называть отрицательной. При этом подъем земной поверхности (прилив) соответствует уменьшению кажущегося сопротивления и, напротив, опускание поверхности Земли (отлив) отвечает увеличению кажущегося сопротивления.



Рисунок 2 – Вариации вертикальной компоненты ускорения A_n лунно-солнечных приливов для расчетной центральной точки профилей (верхний график) и относительные вариации кажущегося сопротивления $\Delta \rho_{\rm K}(\%)$ на кажущейся глубине 24 м для 3-х пунктов профиля «Бек-Тоо 2»: (MN/2 = 62,5; 117,5; 132,5 м) (нижние графики). R – рассчитанное значение коэффициента линейной корреляции вариаций A_n и $\Delta \rho_{\rm K}$

Функция взаимной корреляции. Для количественной оценки взаимосязи вариаций кажущегося сопротивления с параметрами лунно-солнечных приливов будем использовать функцию взаимной корреляции (ФВК) этих временных рядов [8, 9]. С помощью этой функции можно характеризовать сходство и наличие причинно-следственной связи этих двух процессов. Также функцию взаимной корреляции будем использовать для определения возможного запаздывания в отклике одной величины при изменении другой, учитывая, что ФВК дает оценку силы возможной линейной связи между коррелируемыми процессами для каждого лага (сдвига по времени). Если процессы независимы друг от друга, их корреляционная функция равна нулю. Чем шире корреляционная функция, тем больше взаимосвязь процессов друг с другом.

В общем виде функция взаимной корреляции представляет собой интегральное произведение двух процессов (по аналогии с интегралом Дюамеля), взятых в разные моменты времени:

$$R_{12}(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} f_1(\tau) f_2(1+\tau) d\tau$$
 (1)

где f_1 — численный ряд, представляющий вариации кажущегося электросопротивления геологической среды, f_2 — изменения лунно-солнечных приливов для того же интервала времени, t — текущий момент времени наблюдений, τ - сдвиг по времени (лаг). Сдвиг по времени отражает время реакции среды на внешнее воздействие.

Для проведения корреляционного анализа была разработана программа *crosscorrelation.m*, осуществляющая вычисление и графическую визуализацию функции взаимной корреляции двух временных рядов.

Рассмотрим полученные оценки взаимной корреляции вариаций кажущегося электросопротивления с лунно-солнечными твердыми приливами в течение двух сеансов 3-х суточного ЭТ-мониторинга, выполненного вдоль профиля «Бек-Тоо 2» в августе и сентябре 2023 года.

На рисунке 3 в представлен пример графика рассчитанной функции взаимной корреляции наблюденных значений кажущегося электросопротивления с параметрами лунносолнечных приливов для пункта наблюдения MN/2=117,5 м на профиле «Бек-Тоо 2» (кажущаяся глубина зондирования = 24 м).

Отметим, что взаимная корреляционная функция Rk и An имеет интересующий нас максимум (достигает пика) при лаге (сдвиге по времени), равном приблизительно 0, а точнее в диапазоне +- 40 минут (такова дискретизация наших коррелируемых временных рядов). Более точно оценить задержку изменения кажущегося электросопротивления, вызванного изменением вертикальной компоненты приливного воздействия, не представляется возможным в рамках данного эксперимента.


Рисунок 3 – Вариации вертикальной компоненты ускорения A_n лунно-солнечных приливов для расчетной центральной точки профилей (верхний график), изменения кажущегося сопротивления Ом-м на кажущейся глубине 24 м для пункта MN/2=117,5 профиля «Бек-Тоо 2». Координаты центральной точки профиля: 42,7904°N, 74,6944°E. Время мониторинга: 07.08.2023 12:15 (GMT+6) – 10.08.2023 12:08 (GMT+6) (средний график) и рассчитанные значения функции взаимной корреляции (нижний график)

О возможной природе влияния лунно-солнечных приливных деформаций на электропроводность земной коры Северного Тянь-Шаня. Попробуем на качественном уровне найти физическое объяснение отрицательного и положительного характера (знаков) корреляции кажущегося электросопротивления с вертикальными приливными движениями земной поверхности. Отрицательный знак корреляции означает, что во время приливов, то есть при подъеме земной поверхности, сопровождающимся ее растяжением, кажущееся удельное электрическое сопротивление земной коры понижается. Понижение сопротивления можно объяснить тем, что при снижении давления (при растяжении земной коры) увеличивается объем порового пространства в горных породах и увеличивается количество связных токопроводящих каналов диффузионной, флюидной природы за счет их освобождения из замкнутых пространств [10]. Во время отливов (при опускании земной поверхности и сжатии земной коры) наблюдается обратная картина – кажущееся удельное электрическое сопротивление возрастает вследствие увеличения давления и уменьшения количества свободных поровых пространств.

Однако, отрицательная корреляция наблюдается не повсеместно. В частности, корреляция электросопротивления с твердыми приливами может иметь положительный знак. Это означает, что во время приливов (при подъеме земной поверхности) кажущееся удельное электрическое сопротивление земной коры в этом месте увеличивается. Т.е. при подъеме земной поверхности, в результате снижения давления происходит ухудшение электрической связи между капиллярами и сопротивление возрастает [11]. Во времена отливов (при опускании земной поверхности и сжатии земной коры) наблюдается обратная картина.

Таким образом, лунно-солнечные приливные деформации приводят к изменению геометрии порово-трещинного пространства горных пород, увеличению или уменьшению давления в нем и, соответственно, реорганизации связанных флюидов, которые, в итоге, дают определяющий вклад в наблюдаемое изменение электропроводности геосреды. Все эти факторы сложным образом реализуются в условиях неоднородной геологической среды при приливном воздействии. Видимо, по этой причине в результатах режимных электромагнитных наблюдений выявляется «пестрая» картина (со сменой знака) приливных вариаций кажущегося сопротивления в разных регионах [11, 12, 13].

Выводы. Таким образом, продолжены исследования по выявлению и оценке влияния регулярно действующих приливных деформаций на электрофизические параметры верхней части земной коры Северного Тянь-Шаня (зона Иссык-Атинского разлома) с использованием использованием метола электротомографии. С экспериментальных материалов электромагнитных наблюдений, полученных сотрудниками Научной станции РАН на территории Северного Тянь-Шаня, отрабатываются возможные подходы по изучению реакции реальной геофизической среды на деформационное воздействие лунно-солнечного прилива, в частности, на основе расчета функции взаимной корреляции. При этом из-за сильной неоднородности верхней части геоэлектрического разреза профиля «Бек-Тоо 2», находящегося в зоне активного Иссык-Атинского разлома, знак корреляции кажущегося электросопротивления с вертикальной компонентой приливных деформаций может меняться на разных участках профиля.

Благодарности. Авторы выражают благодарность сотрудникам Научной станции РАН в г. Бишкеке: Лосихину Л.Н., Юнусову А.И., Валуйскому А.Ю. за подготовку полевых материалов ЭТ-мониторинга, а также главному научному сотруднику ЦГЭМИ ИФЗ РАН, д.ф.м.н. Александрову П.Н. за поддержку идеи и полезные обсуждения в ходе выполнения работы.

- 1. Мельхиор П. Земные приливы. М.: Мир. 1968. 482 с.
- 2. Авсюк Ю.Н. Приливные силы и природные процессы. М.: ОИФЗ. 1996. 188 с.
- 3. Адушкин В.В., Рябова С.А., Спивак А.А. Эффекты лунно-солнечного прилива в земной коре и атмосфере Земли // Физика Земли. 2017. № 4. С. 76–92. DOI: 10.7868/S0002333717040019.

- 4. Атлас временных вариаций природных процессов. Порядок и хаос в литосфере и других сферах / Отв. ред. А.В. Николаев, А.Г. Гамбурцев. М.: ОИФЗ РАН. 1994. 176 с.
- 5. Рыбин А.К., Забинякова О.Б., Баталева Е.А., Непеина К.С. Геоэлектрическая модель зоны Иссык-Атинского разлома (Северный Тянь-Шань) // Геофизика. 2023. № 3. С. 45-50. DOI: 10.34926/geo.2023.35.22.006
- 6. Рыбин А.К., Баталева Е.А., Забинякова О.Б., Непеина К.С. Мониторинговые электротомографические исследования зоны Иссык-Атинского разлома (Северный Тянь-Шань) // Russian Journal of Earth Sciences. 2023. Т. 23. Вып. 4. С. 1-13. https://doi.org/10.2205/2023ES000881
- 7. Многоэлектродная электроразведочная станция «Скала-48» для работы методом сопротивлений и вызванной поляризации. Руководство по эксплуатации https://sibergeo.com/ (27.11.2019).
- 8. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров: Определения, теоремы, формулы. М.: Наука. 1974. 831 с.
- 9. Никитин А.А. Теоретические основы обработки геофизической информации: Учебник для вузов. М.: Недра. 1986. 342 с.
- 10. Жамалетдинов А.А., Шевцов А.Н., Короткова Т.Г. Влияние лунно-солнечных приливов на электропроводность земной коры на территории Кольского полуострова // Физика Земли. 2018. № 3. С. 92–105.
- 11. Сараев А.К., Пертель М.И., Малкин З.М. Проявление деформаций земной коры, вызванных приливами, в изменениях импеданса электромагнитного поля СНЧрадиоустановки // Вопросы геофизики. СПб. 1998. Вып. 35. С. 136–147. (Ученые записки СПбГУ, № 433).
- 12. Короткова Т.Г. Методика и результаты изучения влияния лунно-солнечных приливов на МТЗ на примере обработки массива "BEAR". Теория и методика глубинных электромагнитных зондирований на кристаллических щитах. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН. 2006. С. 202–206.
- 13. Жамалетдинов А.А. О дилатантно-диффузионной природе промежуточных проводящих слоев в земной коре по данным каротажа Кольской сверхглубокой скважины и результатам электромагнитных зондирований // Комплексные геолого-геофизические модели древних щитов. Труды Всерос. конф. (с междунар. участием). Апатиты: Изд-во Геологического ин-та КНЦ РАН. 2009. С. 26–32.

СОСТОЯНИЕ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ И БУРОВОЙ ИЗУЧЕННОСТИ ВЕРХНЕ-СРЕДНЕЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ШАХПАХТИНСКОЙ СТУПЕНИ УСТЮРТСКОГО РЕГИОНА

Калбаев П.Т.¹, Тошкулов А.Дж.¹, Хожиев Б.И.²

P.Kalbayev@mingeo.uz, bixojiyev@mail.ru

¹ Министерство горнодобывающей промышленности и геологии РУз, г. Ташкент, Узбекистан ² Ташкентский государственный технический университет им. И. Каримова, г. Ташкент, Узбекистан

Автором статьи проведен детальный анализ состояния изученности Шахпахтинской ступени, основанный на изучении научно-исследовательских работ по данной территории, комплексном анализе материалов геофизической изученности – сейсморазведки, гравиразведки, магниторазведки и электроразведки. Подробно описано состояние буровой изученности, в результате чего вычислена плотность проведенного бурения на единицу площади, дана оценка степени изученности данной территории и рекомендованы дальнейшие направления геологоразведочных работ на исследуемой территории.

Ключевые слова: поднятие, горизонт, прогиб, вал, сейсморазведка, ловушки, бурение, скважина.

В Устюртском регионе, входящем в состав Туранской плиты, выделяются три структурных комплекса. Нижний структурный комплекс (фундамент) имеет нижне-среднепалеозойский, а местами, по видимому, докембрийский возраст. Промежуточные структурный комплекс представлен пермо-триасовыми и более древними образованиями. Верхний структурный комплекс (осадочный чехол) включает типично платформенные образования мезокайнозоя.

При тектоническом районирования по осадочному чехлу, учитывающем рельеф поверхности фундамента, Восточный Устюрт подразделяется на Северо-Устюртскую и Южно-Мангышлакско-Устюртскую впадины, разделенные Центрально-Устюртской системой дислокаций.

Южную часть Устюртского региона занимают прогибы, входящие в состав Южно-Мангышлакско-Устюртской впадины. Ассакеауданский прогиб подразделяется на Центральный грабен, Шахпахтинскую ступень на северном борту и Узункуинскую на южном. Шахпахтинская ступень приурочена к Южно-Устюртской впадине. Характерной особенностью является разломная тектоника, наиболее интенсивно проявляющаяся в палеозойских и пермо-триасовых отложениях. Наиболее крупным региональным нарушением является Шахпахтинский разлом, разделяющий Ассакеауданский прогиб и Шахпахтинскую ступень [1].

Шахпахтинская ступень имеет северо-западное простирание, меняющееся на юго-востоке на субмеридиональное. В ее пределах с запада на восток выделяются Шахпахтинское, Северо-Ассакеауданское и Востоно-Ассакеауданское поднятия, отделяемые друг от друга прогибами и поверхностью фундамента. При этом наблюдается его закономерное погружение в юговосточном направлении: от 3,5 км пределах Шахпахтинского, 4,0-4,5 км – на Северо-Ассакеауданском, до 4,5-5,0 км – на Восточно-Ассакеауданском поднятии.

Мощность пермо-триасовых отложений изменяется от первых сотен метров в приподнятых частях, до 2500 метров в центральной части прогиба.

Характерной особенностью прогиба является слабая дислоцированность осадочного чехла. Большинство антиклинальных структур в меловых и юрских отложениях приурочены к прибортовых зонам прогиба. Так, в пределах Шахпахтинской ступени выделены Западно-Шахпахтинская, Шахпахтинская, Тасоюкская, Отынчинская и Северо-Ассакеауданская складка. Самая крупная из них, Шахпахтинская, имеет северо-западное простирание и резко ассиметричное строение крыльев – пологое северное и крутое южное. Её размеры составляют 21х5км.

Геологическая изученность. Геологические исследования территории Устюрта начали проводиться с XIX века.

В 1944-1946 гг. в пределах Центрального и Южного Устюрта, в низовьях р. Амударьи и Заунгуских Каракумах Н.П. Лупповым и А.А. Яншиным проводятся геологические исследования, результаты которых послужили материалом для составления государственной геологической карты масштаба 1:1000000. Впервые выделяются Шахпахтинская антиклиналь, Центрально-Устюртская и Музбальская антиклинальные зоны, Айбугирская и Шорджинская антиклиналь, Ассакеауданский и Барсакельмесский прогибы. Получает научное обоснование вопрос нефтегазоносности Мангышлака и Устюрта.

Впервые были обобщены данные анализов вод юрских и меловых отложений и дана оценка гидрогеологических и гидрохимических параметров и на их основе перспектив нефтегазоносности вскрытого разреза. К числу перспективных были отнесены Шах-пахтинский и Аламбекский участки, бесперспективных – Центрально-Устюртская зона поднятий.

По материалам геохимической съемки установлены аномально высокие концентрации УВ газов (метан, этан и т.д.) в приповерхностных слоях над газоносной структурой Шахпахты (Ш.Х. Амирханов), выданы практические рекомендации по применению газовой съемки для поисков залежей УВ.

В Устюртском регионе Узбекистана применялись различные методы геофизических работ: магниторазведка, гравиразведка, сейсморазведка и электроразведка. До 1960 г. они носили регионально-рекогносцировочный характер и включали в основном мелко-среднемасштабную гравиметрическую и магнитометрическую съемки, сейсморазведку КМПВ и МОВ, электроразведку ВЭЗ, ДЭЗ.

По Шахпахтинскому инвестиционному блоку переобработаны и переинтерпретированы сейсморазведочные материалы. Структура Кубла-Ассакеаудан, подготовленная к бурению в предшествующие годы, по кресту из двух профилей выглядит как малоамплитудная и малоразмерная структура по юрским отложениям, хорошо выражена по пермо-триасу и очень слабо прослеживается по отражающему горизонту, приуроченному к поверхности палеозоя, по которому она и была подготовлена к поисковому бурению [2].

Поисково-детальные сейсморазведочные работы проводились с целью подготовки вновь выявленных объектов к поисковому бурению. Основная часть этого объема была сконцентрирована в пределах четырех блоков, охватывающих главные направления работ: Агыинский, Актумсукский, Насамбекский и Шахпахтинский. На Шахпахтинской ступени и Ассакеауданском прогибе сейсморазведочными работами выявлено 7 новых объектов, из них 6 подготовлено к поисковому бурению. На территории Шахпахтинской ступени сейсморазведочные работы 3Д практически не выполнялись.

Глубокое параметрическое и поисково-разведочное бурение на нефть и газ на территории Шахпахтинской ступени начато в конце 1960-х годов. По состоянию на 1 января 2024 г. глубокое поисково-разведочное и параметрическое бурение проведено примерно на 5 площадях. В целом пробурены 25 глубоких скважины, из них 3 – параметрические, 8 – поисковые и 14 – разведочные. Из общего количества пробуренных глубоких скважин32 % составляют поисковые, 56% – разведочные, 12% –параметрические (рис. 1).

В пределах Шахпахтинской ступени было открыто два месторождения газа (Шахпахты и Джел).

Структура Джел выявлена по результатам сейсморазведочных работ МОГТ 2Д в 2007 – 2008 гг., частично совпавшая с ранее (1965 – 1980 гг.) изучавшимся объектом Западный Шахпахты, а в 2008 г. подготовлена и передана под глубокое поисковое бурение. В 2008 г. началось бурение поисковой скважины № 1, при опробовании которой в 2009 году получены промышленные притоки газа из юрских отложений. В разряд месторождений структура введена в 2009 году. Всего на месторождении Джел (с учетом площади Западный Шахпахты) пробурено 10 скважин, из них 4 поисковые (№№ 1, 2 Джел и №№ 1, 6 Западный Шахпахты), общим метражом 11352 м и 6 разведочных скважин (№№ 3, 4 Джел и №№ 2, 3, 4, 5 Западный Шахпахты), общим метражом 15194 м. Из 10 пробуренных скважин 5 (№№ 1, 2, 3, 4 Джел и № 2 Западный Шахпахты) оказались в контуре газоносности. Из десяти скважин 6 (№№ 1, 2, 3, 4, 5, 6 Западный Шахпахты) ликвидированы, 4 (№№ 1, 2, 3, 4 Джел) – законсервированы.

На месторождении Джел (скв. №1) при испытании интервала перфорации 2387-2396м получен промышленный приток газа дебитом 417тыс.м³/сутки. По результатам ГРР на месторождении Джел выделены четырнадцать продуктивных горизонтов: XIII, XI (нижняя юра),

X, IX, VIIIa, VIII, VI, Va, V, IVa, IV-4, IIIa, I-2 (средняя юра), Ia (верхняя юра), тринадцать из которых (за исключением Va) признаны промышленно газоносными [3].



Рисунок 1 – Диаграмма изученности Шахпахтинской ступени различными категориями глубоких скважин. Составил П.Т. Калбаев, 2024 г.

Впервые структура Шахпахты была выявлена в 1957 г. по результатам геологической съемки. В 1961-1963 гг. на площади проводится структурно-геологическая съемка, по данным которой в 1962 г. начато бурение параметрической скважины № 1П. Кроме того, в период 1962-1969 гг. с целью детализации Шахпахтинской структуры было проведено структурное бурение 29 скважин, общим метражом 8439 м. Первооткрывательницей месторождения стала скважина №2, по результатам опробования которой в 1963 г. установлена промышленная газоносность средне- и верхнеюрских отложений. Всего за период 1962-1968 гг. на площади пробурено 14 (№№ 1П, 2-14) скважин, из которых 1 параметрическая (№ 1П), глубиной 2712 м, 3 поисковые (№№ 2, 3, 4), общим метражом 7314 м, 10 разведочные (№№5-14), общим метражом 22771м. Из 14 пробуренных скважин, 10 (№№4-6,8-14) – законсервированы, 4 (№№1П,2,3,7) – ликвидированы.

На месторождении Шахпахты промышленная газоносность установлена в отложениях верхнеюрского (I, II, III, IIIа горизонты) и среднеюрского (IV, VIII, VIIIа горизонты) возрастов. Дебиты газа составили от 74,48 тыс. м³/сут через 12,7 мм штуцер (скв. № 5, IV горизонт) до 478,87 тыс. м³/сут через 19,05 мм штуцер (скв. №2, II горизонт).

Заключение. Таким образом:

- исходя из последних тенденций в мировой практике, на территории Шахпахтинский ступени необходимо целенаправленно провести сейсморазведочные работы 3Д с целью оценки перспективности юрских и палеозойских отложений;
- в связи с тем, что на территории Шахпахтинский ступени уже доказана продуктивность юрских отложений, необходимо ускорить подготовку поискового бурения выявленных объектов Чуймак, Номсиз, Шимолий Кокбахты и др.

- 1. Абдуллаев Г.С., Юлдашева М.Г. Литолого-стратиграфические и геохимические особенности нижнеюрского нефтегазоносного комплекса Устюртского региона // Инновацион технологиялар журнали. Карши. 2019. № 4. С. 9-14.
- 2. Хегай Д.Р., Юлдашева М.Г. Особенности тектонического строения Устюртского нефтегазоносного региона по осадочному чехлу // Геология и минеральные ресурсы. Ташкент. 2008. № 5. С. 22-27.
- Юлдашева М.Г., Кароматов Р.Р. Геологическое прогнозирование нефтеносности юрских отложений Устюртского региона Узбекистана. // Молодые - наукам о Земле. Материалы IX Междунар. науч. конф. молодых ученых, г. Москва, 23 октября 2020 г. В 7 т. Т. 5. Старый Оскол. 2020. С. 65-68.

АНАЛИЗ СЕЙСМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ И ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВНЫХ РЕСУРСОВ МЕЗОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ПЛОЩАДИ ЧУЙМАК ШАХПАХТИНСКОЙ СТУПЕНИ

Калбаев П.Т.¹, Хожиев Б.И.²

P.Kalbayev@mingeo.uz, bixojiyev@mail.ru ¹Министерство горнодобывающей промышленности и геологии РУз, г. Ташкент, Узбекистан ²Ташкентский государственный технический университет им. И. Каримова, г. Ташкент, Узбекистан

В статье освещены особенности геологического и тектонического строения площади Чуймак Шахпахтинской ступени, детально охарактеризованы литологостратиграфические параметры разреза. Обоснована характеристика нефтегазоносности площади Чуймак на примере месторождений Шахпахты и Джел. На основе анализа и обобщения данных по структуре Чуймак предварительно оценены перспективные ресурсы по категории С₃ и даны рекомендации по дальнейшему направлению поисково-разведочных работ с целью увеличения ресурсов УВ.

Ключевые слова: поднятие, горизонт, литология, фация, стратиграфия, ловушки, бурение, скважина.

Введение. В последние годы рост и развитие промышленных предприятий привели к увеличению энергопотребления, что, в свою очередь, способствует уменьшению запасов нефти и газа. В связи с этим одной из приоритетных задач нефтегазовой отрасли является восполнение ресурсной базы углеводородов, в том числе на основе исследований продуктивности и потенциала нефтегазоносности новых стратиграфических комплексов и площадей, с учетом последних полученных геолого-геофизических данных. Для решения этих вопросов необходимо увеличить качество проводимых геологоразведочных работ и целенаправленно проводить сейсморазведочные и буровые работы на относительно малоизученных территориях, необходимо провести комплексный анализ старого фонда скважин.

Тектоника. В тектоническом отношении структура Чуймак расположена на Шахпахтинской ступени северного борта Ассакеуданского прогиба Южно-Мангышлаксо-Устюртской впадины. Характерной особенностью района является разломная тектоника, наиболее интенсивно проявляющаяся в пермо-триасовых и верхне-среднеюрских отложениях (рис. 1) [1].

Структура Чуймак выявлена в 2022 г. по материалам сейсморазведочных работ МОГТ-2D, по результатам которой построена структурная карта по отражающему горизонту T_v, приуроченному к кровле отложений пермотриаса. Структура представляет собой брахиантиклиналь субширотного простирания, размеры которой по замыкающейся изогипсе «-2360 м» составляют 1,8х2,7 км, амплитуда – более 40 м, площадь – около 3,25 кв.км. (рис. 2).

Литолого-стратиграфическая характеристика. Нижнеюрские отложения залегают с размывом и угловым несогласием на породах палеозоя, заполняя впадины доюрского рельефа. В нижней части залегают в основном, аргиллиты, с редкими маломощными прослоями алевролитов и песчаников.

Аргиллиты темно-серые, почти черные, реже серые, очень крепкие, плотные, массивные, местами слоистые, трещиноватые, с неровным изломом и включениями органических остатков.

Песчаники светло-серого, серого и темно-серого цвета полимиктовые, крепкие, плотные, местами рыхлые, пористые, кварц-полевошпатовые, от мелко до крупнозернистых

с включением органических остатков, причем, последние развиты, в основном, в нижней половине горизонта, с переходом в подошве в мелко-галечные гравелиты и конгломераты. Грубообломочные породы крепкие, массивные частично выветренные.



Рисунок 1 – Схема тектонического районирования исследуемой территории (по данным ГУ "ИГИРНИГМ")

Отложения среднеюрского отдела представлены сероцветной толщей ритмично чередующихся песчаников с алевролитами, глинами и аргиллитами. Глины темно-серые, плотные местами аргиллито-подобные и переходящие в аргиллито-песчанистые.

Алевролиты серые, светло-серые, плотные, крепкие, массивные, глинистые участками пятнистые, песчанистые.

Аргиллиты темно-серые, почти черного цвета, местами зеленоватые, массивные, плотные, крепкие, тонкослоистые с редкими линзочками алевролитов светлого тона с растительным детритом.

В верхней части разреза залегают глины серые, зеленовато-серые, местами темносерые, редко коричневато-серые, плотные, крепкие, аргиллитоподобные, алевритистые.



Песчаники светло-серые, кварц-полевошпатовые, мелко-, средне-, грубозернистые с зеленовато-серыми глинами и алевролитами.

Рисунок 2 – Структурная карта площади Чуймак по отражающему горизонту T_v (по данным АО «Узбекгеофизика»)

В составе отдела выделяются (снизу) аален-байосский, батский и келловейский ярусы. В целом породы отдела представлены пластами песчаников, алевролитов и глин (аргиллитов). Доля песчаников составляет от 20 до 45 % от мощности средней юры.

С песчаниками аален-байосского яруса связаны продуктивные горизонты X (скв.1, 2, 3 и 4 Джел), IX (скв.2,4), VIII (скв.2 Западный Шахпахты), VI (скв.2, 3 Джел), с песчаниками

батского яруса средней юры - продуктивный пласт IVa (скв.2 Западный Шахпахты, скв.4 Джел), а с песчаными пластами келловейского яруса связан продуктивный горизонт I-2.

Отложения верхней юры представлены, в основном, монотонной сероцветной толщей глин и аргиллитов с пластами песчаников и алевролитов прибрежно-морского и мелководно-морского и пойменного генезиса мощностью 600 м.

Песчаники серые, светло-серые, зеленовато-серые, местами темно-серые, полимиктовые, разнозернистые, реже с включением гравийных галек.

Глины, алевролиты серые, светло-серые, плотные, крепкие с включением растительных остатков.

В кровле верхнеюрских отложений залегает пачка карбонатных пород кимериджтитонского возраста, общей мощностью 165-198 м (Джел). В скв.3 и 4 (Джел) мощность отложений отдела составляет 169 и 173 м соответственно, и представлены серыми и светлосерыми известняками, с остатками фауны, плотными, крепкими, массивными, песчаниковыми.

В подошвенной части отложений верхней юры находится продуктивный горизонт Ia (скв. 1 Джел). В целом в юрской системе при подсчете запасов газоконденсатного месторождения Джел выделены 14 продуктивных пласта: I-a, I-2, IIIa, IV-4, IVa, V, Va, VI, VIII, VIIIa, IX, X, XI, XIII горизонты.

Нефтегазоносность. Глубокое параметрическое и поисково-разведочное бурение на нефть и газ на территории Шахпахтинской ступени начато в конце 1960-х годов. В пределах Шахпахтинской ступени было открыто два месторождения газа – Шахпахты и Джел.

В 2008 г. началось бурение поисковой скважины № 1 Джел, при опробовании которой в 2009 году получены промышленные притоки газа из юрских отложений. В разряд месторождений структура введена в 2009 году [2].

На месторождении Джел (скв. №1) при испытании интервала перфорации 2387-2396м получен промышленный приток газа дебитом 417тыс.м³/сутки. По результатам ГРР на месторождении Джел выделены четырнадцать продуктивных горизонтов: XIII, XI (нижняя юра), X, IX, VIIIa, VIII, VI, Va, V, IVa, IV-4, IIIa, I-2 (средняя юра), Ia (верхняя юра), тринадцать из которых (за исключением Va) признаны промышленно газоносными.

Первооткрывательницей месторождения Шахпахты стала скважина №2, по результатам опробования которой в 1963 г. установлена промышленная газоносность среднеи верхнеюрских отложений.

На месторождении Шахпахты промышленная газоносность установлена в отложениях верхнеюрского (I, II, III, IIIа горизонты) и среднеюрского (IV, VIII, VIIIa горизонты) возрастов [2].

Дебиты газа составили от 74,48 тыс. м³/сут через 12,7 мм штуцер (скв. № 5, IV горизонт) до 478,87 тыс. м³/сут через 19,05 мм штуцер (скв. №2, II горизонт).

На основе аналогии месторождений Шахпахты, Джел по структуре Чуймак предварительно оценены перспективные ресурсы о категории С₃: газ (сыр/сух) – 2060 млн.м³, конденсат (геол/извл.) – 20 тыс.т.

Заключение. Для увеличения ресурсной базы Шахпахтинский ступени необходимо:

- в пределах Шахпахтинский ступени увеличить объем сейсмических работ, направленных на подготовку структур по мезозойским отложениям;
- для увеличения запасов углеводородов необходимо ускорить посковое бурение на площади Чуймак.

- 1. Мамиров Ж.Р. Создание электронной карты тектонического районирования нефтегазоносных регионов Республики Узбекистан. Отчет НИР (заключ.). Ташкент: ИГИРНИГМ. 2022. 310 с.
- 2. Абдуллаев Г.С., Богданов А.Н., Эйдельнант Н.К. Месторождения нефти и газа Республики Узбекистан. Ташкент: Zamin Nashr. 2019. 818 с.

К ВОПРОСУ О ПОПРАВКАХ К СМЕЩЕНИЮ ФАЗОВОГО ЦЕНТРА АНТЕННЫ ГНСС ПРИЁМНИКА

Кенигсберг Д.В. *kenig@gdirc.ru* Научная станция РАН, г. Бишкек, Кыргызстан

Достоверность временных рядов координат и векторов скорости, наблюдаемых в течение длительного периода на станциях ГНСС, существенно зависит от точности расчёта. При таких расчётах важно учитывать максимально полный объём необходимых поправочных данных. В этом исследовании рассматриваются варианты поправок к смещениям фазового центра антенны российского ГНСС приёмника MP-8, для которого возникла необходимость выбора одного из вариантов таких поправок в программе Bernese GNSS Software. Для этого в Bernese были рассчитаны среднесуточные координаты для 3 станций по 4 дням с тремя вариантами антенн, подходящих для приёмника MP-8. Наибольшая устойчивость среднесуточных координат для всех станций за время наблюдения определена для антенны STXS9SA7224V3.0.

Ключевые слова: ГНСС, антенна, фазовые смещения, TOPCON, MP-8.

Введение. С помощью глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) для геодинамических исследований современных движений земной коры можно получить высокоточные координаты пунктов за весь период измерений [1]. Затем по временным рядам координат наблюдаемых пунктов можно рассчитать их векторы скорости, кинематические и деформационные параметры [2]. Большинство таких расчетов основано на среднесуточных координатах ГНСС-станций. Для корректных выводов по данным ГНСС позиционирования важно знать уровень точности воспроизводимости координат при различных методах их вычисления. Программный комплекс Bernese GNSS Software позволяет осуществлять высокоточное позиционирование станций с использованием ряда дополнительных входных данных. Таких как, корректировка часов и орбит спутников, ионосферные и тропосферные задержки сигналов, учёт приливных воздействий, привязка к глобальным системам отсчёта ITRF, априорных координат, модельных IGS скоростей и т.д. [3].

Кроме вышеперечисленных входных данных, качество расчёта координат и векторов скорости зависит от параметров, используемых ГНСС приёмников и их антенн. Отсутствие необходимых для расчёта данных о смещениях фазового центра антенны может привести к ошибкам в геодезических измерениях, включая расчёты деформаций, создание сетей мониторинга, исследования геодинамики и т. д. [4]. Это могут быть смещения фазового центра антенны (PCO – phase center offset) и вариации фазового центра антенны (PCV – phase center variations). Точка приёма ГНСС сигнала в антенне не является фиксированной, поскольку её положение зависит от того, как меняется направление принимаемого сигнала от спутника. Поэтому в качестве технической характеристики для каждого ГНСС приёмника должен быть определён средний фазовый центр (mean phase center) по средневзвешенным значениям всех моментальных фазовых центров с каждого приёма спутникового сигнала. Также он зависит от угла возвышения над горизонтом спутника и азимута направления от станции на спутник. Разница между моментальными фазовыми центрами и их средневзвешенным значением есть вариации фазового центра (PCV) [5]. Однако есть ещё множество таких факторов, как геометрия спутникового созвездия, возвышение спутников над горизонтом, форма и материал куполов ГНСС антенн, эффект многолучевости, размещение питающего кабеля. В совокупности все вышеперечисленные факторы также оказывают влияние на вариации фазовых центров антенны [6].

Разработчики и производители ГНСС оборудования предоставляют в технической документации данные о высоте фазового смещения для частот L1 и L2 относительно опорной точки антенны. Более точные и детальные поправки к вариациям фазового центра антенны могут предоставить специальные научные центры (NGS в США Geo++ в Германии, Geoscience Australia's GNSS Antenna Calibration Facility и др.), занимающиеся калибровками ГНСС антенн. Поскольку этот процесс трудоёмкий и затратный, не для всех изготавливаемых ГНСС приёмников может поставляться информация по фазовым вариациям антенны.

На основе результатов калибровки антенн на частотах L1 и L2 формируется текстовый файл формата ANTEX, который находится в свободном доступе на официальном сайте научного центра NGS, а также на сервере IGS. Информация по калибровкам периодически дополняется и обновляется, поэтому необходимо следить за актуальной версией ANTEX файла. Для примера (рис. 1) приведём фрагмент записи из файла ANTEX, конвертированного Bernese в локальный формат PCV для дальнейшей обработки данных.

ANTENNA/RADOME TYPE NUMBER SYS FRO TYP D(0) D(Z) D(A) M(Z) ********************* STXS800 ····· NONE ···· 0 · G ···· 2 ··· 1 ···· 0 ··· 5 ··· 5 ··· 90 ····· 2···1····0····5····5···90 · · · · · NORTH · MM · · EAST · MM · · · UP · MM · · · FACTOR G01.0...-0.85....-0.21....66.27...0.100E+01 G02.0....-1.05....0.45....58.59...0.100E+01 R01.0....-0.85....-0.21....66.27...0.100E+01 R02.0....-1.05.....0.45....58.59...0.100E+01 G01.0.A\z...0...5...10...15...20...25...30. G01.0...0.00.00.-0.09..-0.29..-0.55..-0.79..-0.93..-0.91. G01.0...5...0.00...-0.08...-0.28...-0.53..-0.76..-0.89..-0.87. G01·0·10·0.00·-0.08·-0.27·-0.51·-0.73·-0.85·-0.82· G01·0·15···0.00··-0.08··-0.26··-0.49··-0.70··-0.80··-0.76· G01.0.20.0.00.00.00.07.0.25.0-0.47.0-0.66.0-0.75.0-0.70. G01.0.25...0.00.-0.07..-0.24..-0.45..-0.62..-0.70..-0.63. G01.0.30.00.00.-0.07.-0.23.-0.43.-0.59.-0.65.-0.56. G01.0.35...0.00.-0.06.-0.22.-0.41.-0.56.-0.60.-0.49. G01.0.40.0.00.-0.06.-0.21.-0.39.-0.54.-0.56.-0.44. G01.0.45...0.00.-0.06.-0.20.-0.38.-0.51.-0.53.-0.39. G01.0.50.0.00.-0.05.-0.20.-0.37.-0.50.-0.51.-0.35.

Рисунок 1 – Фрагмент блока записи из файла PCV.I20 с поправками к вариациям фазовых центров для антенны STXS800

Файл поправок к фазовым центрам антенн имеет название PCV.I20 и включает записи с данными к каждой антенне. Первая часть записи содержит себе общую информацию по антенне: название (NAME), обозначение защитного колпака (RADOME TYPE), номер антенны (NUMBER), спутниковые системы, для которых определены поправки (SYS), частоты L1, L2 (FRQ), шаг углов для азимута и надира, а также их максимум угла зенита (D(Z), D(N), M(Z)). Также указывается источник, откуда была взята информация о поправках к смещениям. Во второй части каждого информационного блока об антенне (обозначается ключевыми словами NORTH MM, EAST MM и UP MM) указаны средние смещения фазового центра (на север, восток и вверх). В третьей части каждого блока (матричная сетка «A/Z») находятся поправки к вариациям фазового центра антенны (рис. 1).

Таким образом, в процессе расчёта, Bernese обращается к файлу PCV.I20 с поправками к смещениям антенны, выбирая блок записей с поправками для антенны,

указанной в RINEX файле. В случае отсутствия в PCV.I20 необходимой антенны процесс расчёта прерывается и выдаётся информация о соответствующей ошибке.

Выбор данных и их обработка в Bernese. Научной Станцией РАН был приобретён комплект (6 шт.) новых ГНСС приёмников МР-8. Это геодезическая спутниковая аппаратура производства «ПО «Уральский оптико-механический завод» им. Э.С. Яламова» позволяет фиксировать многочастотные сигналы с 4 спутниковых группировок GPS, ГЛОНАСС, BeiDou, SBAS (спутниковая система дифференциальной коррекции) [7, 8]. Однако при этом, в документации к приёмникам отсутствовала информация о поправках к фазовому центру антенны, что приводило к значимым погрешностям при расчёте координат станций. Поэтому для корректной обработки данных с такого приёмника нужны поправочные данные к смещениям фазового центра антенны.

В 2023 году уже были проведены работы по вычислению смещения фазового центра аппаратуры MP-8, в ходе которых было выяснено, что фазовый центр прибора MP-8 смещается относительно геометрического центра на N=2,69 мм, E=-0,00 мм (для GPS L1) и на N=0,71, E=-0,14 (для GPS L2) [9]. Так же было установлено, что параметры антенн STXS8PX003A, STXS990A и STXS9SA7224V3.0 могут подходить для расчётов корректных координат станций. Но при отсутствии эталонных координат сложно утверждать о преимуществе одной из перечисленных трёх типов антенны для приёмника MP-8. Поэтому возникла необходимость провести дополнительное исследование по выбору наиболее подходящего типа антенны для приёмника MP-8.

Для проведения исследований было выбрано 3 станции эпизодических измерений на площадке Kentor (пункты IK02, IK03, IK05) приёмниками MP-8 и 3 постоянно действующих станции Центрально-Азиатской GPS-сети (IATA, CHUM, POL2) для стабилизации. Также выбрали 4 дня измерений: 27 января, 10 марта, 6 августа и 9 декабря 2021г. В программе Bernese GNSS Software были рассчитаны среднесуточные координаты этих станций с учётом поправок для каждой из трёх выбранных антенн. Затем для каждой станции по всем дням был рассчитан интервал вариаций (табл.1)

	STXS8PX003A			STXS990A			STXS9SA7224V3.0					
Станция	INT_X	INT_Y,	INT_Z	INT_X	INT_Y	INT_Z	INT_X	INT_Y	INT_Z			
	, MM	MM	, MM	, MM	, MM	, MM	, MM	, MM	, MM			
IK02	20.90	4.70	12.70	21.00	5.50	12.30	21.00	3.70	12.00			
IK03	25.20	15.70	5.70	24.80	15.70	6.10	25.20	15.00	4.90			
IK05	33.20	11.00	6.60	33.10	9.80	6.10	32.50	8.90	5.60			
Среднее	15.08			14.93			14.31					

Таблица 1 — Интервалы вариаций среднесуточных координат для 3 станций за 4 дня с 3 вариантами типов антенн

Из таблицы видно, что наименьшим интервалом вариаций обладает станция IK02 для всех типов антенн. По компоненте X значения вариаций мало отличаются между всеми станциями (<1 мм) для каждой антенны. Наибольшая разница для станции IK02 наблюдается по компоненте Y, и составляет 1.8 мм. Интервал вариаций для компоненты Z не превышает 13 мм, и расчёты координат на основе типа антенны STXS9SA7224V3.0 имеют наилучшее решение по всем трём компонентам. Для станций IK03 и IK05 также наблюдается наиболее устойчивое решение координат с типом антенны STXS9SA7224V3.0. Наименьшее среднее значение по всем станциям и компонентам наблюдается у антенны STXS9SA7224V3.0 и составляет 14.31 мм.



Рисунок 2 — Интервалы вариаций для трёх исследуемых станций с тремя вариантами поправок к смещениям фазовых центров антенн по компоненте X



Рисунок 3 — Интервалы вариаций для трёх исследуемых станций с тремя вариантами поправок к смещениям фазовых центров антенн по компоненте Y



Рисунок 4 — Интервалы вариаций для трёх исследуемых станций с тремя вариантами поправок к смещениям фазовых центров антенн по компоненте Z

Исследуемые пункты ГНСС наблюдения разнесены по площади до 2.5 км и находятся в разных ландшафтных условиях. Поэтому для каждой из трёх станций мы наблюдаем заметно разные уровни интервалов их вариаций (рис. 2, рис. 3, рис. 4). В этом случае имеет смысл перейти к сравнению трёхмерных векторов позиций для каждой станции отдельно по 4 дням.

		27 января 10 марта	27	27	10	10	6			
	ΔXYZ,		января	января	марта	марта	октября			
	ММ		6	9	6	9	9			
			октября	декабря	октября	декабря	декабря			
STXS9SA7224V3.0	IK02	7.16	22.73	17.94	21.11	14.98	10.34			
	IK03	10.2	16.03	25.95	18.55	22.71	17.47			
	IK05	8.53	16.83	32.98	11.54	26.35	17.85			
	Среднее									
	IK02	8.52	22.97	21.17	17.68	14.8	10.29			
STYS000A	IK03	11.92	15.6	25.59	18.8	22.66	17.33			
5173990A	IK05	9.57	17.36	33.57	12.13	26.67	18.06			
	Среднее	18.04								
	IK02	7.86	23.61	21.16	18.46	14.81	9.78			
STVS9DV002A	IK03	11.1	16.62	25.84	19.43	22.92	16.86			
SIASOFAUUSA	IK05	9.26	18	33.79	13.14	27.87	18.25			
	Среднее	18.27								

Таблица 2 – Отклонения трёхмерных радиус-векторов по отдельным станциям между всеми днями наблюдений

В представленной таблице показан уровень устойчивости вычисляемой ГНСС позиции в трёхмерном пространстве при использовании поправочных данных определённой номенклатуры антенны. Среднее значение таких отклонений по всем станциям за выбранные дни наблюдения по данному типу антенны может характеризовать оптимальность выбора номенклатуры антенны и соответствующих ей поправочных данных вариаций фазового центра. Наилучшим показателем устойчивости также обладает антенна STXS9SA7224V3.0, и не превышает 17.74 мм.

Выводы. Проведённые исследования показали, что по отдельно взятым координатам XYZ для всех станций наименьший интервал вариаций отмечается при использовании фазовых поправок для антенны STXS9SA7224V3.0 и составляет в среднем 14.31 мм. Различие в ландшафтных условиях и круговом обзоре видимых спутников у исследуемых станций приводит к существенной разнице в уровнях интервалов вариаций их координат от станции к станции. Поэтому более корректным является сравнение общих позиций в 3D пространстве. По данным средних значений отклонений трёхмерных радиус-векторов каждой станции между всеми днями наблюдается наибольший уровень устойчивости координат (<17.74 MM) исследуемых станций при учёте поправок антенны STXS9SA7224V3.0

Работа выполнена в рамках темы "Исследование современных движений земной коры Тянь-Шаня и прилегающих территорий методами наземной и космической геодезии" (1021052806451-5-1.5.1). Автор выражает благодарность своему научному руководителю к.ф.-м.н., заведующему ЛGPS НС РАН С.И. Кузикову за выбор направления, советы при проведении работ и рекомендации по оформлению статьи.

- Zubovich A.V., Wang X., Scherba Y.G., Schelochkov G.G., Reilinger R., Reigber C., Mosienko O.I., Molnar P., Michajljow W., Makarov V.I., Li J., Kuzikov S.I., Herring T.A., Hamburger M.W., Hager B.H., Dang Y., Bragin V.D., Beisenbaev R.T. GPS velocity field for the Tien Shan and surrounding regions // Tectonics. 2010. V. 29. TC6014. DOI:10.1029/2010TC002772.
- 2. Kuzikov S.I., Mukhamediev S.A. Structure of the present-day velocity field of the crust in the area of the Central-Asian GPS network // Izvestiya, Physics of the Solid Earth. 2010. 46 (7). 584–601.
- 3. Dach R., Lutz S., Walser P., Fridez P. Bernese GNSS Software, Version 5.2 // Astronomical Institute University of Bern. 2018. 826pp. DOI: 10.7892/boris.72297.
- 4. Stępniak K., Wielgosz P., Baryła R. Field tests of L1 phase centre variation models of surveying-grade GPS antennas // Studia Geophysica et Geodaetica. 2015. No. 59. P. 394-408.
- Biagi L., Grec F.-C., Fermi A., Negretti M. Relative antenna calibration for mass-market GNSS receivers: A case study. 2018. DOI: 10.13140/RG.2.2.19687. [Электронный pecypc]. URL: https://www.researchgate.net/publication/328074695_Relative_antenna_calibration_for_massm arket_GNSS_receivers_A_case_study (дата обращения 19.03.2024)
- 6. Ялтыхов В.В., Маркович К.И. К вопросу использования различных моделей калибровок GPS-антенн, типов куполов, масок по углу возвышения при обработке GNSS-измерений // Вестник СГУГиТ. 2016. Вып. 4 (36). С. 40-51.
- УОМЗ / Продукция / Геодезия / Аппаратура спутниковая / МР-8 [Электронный ресурс]. URL: https://www.yoмз.pф/ru/production/geodeziya/apparatura-sputnikovaya/mr-8 (дата обращения 19.03.2024)
- 8. Приложение к свидетельству No67720. ОПИСАНИЕ ТИПА СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ [Электронный pecypc]. URL: https://all-pribors.ru/docs/69092-17.pdf (дата обращения 19.03.2024)
- 9. Ташматов С.С., Саламатина Ю.М. Экспериментальная оценка влияния смещения фазового центра ГНСС приемника МР-8 на точность внутрисуточных координат // Современные техника и технологии в научных исследованиях: Сб. материалов XV Междунар. конф. молодых ученых и студентов. Бишкек: НС РАН. 2023. С. 173-182.

АНАЛИЗ ВАРИАЦИЙ ПОЛНОГО ЭЛЕКТРОННОГО СОДЕРЖАНИЯ ИОНОСФЕРЫ ВО ВРЕМЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ В АКСУЙСКОМ РАЙОНЕ 23 ЯНВАРЯ 2024 ГОДА (СУАР КНР)

Кирилов А.А. artemmiroy117@gmail.com Научная станция РАН, г. Бишкек, Кыргызстан

На основе землетрясения M7.0 в приграничной зоне Кыргызстана и КНР 23 Января 2024 проведен анализ ПЭС в районе его эпицентра. По данным GNSS наблюдений на перманентной станции Кумтор и Теплоключенка (ближайшие станции к эпицентру на территории КР) построены карты распределения ПЭС за разные дни наблюдений до, во время и после этого события. Выявлены значимые вариации до события, которые могут быть расмотрены как предвестники землетрясения. Однако и после события также отмечаются повышенные интревалы вариаций ПЭС.

Ключевые слова: GNSS, ионосфера, ПЭС, предвестники землетрясения, перманентные станции, СУАР КНР, Центральный Тянь-Шань

Введение. Землетрясение с магнитудой от 3 до 7.0 произошло в уезде Уши (Учтурфан) округа Аксу Синьцзян-Уйгурского автономного района (СУАР) КНР (рис. 1). Для выявления ионосферных предвестников этого землетрясения были использованы данные GPS-наблюдений, полученные на перманентной станции Кумтор и Теплоключенка, которые управляются Научной станцией РАН.

В последнее время активно развиваются алгоритмы определения Полного Электронного Содержания (ПЭС) на основе ионосферных задержек GNSS-сигнала, что позволяет более точно оценивать ионосферные параметры. ПЭС представляет собой суммарное количество свободных электронов в выделенном сечении между верхним и нижним слоями ионосферы Земли, измеряемое в единицах ТЕСU с размерностью 10¹⁶ м⁻² [1, 2, 3]. Исследования показывают, что вариации ПЭС могут служить потенциальными предвестниками сейсмических событий [4, 5, 6]. Например, Joshi S. и пр. [6] в своем исследовании GNSS данных в Гималайском регионе подтвердили, что такие вариации могут предвещать землетрясения.



Рисунок 1 – Расположение очагов землетрясения на территории Центральной Азии

В данном исследовании использованы современные методы анализа данных для точного определения ионосферных параметров перед землетрясением, включая используемое для расчетов программное обеспечение GPS Gopi (версия 2.9.9), разработанное Dr. Gopi Krishna Seemala из Университета Андхра, Индия [5]. Сравнение полученных данных

с ранее зарегистрированными событиями позволяет сделать выводы о возможности использования ПЭС в качестве индикатора сейсмической активности [7, 8, 9, 10].

Исходные данные для сравнительного анализа. В рамках исследования была проведена оценка вариаций Полного Электронного Содержания (ПЭС), наблюдаемых с GNSS пунктов, расположенных в Центральной Азии и Центральном Тянь-Шане. Для перманентных GPS станций КМТК (41.868° с.ш. и 78.659° в.д.) и TPKL (42.463° с.ш. и 78.529° в.д.), расположенных в Центральной Азии (рис. 2), были рассчитаны временные ряды ПЭС (на основе фазовых задержек) на каждую эпоху с 07.01.2024 по 24.01.2024.

В данном исследовании рассматривались только спутники системы GPS, которые могут фиксироваться перманентными станциями в количестве до 32 штук в течение суток наблюдений в Центральной Азии. Значения ПЭС в точках прокола усреднялись по сетке 1×1 градус по широте и долготе, что позволило получить достаточно детализированные данные. Результаты были представлены в виде изолиний, отображающих распределение ПЭС по площади исследования.



Рисунок 2 – Расположение станций Кумтор (КМТR) и Теплоключенка (ТРКL)

Характер вариаций ПЭС по площади. В меридиональном секторе, расположенном непосредственно над эпицентром землетрясения, в большинстве случаев наблюдалась зона пониженных значений ПЭС. Исключение составил лишь один случай накануне землетрясения (22.01), когда произошли значительные изменения в картине распределения ПЭС (рис. 3).



Рисунок 3 – Поведение ПЭС за 20-й день наблюдения (за сутки до землетрясения, а) и за 22 – й день наблюдения (b)

Анализ временных рядов показал характерные вариации ПЭС, которые могут быть связаны с подготовительными процессами землетрясения. Так, за 16 дней до землетрясения было зафиксировано минимальное значение ПЭС (9 ТЕСU). Через 8 дней после этого значения достигли максимума (14 ТЕСU), за 3 дня до события снова произошло понижение (до 12 ТЕСU), а в день землетрясения наблюдалось новое повышение ПЭС до 14 ТЕСU (рис. 4). На рис. 5 построены графики усредненных по площади наблюдения значений ПЭС над эпицентром землетрясения за весь период наблюдения.



Рисунок 4 – Поведение ПЭС за 7 (a) ,11 (b) ,15 (c) ,20 (d) ,23 (e) ,26 (f) дни наблюдения



Рисунок 5 – Сравнительные графики ПЭС над эпицентром землетрясения и над всей площадью наблюдений

Заключение. В течение большинства дней наблюдений в центральной зоне шириной около 160 км и протяженностью с юго-северным уклоном примерно 550 км была зафиксирована область с пониженными значениями ПЭС. Наиболее высокие значения ПЭС наблюдались 15 и 23 января, что совпадает с неделей до землетрясения и самим днем события. Самые низкие значения ПЭС были зарегистрированы примерно за 2 недели до землетрясения.

Выявленные особенности в вариациях ПЭС до события, во время его и после могут быть рассмотрены как возможные предвестники землетрясений, что требует проведения дополнительных исследований на других сейсмических событиях для подтверждения данной гипотезы. Результаты настоящего исследования подчеркивают важность дальнейшего анализа и мониторинга ионосферных параметров для разработки методов прогноза землетрясений.

- 1. Афраймович Э.Л., Перевалова Н.П. GPS-мониторинг верхней атмосферы Земли. Иркутск: ГУ НЦ ВСНЦ СО РАМН. 2006. 480 с.
- 2. Кузиков С.И., Мухамедиев Ш.А. Структура поля современных скоростей земной коры в районе Центрально-Азиатской GPS сети // Физика Земли. 2010. № 7. С. 33–51.
- Мыльникова А.А., Ясюкевич Ю.В., Демьянов В.В. Определение абсолютного вертикального полного электронного содержания в ионосфере по данным ГЛОНАСС/GPS // Солнечно-земная физика. 2014. Вып. 24. С. 70–77.
- Соболев Г.А., Закржевская Н.А., Акатова К.Н., Гитис В.Г., Дерендяев А.Б., Брагин В.Д., Сычева Н.А., Кузиков С.И. Динамика взаимодействия полей сейсмичности и деформаций земной поверхности (Бишкекский геодинамический полигон) // Физика Земли. 2010. № 10. С. 15–37.
- 5. Страница загрузки ПО GPS Gopi [Электронный ресурс]: Персональная страница Dr. Gopi Krishna Seemala // URL: https://seemala.blogspot.com/ (дата обращения: 08.08.2023).

- Joshi S., Kannaujiya S., Joshi U. Analysis of GNSS Data for Earthquake Precursor Studies Using IONOLAB-TEC in the Himalayan Region // Quaternary. 2023. V. 6. P. 27. DOI: https://doi.org/10.3390/quat6020027
- Kumar S., Gopi K.S., Priyadarshi S., Singh A.K. GPS-TEC Variations during Low Solar Activity Period (2007–2009) at Indian Low Latitude Stations // Astrophysics and Space Science 339.1. 2012. P. 165–178.
- Rao P.V., Gopi K.S., Niranjan K., Prasad D. Temporal and spatial variations in TEC using simultaneous measurements from the Indian GPS network of receivers during the low solar activity period of 2004–2005 // Ann. Geophys. 2006. V. 24. P. 3279–3292. DOI: https://doi.org/10.5194/angeo-24-3279-2006.
- 9. Wei L., Li J., Liu L., Huang L., Zheng D., Tian X., Huang L., Zhou L., Ren C., He H. Lithosphere Ionosphere Coupling Associated with Seismic Swarm in the Balkan Peninsula from ROB-TEC and GPS // Remote Sensing. 2022. V. 14. P. 4759. DOI: https://doi.org/10.3390/rs14194759.
- Zubovich A.V., Wang X., Scherba Y.G., Schelochkov G.G., Reilinger R., Reigber C., Mosienko O.I., Molnar P., Michajljow W., Makarov V.I., Li J., Kuzikov S.I., Herring T.A., Hamburger M.W., Hager B.H., Dang Y., Bragin V.D., Beisenbaev R.T. GPS velocity field for the Tien Shan and surrounding regions // Tectonics. 2010. V. 29. TC6014. DOI: 10.1029/2010TC002772.

ДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ МИРНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ ПО ДАННЫМ АНАЛОГОВЫХ ИСТОРИЧЕСКИХ СЕЙСМОГРАММ

Комекбаев Д.К.^{1,2} *d.komekbaev@mail.ru* ¹ Институт геофизических исследований Национального ядерного центра, г. Алматы, Казахстан ² Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, г. Алматы, Казахстан

По записям исторических аналоговых сейсмограмм составлен сейсмический бюллетень мирных ядерных взрывов на территории Центральной Азии. Построены зависимости региональных магнитуд от мощности взрывов. Показано, что эта зависимость существенно зависит от среды, в которой взрывы проводились. Для взрывов, проведенных в соли, наблюдается более резкий рост магнитуд от мощности, чем для взрывов, проведенных в коренных породах. Полученные результаты можно использовать для калибровки сейсмических станций и в задачах мониторинга ядерных испытаний.

Ключевые слова: мирные ядерные взрывы, магнитуда, мощность, исторические сейсмограммы

Введение. На территории СССР, начиная с 1965 года, проводились подземные ядерные взрывы в рамках реализации государственной программы «Ядерные взрывы для народного хозяйства». За период 1965-1988 г. было проведено 124 мирных ядерных взрыва (МЯВ) в интересах народного хозяйства и в научных целях (из них 117 – вне границ ядерных полигонов, остальные были проведены на территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП)) [1-4]. По территориальному распределению: 80 МЯВ проведено в РСФСР, 39 — в Казахской ССР, 2 — в Украинской ССР, 2 — в Узбекской ССР, 1 — в Туркменской ССР [1, 4]. Большинство взрывов зарядов (130) было произведено в скважинах, один — в шахте и четыре — в штольнях [3]. МЯВ проводились с целью научных исследований, создания полостей для хранения газоконденсата, создания водохранилищ, тушения газовых фонтанов и др. МЯВ были проведены на общирной территории, в разных геологических условиях, что позволяет исследовать характеристики среды, зависимости сейсмического эффекта от особенностей вмещающей породы и мощности [5].

Для взрывов на территории Казахстана в рамках договора между ИГИ и Мичиганским государственным университетом США в 2013, 2015 гг. были проведены работы по определению точной локализации мест проведения МЯВ на территории Казахстана [6, 7]. Кевином Макей и соавторами было проведено уточнение параметров МЯВ на территории Российской Федерации и Украины [8,9]. Таким образом, в настоящее время большинство МЯВ являются эталонными источниками с хорошо известными координатами, их сейсмические записи могут быть использованы для калибровки современных сейсмических станций, для построения региональных годографов и других задач мониторинга [10, 11].

В настоящее время, в Международных сейсмологических Центрах (МСЦ) [12] содержатся бюллетени наиболее мощных МЯВ по данным зарубежных станций, расположенных на эпицентральных расстояниях от 1000 до 15000 км, расположенных в узком створе азимутов. Бюллетени советских сейсмических станций для ядерных испытаний на территории СССР не представлялись в МСЦ. В связи с этим, учитывая большой интерес к эталонным сейсмическим источникам, параметризация сейсмических записей МЯВ, произведенных на территории СССР представляет актуальную задачу для исследований в

области мониторинга ядерных испытаний, а также задач сейсмического распознавания природы источника.

Система наблюдений и использованные материалы. В филиале "Институт геофизических исследований" РГП Национальный ядерный Центр Республики Казахстан (ИГИ) на данный момент имеется большой архив аналоговых сейсмограмм [13]. Весь имеющийся архив ИГИ можно условно разделить на три части: архив обсерватории «Боровое» (1966 – 1990 гг.), архив в г. Курчатов станций Службы специального контроля (1973 – 1996 гг.) и архив в КНЦД (г. Алматы) (рис. 1) [13].



Рисунок 1 – Схема архивов ИГИ НЯЦ РК



Рисунок 2 – Карта расположения сети аналоговых станций КСЭ ИФЗ АН СССР

На территории КНЦД размещен архив КСЭ ИФЗ АН СССР, станции которой были расположены на территории всего СССР (1951-1996 гг). Общее количество сейсмограмм превышает 300 тыс., среди них есть записи ядерных взрывов со всего мира, проведенные в различных средах, мощных химических взрывов, землетрясений и др. [13]. Кроме сейсмограмм в архиве содержатся записи микробарографа, деформографа, наклономера и др. Основными задачами КСЭ были изучение строения литосферы, мониторинг плотин, в частности, Токтогула, мониторинг ядерных испытаний сейсмическими методами и др [13].

КСЭ было открыто большое количество сейсмических станций (более 200) на территории всего бывшего Советского Союза, как стационарных, так и временных. Все станции были оснащены чувствительными приборами типа СКМ-3, УСФ, КСЭ и РВЗТ с увеличением V от 40 000 до 1200000) [14]. Станции были расположены на Северном Тянь-Шане, Таджикистане, Афганистане, в районе Токтогульского водохранилища, Алтае и Саянах, Урале, Дальнем Востоке, Украине, Кавказе и др. На рис. 2 представлена карта расположения сейсмических станций КСЭ ИФЗ АН СССР в Центральной Азии.

Методика замеров. Для исследований были выбраны записи МЯВ, произведенных на территории Казахстана, Узбекистана, Туркмении и прилегающих к Казахстану районов РФ. Исследуемый район ограничен координатами: 37-53° с.ш. и 45-80° в.д. Были выбраны аналоговые сейсмограммы станций КСЭ ИФЗ АН СССР за 1965-1987 гг. Для каждой сейсмической станции, данные которых обрабатывались для создания бюллетеня, при помощи программы distaz рассчитаны эпицентральные расстояния, в качестве координат взрывов использовались уточненные с помощью космоснимков, полевых выездов координаты взрывов [6-9]. Для интерпретации сейсмических фаз использовался годограф КСЭ, полученный в работе по изучению строения литосферы с использованием данных профиля Памир-Байкал [15]. Замерялись времена вступлений волн Рп, Рg, Р, Rg (на вертикальных компонентах), Sn, S, Lg (на горизонтальных компонентах), амплитуды и периоды. Если сейсмическая запись была «зашкалена», то амплитуда с периодом не замерялись, или, если это было, возможно замерялись на загрубленном канале.

После замеров амплитуд и периодов были рассчитаны магнитуды и энергетические классы К [16], а также магнитуда mb с использованием калибровочной кривой Veith K.F., Clawson G.E. [17], региональная магнитуда mpv с использованием калибровочной кривой Михайловой и Неверовой [18].

В советской практике обработки сейсмических данных широкое распространение получила классификация событий по энергетическим классам Кр, введенная Раутиан Т.Г.[16]. Энергетический класс - количественная мера величины землетрясений, равная десятичному логарифму высвободившейся сейсмической энергии, измеренной в джоулях (K=lgE).

В Казахстане в качестве региональной магнитудной шкалы используется шкала MPV, разработанная Михайловой Н.Н., Неверовой Н.П. [18]. Для ее определения используется региональная калибровочная кривая σ_{reg}(Δ). Магнитуда mpv является аналогом магнитуды mb.

При определении энергетического класса использовалась максимальная амплитуда в Р- и S- фазах сейсмических волн на короткопериодных каналах типа СКМ. Далее расчет Кр производился по формуле

$$Kp=1.8 lg(A_p + A_s) + \sigma_K(\Delta), \qquad (1)$$

где A_p и A_s – максимальная амплитуда P и S –волн в микронах; $\sigma_{\kappa}(\Delta)$ -калибровочная функция для A_p + A_s в диапазоне расстояний от 10 до 3000 км.

Для определения mpv измерялась амплитуда и период Р - фазы для момента времени, когда колебательная скорость максимальна. Измерения проводились на короткопериодном канале типа СКМ. Значение MPV рассчитывалось по формуле

$$MPV = \lg (A/T) + \sigma_{reg}(\Delta), \qquad (2)$$

где А и T – амплитуда и период P-волны, $\sigma_{reg}(\Delta)$ -калибровочная кривая в диапазоне расстояний от 10 до 1200 км.

После расчёта магнитуд по записям каждой станции были рассчитаны средние значения для каждого события.

Для анализа и замеров использованы исторические аналоговые сейсмограммы из архива Комплексной сейсмологической экспедиции Института физики Земли, Академии наук СССР (рис. 3). Обработано 1086 аналоговых сейсмограмм, сделано 1333 замеров. Диапазон эпицентральных расстояний 348 (Тартку) - 5942 км (Беличаны). Большинство замеров сделаны для диапазона от 500 до 2500 км.



Рисунок 3 – Карта расположения эпицентров МЯВ и зарегистрировавших их станций. Звездочки – места проведения МЯВ, треугольники – сейсмические станции КСЭ

О связи магнитуд ядерных испытаний с их мощностью. Для исследователей в области сейсмического мониторинга поиск зависимости магнитуд от мощности взрыва представляет большой интерес. Особенно эти зависимости важно получить для МЯВ, ведь они были произведены в разной геологической среде, например, в гранитах, песчаниках, соли и др. В ходе работ по созданию сейсмического бюллетеня для мирных ядерных испытаний рассчитывались магнитуды mpv, mb, и энергетический класс К. Следует отметить, что для одного и того же взрыва наблюдался разброс магнитуд, который связан с тем, что часть станций расположена на территории городов на осадочных грунтах. В связи с этим, на таких станциях систематически завышаются значения энергетических характеристик. Часть станций КСЭ имела очень узкополосную аппаратуру, что приводило, наоборот, к занижению магнитуд. В таком случае, необходимо изучить станционные поправки для каждой станции, однако это достаточно сложная задача, требующая анализа статистически представительного материала и большой объем исследований, поэтому пока мы ограничились использованием станционных магнитуд без поправок.

На рис. 4 приведена зависимость магнитуд mb для ядерных взрывов, проведенных в разной геологической среде, от мощности взрыва. Видно, что сейсмический эффект взрывов существенно отличается в зависимости от среды – у подземных ядерных взрывов в соли сейсмический эффект значительно выше, чем проведенных в коренных породах.

Для подземных ядерных взрывов в соли: mb=4.56+0.75*lg(Y(kt)), коэффициент корреляции R=0.76. Для подземных ядерных взрывов в коренных породах: mb=4.89+0.44*lg(Y(kt)), коэффициент корреляции R=0.71.



Рисунок 4 – Зависимость магнитуд mb для ядерных взрывов, проведенных в разной геологической среде, от мощности взрыва. а) для ядерных взрывов в соли, б- в коренных породах.

На рис. 5 приведена зависимость энергетических классов Кр для ядерных взрывов, проведенных в разной геологической среде, от мощности взрыва. Видно, что сейсмический эффект взрывов существенно отличается в зависимости от среды – у подземных ядерных взрывов в соли сейсмический эффект значительно выше, чем у проведенных в коренных породах.

Для подземных ядерных взрывов в коренных породах: Кр=11.5+0.91*lg(Y(kt)), коэффициент корреляции R=0.54. Для подземных ядерных взрывов в соли: Кр=10.5+1.92*lg(Y(kt)), коэффициент корреляции R=0.92.



Рисунок 5 – Зависимость энергетических классов Кр для ядерных взрывов, проведенных в разной геологической среде, от мощности взрыва. a) для ядерных взрывов в соли, б- в коренных породах

Выводы. По записям исторических аналоговых сейсмограмм составлен сейсмический бюллетень мирных ядерных взрывов на территории Центральной Азии, было обработано более 1000 сейсмограмм. Изучены зависимости магнитуды mb и энергетического класса Кр от мощности взрывов и геологической среды. Для взрывов, проведенных в соли, наблюдается

более резкий рост магнитуд от мощности, чем для взрывов, проведенных в коренных породах. Полученные результаты могут использоваться для быстрой оценки мощности ядерного взрыва в ходе мониторинга ядерных испытаний сейсмическими методами.

- 1. Краткая характеристика мирных ядерных взрывов, произведённых на территории бывшего СССР в 1965–1988 гг. (по датам проведения): Приложение 1.1 // Мирные ядерные взрывы: Обеспечение общей и радиационной безопасности при их проведении / В.Б. Адамский, В.В. Адушкин, Н.В. Безумов и др. М.: ИздАТ. 2001. С. 478–494.
- 2. Mikhailov V.N. ed. USSR Nuclear weapons tests and peaceful nuclear explosions, 1949 through 1990. RFNC-VNIIEF. 1996. Sarov. 96 p.
- 3. Электронный pecypc: http://www.johnstonsarchive.net/nuclear/tests/index.html
- 4. Электронный ресурс: https://ru.wikipedia.org.
- 5. Копничев Ю.Ф., Спивак А.А. Сопоставление сейсмических эффектов ядерных и химических взрывов // Вулканология и сейсмология. 1997. С. 104-112.
- 6. Абишев А.Х., Яковенко А.М., Маккей К.Г. Инструментальное уточнение мест проведения мирных ядерных взрывов на территории Казахстана // Вестник НЯЦ РК. 2016. Вып. 4. С. 92-97.
- 7. Mackey K, Bergman E. Ground-Truth Locations for the Mangyshlak Peaceful Nuclear Explosion Sequence, Western Kazakhstan // BSSA. Vol. 104. No.4. P. 2116-2119.
- 8. Mackey K. and Fujita K. Improvement of GT Classification of Soviet PNEs. Department of Geological Sciences Michigan University. 69 p.
- 9. Макей К.Г., Фуджита К. Улучшение GT классификации советских мирных ядерных взрывов // Вестник НЯЦ РК. 2014. Вып. 2. С. 62-63.
- 10. Көмекбаев Д.К., Аристова И.Л., Сейнасинов Н.А. Построение годографа для Южного Казахстана по записям взрывов // Вестник Института сейсмологии НАН КР. 2021. № 2 (18). С. 74-83.
- 11. Соколова И.Н. Построение годографа для Западного Казахстана по записям промышленных ядерных взрывов // Вестник НЯЦ РК. 2008. Вып. 1. С. 63-67.
- 12. Электронный ресурс: www.isc.ac.uk.
- Бекбулатова Д.Б., Михайлова Н.Н., Соколова И.Н. Исторические записи ядерных взрывов в архиве Института геофизических исследований // Вестник НЯЦ РК. 2020. Вып. 3. С. 65-72.
- 14. Аппаратура и методика сейсмометрических наблюдений в СССР / Ред.: Аранович З.И. и др. М.: Наука. 1974. 245 с.
- Нерсесов И.Л., Раутиан Т.Г. Кинематика и динамика сейсмических волн на расстояниях до 3500 км от эпицентра // Экспериментальная сейсмика. Труды ИФЗ АН СССР. М.: Наука. 1964. С. 63-87.
- 16. Veith K.F., Clawson G.E. Magnitude from short period P-wave data. BSSA, 1972, 62, No. 2, p. 435-452.
- 17. Михайлова Н.Н., Неверова Н.П. Калибровочная функция для определения магнитуды MPVA землетрясений Северного Тянь-Шаня // Комплексные исследования на Алма-Атинском прогностическом полигоне. Алма-Ата: Наука. 1986. С. 41-47.
- 18. Раутиан Т.Г. Об определении энергии землетрясений на расстояниях 3000 км // Труды ИФЗ АН СССР. 1964. № 32 (199). С. 72-98.

РАДАРНАЯ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ: ДЕФОРМАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ КАРАГАНДИНСКОГО КАРЬЕРА

Костоусова Е.А.

yelizaveta.kostoussova@gmail.com Институт ионосферы Аэрокосмического комитета МЦРИАП РК, г. Алматы, Казахстан

В статье представлены результаты комплексного анализа обвала, произошедшего в 2020 году на одном из карьеров в городе Караганда. Используя технологии радарной интерферометрии по снимкам со спутников TerraSAR-X/TanDEM-X, была проведена оценка величин вертикального смещения и динамики изменения во времени. Основной целью исследования было выявление причин обвала и оценка рисков повторного возникновения подобных ситуаций. Особое внимание в исследовании уделялось методам обработки и анализа спутниковых снимков, что обеспечило высокую точность оценок вертикальных смещений. Результаты данного исследования могут быть использованы для разработки мер раннего обнаружения оползневых процессов на склонах карьера, а также служат основой для дальнейших исследований в области мониторинга и управления рисками в горнодобывающей промышленности.

Ключевые слова: радарная интерферометрия, вертикальные смещения, угольное месторождение

Введение. Обвалы и оседания карьеров и месторождений полезных ископаемых представляют собой одну из наиболее значимых опасностей в горнодобывающей промышленности, угрожая как безопасности работников, так и экологической стабильности регионов. Деятельность человека оказывает колоссальное влияние на трансформацию структуры поверхности Земли, что может выражаться в формировании техногенных землетрясений или активных перемещений вдоль тектонических разломов, что в свою очередь может привести к разрушению строений и сооружений, находящихся в этих зонах [1]. Риск обвалов увеличивается из-за ряда факторов, включая геологические условия, метеорологические явления, гидрогеологические изменения и деятельность человека. Особую сложность представляет прогнозирование обвалов, требующее сложных аналитических метолов и технологий мониторинга.

Исследования в области предотвращения обвалов и минимизации их последствий являются ключевыми для обеспечения безопасности горных работ и устойчивого развития горнодобывающих регионов. В последние десятилетия значительное внимание уделяется разработке и применению методов дистанционного зондирования и радарной интерферометрии для мониторинга стабильности склонов и предсказания потенциальных обвалов. Эти технологии позволяют в реальном времени анализировать изменения поверхности земли с высокой точностью, что становится неоценимым инструментом в оценке рисков и планировании мер по предотвращению аварийных ситуаций [2].

Спутниковые данные, такие как радарные снимки Sentinel-1, TerraSAR-X/TanDEM-X, играют важную роль в этом процессе, предоставляя возможность для систематического наблюдения за динамикой вертикальных смещений земной поверхности, что может указывать на явления, предшествующие обвалу. Комбинирование данных радарной интерферометрии с информацией о гидрогеологических условиях, таких как влажность почвы, предоставляят дополнительную информацию для анализа и прогнозирования потенциальных угроз стабильности карьеров и месторождений полезных ископаемых.

В данной статье представлен комплексный анализ обвала на одном из карьеров в окрестностях города Караганда, произошедшего в 2020 году, с использованием данных

радарной интерферометрии. Целью исследования является не только оценка причин и последствий конкретного события, но и разработка общих рекомендаций по предотвращению подобных инцидентов в будущем, что имеет важное значение для повышения безопасности и эффективности горнодобывающей отрасли в целом.

Объект исследования. Освоение месторождений в Карагандинской области началось в первой половине XX века, когда были открыты крупные угольные бассейны. Это привело к активному развитию угольной промышленности и превращению региона в один из важнейших энергетических центров Советского Союза. Открытие медно-порфировых месторождений в 30-х годах XX века дополнительно способствовало экономическому развитию области, делая ее значимым центром медной промышленности.

Почвенный покров региона характеризуется преимущественно степными и полупустынными типами почв, что обусловлено аридным климатом. Несмотря на неблагоприятные условия для земледелия, такие почвы не являются помехой для развития горнодобывающей промышленности.

Исследуемый угольный карьер является частью ТОО «Эдельвейс+» (рис. 1). На рисунке представлен фрагмент спутникового изображения карьера и выделена интересующая область, в пределах которой произошло оседание в 2020 году. Левая часть рисунка представляет собой развертку интерферометрической фазы, на изображении выделена соответствующая область.



Рисунок 1 – Карьер ТОО «Эдельвейс+» и соответствующая развертка интерферометрической фазы

Интерферометрическая обработка. Для проведения исследования величины вертикального смещения – масштабного обвала, произошедшего в 2020 году, и предшествующей ему деформации поверхности карьера – использована методика SBAS (Small Baseline Subset). Технология SBAS в радарной интерферометрии основана на анализе наборов интерферограмм с небольшими базисными линиями. Это позволяет изолировать и оценить фазовые вклады, вызванные деформациями поверхности и атмосферными задержками. Математически, SBAS применяет методы временных рядов и спектральный анализ для обработки фазовых различий между изображениями. Результатом является серия временных рядов деформации для каждого пикселя, что позволяет определить как постоянную, так и временную составляющие деформации [3]. Применение SBAS обработки охватывает широкий спектр случаев, включая мониторинг оползней и устойчивости склонов, наблюдение за седиментацией и оседанием грунта, исследование вулканической активности, геологический мониторинг и т.д.

Для проведения процесса обработки был выбран режим пониженной когерентности с целью уменьшения декорреляции фазы [4].

Было обработано 62 снимка с витка нисходящей орбиты спутника TerraSAR-X/TanDEM-X за период с 11 мая 2019 по 20 ноября 2021. В результате обработки была построена и интерпретирована карта смещений на исследуемом участке (рис. 2, 3). Карта демонстрирует визуализацию смещений по цвету, где более темный цвет демонстрирует участки вертикального смещения в отрицательном направлении – обвалы. На рисунках также представлены графики смещений экстремальных точек на карте.



Рисунок 2 – Карта деформаций исследуемого карьера и графики вертикального смещения



Рисунок 3 – Карта деформаций исследуемого карьера и графики вертикального смещения

Помимо карты также были выделены графики смещения отдельных точек. Представленные ниже графики (рис. 4–6) демонстрируют динамику смещения точек, проходящих вдоль линий деформации карьера.



Рисунок 4 – График вертикального смещения выделенной точки



Рисунок 5 – График вертикального смещения выделенной точки



Рисунок 6 – График вертикального смещения выделенной точки

Анализ графиков. На полученных графиках вертикального смещения выделены области равномерного и ускоренного смещений. Синяя зона соответствует периоду, когда вертикальное смещение имело тенденцию к увеличению с определённой скоростью. В розовом интервале наблюдается ускорение процесса смещения, что указывает на увеличение интенсивности деформационных процессов. В последующей части графика можно выделить, что деформация замедлилась, и вертикальное смещение стало более стабильным или даже уменьшалось. Циановые точки представляют собой измеренные данные, а красная линия — модель или фитированную кривую, показывающую общую тенденцию изменений. Таким образом, величина смещения выделенных точек за период активной деформации составляет 150 и 170 мм.

На границе выделенных цветом областей можно выделить резкое падение линии графика, которое характеризует мгновенную масштабную деформацию. Таким образом,

согласно графикам, все три точки претерпели деформацию практически одномоментно, что говорит о комплексном событии.

В статье Moretto и соавторами [5] рассматривается применение дифференциальной радарной интерферометрии с синтетической апертурой (DInSAR) для мониторинга и прогнозирования предпадения оползней. Исследование сфокусировано на оценке способности передовой спутниковой интерферометрии отслеживать поведение оползней на стадии предварительного сдвижения и возможность ее применения в методах прогнозирования отказов (FFM). Анализируются проблемы, связанные с низкой частотой выборки данных и ограничениями фазовой неоднозначности, которые являются ключевыми ограничениями при мониторинге предпадения оползней. В статье делается вывод о том, что технология InSAR может успешно применяться для мониторинга третичного крипа оползня и, в некоторых случаях, для прогнозирования времени отказа с помощью FFM, несмотря на низкую частоту выборки данных текущих спутниковых систем.

Однако методы SAR на данный момент могут дать, в основном, данные, позволяющие детектировать критическое смещение, которое может привести к полноценному обвалу или оползню. Исследования [6] показывают, что для полноценного прогнозирования требуется комплексный подход, включающий оценку устойчивости склонов, основанную на данных влажности почвы и ее составе, данные об антропогенном влиянии и сейсмической активности региона исследования.

Выводы. Таким образом, суммируя результат практической части исследования и тезисы из литературных источников, описывающих подобные случаи, можно сделать вывод о формировании устойчивых предпосылок оползней и оседаний объектов разработки полезных ископаемых. Стабильный рост величины вертикального смещения повышает риск возникновения обвала. Для обстоятельного прогнозирования требуется более расширенная выборка и налаживание системы постоянного мониторинга для объектов, находящихся в зоне риска возникновения техногенной аварии подобного рода. Результаты исследования могут быть использованы для анализа и формирования мер предотвращения оползня, или повышения безопасности условий работы персонала горнодобывающей отрасли. Мониторинг деформаций поверхности также может быть использован при построении моделей прогнозирования оползней, селей, техногенных оседаниях и отколах.

Снимки TerraSAR-Х, использованные для обработки в статье, получены, согласно заявке номер GEO 3889 DLR – TerraSAR-Х. Данное исследование финансировалось Комитетом по науке Министерства Науки и Высшего Образования Республики Казахстан (грант №BR18574092 «Развитие многоцелевой аэрокосмической системы мониторинга и сервисов комплексного ситуационного представления информации о ЧС в трансграничных регионах территории РК и РФ»).

- 1. Нурмагамбетов А. Техногенные сейсмические явления, связанные с разработкой и эксплуатацией месторождений твердых полезных ископаемых, нефти и газа // Геология и охрана недр. 2010. № 1. С. 34.
- 2. Петин А.Н. Аэрокосмический мониторинг состояния геологической среды железорудных месторождений КМА: особенности структуры, строения и функционирования // Региональные геосистемы. 2009. Т. 9. №. 11 (66). С. 133-139.
- 3. Hanssen R.F. Radar interferometry: data interpretation and error analysis. Springer Science & Business Media. 2001. 308 p.
- Prati C., Ferretti A., Perissin D. Recent advances on surface ground deformation measurement by means of repeated space-borne SAR observations // Journal of Geodynamics. 2010. V. 49. No. 3-4. P. 161-170.
- 5. Moretto S. et al. Assessment of landslide pre-failure monitoring and forecasting using satellite SAR interferometry // Geosciences. 2017. V. 7. No. 2. P. 36.
- 6. Casagli N. et al. Landslide detection, monitoring and prediction with remote-sensing techniques // Nature Reviews Earth & Environment. 2023. V. 4. No. 1. P. 51-64.

ДИНАМИЧЕСКИЕ ФАЦИИ ТЕРРИГЕННОЙ ФОРМАЦИИ НИЖНЕЙ - СРЕДНЕЙ ЮРЫ НА ДЕНГИЗКУЛЬСКОМ ПОДНЯТИИ

Кудашева Л.Р.

maksuliliya@yandex.ru

Институт геологии и разведки нефтяных и газовых месторождений, г. Ташкент, Узбекистан

В работе представлены результаты фациально-циклического анализа терригенных образований нижне-среднеюрского возраста на территории Денгизкульского поднятия и прилегающих территорий, расположенных в пределах Бухаро–Хивинского нефтегазоносного региона. В практике нефтегазовой геологии на сегодняшний день большое значение приобретает определение условий образований различных типов осадочных фаций для установления их генезиса, что способствует определению эффективных направлений геологоразведочных работ, направленных на выявление скоплений нефти и газа. Предложенное динамическое выделение фаций в изучаемых отложениях дало возможность генетически установить сочетание связанных горных пород, возникших при дифференциации осадков различных фациальных поясов, относящихся к одному и тому же фациальному комплексу. Динамический анализ условий осадконакопления терригенных отложений даёт возможность изучить историю формирования продуктивных нефтегазоносных комплексов, что позволяет достоверно оценить нефтегазоносность изучаемой территории.

Ключевые слова: юра, терригенные отложения, фации, формация, динамический анализ, осадконакопление, нефть, газ.

Введение. Денгизкульское поднятие расположено на Чарджоуской ступени Бухаро-Хивинского нефтегазоносного региона (рис. 1). На рассматриваемой территории основным целевым объектом остается юрская карбонатная формация. В последние годы начато целенаправленное освоение отложений терригенной формации (ТФ) нижне-среднеюрского возраста, подстилающих карбонатную толщу.

К началу накопления осадков терригенной формации, Денгизкульское поднятие представляло собой пологую равнину со сложным расчлененным рельефом, воздымающуюся в направлении Учбаш–Каршинской разрывной зоны.

Погружение в целом всей территории Средней Азии, начавшиеся со средней юры, затронули и изучаемую территорию. Процесс погружения в различной степени усиливался и ослабевал в течение средней юры вплоть до раннего келловея, когда накапливались осадки прибрежно-морского и континентального генезиса.

Для выявления закономерностей размещения залежей углеводородов в отложениях терригенной формации важную роль играет проведение фациально–палеогеографических исследований с реконструкцией ландшафтно–генетических особенностей формирования терригенных образований и установлением динамических фациальных поясов.

Выполненные комплексные исследования позволили установить набор генетических типов пород, слагающих терригенные отложения, их количественное соотношение в определенных стратиграфических интервалах, текстуры и структуры пород, а также позволили изучить комплексы органических остатков, развитых в рассматриваемых образованиях. Следующим этапом было рассмотрение связи динамических фаций с определенными палеоландшафтами.

Методика исследования. При выполнении исследований использован всесторонний анализ нижне-среднеюрских отложений Денгизкульского поднятия по данными литолого– петрографических, фациально-палеогеографических исследований. При выполнении исследований использовались данные по обнажениям Юго–Западных отрогов Гиссарского хребта, где проведено детальное расчленение и выделены свиты и все ярусные подразделения юрской системы на основе изучения органических остатков.

Детальное изучение вещественного состава пород, присущих им структурнотекстурных параметров по керну и петрографическим шлифам дало возможность определить условий осадконакопления и выделить динамические фаций в терригенных образованиях, а также установить особенности палеоландшафта на рассматриваемой территории и механизм, формирующий данные отложения. На основе выявленной последовательности смены фаций в терригенном разрезе, уточнения их парагенезиса в изученных интервалах разреза проведена их типизация.



Рисунок 1 – Обзорная карта района работ (по материалам ГУ «ИГИРНИГМ»)

Результаты и обсуждение. Как известно накопление осадочных толщ формаций и, в частности терригенных образований, одновременно отражает ландшафты осадконакопления, их направленное развитие во времени и, наконец, их необратимую эволюцию в ходе геологической истории [1].

В ранне-среднеюрскую эпоху на платформенной части Средней Азии существовало несколько бассейнов [2]. По характеру заполнявших их осадков они подразделяются на лимнические и паралические. К числу последних относится Амударьинский бассейн и, в частности, на Денгизкульском поднятии.

Существенной особенностью паралических бассейнов рассматриваемая территория является тот факт, что, начиная с ааленского века, в них неоднократно трансгрессировало море, в связи с чем, разрез терригенной формации (ТФ) представлен, в основном, образованиями, характеризующимися мелкообломочными как фациальной. так И Терригенные породы, генетической гетерогенностью. В основном, представлены песчаниками, алевролитами, глинами, мергелями с подчиненными прослоями гравелитов и всему разрезу наблюдается региональная обогащенность известняков. По пород углефицированным растительным детритом.

Развитие юрского рельефа связано с тектоническим движениями, обусловивших формирование сложных по своей морфологии сводовых поднятий и выделение больших групп терригенных отложений - полных и сокращенных разрезов [2]. Развитие первых ограничено пределами протяженных долин, вторые были связаны с подгорными наземными аккумулятивными равнинами, сопрягавшимися с озерными и морскими бассейнами.

Полные разрезы долинного типа сложены отложениями конусов выноса постоянных и временных боковых притоков, в результате на изучаемой территории можно выделить подгорно-веерную и равнинно-долинную фации.

Формирование сокращенных типов разреза связано с развитием наземных подгорных равнин, открывавшихся в сторону крупных озерных бассейнов и эпиконтинентальных морей.

Фациальный динамический анализ дал возможность установить латеральную последовательность сменяющих друг друга по уклону рельефа генетических типов пород, слагающих определенные фациальные зоны в отложениях ТФ и их внутреннюю структуру.

Направленность развития терригенного комплекса подчеркивается особенностями строения разреза, отражает закономерное развитие фациальных ландшафтов и сопровождается изменениями многих частных признаков разрезов, в частности, смена растительных ассоциаций ранней юры, аалена, байосса и бата, расцвет пресноводных организмов и позднебайосская трансгрессия палеоокеана Тетис с широким развитием аммонитовой фауны (рис. 2).

Среди литологических признаков отмечается увеличение содержания полевых шпатов в терригенных компонентах разреза, начиная с позднего байосса, а также отмечается направленная смена ассоциаций минералов глин, изменение цветовые окраски пород. Это указывает не только на характер изменения условий осадконакопления отложений ТФ, но и на синхронность процессов осадконакопления в разных ландшафтных условиях.

В фациальном отношении можно выделить закономерную смену отложений водораздельно-элювиального, подгорно-веерного, равнинно-долинного, подводнодельтового, озерного, донно-течениевого и более удаленных фациальных поясов. Сочетание интенсивного терригенного осадконакопления с взрывоподобным накоплением органического вещества – главная особенность условий формирования терригенной формаций [3, 4].

Далее более подробно остановимся на характеристике установленных фациальных поясов и пород их слагающих.

Водораздельно-элювиальный фациальный пояс на изучаемом участке не наблюдается, в виде пятен, сохранившихся от размыва прослеживается в юго – западных отрогах Гиссарского хребта.

Подгорно-веерный фациальный пояс прослеживается в нижнеюрских отложениях (Памук, скв.1П, Кушаб, скв.1П, Уртабулак, скв.102) и среднеюрских образованиях - аалене, байоссе и бате (Восточный Денгизкуль, скв. 1П, Узунчак, скв. 1, Янги Умид, скв. 2).

Вверх по разрезу наблюдается дифференциация от грубозернистых и даже обломочных до мелкозернистых и глинистых пород с углистыми прослоями. По мере спада динамической активности водотоков, видимо, периодически возникали озера, которые впоследствии, как правило, заболачивались.

Отложения равнинно-долинного пояса на изучаемой территории установлены в средней юре, в интервале аалена, байосса и бата и занимают большие площади аккумуляции (Южный Зекры, скв. 1П, Бузачи скв. 2, Северный Шады, скв. 4, Зекры, скв. 6,7, Разоккбобо, скв. 2, Тегермен, скв. 5). По соотношению обломочных и глинистых образований можно выделить русловые и пойменные фации.

Осадки русел представлены разнозернистыми песчаниками и гравелитами с обильным включением растительных остатков, сформировавшимися в условиях гумидного климата.



Рисунок 2 – Геолого-геофизический разрез Уртабулак, скв. 102.
Пойменные образования сложены переслаиванием аргиллитов, глинистые алевролитов с большим количеством углефицированного растительного детрита.

Подводно-дельтовый фациальный пояс на территории Денгизкульского поднятия и прилегающих территориях выделяются в отложениях байосса, бата и келловея. Представлены сероцветными песчаниками и алевролитами. Песчаники, в основном, мелкозернистые, хорошо отсортированные, сцементированные глинисто-карбонатным веществом. Осадконакопление проходило в условиях все более расширяющейся области седиментации. В связи с общим погружением земной коры, исследуемую территорию достигает первая волна трансгрессии моря Тетиса (площади Дивалкак, Матонат, Тегермен, Уртабулак, Денгизкуль и др.). Подводно-дельтовые осадки средней юры содержат в большом количестве морскую фауну – аммониты, пелециоды, брахиоподы, фораминиферы, остракоды и постоянно обогащены обугленным растительным детритом.

Озерный фациальный комплекс на изучаемой территории имеет незначительное распространение на площадях Крук, скв.1, Сардоб, скв.7, где в среднеюрское время накапливались терригенные серые песчано-глинистые осадки.

Донно-течениевый фациальный пояс распространен в разрезах позднего бата - раннего келловея.

В это время в условиях гумидного формировались отложения, представленные ритмичным переслаиванием сероцветных песчаников, алевролитов, аргиллитов и известняков. В этих образованиях в довольно большом количестве наблюдается макро- и микрофауна, а наличие растительных остатков говорит о близости береговой зоны (Алат, скв. 3, Памук, скв. 1П. Уртабулак, скв. 102, Бердыкудук, 2П).

Таким образом, наряду с сохранением основных элементов ландшафта, исследуемая территория на протяжении ранне-среднеюрского времени постоянно испытывала заметную эволюцию, выразившуюся в обособлении нескольких свит – кимерекской, гурудской, дегибадамской, тангидувальской и байсунской [5, 6]. Их формирование отвечало определенным стадиям рельефо- и структурообразования.

Ранняя юра. Кимерекская свита (XXI промысловый горизонт) в пределах исследуемой территории отвечает начальной стадии развития рельефа. Отложения формировались в наземных условиях с преобладанием тропического климата, характеризующихся широким развитием растительности и заболоченностью территории, способствовавшей накоплению углей (Памук, скв. 1П, Кушаб, скв. 1П, Уртабулак, скв. 102). На рассматриваемой территории отложения свиты имеют незначительное распространение, приурочены к участкам, испытавшим в ранне - среднеюрское время устойчивое прогибание и развиты в срединных частях прогибов. Прослеживается вверх по разрезу дифференциация от грубозернистых и даже обломочных до мелкозернистых и глинистых пород с углистыми прослоями. Грубозернистые (обломочные) отложения – преимущественно крупно-, средне- и мелкозернистые песчаники с прослоями гравелитов, приурочены, как правило, к наиболее погруженным участкам аккумулятивного рельефа. По мере спада динамической активности водотоков, видимо, периодически возникали озера, которые впоследствии, как правило, заболачивались.

Аален – ранний байосс. Гурудская свита (ХХ промысловый горизонт). В это время рассматриваемая территория располагалась в тропической зоне, где наблюдалась заболоченностью аккумулятивных равнин с широко развитыми лесными массивами. Континентальные условия нарушались проникновением морских вод, так как в разрезе наблюдается карбонатизация пород, особенно по цементу. Это четко прослеживается на месторождениях Дивалкак и Матонат, площади Восточный Денгизкуль. Однако, несмотря на отдельные изменения в строении рельефа рассматриваемого этапа, здесь постоянно прослеживаются реликты раннеюрского ландшафта.

Поздний байосс. Дегибадамская свита (XIX промысловый горизонт). В этом отрезке времени осадконакопление проходило в условиях все более расширяющейся области седиментации. В связи с общим погружением земной коры, исследуемую территорию достигает первая волна трансгрессии моря Тетиса. На относительно слабовсхолмленных поднятиях с невысокой энергией водотоков формировались незначительные по мощности песчаные тела, наблюдается увеличение глинистой составляющей, а также происходит улучшение отсортированности зерен, слагающих песчаные породы. В начале второй половины байосского века в Бухаро- Хивинского нефтегазоносного региона, и, в частности, на изучаемую территорию проникли волны эпиконтинентального моря Тетис. Наземная растительность сменяется обитателями моря: фораминиферы, остракоды, различные водоросли и другие представители животного мира. Отложениями, содержащими остатки морских фораминифер (Памук, скв.1П. Уртабулак, скв.102), являются песчано-глинистые осадки позднего байосса.

Ранний и средний бат. Тангидувальская свита (XVIII промысловый горизонт). Литолого-фациальные особенности свиты и комплексы органических остатков свидетельствуют об образовании отложений в прибрежно-морских мелководных условиях, а довольно широкое развитие растительных остатков, часто обуглившихся указывает на периодическую смену морской обстановки на континентальную (болотная).

Анализ мощностей тангидувальской свиты (Восточный Денгизкуль, скв. 1П, Южный Зекры, скв. 1П, Бузачи скв. 2, Северный Шады, скв. 4, Зекры, скв. 6,7, Разоккбобо, скв. 2, Тегермен, скв. 5, Янги Умид, скв. 2) показывает, что на общем фоне погружения от поднятий к депрессии, продолжают существовать унаследованные от ранних времен поднятия, выраженные сокращенным типом разрезов. Формирование песчаных тел XVIII горизонта проходило как в прибрежных, так и в подводно-дельтовых условиях, конфигурация этих тел, как правило, подчинялась палеоструктурному плану.

Поздний бат – ранний келловей. Байсунская свита (XVII промысловый горизонт). занимает промежуточное положение, обусловленное главным образом, переходным характером климата – от ярко выраженного гумидного в ранней-средней юре, к аридному – в поздней. Вверх по разрезу появляется пестроцветная окраска пород. Не менее важной особенностью развития этого времени являлось постоянное трансгрессирующее влияние моря.

Выводы. Таким образом:

- 1. В ранне-среднеюрский этап развития на территории исследования условия осадконакопления сменялись от континентальных до морских, о чем свидетельствует фациальная изменчивость разрезов ТФ, как по латерали, так и по вертикали.
- 2. Для отложений континентального генезиса характерно неравномерное чередование обломочных пород (песчаников и алевролитов) и глинистых образований, с различными литологическими переходами и фациальными вариациями, не выдержанных по площади и разрезу, в связи с чем их корреляция и моделирование затруднены.
- 3. Средне позднеюрская глобальная морская трансгрессия, охватившая весь юг Средней Азии, совпала с резким изменением климата. Существовавший в ранне-среднеюрское время гумидный климат сменился аридным. Наземная растительность постепенно исчезала Породы континентального генезиса приобретали пестроцветную окраску.
- 4. В байосс батское время накапливались терригенные и карбонатно-терригенные отложения. На огражденных от действия открытых морских волн формировались алеврито-глинистые илы. В прибрежно-мелководной зоне в осадках значительно увеличивается роль карбонатного материала и детрита морских организмов.
- 5. В ранне-келловейское время в зоне открытого мелководья в условиях теплого климата, активная гидродинамическая среда и небольшого привноса терригенного материала широкое развитие получили морские организмы.

Литература

1. Троицкий В.И. Верхнетриасовые и юрские отложения Южного Узбекистана. Л.: Недра. 1967. 311 с.

- 2. Бабаев А.Г., Габрильян Р.А., Салямова С.К. Терригенная формация юрского возраста Бухаро-Хивинского региона и Юго-Западного Гиссара и ее нефтегазоносность. М.: Недра. 1977. 158 с.
- 3. Abdullaev G.S., Evseeva G.B. Geological structure and biostratigraphi of the terrigene jurassic formation of bukhara-khiva oil and gas region // Науки о Земле. Сб. докл. к 36-му Международному геологическому конгрессу. Дели, Индия. 2020. С. 60-74.
- 4. Эгамбердыев М.Э., Абдуллаев Г.С. Особенности поэтапного развития органического мира юрского периода в северной бортовой зоне Амударьинского седиментационного бассейна // Узбекский геологический журнал. 1997. № 2. С. 3-17.
- 5. Абдуллаев Г.С., Евсеева Г.Б. Литолого–фациальные особенности, геологическое строение и перспективы нефтегазоносности юрской терригенной формации в северо– западной части Чарджоуской ступени // Узбекский журнал нефти и газа. 2014. № 1. С. 16–22.
- 6. Алексеев В.П., Бабаев А.Г., Сафонов Б.К., Троицкий А.В., Еременко Н.В. Расчленение и корреляция разрезов юрской терригенной формации Чарджоуской ступени по данным ГИС // Узбекский геологический журнал. 1990. № 4.-С. 22-24.

ОБЪЕМНЫЕ ИНТЕРПРЕТАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ЛЕНО-ТАЙМЫРСКОЙ ЗОНЫ СЕЙСМИЧНОСТИ НА ОСНОВЕ ГРАВИМАГНИТНЫХ ДАННЫХ

Куляндина А.С.^{1,2}, Филиппова А.И.³, Соколова Е.Ю.^{4,5} *albineku28@gmail.com* ¹ Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, г Якутск, Россия ² Якутский филиал Единой геофизической службы РАН, г. Якутск, Россия ³ Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, г. Москва, Россия ⁴ Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт, г. Москва, Россия ⁵ Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия

В настоящее время для решения широкого круга геологических задач используются различные методы инверсии геопотенциальных полей, позволяющие получить 3D модели земной коры. Таким образом, при изучении строения коры в сейсмически активных районах визуализаиия пространственного распределения эффективной плотности и намагниченности может являться информативным аспектом комплексной интерпретации геофизических данных. В настоящей работе для анализа гравитационного и магнитного полей использовался геоинформационный комплекс ГИС INTEGRO. Методика инверсии геопотенциальных полей в данной программе разработана И.И. Приезжевым (РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина). В результате были получены 3D распределения избыточной плотности и намагниченности в земной коре Лено-Таймырской сейсмической зоны. Показано, что положения местных очагов землетрясений приурочены к зонам с повышенными значениями плотности и намагниченности.

Ключевые слова: сейсмичность, магнитное поле, гравитационное поле, эффективная плотность, намагниченность.

Введение. Цель данной работы - создание трехмерных моделей для изучения корреляционных зависимостей между распределением аномалий потенциальных геофизических полей с эпицентрами землетрясений Лено-Таймырской сейсмической зоны (западная часть шельфа моря Лаптевых). Территория исследования простирается на 750 км в северо-западном направлении от губы Буор-Хая через дельту р. Лены, мелководные Оленёкский и Анабарский заливы моря Лаптевых и прибрежные континентальные районы к острову Большой Бегичев, где огибает его с востока и протягивается к полуострову Таймыр [1]. Здесь по данным Якутского филиала ФИЦ ЕГС РАН за последние 100 лет было зарегистрировано около 400 землетрясений с энергетическим классом $K_p = 7-14$ ($M_S \le 5.0$).

При моделировании глубинного строения территории весомое значение имеет задача пересчёта геопотенциальных полей, заданных на сетке, в эффективные физические параметры (избыточные плотности и намагниченности) в нижнем полупространстве. Все работы с данными геофизических полей проводились с помощью комплекса ГИС INTEGRO [2]. Инверсия данных геопотенциальных полей в данном комплексе базируется на методе, разработанном И.И. Приезжевым [3]. Исходными материалами служили карты гравитационного и магнитного полей, составленные по результатам съемок масштаба 1:200 000, 1:500 000 и 1:5000 000, а также данные из каталога землетрясений за 1963–2022 гг. Якутского филиал ФИЦ ЕГС РАН (рис. 1).



Рисунок 1 – Сейсмичность исследуемой территории (1963–2022 гг., $K_p \ge 7$) по данным Якутского филиала ФИЦ ЕГС РАН на основе фрагментов карт аномалий силы тяжести в редукции Буге с плотностью промежуточного слоя 2.67 г/см³ [4](а), и модуляполного вектора аномального геомагнитного поля на высоте 200 м [5](б) (данные по шельфу моря Лаптевых приведены согласно [6]). Магнитуды (M_s) пересчитаны из энергетических классов по Раутиан (K_p) с использованием соотношений из работы [7].

Решение обратной задачи для гравитационного и магнитного полей на основе дискретного преобразования Фурье: 3D распределения эффективной плотности и намагниченности. Одной из основных задач при интерпретации потенциальных полей является разделение их на региональную и локальную составляющие. Разделение полей произведено операцией осреднения, которая исключает или подавляет аномалии с резкими градиентами и, таким образом, позволяет получить региональное поле. Осреднение проводилось в скользящем окне с горизонтальными размерами 51×51 км. Разбиение начиналось с верхнего левого угла и продолжалось вниз и влево до тех пор, пока окна помещаются внутри сети исходного поля. Среднее вычислялось в каждом скользящем окне по значениям исходного поля, попавшим в окно, и ставилось в соответствие центру окна. Шаг смещения окна 1 км. Вычитание региональной составляющей поля (осредненного поля) из наблюденного поля позволяет выделить локальные аномалии для территории исследования. Решение 3D обратной задачи геопотенцальных полей выполнено на основе их локальных компонент (рис. 2).



Рисунок 2 – Локальные аномалии гравитационного и магнитного полей и расположение линий профилей.

Программно метод решения обратной задачи в комплексе ГИС INTEGRO основан на дискретных преобразованиях Фурье сеточной модели гравитационного или магнитного потенциала. Основная особенность данной программы заключается в учёте дискретной природы используемых преобразований, а также в возможности использования произвольных промежуточных векторов, позволяющих получить не одно, а множество решений 3D распределений плотности, которым соответствует одно и то же поле, то есть, эквивалентных по полю, или просто эквивалентных. Данный модуль ищет решение в области эквивалентных эффективных (избыточных) плотностей или намагниченностей; абсолютные значения следует назначать вне этого модуля, используя решения, полученные из модуля. Другая особенность реализации состоит в том, что получаемая сеточная модель

3D распределения эффективной плотности или намагниченности полностью объясняет исходное поле. То есть, если на поле влияют какие-то другие факторы, например, источники поля вне сетки 3D, то будет найдено неадекватное распределение, которое объяснит и влияние этих факторов.



Рисунок 3 – 3D распределения эффективной плотности и намагниченности (вид функции: "Функция Гаусса второго порядка", глубина 30 км, множитель по глубине = 3, экспонента при z = 1) (а, б). Результаты решения обратной задачи геопотенциальных полей представлены в виде изоповерхностей (в,г). Расположение землетрясений и областей уплотнения (д) и намагниченности (е).

На рис. 3 приведены сечения по профилям 3D моделей распределений эффективной плотности и намагниченности. Сравнивая положение плотностных неоднородностей с сейсмичностью (рис. 3д), видно, что наиболее контрастные плотностные неоднородности имеют западное и северо-западное простирание, соответствующее направлению расположения эпицентров землетрясений. Магнитное поле резко дифференцированное, сложной конфигурации, амплитуды от -400 до +300 нТл. Простирание положительных аномалий повторяет генерализованное очертание береговой линии. Простирание отрицательных магнитных аномалий совпадает с простиранием резкого понижения рельефа в сторону континентального склона моря Лаптевых. Эти низкоамплитудные локальные аномалии, расположенные на востоке, на западе и на юге могут отражать влияние магнитных

масс локальных магматических образований с высокой намагниченностью с северозападным направлением, как и в случае с южной частью шельфа Баренцева моря [8]. Их формирование, вероятно, произошло в зоне высокой проницаемости фундамента на стыке континентальной и морской структур зоны перехода.

Выводы. Полученные объемные интерпретационные модели распределений эффективной плотности и намагниченности дают новую информацию о строении коры Лено-Таймырской сейсмической зоны. Установлена преимущественная связь очагов коровых землетрясений, гравитационных и магнитных данных, что подтверждает наличие здесь крупной плотностной и магнитной неоднородности в земной коре.

Авторы выражают глубокую благодарность разработчикам комплекса ГИС INTEGRO (ФГБУ «ВНИГНИ») за проведение учебного семинара и предоставление программы.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках тем НИР № 075-01271-23, № 01201356397) и с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира» (https://ckp-rf.ru/usu/507436/,http://www.gsras.ru/unu/).

Литература

- 1. Козьмин Б.М., Шибаев С.В., Петров А.Ф., Тимиршин К.В. Лено-Таймырская сейсмическая аномалия на шельфе моря Лаптевых // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2014. № 2. С. 105-110.
- 2. Черемисина Е.Н., Финкельштейн М.Ю., Деев К.В., Большаков Е.М. ГИС ИНТЕГРО. Состояние и перспективы развития в условиях импортозамещения // Геология нефти и газа. 2021. № 3. С. 31-40. DOI: 3.10.31087/0016-7894-2021-3-31-40.
- 3. Приезжев И.И. Построение распределений физических параметров окружающей среды по данным гравиметрии, магнитометрии // Геофизика. 2005. № 3. С. 46-51.
- 4. Федосеев Л.К. Отчет на тему: «Составление карты цифрового магнитного поля Республики Саха (Якутия) масштабов 1:500000, 1:1500000, 1:2500000, 1:5000000, по состоянию на 1.01.2005 г., 2002-2004 гг.». 2024. Номер отчета в РГФ 21263.
- 5. Бузикова О.Г. Доклад на тему: «Создание цифровой карты гравитационного поля территории Республики Саха (Якутия) масштабов 1:500000, 1:1000000, 1:1500000, 1:2500000, по состоянию на 1.01.2005, 2002-2004 гг.». 2004. Номер отчета в РГФ 20545.
- 6. Глебовский В.Ю., Зайончек А.В., Каминский В.Д., Мащенков С.П. Цифровые базы данных и карты потенциальных полей Северного Ледовитого океана // Российская Арктика: геологическая история, минерагения, геоэкология / Под ред. Д.А. Додина, В.С. Суркова. СПб.: ВНИИОкеангеология. 2002. С. 134–141.
- 7. Раутиан Т.Г. Энергия землетрясений // Методы детального изучения сейсмичности. М.: Изд-во АН СССР. 1960. С. 75-114.
- 8. Балуев А.С., Брусиловский Ю.В., Иваненко А.Н. Природа магнитных аномалий южной части Баренцева морского шельфа по результатам комплексного анализа // Литосфера. 2022. Т. 22. № 5. С. 579-598.

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СИГНАЛОВ В ELF ДИАПАЗОНЕ НА ОСНОВЕ ИНДУКЦИОННОГО МАГНИТНОГО ДАТЧИКА IMS-008

Курманов Д.Н.

daurennk2000@gmail.com Институт ионосферы Аэрокосмического комитета МЦРИАП РК, г. Алматы, Казахстан

В данной описан аппаратно-программный работе комплекс для регистрации низкочастотных электромагнитных сигналов на основе малошумящего индукционного магнитометра IMS-008. Комплекс расположен недалеко научной станиии om «Космостанция» в горах на высоте около 3,5 км вдали от промышленных помех. Приведены результаты наблюдений с использованием данного датчика, подтверждающие его способность регистрировать различные виды геомагнитных пульсаций и другие аномальные сигналы в магнитосфере Земли. Проведено сравнение данных, полученных от комплекса с использованием индукционного датчика, с данными, полученными от геомагнитной обсерватории "Алма-Ата" и установкой доплеровского зондирования ионосферы. Эти результаты показывают применимость предложенного комплекса для регистрации электромагнитных явлений в магнитосфере и целесообразность его включения в систему мониторинга межгеосферных взаимодействий.

Ключевые слова: индукционный магнитометр, электромагнитные (ЭМ) сигналы, сверхнизкие (CHЧ или ULF) и ультранизкие (УНЧ или ELF) частоты, геомагнитные пульсации, внезапное начало (SSC - Storm Sudden Commencements) магнитной бури Земли

Введение. Алматинская область считается наиболее опасным сейсмическим регионом Казахстана. Изучение фундаментальных вопросов литосферно-атмосферно-ионосферных связей проводится в Институте ионосферы, а также на научных станциях «Космостанция», «Радиополигон Орбита». Основное внимание уделяется выявлению прогностических сигналов перед землетрясениями и влиянию геомагнитных бурь на ионосферу. Геофизические процессы, происходящие в глубинах Земли и в геокосмической среде, проявляются в вариациях ЭМ сигналов в ULF-ELF диапазоне (0 - 20 Гц).

Геомагнитные пульсации – это гидромагнитные волны, распространяющиеся в магнитосфере Земли. Диапазон частот этих пульсаций охватывает от нескольких миллигерц примерно до одного килогерца. На частоте около 5 Гц существует резкая отсечка спектра колебаний, поскольку волны, поступающие сверху, сильно поглощаются в ионосфере и практически не регистрируются на поверхности Земли. Кроме того, на частотах, больших примерно 5 гц, наблюдается значительный уровень атмосферных помех, обусловленных молниевыми разрядами. Поэтому считается, что верхней границей диапазона геомагнитных пульсаций являются частоты в несколько герц [1].

Существует большое разнообразие типов пульсаций, отличающихся друг от друга спектральным составом, эволюцией во времени, характером распределения по земной поверхности и т. п. Для их регистрации применяются чувствительные магнитометры различных конструкций.

Обзор индукционного датчика. Среди многочисленных типов датчиков магнитного поля индукционные датчики выделяются по простоте конструкции, технологии изготовления, доступности материалов и эксплуатационной надежности. Конструктивно индукционный датчик представляет собой катушку индуктивности с сердечником из ферромагнитного материала в одном корпусе вместе с предварительным усилителем.

Наиболее значимой характеристикой датчиков является их предельная чувствительность, то есть минимальный уровень сигнала, который способен зарегистрировать данный датчик. Эта характеристика в основном определяется уровнем собственных шумов датчика. В общем случае шумы прибора зависят от их источника и характеризуются своим частотным спектром.

Низкочастотный датчик IMS-008 в настоящее время успешно используются как при проведении обсерваторских наблюдений, так и в полевых работах. Низкие собственные шумы магнитометров позволяют при использовании градиентного метода измерений регистрировать сигналы, амплитуды которых много ниже составляющих естественного шумового фона [2].

Частотный диапазон	0,0001 Гц - 1 кГц	
АЧХ	(2 Гц – 1 кГц) плоская (0.0001 – 2	
Измеренный уровень шума	1 ц) линеино-растущая 10^{-2} нТл/Гц ^{1/2} на 0.01 Гц ^{1/2} 10 ⁻⁴ нТ/Гц ^{1/2} на 1 Гц $5 \cdot 10^{-7}$ нТ/Гц ^{1/2} на 1 кГц	
Чувствительность	0.8 (В/нТл) ·Гц (0.0001 – 2 Гц) 1.6 В/нТ (2 Гц – 1 кГц)	
Диапазон выходного сигнала	±10 B	
Ток потребления	65 мА (при 12 В)	
Длина	1240 мм	
Диаметр	75 мм	
Macca	8 кг	
Рабочая температура	от -40 до +60 °С	

Таблица 1 – Характеристики магнитометра IMS-008

Датчик размещён в прочной водонепроницаемой стеклотекстолитовой трубе. Для защиты от механических воздействий корпус покрыт термоусаживаемой трубкой. С обеих сторон корпус герметично закрыт заглушками, на одной из которых установлен разъем для подключения соединительного кабеля. Малошумящий предварительный усилитель и буферный усилитель с дифференциальным выходом размещены в общем корпусе с преобразователем и подключаются кабелем через разъем к системе регистрации и источнику питания.

Схема аппаратно-программного комплекса. Основным мешающим фактором при измерениях являются помехи промышленной сети 50 Гц и их гармоники [3]. Поэтому при разработке регистратора основное внимание было уделено электронным схемам, подавляющим помехи промышленной сети. На рисунке 1 представлена функциональная схема измерительного оборудования для регистрации ЭМ сигналов ELF-ULF диапазона.

Сигнал с датчика IMS-008 поступает на «Согласующее устройство», затем на «Режекторный фильтр» с частотой среза fcp=50 Гц, где подавляется частота промышленной сети 50 Гц. Окончательная фильтрация сигнала происходит в фильтре нижних частот «ФНЧ Чебышева 12 порядка» с частотой среза fcp=31 Гц, где используются прецизионные операционные усилители OPA-27GP. После ФНЧ сигнал дополнительно усиливается с помощью усилителя постоянного тока (УПТ) и оцифровывается двенадцатиразрядным аналого-цифровым преобразователем (АЦП) Е-154 фирмы L-card. Связь АЦП с компьютером осуществляется с помощью специально написанной программы, которая формирует ежесуточные файлы с данными и записывает их на жесткий диск компьютера. Передача

данных с измерительного пункта и контроль функционирования оборудования осуществляется через интернет с помощью Wi-Fi модема.



Рисунок 1 – Функциональная схема аппаратно-программного комплекса измерений электромагнитных сигналов ELF-ULF диапазона

В 32 км от города в горной местности на высоте 3340 м вдали от промышленных помех расположена научная станция «Космостанция» [N 43,0435^o E 76,9414^o] (рисунок 2). Индукционный датчик расположен на расстоянии ~700м от станции в деревянном ящике. Ориентирован по направлению север-юг, соответствует Х-компоненте геомагнитного поля.



Рисунок 2 – Датчик и измерительный пункт на фоне

Результаты наблюдений. На рисунке 3 приведена запись возмущённого события 28 февраля 2024 года с началом в 18:27 UTC. Это пример иррегулярных геомагнитных пульсаций с периодом около 60 секунд и длительностью порядка 20 минут, по классификации, соответствующие Pi2 (pulsations irregular) [1]. Они наблюдаются в виде цугов на ночной стороне Земли. Число цугов и их амплитуда увеличиваются во время полярных магнитных возмущений.



Рисунок 3 – Геомагнитные пульсации от 28-го февраля 2024 г. По оси X – время в секундах от начала суток по времени UTC

График на рисунке 4 показывает серию пульсаций 22 декабря 2023 года с началом в 1:08 UTC. Период колебаний примерно 2 секунды и длительностью от 30 до 60 секунд, общая длительность сигнала около 53 минут. Этот сигнал соответствует классу Pc1 и обозначается термином «Жемчужина» из-за внешнего сходства [1].



Рисунок 4 – Геомагнитные пульсации от 22-го декабря 2023 г. По оси X – время в секундах от начала суток по времени UTC

Ниже показано сравнение показаний индукционного магнитометра IMS-008 (рисунок 5а), вариаций доплеровского сдвига частоты ионосферного сигнала (рисунок 5б) и геомагнитной обсерватории «Алма-Ата» Института Ионосферы (рисунок 5в) во время внезапного начала (SSC) геомагнитной бури уровня G3, произошедшей 1 декабря 2023 года. Видно, что на внезапное начало геомагнитной бури (0:18 UTC) отреагировали индукционный датчик IMS-008 и феррозондовый магнитометр LEMI-008 геомагнитной обсерватории, а в

вариациях доплеровского сдвига частоты эффект наблюдался примерно через 3 минуты, что показывает задержку влияния магнитной бури на ионосферу. Также можно заметить, что график показаний геомагнитной обсерватории более гладкий, чем у индукционного магнитометра. Это обусловлено большей чувствительностью и темпом регистрации данных рассматриваемого АПК.



Рисунок 5 – Эффекты внезапного начала (SSC) геомагнитной бури, произошедшей 1-го декабря 2023 г. а) вариации уровня ЭМ поля – IMS-008, б) вариации доплеровского сдвига частоты ионосферного сигнала, в) вариации геомагнитного поля LEMI-008. По оси Х – время в секундах от начала суток по времени UTC

Выводы. В данной работе разработан АПК на основе индукционного магнитометра IMS-008. Зарегистрированы эффекты при внезапном начале (SSC) геомагнитной бури и проведено сравнение с данными геомагнитной обсерватории «Алма-Ата» и с эффектами в доплеровском сдвиге частоты ионосферного сигнала. Выявлена трёхминутная задержка

влияния внезапного начала геомагнитной бури на ионосферу. Продемонстрирована эффективность регистрации электромагнитных сигналов в ULF-ELF диапазонах частот. АПК используется в системе непрерывного мониторинга для обнаружения эффектов при сейсмогенных и возмущающих солнечных событиях.

Работа выполнена в рамках реализации научно-технического проекта по грантовому финансированию ИРН AP19678127 "Развитие методов и средств геофизического мониторинга для исследования процессов в системе литосфера-атмосфера-ионосферамагнитосфера в сейсмоопасном регионе Северного Тянь-Шаня".

Литература

- 1. Троицкая В.А., Гульельми А.В. Геомагнитные пульсации и диагностика магнитосферы // Успехи физических наук. 1969. Т. 97. Вып. 3. С. 453-463.
- 2. Поляков С.В., Резников Б.И., Щенников А.В., Копытенко Е.А., Самсонов Б.В. Линейка индукционных датчиков магнитного поля для геофизических исследований // Сейсмические приборы. 2016. Т. 52. № 1. С. 5-27.
- Salikhov N.M., Pak G.D., Shepetov A.L, Zhukhov V.V., Seifullina B.B. Hardware-software complex for the telluric current investigation in a seismically hazardous region of Zailiysky Alatau // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technology sciences. 2021. No. 5. P. 94-102.

ГЕОМАГНИТНЫЙ ЭФФЕКТ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ГЛОБАЛЬНОЙ СЕТИ INTERMAGNET

Лазарева Е.А. ekaterina.lazareva88@gmail.com Научная станция РАН, г. Бишкек, Кыргызстан

В работе представлены результаты анализа вариаций геомагнитного поля, которые наблюдались во время землетрясений 6 февраля 2023 г. в Турции. На основе данных международной сети INTERMAGNET были построены графики изменения основных компонент геомагнитного поля и их производных по времени. Геомагнитный эффект землетрясений проявляется в виде высокочастотных колебаний в исходных 1-секундных данных X, Y, Z компонент, при этом более отчетливо отклик событий отмечен на графиках производных dX/dt, dY/dt, dZ/dt, преимущественно в записях горизонтальных компонент. Предложенная методика обработки геомагнитных данных может быть использована для проведения подобных исследований других землетрясений.

Ключевые слова: геомагнитное поле, данные, землетрясение, магнитуда, геомагнитный эффект, вариация

Введение. Обработка и анализ результатов геомагнитных наблюдений показывает, что аномальные вариации короткой длительности на магнитограммах могут быть связаны с сейсмическими событиями. Такие аномалии регистрируются как на близко расположенных к землетрясению обсерваториях, так и на большом расстоянии от эпицентра [1]. Основные трудности в изучении геомагнитных эффектов, вызванных сейсмическими событиями, связаны с недостаточным объемом односекундных и более высокочастотных наблюдений геомагнитный эффект на магнитографическим охватом. Геомагнитный эффект на магнитограммах можно обнаружить именно в односекундных данных, тогда как в наблюдениях, записываемых гораздо дольше, данные сглаживаются и соответствующего эффекта не наблюдается [2]. Серия разрушительных землетрясений в Турции произошла в период с 6 по 20 февраля 2023 года. Самые сильные события характеризовались магнитудой Mw от 6.0 до 7.8 (https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/).

Данные. Для изучения геомагнитного эффекта произошедших землетрясений были выбраны данные четырех станций, входящих в состав Международной сети магнитных обсерваторий INTERMAGNET (<u>https://intermagnet.org/</u>): Conrad (WIC, Austria), Budkov (BDV, Czech Republic), Nurmijarvi (NUR, Finland), Uppsala (UPS, Sweden). Все рассматриваемые обсерватории удалены от эпицентров землетрясений на расстояние более 2000 км (табл. 1), располагаются в северо-западном направлении от очагов событий (рис. 1).

Таблица 1 – Расстояния от рассматриваемых обсерваторий до эпицентров землетрясений, км

2	Обсерватория			
землетрясение	Austria,	Czech Republic,	Finland,	Sweden,
	Conrad (WIC)	Budkov (BDV)	Nurmijarvi (NUR)	Uppsala (UPS)
Mw = 7.5	2049	2226	2653	2810
Mw = 7.8	2093	2273	2733	2884

Чтобы оценить геомагнитный эффект, наблюдаемый от сейсмичности, в качестве исходных данных были использованы 1-секундные записи трех составляющих (северной *X*,

восточной Y и вертикальной Z) компонент геомагнитного поля, полученные в выбранных обсерваториях (<u>https://intermagnet.org/new_data_download.html</u>/). Кроме этого, были проанализированы соответствующие скорости изменения хода геомагнитного поля dX/dt, dY/dt, dZ/dt.



Рисунок 1 – Обсерватории сети INTERMAGNET (прямоугольные метки), эпицентры землетрясений (круглые метки)

Согласно данным геологической службы USGS, первый толчок, мощностью Mw=7.8, произошел 6 февраля 2023 года в 01:17:34 UTC, на глубине около 10 км. Примерно через девять часов, в 10:24:48 UTC произошло второе мощное землетрясение с магнитудой Mw=7.5, его глубина составляла около 15 км (<u>https://earthquake.usgs.gov/</u>). Средние значения DST-индекса в период с 4 по 8 февраля 2023 г. составляли в среднем от -23 нТл до 11 нТл, что свидетельствует об отсутствии сильных магнитных возмущений в это время и позволяет интерпретировать аномальные вариации геомагнитного поля в периоды землетрясений как геомагнитный эффект (<u>https://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst_realtime/202302/index.html</u>).

Результаты и обсуждение. Рассмотрим геомагнитные эффекты приведенных землетрясений на примере двух обсерваторий, находящихся на различном расстоянии от эпицентров.

На рисунке 2 время первого, более сильного события отмечено вертикальной пунктирной линией, представлены вариации компоненты X (рис. 2a) и скорость изменения геомагнитного поля dX/dt (рис. 2б) по данным обсерватории WIC, наиболее близко расположенной к очагу землетрясения. Несмотря на то, что на исходных данных вариаций X-компоненты выделяются аномальные, отличающиеся от типичного хода вариации (рис. 2a), геомагнитный сигнал значительно лучше прослеживается на записях скорости изменения геомагнитного поля dX/dt (рис. 2б) в виде сильных изолированных всплесков с последующим затуханием. На магнитной обсерватории UPS (рис. 3a, б), несмотря на гораздо более удаленное расстояние от очага землетрясения, также выделяется геомагнитный эффект.



Рисунок 2 – Вариации X-компоненты (а) и скорость изменения геомагнитного поля dX/dt (б) по данным магнитной обсерватории WIC (Conrad, Austria). Пунктирная линия – время первого землетрясения с Mw=7.8-01:17:34 (UTC)



Рисунок 3 – Вариации X-компоненты (а) и скорость изменения геомагнитного поля dX/dt (б) по данным магнитной обсерватории UPS (Uppsala, Sweden). Пунктирная линия – время первого землетрясения с Mw=7.8-01:17:34 (UTC)

Изменение вариаций *Y* и *Z*-компонент на графиках геомагнитного поля рассмотрим совместно со следующим крупным землетрясением, магнитудой *Mw*=7.5, которое произошло в 10:24:48 UTC (рис. 4, рис. 5). Время событий первого и второго землетрясений отмечено вертикальной пунктирной линией.

На обсерватории WIC (рис. 4), которая является ближайшей к эпицентрам, наибольшие амплитуды вариаций *X*-компоненты отмечаются после первого события и изменяются от -0,9 до 1,12 нТл/с; для *Y*-компоненты амплитуда немного больше после второго события и изменяется от -1,33 до 1,34 нТл/с; для *Z*-компоненты амплитуда наименьшая и изменяется от -0,49 до 0,44 нТл/с после обоих землетрясений.

На обсерватории UPS (рис. 5), несмотря на то, что она является гораздо более удаленной от эпицентров, амплитуды dX/dt и dY/dt также достигают 1 нТл/с и варьируются от -1,13 до 1,17 нТл/с для X-компоненты. Для Y-компоненты эти значения составляют от -0,87 до 1,15 нТл/с. Гораздо слабее геомагнитный эффект рассматриваемых событий проявляется на амплитудах dZ/dt.



Рисунок 4 – Графики скорости изменения компонент геомагнитного поля: dX (a), dY (б) и dZ (в) по данным магнитной обсерватории WIC (Conrad, Austria). Вертикальные пунктирные линии – время первого и второго землетрясений



Рисунок 5 – Графики скорости изменения компонент геомагнитного поля: dX (a), dY (б) и dZ (в) по данным магнитной обсерватории UPS (Uppsala, Sweden). Вертикальные пунктирные линии – время первого и второго землетрясений

Следует отметить, что для обоих событий идентично время возникновения и изменения сигнала, как в исходных данных компонент, так и в записях их производных. Возникновение подобных геомагнитных возмущений определяется многими факторами, такими как: магнитуда сейсмического события, параметры очага, его глубина, геология района, свойства горных пород и массива. Согласно современным представлениям, выделяют ряд основных физических механизмов возбуждения геомагнитных вариаций при землетрясениях. Наиболее значимым по амплитуде вызываемых геомагнитных вариаций электрокинетический разделением следует рассматривать эффект, связанный с электрических зарядов в результате просачивания минерализованных вод через горные породы, структура которых может к тому же изменяться в процессе разрушения как на стадии подготовки очага сейсмического события, так и в результате течения флюида в раскрывающихся трещинах в процессе самого землетрясения [3]. Возникновение сейсмоэлектрического эффекта может быть обусловлено наличием в подземной поровой жидкости диссоциированых ионов определённого знака, а также гидратированных ионов противоположного знака на стенках подземных каналов и трещин [4]. Движение подземной жидкости, вызванное распространением сейсмической волны, приводит к увлечению ионов, которое сопровождается возникновением электрокинетических токов и соответственно магнитного поля, которое вносит возмущение в локальное геомагнитное поле.

Заключение. Таким образом, отмечен довольно похожий и практически синхронный характер аномальных геомагнитных вариаций в обсерваториях, расположенных на различных расстояниях от очага землетрясения. На основе сравнения геомагнитного поля, отклики от землетрясений 6 февраля 2023 года с магнитудами Mw=7.8 и Mw=7.5 в исходных записях X, Y, Z и их производных dX/dt, dY/dt, dZ/dt идентичны для обоих землетрясений. Наибольшая амплитуда сигнала достигается на записях горизонтальных компонент dX/dt, dY/dt, наименьшая характерна для вертикальной компоненты dZ/dt. Анализ, рассмотренный в этой статье, является дополнительным свидетельством потребности в расширении сети односекундных наблюдений геомагнитного поля, необходимых для изучения влияния сейсмических событий на вариации геомагнитного поля.

Результаты, представленные в данной работе, получены в рамках выполнения государственного задания Научной станции Российской академии наук в г. Бишкеке по теме «Изучение геофизических полей и процессов как основы прогноза землетрясений на базе мониторинга и моделирования неупругих процессов в сейсмогенерирующих средах». Регистрационный номер 1021052806454-2-1.5.1.

Литература

- 1. Рябова С.А. Геомагнитный эффект сильного землетрясения Тохоку 2011 года // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019. № 4. С. 137–151. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-04-0-137-151.
- 2. Soloviev A.A. Geomagnetic Effect of the Earthquakes with Mw = 7.5–7.8 in Turkey on February 6, 2023 // Dokl. Earth Sc. 2023, 511, 578–584.
- Адушкин В.В. и др. Геомагнитные эффекты природных и техногенных процессов / В.В. Адушкин, С.А. Рябова, А.А. Спивак. М.: ГЕОС. 2021. 264 с. DOI: 10.34756/GEOS.2021.16.37855.
- Применение импедансов для анализа структуры поля косейсмических электромагнитных возмущений / Д.А. Стуков, В.В. Сурков, В.А. Пилипенко, В.А. Касимова // Современные техника и технологии в научных исследованиях: Сб. материалов XV Междунар. конф. молодых ученых и студентов, г. Бишкек, 26–28 апреля 2023 г. Бишкек: НС РАН. 2023. С. 165-172.

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКА ПЕРЕМЕННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ МТЕ M-AL ПРОИЗВОДСТВА ФИРМЫ PHOENICS (КАНАДА)

Лисимов М.О. *makcimeil@mail.ru* Научная станция РАН, г. Бишкек, Кыргызстан

Представлены методика и результаты измерения технических характеристик датчика переменного магнитного поля (MTE M-AL), входящего в состав электроразведочной аппаратуры, выпускаемой фирмой Phoenix (Канада), с целью оценки возможности его использования в качестве одного из датчиков сигналов становления поля в составе электроразведочного измерительного комплекса с шумоподобными зондирующими сигналами ЭРК ШПС, разрабатываемого в НС РАН.

Ключевые слова: электроразведочный измерительный комплекс, широкополосный датчик магнитного поля, зондирование становлением поля в ближней зоне.

Введение. Работа посвящена измерению параметров датчика переменного магнитного поля МТЕ M-AL, входящего в состав электроразведочной аппаратуры производимой фирмой Phoenix и предназначенного для проведения зондирований земной коры методом становления поля в ближней зоне (ЗСБ). Рассматривается возможность применения этого датчика в составе электроразведочного измерительного комплекса с шумоподобными зондирующими сигналами (ЭРК ШПС), разрабатываемого в Научной станции РАН (г. Бишкек) [1, 2]. Цель использования датчика МТЕ M-AL в составе ЭРК ШПС - обеспечение зондирования земной коры на малых глубинах (времена становления поля от 0,2 до 100 мс). Ранее для этой цели был разработан, изготовлен и введен в состав ЭРК ШПС макетный образец датчика переменного магнитного поля (ДПМП) с апериодической переходной характеристикой [3]. Не достаточная герметичность конструкции ДПМП не позволили его применение в течение длительного времени в полевых условиях при повышенной влажности окружающей среды. Конструкция же датчика MTE M-AL гарантирует его работоспособность в условиях воздействия повышенной влажности. Уровень выходных сигналов (напряжение, снимаемое с выхода предварительного усилителя - преобразователя) и того и другого датчиков пропорционален скорости изменения магнитного потока. Чувствительным элементом обеих датчиков является многовитковая индукционная рамка, в которой под действием внешнего переменного магнитного поля индуцируется э.д.с., величина которой пропорциональна скорости изменения потока магнитной индукции, пронизывающего площадь рамки [4]. В работе представлена методика и результаты измерения амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) датчика МТЕ M-AL. По полученной АЧХ вычислена верхняя граница частотного диапазона работы датчика МТЕ M-AL, определяемая линейным характером АЧХ в сравнении с полученной для датчика ДПМП [3].

Конструкция и схемотехника датчика МТЕ M-AL. В процессе проведения работ с датчиком были исследованы особенности его схемотехники и конструкции. На рис.1 представлена структурно-функциональная схема датчика МТЕ M-AL. Чувствительным элементом датчика является приемная многовитковая катушка индуктивности $L_{\Pi P}$, состоящая из трех последовательно включенных катушек индуктивностей L_1 , L_2 и L_3 , каждая из которых конструктивно выполнена в виде плоского электрического шлейфа, свернутого в кольцо. Каждый плоский шлейф, состоящий из 40 медных параллельно идущих проводников, с двух сторон заканчивается 40 контактными розетками, которые подключаются к соответствующим вилкам, расположенным на двух переходных коммутационных платах, где обеспечивается

последовательное соединение проводников внутри каждого шлейфа и последовательное включение получаемых при этом трех отдельных катушек индуктивности L1, L2 и L3. В результате получается приемная индукционная рамка (измерительная катушка), конструктивно состоящая из 120 витков медного провода, индуктивность которой определяется как сумма индуктивностей трех отдельных катушек $L_{\Pi P} = L_1 + L_2 + L_3$.



Рисунок 1 – Датчик МТЕ M-AL, схема структурно-функциональная: L_{ПР} - приемная многовитковая рамка (катушка индуктивности), L₁, L₂, L₃ – отдельные катушки индуктивности (плоские электрические шлейфы), ПСМП – преобразователь сигналов магнитного поля (скорости изменения магнитного потока) в электрические сигналы

Конструкция, состоящая из трех плоских электрических шлейфов, помещается в гибкий электростатический экран, обеспечивающий защиту измерительной катушки датчика от возможных внешних помех электрической природы. Конструктивно экран выполнен таким образом, что не представляет собой замкнутый контур (имеется разрыв в середине конструкции) и электрически подключается к среднему выводу источника питания схемы датчика. Выводы измерительной катушки датчика подключаются к преобразователю сигналов магнитного поля ПСМП, электрическая схема которого размещается на отдельной печатной плате и обеспечивает преобразование регистрируемых сигналов магнитного поля (скорости изменения потока магнитной индукции пронизывающего витки измерительной катушки датчика) в два противофазных сигнала Sen Sig и Sen Rtn. Для питания схемы ПСМП и подключения выходных сигналов датчика к измерительному комплексу ЭРК ШПС были разработаны и изготовлены дополнительно два блока - блок питания датчика (БПД) и блок предварительного усиления сигналов датчика (БПУСД). Все элементы структурнофункциональной схемы датчика размещены в жестком пластмассовом герметичном корпусе. На рис. 2 показан внешний вид датчика MTE M-AL с подключенными к нему блоком питания и блоком предварительного усиления. С помощью трёх специальных струбцин (рис. 2, поз. 5) обеспечивается фиксация и закрепление приемной индукционной рамки датчика на поверхности Земли в горизонтальном положении. Выходные сигналы датчика, снимаемые с контактов разъема, установленного на корпусе датчика, через кабель MTE M-AL (рис. 2, поз.1) подаются на вход блока предварительного усиления сигналов датчика. К этому же кабелю подключается блок питания датчика.



Рисунок 2 – Датчик переменного магнитного поля МТЕ М-AL, внешний вид: 1 – кабель МТЕ М-AL, 2 - БПД, 3 - БПУСД, 4 - ПСМП, 5 – установочные струбцины, 6 – герметичный пластиковый корпус

На рисунке 3 представлена электрическая принципиальная схема преобразователя сигналов магнитного поля.



Рисунок 3 – Преобразователь сигналов магнитного поля в электрические сигналы (ПСМП), схема электрическая принципиальная

Источником входного сигнала для ПСМП является приемная многовитковая индукционная рамка L_{np} (рис. 1 и 3). Параметры индукционной рамки, такие как индуктивность $L_{np} = 31, 5$ мГн и активное сопротивление $r_{np} = 79,7$ Ом, измеренные в процессе изучения схемы и конструкции датчика МТЕ М-АL, определяют частотные свойства датчика. Сигнал $e(t) = -d\Phi(t)/dt$, представляющий собой э.д.с. индуцируемую в витках индукционной рамки, величина которой прямо пропорциональна скорости изменения магнитного потока $\Phi(t)$, пронизывающего витки этой рамки, поступает в электрическую схему с помощью которой осуществляется его преобразование в два противофазных сигнала в виде переменного напряжения, снимаемого с выходов операционных усилителей DA1 и DA2. Формирование из сигнала e(t) двух противофазных сигналов поступающих на входы повторителей напряжения, выполненных на операционных усилителях DA1 и DA2, осуществляется с помощью входной цепи, выполненной на резисторах R3, R4, R7,R8 и R9. Величина сопротивления резистора R9 как правило должна выбираться из условия обеспечения апериодического характера переходной характеристики датчика магнитного поля как и в случае датчика ДПМП, разработанного и изготовленного в HC PAH. Резисторы

R1, R5, R11, R12 определяют выходное сопротивление схемы ПСМП, величина которого составляет 135 Ом и должна быть согласована с волновым сопротивлением линий передачи сигналов от датчика к блоку предварительного усиления сигналов датчика (кабель МТЕ M-AL). С помощью диодной сборки D1 обеспечивается защита схемы датчика от повреждения мощными электрическими сигналами, возникающими в линиях передачи, например, при грозовых атмосферных разрядах.

Адаптация датчика МТЕ M-AL к измерительному комплексу ЭРК ШПС. Для подключения датчика МТЕ M-AL к ЭРК ШПС [2] был разработан и изготовлен блок предварительного усиления сигналов датчика (БПУСД), основной функцией которого является усиление двух противофазных выходных сигналов датчика и преобразование их в один сигнал, подаваемый на вход ЭРК ШПС. Электрическая схема БПУСД представлена на (рис. 4) и размещается в отдельном корпусе (рис. 5). Питание схемы БПУСД осуществляется от встроенного в блок двухполярного источника питания с выходным напряжением \pm 12 В, выполненного в виде двух аккумуляторных батарей, каждая из которых состоит из трех последовательно включенных литий-ионных элементов напряжением 4,2 В.



Рисунок 4 — Блок предварительного усиления сигналов датчика (БПУСД), схема электрическая принципиальная



Рисунок 5 – Блок предварительного усиления сигналов датчика (БПУСД), внешний вид

На операционных усилителях DA1 и DA2 выполнены два не инвертирующих усилителя, обеспечивающие предварительное усиление двух сигналов, поступающих от датчика MTE M-AL. Величина сопротивления резисторов R1, R2 (133 Ом) определяет необходимое входное сопротивление схемы, согласованное с волновым сопротивлением линии передачи сигналов. Коэффициенты усиления не инвертирующих усилителей K₁ и K₂ определяются согласно выражениям:

$K_1 = 1 + R5/R3; K_2 = 1 + R6/R4$

На операционном усилителе DA3 выполнен дифференциальный усилитель, обеспечивающий преобразование двух противофазных сигналов датчика MTE M-AL (симметричный выход датчика) в один сигнал, необходимый для подключения к несимметричному входу ЭРК ШПС. Величина сопротивления резистора R11 (51,1 Ом) обеспечивает необходимое выходное сопротивление схемы, согласованное с волновым сопротивлением линии передачи сигнала от БПУСД к измерительному комплексу ЭРК ШПС.

Эксперимент по измерению АЧХ. Для оценки спектрального состава и динамического диапазона сигналов, ожидаемых на выходе измерительного канала, состоящего из последовательно включенных датчика МТЕ М-AL и БПУСД, был проведен эксперимент по измерению АЧХ этого канала. Схема эксперимента представлена на рис. 6.



Рисунок 6 – Схема эксперимента по измерению АЧХ: Д – датчик МТЕ М-АL; БПУСД – блок предварительного усиления сигналов датчика; БПД – блок питания датчика; ГР – градуировочная рамка

Эксперимент проводился в лабораторных условиях. Градуировочным сигналом в нашем случае является магнитный поток, пронизывающий перпендикулярно плоскость витков приемной индукционной рамки датчика. Для его формирования вокруг корпуса датчика был установлен и жестко закреплен на нём один виток многожильного медного провода в изоляции, который выполнял функцию градуировочной рамки. С помощью этой рамки формировался градуировочный сигнал, уровень которого оставался стабильным во всем диапазоне частот формируемых и регистрируемых сигналов (от 350 Гц до 1,0 МГц) и был прямо пропорционален величине синусоидального тока, протекающего в этой рамке. Амплитудное значение этого тока определялось как I = U/R = 0,1 A, где U = 5 B – амплитуда устанавливаемого на выходе генератора AFG 3022 напряжения сигнала синусоидальной формы, а R = 50 Ом - величина сопротивления резистора, включенного последовательно с градуировочной рамкой. Выходной сигнал измерительного канала наблюдался на экране цифрового осциллографа FLUKE-124, а его величина, выраженная в децибелах по отношению к измеренной на частоте основного резонанса (40 кГц), регистрировалась с помощью цифрового вольтметра B3-71. График таким образом полученной АЧХ U1(f) представлен на рис. 7. На этом же рисунке показана касательная к АЧХ U2(f) в точке f = 0 Гц.



Рисунок 7 – Результаты измерения АЧХ: U1(f) – АЧХ измерительного канала, U2(f) – касательная к кривой АЧХ в точке f = 0 Гц

Согласно рис. 7 в области низких частот (от 350 Гц до 40 кГц) график АЧХ приближается к прямой линии (касательная к АЧХ). Степень приближения увеличивается с уменьшением частоты. Такое поведение АЧХ свидетельствует о том, что в указанном диапазоне частот уровень сигнала, снимаемаемого с выхода измерительного канала, будет примерно прямо пропорционален скорости изменения магнитного потока, пронизывающего приемную индукционную рамку датчика. На частоте 40 кГц наблюдается первый (основной) резонанс схемы и далее на частотах выше 40 кГц наблюдается ещё несколько резонансов, обусловленных частотными свойствами датчика МТЕ М-АL. Выполнить измерение АЧХ на частотах ниже 350 Гц не удалось по причине очень низкого уровня регистрируемых сигналов, который приближался к уровню собственных шумов цифрового вольтметра B3-71.

На рис. 8 представлен график частотной зависимости относительной погрешности измерения скорости магнитного потока $\delta(f)$, пронизывающего приемную индукционную рамку датчика МТЕ M-AL, построенный по графикам АЧХ и касательной к ней согласно выражению: $\delta(f)$, $\% = 100 \cdot |[U1(f) - U2(f)]/U2(f)|$.



Рисунок 8 – График частотной зависимости относительной погрешности измерения скорости магнитного потока, проходящего через приемную индукционную рамку датчика МТЕ M-AL

В соответствии с полученной зависимостью $\delta(f)$, представленной на рис. 8, рассматриваемый датчик переменного магнитного поля МТЕ M-AL, входящий в состав электроразведочной аппаратуры производимой фирмой Phoenix, может быть использован в составе измерительного комплекса ЭРК ШПС для регистрации сигналов становления поля в

диапазоне частот до 13 кГц с погрешностью измерения до 5% и до 16,5 кГц с погрешностью измерения до 10%. При этом минимальные значения регистрируемых времен становления поля определятся, согласно выражению: $t_{min} \ge 5/(2 \cdot \pi \cdot f_B)$, где f_B - верхняя частота в спектре регистрируемых сигналов. В результате при $\delta(f) = 5\%$ получаем $t_{min} \ge 61$ мкс, а при $\delta(f) = 10\% t_{min} \ge 48$ мкс.

В таблице 1 приведены некоторые технические характеристики и параметры ранее изготовленного в НСРАН для измерительного комплекса ЭРК ШПС макетного образца широкополосного датчика переменного магнитного поля (ДПМП) в сравнении с исследуемым МТЕ M-AL производства фирмы Phoenix.

Параметр	MTE M-AL	ДПМП
Размеры приемной индукционной рамки, м	$1,07 \times 1,07$	$1,05 \times 1,05$
Число витков в приемной индукционной рамке	120	34
Эффективный момент по выходу предварительного усилителя, м ²	114	1500
Граничная частота диапазона линейности АЧХ (погрешность измерения 5%), кГц	13	23
Минимальное регистрируемое значение времен становления поля (погрешность измерения 5%), мкс	≥ 61	-
Граничная частота диапазона линейности АЧХ (погрешность измерения 10%), кГц	16,5	26
Минимальное регистрируемое значение времен становления поля (погрешность измерения 10%), мкс	≥ 48	-

Таблица 1 – Сравнение технических параметров датчиков МТЕ M-AL и ДПМП

Заключение. Были выявлены основные особенности схемотехники и конструкции датчика МТЕ M-AL, обеспечивающие получение характеристик датчика. Получена AЧХ датчика и определен диапазон ее линейности, определяющий точность измерения сигналов становления поля. Разработан и изготовлен блок предварительного усиления сигналов датчика (БПУСД), обеспечивающий усиление двух противофазных выходных сигналов датчика МТЕ M-AL и преобразование их в один сигнал, подаваемый на вход ЭРК ШПС. Работа с датчиком МТЕ M-AL продолжается, планируется дальнейшее изучение его технических характеристик и параметров, а также проведение полевых работ с ним в составе измерительного комплекса ЭРК ШПС по зондированию земной коры и получению кривой зондирования классическим методом становления поля в ближней зоне (ЗСБ).

Литература

- 1. Ильичев П.В., Бобровский В.В. Применение шумоподобных сигналов в системах активной геоэлектроразведки (результаты математического моделирования и полевого эксперимента) // Сейсмические приборы. 2014. Т. 50. № 2. С. 5-19.
- 2. Бобровский В.В., Ильичев П.В., Лашин О.А. Широкополосный измерительный комплекс с шумоподобными сигналами для электромагнитного мониторинга современных геодинамических процессов в сейсмоактивных зонах // Сейсмические приборы. 2021. Т. 57. № 1. С. 29-48.
- 3. Лашин О.А. Широкополосный датчик переменного магнитного поля для геоэлектроразведки // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. 2015. Т. 15. № 9. С. 179-185.
- 4. Каменецкий Ф.М. Электромагнитные геофизические исследования методом переходных процессов. М.: ГЕОС. 1997. 162 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ СТРУКТУРНОЙ (КИНЕМАТИЧЕСКОЙ) ИНТЕРПРЕТАЦИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ В ПРЕДЕЛАХ ПЛОЩАДЕЙ ЧОРВАДОР И УТАМАЙЛИ

Мусабеков А.К. indigo310584@mail.ru АО «Узбекгеофизика», г. Ташкент, Узбекистан

В данной работе обобщены результаты переобработки и переинтерпретации сейсмических материалов МОГТ-2Д и анализа геолого-геофизических данных по площадям Чорвадор и Утамайли с использованием данных глубокого бурения, а также дан прогноз перспективам нефтегазоносности мезозойских отложений (нижний мел, верхняя юра) площадей Чорвадор и Утамайли. Обоснована характеристика нефтегазоносности площади Чорвадор и Утамайли по аналогии с месторождениями Сарыча, Западный Ташли и Восточный Ташли.

Ключевые слова: поднятие, горизонт, литология, стратиграфия, ловушки, бурение, скважина, сейсморазведка, структуры, сейсморазведка МОГТ-2D.

Введение. Площади Чорвадор и Утамайли в административном отношении расположены в Чиракчинском районе Кашкадарьинской области Республики Узбекистан (рис. 1).



Рисунок 1 – Обзорная схема района исследований

В тектоническом плане площади Чорвадор и Утамайли приурочены к Азляртепинской зоне дислокаций восточной части Бухарской тектонической ступени, в плане имеющую форму прямоугольника или клина, вытянутого с запада на восток, северо-восток (рис. 2). В структурно-тектоническом плане Азляртепинская зона дислокаций относится к области сравнительно небольшой глубины залегания палеозойского фундамента, которая в пределах отчетных площадей меняется от 1000 м до 2500 м, увеличивается в целом в южном направлении.

По характеру образования складок в пределах Азляртепинской зоны дислокаций выделяются четыре антиклинальные зоны, каждая из которых тяготеет к крупному разлому. Самый северный – **Горданский вал** протягивается с запада от площади Раимсуфи на восток

до Хонтепинской и включает в себя структуры Раимсуфи, Западный Гордан (Утамайли), Центральный Гордан, Восточный Гордан, Чияль, Восточный Чияль, Хонтепа, Сайфи и Акчи. В средней группе линейных складок Сарычинского вала выделяются структуры Андабазар, Ходжакудук, Сарыча, Западная Сарыча, Азляртепа, Увада, Восточный Ходжакудук.



Рисунок 2 — Схема тектонического районирования восточной части Бухарской тектонической ступени

Сарычинская антиклинальная зона с юга осложнена менее протяженным **Ташлинским валом**, в пределах которого выделяются складки Западный Ташли, Южная Сарыча, Восточный Карактай. С южной Карактайской зоной связаны структуры Южный Андабазар, Карактай и Северный Карактай.

Все выявленные структуры в пределах Азляртепинского поднятия преимущественно небольших размеров, с размерами складок от 2х5 км до 6х12 км, с амплитудами от 30 до 100 м. В сводах большинства антиклиналей полностью размыты отложения палеогена, а также сенона, турона и частично сеномана.

Результатами предыдущих ГРР промышленные скопления УВ установлены в 12 продуктивных горизонтах. Из них XII, XIII и XV регионально нефтегазоносны, а основным продуктивным комплексом является верхнеюрский карбонатный – XV горизонт.

В пределах Азляртепинской зоны дислокаций за период 1961-1970 гг. было открыто 5 месторождений, из них 4 – нефтегазовые (Карактай, Гарбий Ташли, Шаркий Ташли, Сарыча) и 1 – газовое (Увада).

Автором статьи была выполнена стандартная обработка во временной области, заканчивающаяся временной миграцией до суммирования (рис. 3), а также структурная интерпретация сейсмических данных МОГТ-2D с целью уточнения и построения трехмерных структурно-тектонических моделей по площадям Чорвадор и Утамайли.

Сейсмическая обработка и интерпретация материалов выполнялась на ВЦ ПГМП АО «Узбекгеофизика» с использованием программного обеспечения Paradigm 19 компании Aspentech.



Рисунок 3 – Корреляция основных горизонтов по ПР122131511

В результате переобработки и переинтерпретации полученных геофизических материалов МОГТ-2D построены структурно-тектонические модели и структурные карты по отражающему горизонту T₂, приуроченному к кровле XIII горизонта неоком-апта (K₁n+a), и T₆, приуроченному к кровле XV горизонта верхнеюрских карбонатных отложений (J₃o+km) в пределах площадей Чорвадор и Утамайли (рис. 4). Также по данным глубокого бурения построен характерный геологический профиль по линии Раимсуфи-1 – Увада-1 (рис. 5).



Рисунок 4 – Структурно-тектоническая 3D-модель по ОГ Тб (J3o+km), приуроченному к XV горизонту верхнеюрских отложений



Рисунок 5 – геологический профиль по линии Раимсуфи-1 – Увада-1

В результате проведенных работ при сравнении построенной ранее структурной карты с современным структурным планом (рис. 6) структура Чорвадор получила свое подтверждение и представлена «однокупольной» складкой, свод которой смещен на югозапад на расстояние около 1,1 км по отношению к рекомендованной по Паспорту скв. №1-Чорвадор.

В 4 км к северо-востоку от структуры Чорвадор в 1973 году пробурена скважина №2 - Гордан глубиной 1386 м, вскрывшая мезокайнозойский комплекс. Кровля терригенной юры вскрыта на глубине 1360 м. При опробовании нижнемеловых (XII-XIII горизонты) и юрских отложений были получены притоки пластовой воды без признаков нефти и газа.

Согласно новой структурно-тектонической модели, скважина 1 - Гордан заложена в неоптимальном месте и пробурена в восточной переклинали структуры.

При сравнении построенной ранее структурной карты с современным структурным планом (рис. 7) структура Утамайли подтверждается и представлена «однокупольной» складкой, свод которой смещен на восток на расстояние около 1,4 км по отношению к рекомендованной по Паспорту скв. №1 - Утамайли.

В пределах структуры Утамайли в 1972 году пробурена скважина №1 - Гордан глубиной 1472 м, вскрывшая мезокайнозойский комплекс и кровлю палеозоя (38м).

При испытании 13 объектов, в интервалах нижнемеловых (XII-XIII горизонты) и юрских отложений (XVI-XVI-XVIII горизонты) были получены притоки пластовой воды без признаков нефти и газа.

Согласно новой структурно-тектонической модели площади Утамайли, скважина №1 - Гордан пробурена в северной переклинали структуры Утамайли, вблизи разлома.



Рисунок 6 – Сравнение структурных планов пл. Чорвадор по ОГ Т2: а) по паспорту; б) по результатам машинной переинтерпретации на АПК «Paradigm»



Рисунок 7 – Сравнение структурных планов пл. Утамайли по ОГ Т₂: а) по паспорту; б) по результатам машинной переинтерпретации на АПК «Paradigm»

Заключение. На основании проведенного анализа, автором рекомендуется:

- 1) Заложение поисковой скважины №1-Чорвадор в сводовой части структуры, проектной глубиной 1500 м, со вскрытием кровли палеозойских отложений.
- 2) Заложение поисковой скважины №1-Утамайли в сводовой части структуры, проектной глубиной 1500 м, со вскрытием кровли палеозойских отложений.
- 3) Проанализировать историю бурения ранее пробуренных скважин в пределах площадей Чорвадор и Утамайли.

Литература

- 1. Эшов Ж.Э. Поисково-детальные сейсморазведочные работы МОГТ-2Д в пределах Азляртепиского поднятия Бухарской тектонической ступени и Бешкентского прогиба БХНГО. Отчет Мирмиронской с/п № 26/13-16. 2018.
- 2. Тураев А.У. Поисковые сейсморазведочные работы ОГТ в юго-восточной части Бухарской тектонической ступени и Кашкадарьинской впадине Отчет Ташлинской с/п № 5/08-11. 2011.
- 3. Хожиев Б.И. Продуктивность и потенциал нефтегазоносности мезозойских отложений западной части Бухаро-Хивинского региона. Диссертация доктора геологоминералогических наук. Ташкент. 2022. 209 с.

ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ И БУРОВАЯ ИЗУЧЕННОСТЬ МЕЗОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БУХАРСКОЙ ТЕКТОНИЧЕСКОЙ СТУПЕНИ

Мусабеков А.К.¹, Хожиев Б.И.² *indigo310584@mail.ru, bixojiyev@mail.ru* ¹ АО «Узбекгеофизика», г. Ташкент, Узбекистан ² Ташкентский государственный технический университет им. И. Каримова, г. Ташкент, Узбекистан

В данной статье проведен детальный анализ состояния изученности восточной части Бухарской тектонической ступени (включающий в себя Кокдалинский прогиб. Алзяртепинскую зону дислокаций и Кашкадарьинский прогиб), основанный на изучении научно-исследовательских работ по данной территории, комплексном анализе материалов геофизической изученности _ сейсморазведки, гравиразведки, магниторазведки и электроразведки. Подробно описано состояние буровой изученности каждого тектонического элемента в отдельности, в результате чего вычислена плотность проведенного бурения на единицу площади, дана оценка степени изученности данной территории. Даны рекомендации на продолжение изучения относительно малоизученных территорий геофизическими методами и поисково-разведочным бурением.

Ключевые слова: поднятие, горизонт, прогиб, вал, сейсморазведка, ловушки, бурение, скважина.

Введение. В тектоническом отношении Восточная часть Бухарской тектонической ступени включает в себя тектонические элементы II порядка, а именно: Кокдалинский прогиб, Азляртепинскую зону дислокаций и Кашкадарьинский прогиб (рис. 1).

Кокдалинский прогиб расположен в восточной части Бухарской ступени и разделяет Мубарекское поднятие и Азляртепинскую зону дислокаций. В пределах прогиба выявлен ряд локальных структур. Размеры Кокдалинского прогиба составляют порядка 65х15 км.

Азляртепинская зона дислокаций расположена в восточной части Бухарской ступени. На западе она граничит с Мубарекским поднятием, разделенным Кокдалинским прогибом. На севере, востоке и юге она ограничена Предзеравшанской, Чиракчинской и Учбаш-Каршинской флексурно-разрывными зонами (ФРЗ) соответственно. В силу близости расположения к складчатой системе, для данной территории в целом характерно сложное строение, с широким развитием разрывных нарушений и преобладанием северо-восточной ориентировки как крупных структурных элементов, так и многочисленных локальных поднятий: Азляртепа, Ташли, Сарыча, Карактай, Утамайли (Гордан) и др. Для структур Азляртепинского поднятия характерно сокращение мощности меловых и юрских отложений от крыльевых частей к своду. Размеры Азляртепинской системы дислокаций составляют порядка 75х30 км [1].

Кашкадарьинский предгорный прогиб расположен в крайней восточной части Бухарской ступени, к востоку от Азляртепинской системы дислокаций. Характеризуется широким развитием разрывных нарушений северо-восточной ориентировки и повышенными мощностями неоген-четвертичных отложений. Западной и южной границами прогиба служат Чиракчинская и Учбаш-Каршинская ФРЗ соответственно. В прогибе выявлено небольшое количество локальных структур (Северный Бадахшан, Шахрисабз, Яккасарай и др.), большинство из которых характеризуется преимущественно северо-восточной ориентировкой. Размеры Кашкадарьинского предгорного прогиба составляют порядка 85х40км. Геологическая изученность. Выяснением нефтегазоносности и геологического строения мезозойских отложений Восточной части Бухарской тектонической ступени занимались такие ученые, как А.А. Абидов, А.А. Акрамходжаев, Г.С. Абдуллаев, А.М. Акрамходжаев, В.П. Алексеев, К.А. Алимов, Е.И. Арнаутов, П.У. Ахмедов, А.Г. Бабаев, Т.Л. Бабаджанов, Р.А. Габрильян, Ш.Д. Давлятов, Ф.Г. Долгополов, Г.Б. Евсеева, И.В. Еременко, Е.Н. Жданова, Я.Х. Иминова, И.А. Крылов, Х.Х. Миркамалов, А.К. Мальцева, А.Х. Нугманов, В.В. Рубо, Л.И. Рубо, Ю.М. Садыков, С.К. Салямова, Б.К. Сафонов, Л.Н. Сафонова, А.Н. Симоненко, С.Г. Ситдиков, Г.С. Солопов, К.А. Сотириади, Д.Б. Султанова, Б.Б. Таль-Вирский, В.И. Троицкий, У.Х. Хакимов, Л.С. Хачиева, Б.С. Хикматуллаев, Л.Г. Черкашина, М.Э. Эгамбердиев, Л.Р. Бикеева, Н.А. Гафурова, Н.Н. Юлдашев и др [2].



Рисунок 1 – Схема размещения тектонических элементов, месторождений УВ и перспективных объектов в пределах юго-восточной части БХР

Изучение геологического строения Восточной части Бухарской тектонической ступени, и в целом БХР, началось ещё в 1927-1930гг.

В 1927 году в пределах Кашкадарьинской впадины В.А. Обручев произвел геологические исследования в районе выхода нефти у кишлака Шурасан.

В 1932 году И.А. Кудрявцевым проведена геологическая съемка Шурасанской площади, описаны выходы нефти на Шурасане.

В 1947 году В.Г. Машадовой была произведена геологическая съемка, которая позволила в значительной степени детализировать залегание третичных пород по всей исследуемой площади, дано более детальное описание Шурасанской, Ташбулакской и др. складок.

В период с 1949 года по 1952 год в пределах восточной части Бухарской тектонической ступени была проведена геологическая съемка масштаба 1:25000 под

руководством Ф.П. Корсакова. В результате проведенных исследований были составлены сводные геологические структурные карты и разрезы по профилям, обобщены фактические материалы по литологии и стратиграфии моласс, описана тектоника [3].

Геофизическая изученность. Вся территория Бухаро-Хивинской нефтегазоносной области покрыта аэромагнитной съёмкой масштаба 1:200000, в результате чего были выявлены общие закономерности строения фундамента (Ефремов, 1948 г., Я.Г. Воробьев, А.М. Шушкевич, 1956 г. Выявленные положительные аномалии магнитного поля приурочиваются к площадям мезозойских и кайнозойских складок [4].

Электроразведочные работы методами ВЭЗ, ДЭЗ, ВС выполнены в значительном объеме. В начале эти работы производились с целью решения структурных задач и с 1970 года основная ориентация взята на прямое прогнозирование нефтегазоперспективных зон в верхнеюрских карбонатных отложениях.

Сейсморазведочные работы проводятся в районе исследуемой площади с 1956 года с использованием методов МОВ и КМПЗ.

До 1968 года включительно МОВ является основным сейсморазведочным методом при картировании структурного плана мел-палеогеновых отложений, а в последующие годы, в связи с увеличением глубинности исследований и усложнением поставленных задач, информативность и эффективность его оказалась недостаточной.

Внедрение метода ОГТ позволило не только поднять точность структурных построений, но и наметить ряд критериев, на основании которых осуществляется выделение рифовых тел, и таким образом повышается эффективность сейсморазведки.

В период с 1986 г. по 2018 г. в восточной части Бухарской тектонической ступени выполнены сейсморазведочные работы МОГТ-2D в объёме 11718 пог.км, средняя плотность покрытия сети профилей 2D составляет 2,16 пог.км/км² (рис.2).

Несмотря на высокую сейсмическую изученность восточной части Бухарской ступени, Кашкадарьинский прогиб не охвачен полностью сейсмической съемкой МОГТ-2D ввиду сложных поверхностных геологических условий.

В пределах восточной части Бухарской тектонической ступени сейсморазведочные работы 3D не проводились.



Рисунок 2 – Схема сейсмической и буровой изученности восточной части Бухарской тектонической ступени (по данным АО «Узбекгеофизика»)

Глубокое параметрическое и поисково-разведочное бурение на нефть и газ на территории восточной части Бухарской тектонической ступени начато с 1950-х годов. По состоянию на 1 января 2024 г. глубокое параметрическое, поисково-разведочное и эксплуатационное бурение проведено примерно на 34 площадях. В целом пробурены около

245 глубоких скважин, из них 7 – параметрические, 90 – поисковые и 148 – разведочные и эксплуатационные. Из общего количества пробуренных глубоких скважин 37 % составляют поисковые, 60% – разведочные и эксплуатационные, 3% –параметрические (рис. 3).



Рисунок 3 – Диаграмма изученности восточной части Бухарской тектонической ступени различными категориями глубоких скважин. Составил А.К. Мусабеков, 2024 г.

Плотность бурения для рассматриваемой территории площадью 5412 км² составляет 22,1 км² на 1 скважину по мезозойским отложениям, что соответствует территории со средней степенью изученности.

В результате поисково-разведочного бурения установлена перспективность юрских и нижнемеловых отложений и открыты месторождения Восточный Ташли, Западный Ташли, Увада, Карактай, Сарыча, Яккасарай, Западный Яккасарай.

Анализ фонда подготовленных структур восточной части Бухарской тектонической ступени показал, что площади Ханака, Алтынбаш, Асад, Чирокчи находятся в более перспективном положении в отношении содержания УВ.

Заключение. На территории восточной части Бухарской тектонической ступени рекомендуется целенаправленное проведение сейсморазведочных 3D работ с целью оценки перспективности мезозойских отложений. Для определения потенциала нефтегазоносности юрских и меловых отложений на площади Ханака, Алтынбаш, Асад, Чирокчи необходимо начать поисковое бурение. С целью уточнения ранее выявленных нефтегазоперспективных объектов и подготовки их к глубокому поисковому бурению, выявления новых объектов, а также уточнения тектоники в целом Азляртепинской зоны дислокаций и Кашкадарьинского прогиба необходимо выполнить переобработку и переинтерпретацию сейсмических данных МОГТ-2D прошлых лет на современном АПК «Paradigm».

Литература

- 1. Эшов Ж.Э. Поисково-детальные сейсморазведочные работы МОГТ-2Д в пределах Азляртепиского поднятия Бухарской тектонической ступени и Бешкентского прогиба БХНГО. Отчет Мирмиронской с/п № 26/13-16. 2018.
- 2. Тураев А.У. Поисковые сейсморазведочные работы ОГТ в юго-восточной части Бухарской тектонической ступени и Кашкадарьинской впадине. Отчет Ташлинской с/п № 5/08-11. 2011.
- 3. Хожиев Б.И. Продуктивность и потенциал нефтегазоносности мезозойских отложений западной части Бухаро-Хивинского региона. Дис. ... д-ра геол.-мин. наук. Ташкент. 2022. 209 с.
- 4. Тураев А.У. Поисковые сейсморазведочные работы ОГТ в юго-западной части Бешкентского прогиба, юго-восточной части Бухарской тектонической ступени и Кашкадарьинской впадине. Отчет Яккабагской с/п № 3/05-08. 2008.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ, ГЕНЕРИРУЕМОЙ КРУПНОЙ ИНТРУЗИЕЙ ПОЛЯ НАПРЯЖЕНИЙ, В ПРИЛОЖЕНИИ К ПРОБЛЕМАМ ТЕКТОНОФИЗИКИ СКЛАДЧАТЫХ ПОЯСОВ

Мягков Д.С., Ребецкий Ю.Л. *dsm@ifz.ru* Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия

В данной работе представлены численные геодинамические модели формирования напряжённо-деформированного состояния земной коры при формировании крупных транскоровых интрузий. Методом численного моделирования рассчитан уровень напряжений коры, связанный с давлением магмы транскоровой интрузии, показаны особенности формирующихся геодинамических режимов напряжённого состояния коры. На большом расстоянии от тела интрузии преобладает режим горизонтального сжатия в перпендикулярном простиранию секторе в направлении, интрузии, u режим горизонтального растяжения со сдвигом в секторе в направлении вдоль простирания. Исследован результат взаимовлияния системы действующих разломов. Отдельно исследуется вопрос о связи плотности магмы и давления в магматическом очаге с расстоянием проникновения интрузии от очага.

Ключевые слова: геодинамика, численное моделирование, интрузии, геомеханика, Центрально-Азиатский складчатый пояс.

Введение. Поиск источников нагружения земной коры является ключевой проблемой тектонофизики, без решения которой невозможно построение геодинамических моделей, описывающих развитие напряжённо-деформированного состояния региональных структур согласованно с имеющейся по сейсмологическим данным информацией о современном поле напряжений и по геологическим – о палеострессе. Для Центрально-Азиатского складчатого пояса построение таких моделей особенно актуально в силу высокого уровня природных напряжений – до 100 Бар по данным тектонофизических реконструкций. В данной работе рассматривается один из ключевых, но при этом редко рассматриваемых в мировой литературе источник нагружения земной коры, связанный с формированием крупных интрузий.

Формирование любых интрузий связано с перераспределением давления во вмещающих породах, что обусловлено формированием связанного напряжённого состояния в системе тело интрузии-подводящий канал таким образом, что изменение давления в интрузии становится приблизительно равным давлению в подводящем канале (за вычетом поправки на данном уровне по высоте). Поскольку плотность магмы не совпадает в точности с плотностью окружающих пород, а также горизонтальные компоненты нормальных напряжений в твёрдой среде меньше вертикальной (в жидкой магме они, напротив, равны), то, на стадии продвижения жидкой интрузии через вмещающие породы, формируются дополнительные напряжения, в первую очередь – горизонтального сжатия [1]. При формировании крупных транскоровых интрузий уровень аномальных напряжений может составлять десятки и даже первые сотни Бар (в зависимости от давления в очаге и плотности магмы) что сопоставимо с общим уровнем напряжений в верхней коре. В данной работе численных геодинамических будет представлена серия моделей нагружения континентальной коры вертикальной транскоровой интрузией с геометрией типа дайки.

Первая рассматриваемая модель представляет собой континентальную кору толщиной 40 км с развивающейся от подошвы до области максимального проникновения вертикальной интрузией (рассматриваются также модели с 2 и 4 параллельными интрузиями с равными
расстояниями между точками изначального проникновения в кору). Режим продвижения интрузии по транскоровому разлому контролируется условием необходимости превышения давления магмы нормального напряжения на площадке вдоль тела разлома. Показаны случаи формирования интрузии на протяжении всей коры и случаи запирания интрузии. Вторая модель описывает аналогичную интрузию, но в плане – модель представляет собой ориентированное в горизонтальной плоскости пространство размером 100х100 км, в центре которого развивается интрузия размером 20км. Исходное гравитационное напряжённое состояние соответствует глубине 15 км. Модель в плане позволяет исследовать формирование зон аномального растяжения близ боковых поверхностей интрузии.



Рисунок 1 – Распределение давления в модели на ранней стадии формирования интрузии (давление магмы достигло уровня в 30% от максимального)

В численной модели для расчёта применялась явная конечно-разностная схема, исследования разработанная Уилкинсом для упруго-пластических тел И усовершенствованная Стефановым [2] для применения в геомеханике. Тела модели рассматриваются как упругопластические. В отличие от классического подхода Уилкинса [3] в данном подходе берётся более сложная и подходящая для геосреды модифицированная модель Друккера-Прагера-Николаевского [4]. В её рамках среда рассматривается как упругопластическое тело, упрочняющееся используется неассоциированный закон пластического течения. За счёт использования упруго-пластических тел, избыточные, превышающие прочность реальной среды напряжения разгружаются в зонах формирования крупных разломов (в модели – зоны локализации пластической деформации), отсутствие учёта данного процесса является главным недостатком аналитических моделей. Представленная методика моделирования и процесс создания численной геомеханической модели подробно дана в работе [5].



Рисунок 2 – Распределение давления в модели в момент завершения формирования интрузии (давление магмы достигло уровня в 100% от максимального)

Непосредственно моделирование начинается с гравитационной нагрузки и расчёта литостатического напряжения в модели. Далее в заранее определённую область начинает поступать магма из очага, причём давление в очаге задаётся выше литостатического (в работе рассматриваются значения превышения до 15%). Интрузия формируется постепенно, на последнем этапе достигая дневной поверхности, если давление магмы выше нормального горизонтального напряжения на любой высоте, в противном случае происходит запирание дайки на соответствующей высоте. Для моделирования используем следующие параметры среды: плотность $\rho = 2.7$ г/см³, скорость продольных волн $v_p = 6.7$ км/с, коэффициент Пуассона v = 0.25, когезия Y = 15 Бар, коэффициент угла внутреннего трения $k_{\alpha} = 0.05$. Величина коэффициента угла внутреннего трения эффективно занижена для учёта влияния флюида.

Результаты моделирования для 2D модели по профилю проводились как для одиночной интрузии, так и для системы 2-4 параллельных интрузий. Показано, что при формировании транскоровой интрузии уровень аномальных напряжений горизонтального сжатия растёт до первых сотен МПа (в зависимости от соотношения давления в очаге и разности плотности магмы и плотности окружающих пород). К примеру, при равной плотности и уровне давления в очаге в 110% от литостатики (при глубине кровли очага – 40 км), дополнительные напряжения горизонтального сжатия близ поверхности достигают значения 160 МПа, причём интрузия формирует вулканическую высотой ~5 км.

Для модели интрузии в плане результаты моделирования на промежуточном и финальном этапе нагрузки (для давления) представления на рис. 1 и 2 соответственно. При формировании транскоровой интрузии в плане прослеживаются 2 основных особенности

формирующегося напряжённо-деформированного состояния среды. Основное - вблизи тела интрузии (за исключением краевых частей) формируется область повышенных нормальных напряжений, связанных с давлением боковой плоскости интрузии (этот эффект рассматривался выше для модели по профилю). Область повышенных напряжений горизонтального сжатия занимает верхний и нижний сектора на рис. 1 и 2, наиболее интенсивная аномалия формируется в перпендикулярном боковой плоскости интрузии направлении. Также близ боковых концов интрузии формируется область растяжения, с пониженным лавлением И сильно пониженными нормальными напряжениями (в направлении, перпендикулярном простиранию дайки). В представленном на рис. 2 примере аномалия давления достигает 30 МПа.

Полученные результаты показывают, что уровень нагружения земной коры при формировании крупных общекоровых систем интрузий сопоставим с общим уровнем напряжений, что означает, что формирование интрузий может являться основным механизмом генерации тектонических напряжений. Разнообразие геодинамических типов напряжённого состояния, формируемых в коре интрузией, позволяет использовать полученные результаты при решении широкого круга обратных задач региональной геодинамики.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН.

Литература

- 1. Ребецкий Ю.Л., Стефанов Ю.П. О механизме взаимодействия сильных землетрясений и вулканизма в зонах субдукции // Вестник Камчатской региональной ассоциации "Учебно-научный центр". Серия: Науки о Земле. 2022. Т. 4. № 56. С. 41-58.
- 2. Стефанов Ю.П. Некоторые особенности численного моделирования поведения упругохрупкопластичных материалов // Физическая мезомеханика. 2005. Т. 8. № 3. С. 129–142.
- 3. Wilkins M.L. Computer Simulation of Fracture // Lawrence Livermore Laboratory, Rept. UCRL-75246. 1972.
- 4. Николаевский В.Н. Механика геоматериалов и землетрясения // Итоги науки и техники ВИНИТИ. Сер. Мех. деф. тв. тела. М. 1983. Т. 15. С. 817-821.
- 5. Ребецкий Ю.Л., Погорелов В.В., Мягков Д.С., Ермаков В.А. О генезисе напряжений в коре островной дуги по результатам численного моделирования // Вестник КРАУНЦ. 2018. № 3. С. 54-73.

МЕСТОРОЖДЕНИЯ КВАРЦЕВЫХ ПЕСКОВ В УЗБЕКИСТАНЕ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В НАРОДНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Назаров У.Х. *nazarovuzruh@gmail.com* Навоийское отделение АН РУз, г. Навои, Узбекистан

В данной работе приведена информация о нерудных полезных ископаемых, кварцевых песках, сделан их петрографический обзор, указаны области их применения. Приведены сведения о месторождениях кварцевых песков Узбекистана и их применении в народном хозяйстве.

Ключевые слова: нерудные полезные ископаемые, минерал, горная порода, кварцевые пески, структура, текстура.

Введение. Нерудными называют такие полезные ископаемые, использование которых народном хозяйстве основывается на различных физических, химических и В технологических свойствах минералов, минеральных агрегатов и горных пород, не применяемых как горючие полезные ископаемые и не являющихся источником извлечения металлов. Нерудные полезные ископаемые объединяют обширную группу горных пород и минералов – это важнейшее минеральное сырье для промышленности, сельского хозяйства и строительства. Они широко распространены, количество их месторождений на территории республики Узбекистан исчисляется тысячами. Важной особенностью этого сырья является интенсивный рост потребления и освоения все новых минеральных видов, а также резкая изменчивость конъюнктуры рынка. Область применения НПИ весьма широка и разнообразна, некоторые из них относятся к стратегическому сырью (каолины, кварцевые пески).

Кварцевые пески представляют мелкообломочную несцементированную горную породу, состоящую из относительно хорошо сортированных и окатанных зерен кварца размером 0,05-1 мм. Кроме кварца (более 80-95 %), в песках могут присутствовать полевые шпаты, слюды (обычно мусковит), обломки кремнистых пород и зерна устойчивых минералов. Цветовую гамму кварцевому песку придают различные примеси, входящие в его состав, в виде глинистых карбонатов, оксидов железа, полевых шпатов и других горных пород. При этом цвет песка может изменяться от желтого до красно-бурого и даже черного. Структуры кварцевых песков – псаммитовые, псаммопсефитовые, псаммоалевролитовые, псаммопелитовые. Текстуры - слоистые, косо- и диагонально-слоистые, волнистые, горизонтально-слоистые [1].

Основные области применения кварцевых песков – литейная (около 76% всех добываемых кварцевых песков) и – стекольная (18%) промышленности. Используются они также для производства фаянса, динасовых огнеупоров, карбида кремния, абразивных материалов. В литейном производстве пески применяются в качестве основной (85-95%) составляющей формовочных и стержневых смесей. Главный показатель их качества содержание кремнезема (желательно щелочных, как можно выше), окислов щелочноземельных металлов, железа, сульфидной серы (вредные примеси). В стекольной промышленности кварцевые пески - основной компонент шихты для всех видов стекольной продукции. В керамической промышленности кварцевые пески вводятся в шихту для отягощения массы, улучшения формирования керамического черепка, повышения вязкости расплава, просвечиваемости, белизны и прочности фарфора [3].

В республике известны более двух десятков проявлений и площадей кварцевых песков, из которых к перспективным отнесен ряд проявлений, в основном связанных с палеогеновыми отложениями. На сегодняшний день как стекольное сырье отрабатывается

Майское месторождение, как строительный песок – Джеройское и Карманинское месторождения. Кроме этого, на территории Узбекистана известны месторождения кварцполевошпатового сырья: Камышбашинское, Азатбашское и другие. Перспективные для разработки месторождения и проявления кварцевых песков расположены в Навоийской, Кашкадарьинской, Ташкентской и Ферганской областях [2].

Выводы. Центральные Кызылкумы оказались наиболее благоприятными с точки зрения размещения и концентрации кварцевых песков. Мономинерально-кварцевые разности песков связаны с «лявляканским горизонтом» верхнего эоцена. Здесь, кроме выше названных месторождений, особое внимание привлекают месторождения Акмурд, Кулатай, Айдарли и перспективные проявления Джарыкбас, Кугаяз, Джингельды.

Литература

- 1. Неметаллические полезные ископаемые Узбекистана / Р.А. Хамидов, А.М. Эргашов, Н.Т. Ходжаев, Н.М. Хакбердиев; Госком РУз по геологии и минеральным ресурсам, Институт минеральных ресурсов. Ташкент: ГП «ИМР».2017. 262 с.
- 2. Закиров М.З., Гафурджанов С.Г. Кварцевые и кварц-полевошпатовые пески Узбекистана. Ташкент: Фан. 1983. 94 с.
- 3. Рубанов И.В., Гафурджанов С.Г. Новые месторождения песков в Узбекистане / ДАН УзССР. 1962. № 5.

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛИЗА РАЗРЕЗОВ ПЕТРО- И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОРОД ДЛЯ РАЗВЕДКИ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

Ненюкова А.И., Спичак В.В.

nenyukovaai@mail.ru Центр геоэлектромагнитных исследований Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Троицк, Россия

Построены разрезы петро- и теплофизических свойств пород геотермального месторождения Сульц-су-Форе (Франция). Выполнен их комплексный анализ, включающий применение методов главных компонент, самоорганизующихся карт Кохонена и кластеризации методом К-средних. По его результатам выделены два участка земных недр, перспективные для бурения разведочных геотермальных скважин. Один из них совпадает с найденным ранее и уже разрабатываемым геотермальным резервуаром, второй расположен на глубинах 2–3 км в другой части разреза и может представлять несомненный интерес для проведения новых разведочных работ.

Ключевые слова: геотермальная зона, разведочное бурение, кластерный анализ, температура, пористость, проницаемость, удельная теплоемкость, теплопроводность

Введение. В современной энергетике возрастает потребность в диверсификации энергетического баланса, и геотермальные (в частности, петротермальные) ресурсы представляют значительный потенциал чистого энергетического сырья, который до сих пор не развивается. Основными источниками геотермальной энергии являются природные горячие воды, пары и твердые породы, содержащие тепловую энергию. Эффективное выявление перспективных участков для разведки геотермальных ресурсов является ключевым этапом в развитии этой инновационной области.

Целью проведенного исследования является разработка методики выделения перспективных участков для разведочного бурения геотермальных скважин на основе применения современных методов комплексного анализа данных. Исследования основаны на результатах профильных магнитотеллурических зондирований в геотермальной зоне Сульцсу-Форе (Франция), а также на построенных ранее моделях петро- и теплофизических свойств пород.

Геологические сведения. Геотермальная область Сульц-су-Форе, входящая в состав Верхне-Рейнского грабена (рис. 1), представляет собой часть европейской кайнозойской рифтовой системы, которая простирается от Средиземноморского побережья до предгорья Альп. Рельеф границы Мохо в данной области имеет форму купола, являясь характерной структурой под Рейнским грабеном. Региональный геологический контекст включает в себя также Сульцевский горст, представленный отложениями кайнозойской и мезозойской формаций (от триаса до средней юры), покрывающих палеозойский кристаллический фундамент.

В ходе геотермального проекта, начатого в 1986 году, было выполнено бурение пяти глубоких скважин. На рис. 1 (вставка) показана расположение скважин GPK2, GPK3 и GPK4, которые в настоящее время используются для эксплуатации высокоэнтальпийного резервуара, выявленного в осадочном чехле. Данные исследования позволяют расширить понимание геологической структуры региона и обеспечить более эффективное использование геотермальных ресурсов данной области.



Рисунок 1 – Геотермальная область Сульц-су-Форе (Франция) и геология Верхне-Рейнского грабена

Данные. Для проведения исследования геотермальной зоны в регионе Сульц-су-Форе были использованы данные, полученные в результате магнитотеллурических зондирований вдоль профиля AB (см. его расположение на рис. 1), а также измерений в скважинах, проведенных в предшествующих работах [1-4]. На основе этих данных были построены двумерные модели удельного сопротивления, температуры, теплопроводности, теплоемкости, пористости, водонасыщенности и проницаемости пород (рис. 2).



Рисунок 2 – Разрезы удельного сопротивления (а), пористости (b), проницаемости (c), температуры (d), теплопроводности (e) и удельной теплоемкости (f)

Методика. Для выделения петро-теплофизических индикаторов потенциальных геотермальных резервуаров был выполнен кластерный анализ разрезов перечисленных свойств. Основными элементами комплексного анализа были: метод главных компонент (PCA), метод самоорганизующихся карт (SOM) и кластеризация методом К-средних. Блоксхема вычислительного процесса представлена на рисунке 3.



Рисунок 3 – Общая блок-схема обработки информации: а – разрезы петро- и теплофизиесих параметров, b – результат выделения главных компонент, с – результат кластеризации, d – кластерный разрез в пространстве географических координат

Метод главных компонент (PCA). Алгоритм нахождения главных компонент сводился к вычислению собственных векторов и собственных значений ковариационной матрицы исходных данных. В этом контексте производилось преобразование данных в два вектора, с которыми проводились последующие операции для определения геометрии и размеров самоорганизующейся карты (Self-Organizing Map). Отношение длины к ширине карты приблизительно соответствует отношению длин двух собственных векторов, что важно для определения геометрических параметров и структуры данных.

Метод самоорганизующихся карт. Далее в рамках исследования был использован метод самоорганизующихся карт (SOM) – неконтролируемый метод машинного обучения, предназначенный для получения низкоразмерного представления набора данных более высокой размерности с сохранением топологической структуры данных. Идея метода сводилась к введению априорной информации об оптимальном числе кластеров и обучению искусственной нейросети Кохонена выделению в исследуемом пространстве земных недр пространственных участков с однотипными характеристиками.

Процесс обучения включает последовательное предоставление обучающих примеров, представляющих значения физических свойств пород в одних и тех же координатах сетки.

Таким образом, метод самоорганизующихся карт Кохонена преобразует многомерное пространство физических свойств в карту SOM, где каждый компонент фиксируется в системе координат, определенной двумя собственными векторами. С помощью цветового кодирования выделялись участки с однотипными характеристиками, обеспечивая визуальное представление пространственного распределения свойств пород.

Кластеризация методом К-средних. Для создания кластерного разреза использовался метод К-средних – итерационный метод, направленный на поиск набора центроидов, наилучшим образом отражающих распределение обучающих наблюдений. Метод относит каждое обучающее наблюдение к одному из К-кластеров таким образом, чтобы каждый кластер был представлен центроидом, наилучшим образом соответствующим характеристикам наблюдений в данном кластере. При этом расстояние от каждого наблюдения до центроида своего кластера должно быть меньше, чем до центроидов других кластеров. Кластеризация проводилась на данных SOM, полученных на предыдущем этапе, что существенно снизило разброс рассматриваемых параметров. Этот подход к кластеризации обеспечил более точное представление о структуре данных, выделенных в процессе анализа, что является ключевым элементом для последующего выделения и интерпретации участков схожих характеристик.

Оптимизация вычислительной схемы. Обработка информации в соответствии с представленной схемой на рис. 3 проводилась с использованием программного пакета KK Analysis реализованы и протестированы методы и процедуры, описанные выше, на различных наборах геофизических данных [5].

Для избежания субъективного задания числа кластеров был применен метод, основанный на априорной оценке оптимальной степени кластеризации с использованием индекса Дэвиса-Боулдина (DBI) [6]. В ходе итерационного процесса кластеризации DBI вычислялся как отношение суммарной "внутренней" дисперсии (сумма расстояний между членами каждого кластера и центроидом) к "внешней" дисперсии (расстояние между центроидами кластеров) (1):

$$DBI = 1/K \sum_{k} D_{k} = 1/K \sum_{k} max \left(\frac{s_{i} + s_{j}}{\|c_{i} - c_{j}\|} \right)$$
(1)

где s_i и s_j – показатели дисперсии в каждом кластере, c_i и c_j – соответствующие векторы центроидов кластеров, K – общее количество кластеров.

Использование PCA сопровождалось уменьшением значений индекса DBI по сравнению с вариантом без анализа главных компонент. Оптимальное количество выделенных главных компонент составило две, и минимальное значение индекса DBI (равное 0.7) достигалось при количестве кластеров, равном 24 (рис. 4).



Рисунок 4 – График зависимости значений индекса DBI от количества кластеров (N) с использованием PCA (выделением различного количества главных компонент от 2 до 5) и без использования PCA:1 – без использования PCA, 2 – с использованием PCA (n = 5), 3 – с использованием PCA (n = 4), 4 – с использованием PCA (n = 3), 5 – с использованием PCA (n = 2)

Для оценки "качества" кластеризации в зависимости от числа кластеров проводилось специальное исследование динамики кластерного разреза при использовании PCA с выделением двух главных компонент, в котором число используемых кластеров (N) искусственно задавалось априори (N = 5, 10, 15, 20, 24), а не оценивалось в зависимости от скорости сходимости. С ростом числа кластеров разрешение структуры растет и при N = 24 достигает своего наибольшего значения (рис. 5).



Рисунок 5 – Кластерные разрезы при числе кластеров N, равном 5 (a), 10 (b), 15 (c), 20 (d), 24 (e)

Результаты. В контексте поиска петротермальных ресурсов целевыми параметрами для разведочного бурения геотермальной скважины могут быть температура (*T*), проницаемость (*LogK*) и удельная теплоемкость (*Cp*) пород. Для данных параметров было определено, что достаточно проводить кластеризацию с предварительным выделением двух главных векторов, а оптимальное количество кластеров равно 15. На рис. 6 и в Таблице 1 показаны результаты кластеризации по указанным выше параметрам. Для поиска участка, перспективного для бурения разведочной скважины, решается многокритериальная задача оптимизации с достаточно мягкими ограничениями по температуре ($T_{cp} > 100$ °C) и

минимальной проницаемости (abs (*LogK*) < 17) на данных о средних значениях параметров в кластерах.

По результатам оптимизации было определено, что заданным ограничениям удовлетворяют кластеры 8 и 9, которые характеризуются следующими средними значениями параметров: (8) T = 144.7 °C, Log K= -16.9, Cp = 1.8 Дж/(м³·K); (9) T = 103.4 °C, Log K= -16.8, Cp = 2.0 Дж/(м³·K). Первый расположен на глубинах 0.5-1.5 км в северо-западной части разреза и уже подтвержден бурением трех эксплуатационных скважин (GPK2, GPK3, GPK4) а второй – на глубинах 2-3 км в юго-восточной части разреза. На рис. 6 показан соответствующий участок поверхности, с которого целесообразно проводить новое разведочное бурение.



Рисунок 6 – Кластерный разрез, построенный по данным температуры (T), проницаемости (LogK) и удельной теплоемкости (C_p). GPK2-GPK4 – эксплуатационные скважины, которые используются в настоящее время для извлечения геотермальных ресурсов

Таблица 1 – Диапазоны значений параметров для каждого из 15 кластеров, показанных на рисунке 6

Ν	logK, м²	T, °C	Ср, Дж/(м ³ ·К)
1	(-19) - (-16.8)	119.2 - 213.1	1.5 - 1.7
2	(-19) - (-16.7)	96.8 - 182.8	1.6 - 1.9
3	(-18.3) - (-15.8)	43.7 - 146.7	1.7 - 2
4	(-19.1) - (-17.1)	93.5 - 164.4	1.6 - 1.8
5	(-18.6) - (-16.9)	64.8 - 129.6	1.6 - 1.9
6	(-19) - (-17.7)	50.8 - 121.5	1.6 - 1.8
7	(-19.1) - (-17.6)	109.9 - 169	1.5 - 1.7
8	(-18.5) - (-14.5)	76.8 - 207.4	1.6 - 2.1
9	(-18.1) - (-13.6)	20 - 178.8	1.7 - 2.5
10	(-18.7) - (-16.6)	137.4 - 218.1	1.6 - 1.9
11	(-19.5) - (-17.3)	20 - 89.2	1.7 - 1.9
12	(-18) - (-15.7)	20 - 63.6	1.8 - 2
13	(-17.2) - (-15.3)	159.2 - 217.6	1.6 - 2
14	(-21.9) - (-18.9)	20 - 115.1	1.6 - 1.9
15	(-20.7) - (-18.6)	101.4 - 146.7	1.5 - 1.7

Выводы. После анализа магнитотеллурических зондирований и построения двумерных моделей различных параметров геотермальной зоны был выполнен комплексный кластерный анализ. Предложена новая схема анализа, включающая методы главных компонент, самоорганизующихся карт и кластеризации методом К-средних. Оптимизирована вычислительная схема, позволяющая избежать субъективного выбора числа кластеров. Полученный кластерный разрез является информационной базой для интерактивного отбора перспективных участков земных недр. На основании анализа выделены два перспективных участка для разведочного бурения геотермальных скважин: один из них совпадает с уже разрабатываемым резервуаром, а второй представляет интерес для новых разведочных работ на глубинах 2-3 км.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 24-27-00160).

Литература

- 1. Спичак В.В., Гойдина А.Г., Захарова О.К. Построение разрезов теплофизических свойств пород по данным электромагнитных зондирований и лабораторных измерений // Геология и геофизика. 2023. Т. 64. № 3. С. 431-446.
- 2. Спичак В.В., Захарова О.К. Электромагнитный геотермометр. М.: Научный мир. 2013. 170 с.
- 3. Спичак В.В., Захарова О.К. Электромагнитный прогноз проницаемости вне скважин // Геофизические исследования. 2022. Т. 23. № 2. С. 18-38.
- 4. Спичак В.В., Гойдина А.Г. Построение разрезов пористости и водонасыщенности по данным электромагнитных зондирований и измерений в скважинах // Геофизические исследования. 2023. Т. 24. № 1. С. 44-60.
- 5. Langer H., Falsaperla S., Hammer C. Advantages and Pitfalls of Pattern Recognition. Selected Cases in Geophysics. Amsterdam: Elsevier. 2020. 331 p.
- Davies D.L., Bouldin D.W. A Cluster Separation Measure // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1979. Vol. PAMI-1. No. 2. P. 224–227. DOI:10.1109/TPAMI.1979.4766909. S2CID 13254783.

ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ ФИЗИКИ ДЕФОРМИРУЕМОГО ТЕЛА: ЗАЛЕЧИВАНИЕ ТРЕЩИН И НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ СРЕДЫ

Непеина К.С. neks@gdirc.ru Научная станция РАН, г. Бишкек, Кыргызстан

В работе пойдет речь о процессе, причинах и способах залечивания трещин и разломов в горных породах, обнаруженных при натурных испытаниях различными современными авторами. Показаны примерные диапазоны времени залечивания, тип и характер залечивания на разных масштабных уровнях.

Ключевые слова: залечивание, трещина, деформация, трение, напряжение.

Введение. «Глыбы горной породы, добытые при проходке Симплонского туннеля в Альпах, извлекались на дневную поверхность. Спустя какое-то время они начинали самопроизвольно взрываться уже в отвалах без всякой видимой причины. При этом осколки пород разлетались с такой силой, что во избежание несчастных случаев среди публики, из любопытства посещавшей отвал, вокруг него было поставлено ограждение» [1]. Это одно из доказательств, по утверждению автора, любой земной объект обладает собственным энергетическим потенциалом, который в свою очередь, может разрядиться приобретая энергонасыщенное состояние в виде образования трещины, взрыва или преобразования в тепловую энергию. приобрести лавинообразный, взрывоподобный характер. Такие системы, находящиеся вдали от состояния равновесия, В дальнейшем ΜЫ И называем энергонасыщенными.

Процесс залечивания. Залечивание или заживление трещин (*англ. healing*) – обратимый процесс – заполнение и цементирование открытых трещин в горных породах или жилах минеральным веществом, который иногда называют восстановлением сплошности материала. При этом для залечивания трещины необходима значительная контактная пластическая деформация несмотря на нагрузку и даже при полном закрытии трещины. Действуют положения теории Гриффитса, Райса и Ирвина-Орована [2].

В качестве модели среды выбирают «континуум», - идеализированную бесструктурную среду без разрывов сплошности (с бесконечным числом степеней свободы любой из мысленно выделенных в ней точек). В системах, находящихся в поле внешних сил (электрических, центробежных, гравитационных и т.д.), интенсивные свойства при равновесии могут изменяться от точки к точке. Неравновесная в целом система может содержать отдельные части, находящиеся в равновесии. Состояние этих частей называют локально равновесным. Системы, в которых возбуждаются латентные напряжения, с известной долей условности можно подразделить на матричные, композитные и реактивные (смесь металлов и полимеров). На современном этапе большой пласт работ посвящен композитным и кристаллическим (матричным) материалам. Зависит от формы и типа самого материала, есть ли кристаллическая решетка. В большинстве случаев для описания процессов залечивания в горных породах рассматривают модели трения и крипа в зоне деформации [3-8]. После разрушения условия напряжения способствуют залечиванию, и эта стадия длится до тех пор, пока упругая деформация снова не достигнет критического уровня и не начнется новый цикл. На рис. 1 показаны рассчитанные деформации в ходе цикла. Показано, что топология квазистатического решения и существование предельного цикла – реологическая модель разрушения, не зависит от типа вязкости используется для описания неупругой деформации [3].



расстояние в плоскости скольжения

Рисунок 1 — Закон разупрочнения-залечивания для индивидуальной шероховатости. Используется линейный закон ослабления [3]

Основные факторы процесса. Залечивание трещин может происходить под действием напряжений (нагружения, деформации, температурного, ионизирующего или электромагнитного воздействия, флюидизации, внешнего инъекциирования, трения). Залечивание трещин может происходить по различным причинам. Внешнее воздействие и внутреннее воздействие (релаксация под действием «внутренних напряжений» или «латентных» напряжений). Экспериментально показано, что залечивание зависит от температуры, состава флюида и ориентации трещины, а также размера зерен. Сводную таблицу предложил Бос и Спиерс [9] (рис. 2).



Рисунок 2 – Классификация различных явлений залечивания между зернами по Босу и Спиерсу [9]. Д – характерное смещение, необходимое для восстановления установившейся прочности «steady-rate», *t* – время, *T* – температура, σ_n – нормальное напряжение при контакте зерен

В работе [10] показаны натурные результаты нагружения образцов в зависимости от химического состава и типа зерен породы при гидротермальных условиях. По типу механизма возбуждения Х.Д. Тиц [11] предложил следующую классификацию латентных напряжений:

1. Термические (тепловые) напряжения.

2. Деформационные напряжения, образующиеся в результате неоднородной деформации под действием внешней нагрузки.

3. Трансформационные напряжения, образующиеся вследствие неоднородных или неодновременных структурных преобразований, связанных с изменениями объема.

4. Дисперсные напряжения, обусловленные дефектами кристаллической решетки.

5. Ориентационные напряжения, которые возникают вследствие анизотропии упругих свойств, теплопроводности, термоупругих свойств и др.

Общая классификация типов залечивания предложена в [12]:

1. Механическое, зависящее от времени восстановление микромасштабных трещин путем обратного скольжения по геометрии крыльев трещин. Микромасштабные процессы решения давления сопровождают скольжение в обратную сторону.

2. «Самовосстановление» — иногда называемое «залечиванием», не путать с термином «крупномасштабное восстановление прочности или укрепление» - включает закрытие микромасштабных трещин с помощью поверхностной энергии.

3. Герметизация при минеральном осадконакоплении, приводящая к герметизации трещин, часто состоящих из кальцита или кварца. Девиаторное напряжение не влияет напрямую на этот механизм, но может косвенно влиять на этот механизм вызвать раскрытие или закрытие разлома.

4. Закрытие трещины под действием ползучести раствора под давлением. Здесь девиаторное напряжение вызывает локальные различия в растворимости материала, вызывая местное растворение и осаждение. Это также компенсирует деформацию зерновых чешуек.

Доказано, что процессы залечивания микротрещин, например, в металле могут наблюдаться под действием импульсов тока высокой плотности [13]. В работе [14] показано, что воздействием малых доз ионизирующего излучения на щелочно-галоидные кристаллы (ЩГК) способствует механизму залечивания трещины, вызывающим её пластическое закрытие и восстановление ионных связей, то есть уменьшению интегральной плотности дислокаций в кристалле. Собственно, это логично следует из наблюдений процессов разрушения горных пород (ГП). Известно, что разрушение ГП сопровождается электромагнитным излучением (ЭМИ). Значит, процесс залечивания может инициироваться обратным процессом - воздействием энергетического излучения (электромагнитного как коротковолнового диапазона с высокоэнергетическим ионизирующим потоком заряженных частиц, так и длинноволнового – с частотами естественных переменных земных излучений или контролируемых источников радио диапазона так называемой «высокочастотной» магнитотеллурики; акустического или комбинированного (акустоэлектромагнитного)). Залечивание силикатных пород в зонах разломов рассмотрено в работе [15]. Показано, что при температуре 500 °C, давлении 100 МПа время залечивания составило порядка 800–1000 часов. Как показано в работах [16, 17], зависимость времени залечивания (консолидации) т можно записать в виде:

$$\tau = \sigma \left[\mu_0 + a \ln \frac{\dot{\delta}}{\dot{\delta}^*} + b \ln \frac{\theta}{\theta^*} \right],$$

где σ – эффективное нормальное напряжение, коэффициенты μ_0 (относительный коэффициент трения), *a* (прямой эффект), *b* (скорость заживления) и получены эмпирически на основе экспериментальных измерений. Значение определяет $\dot{\delta}$ скорость скольжения, a слагаемые $a \ln \frac{\dot{\delta}}{\dot{\delta}^*}$ и $b \ln \frac{\theta}{\theta^*}$ отвечают за rate (скорость) и state (стабильность) эффекты, которые определяют закон получивший название "Rate and state friction law" - зависимость трения от скорости скольжения, амплитуды перемещения и от времени [5, 16, 17]. Состояние θ может принимать различные значения в зависимости от времени (закон старения, Дитрих, 1978), скольжения (закон скольжения [17]), зависящее от времени заживления (закон Като [18]) или уровень напряжения (закон Nagata [19]), который должен быть оценен на основе экспериментов. С этой точки зрения, очень интересна сводная диаграмма (рис. 3) из работы [20].



Рисунок 3 – Сводный отсортированные графики (а) скорости залечивания и (б) скорости уплотнения для всех протестированных материалов. Цифры либо указывают размер зерна (например, Prague 0–50 мкм), тип (например, G23) или год (например, Bern, brown, 2019 г.). Цветовая индикация соответствует материалу: синий – кварцевый песок, оранжевый – корундовый песок, зеленый – фельдшпатовый песок, красный – гранатовый песок, фиолетовый – стеклянные бусины, цирконовый песок, розовый – пеностекло, черный – новые материалы [20]

При определенных условиях трещины могут залечиваться, превращаясь в другие дефекты – дислокации или вакансии [21]. По утверждению авторов «качество самопроизвольного залечивания тем выше, чем меньше пластичность в вершине трещины» [21]. Показано, что при несимметричном сколе ионных кристаллов наблюдается самопроизвольное залечивание трещин за счет микропластичности [22]. С другой стороны, по утверждению [23] экспериментальные исследования показали, что в ряде случаев возможно одновременное увеличение микротвердости и пластичности свойств материала после лазерной обработки. Вероятно, это связано с прогреванием, т.к. авторами [23] установлено, что эффективность залечивания резко возрастает с ростом температуры. В работе [22] показано, что повышение температуры всего на 65 К (с 300 до 365 К) активизировало процессы залечивания микротрещин примерно в 4 раза «Выявлено, что длина залеченного участка зависит от степени асимметричности скола. Уменьшение степени асимметричности скола приводит к увеличению длины залеченного участка. Выделены две стадии залечивания: «быстрая» в момент разгрузки и «медленная», связанная с диффузионными процессами и стимулированием обратимой пластичности» [22]. При этом, время раскрытия трещины при ее обратимом движении в кристалле составляет 10-15 мкс.

Механизм самозалечивания трещин представляется следующим. При остановке трещины, пока образец остается нагруженным, в ее вершине формируется пластическая зона в виде линий или полос скольжения, развивающихся под углом $\pi/2$ к плоскости трещины. Трещина приобретает вид полости, вскрытие которой зависит от числа испущенных дислокаций $\delta = \sqrt{2bn/2}$, где *n* - общее число дислокаций. После разгрузки начинается стадия быстрого залечивания - часть дислокаций выходит на поверхность трещины, уменьшая ее

вскрытие. Это могут быть дислокации из первичных линий скольжения или из вновь образуемых. Если доля обратимой пластичности велика и трещина закрывается до критического вскрытия $\delta_{\rm kp}$, то она способна залечиться. В вершине при этом возможно формирование пустотных микроканалов, форма которых зависит от геометрии скольжения.

Отмечен также эффект влияния малых доз рентгеновского излучения на процессы микропластичности в вершине трещины на медленной стадии залечивания [21].

Залечивание крупных разломов показано на примере одного из самых известных активных разломов Сан-Андреас [24, 25]. Показано, что залечивание после землетрясения M=6.0 2004 г. наблюдается даже через 3 месяца, но скорость залечивания снизилась до трети от той, что наблюдалась в первый месяц. Данное исследование [24] позволяет предположить, что залечивание на разломе Сан-Андреас, вероятно, произошло на сейсмических глубинах до 9 км, хотя и с меньшей величиной восстановления в более глубокой части зоны разлома. Залечивание варьируется в зависимости от самого отрезка разлома, причем самая активная область залечивания приходится на зону шириной ~200 м. Также натурные измерения для пород территории Китая показаны в работе [26].

Полезно обратиться к работе [27], в которой промоделирован процесс залечивания крупного разлома благодаря спеканию глинистых и неглинистных частиц. Авторы предполагают, что частичное расплавление и спекание при температуре 800-900 °C вносит существенный вклад в энергетику землетрясений и заживление разломов, и что их появление может быть существенным индикатором прошлых сейсмических подвижек. Обзор в работе [28] свидетельствует о том, что время залечивание дефектов за счет роста границ зерен, возможно, сокращается при высоких температурах и высоких скоростях деформации. Альтернативно, устранению неисправностей можно способствовать за счет увеличения статического трения с log(t), поскольку эффективная площадь контакта растет быстрее при высоких температурах [29]. Со временем зоны разломов достигают прочности земной коры и, таким образом, могут накапливать большие деформации, необходимые для возникновения сильных землетрясений. Напротив, высокий тепловой поток и высокие скорости деформации сокращают время заживления и, таким образом, способствуют снижению напряжения. При высоком тепловом потоке продолжающееся выделение энергии деформаций земной коры происходит в виде частых роев землетрясений, характеризующихся преимущественно небольшими перепадами напряжений [28]. У Бедфорда и др. [30] описана модель, где после динамического ослабления разлома в жизни разлома происходит косейсмическая стадия залечивания (порядки секунд), затем начинается постсейсмическая стадия процесса (от месяца до нескольких лет). Сама стадия разделяется на быстрое залечивание и медленное (аналог типа по Дитриху). По сути, существует залечивание дитриховское и недитриховское, иначе говоря, лог-линейное и степенное залечивание трения во времени [31]. Показано также, что залечивание в принципе может происходить и при температурах, близких к комнатным в том числе и за счет переупаковки зерен [31, 32].

Для процесса залечивания существуют граничные условия, которые определены в работе [7]. Авторы использовали функцию, зависящую от повреждения, для кинетики залечивания в форме:

$$C(\alpha) = C_1 \exp\left(\frac{\alpha}{C_2}\right),$$
для $\frac{d\alpha}{dt} < 0,$

где *C*₁ и *C*₂ — константы, описывающие скорость залечивания. С помощью этого выражения уравнение для эволюции заживления при постоянной нагрузке имеет логарифмическое

решение
$$\alpha(t) = \alpha_0 - C_2 \cdot \ln \left[1 - \frac{C_1}{C_2} \cdot \exp\left(\frac{\alpha_0}{C_2}\right) \cdot \frac{dF}{d\alpha} \cdot t \right]$$

Данное решение приводит к логарифмическому росту прочности материала во времени, что согласуется с наблюдаемым зависящим от времени логарифмическим залечиванием статического коэффициента трения. Сравнение уравнений показывает, что временной масштаб в экспериментах с Дитриховским трением [16] связан с параметрами реологии как:

$$B = -\frac{C_1}{C_2} \cdot \exp\left(\frac{\alpha_0}{C_2}\right) \frac{dF}{d\alpha} \approx \frac{C_1}{C_2} \cdot \exp\left(\frac{\alpha_0}{C_2}\right) \cdot \mathcal{E}_{CMP}^2,$$

где *єСМР* — деформация уплотнения в результате приложенной нагрузки.

Работа [33] интересна тем, что в ней показано как формируются структуры цветка на ранней стадии развития системы разломов (до того, как накопится общее смещение примерно от 0,05 до 0,1 км) в условиях залечивания. Зависимость параметров залечивания C_1 и C_2 от величины разрушения приведена на диаграмме (рис. 4) из работы [33].



Рисунок 4 – Уровни разрушения типичного материала земной коры на глубине 10 км после 50 лет залечивания для модели, предложенной Ляховским и др. [7]

Выводы. Таким образом, можно заключить, что залечивание трещин в горных породах в природных условиях происходит при условии упругопластического деформирования в энергонасыщенных или локально равновесных матричных, в композитных или реактивных системах со значительной контактной пластической деформацией под действием напряжений при влиянии основных факторов: размеров нарушений сплошности породных массивов, РТусловий, скачков градиентов давления, состава пород и насыщенности флюидом.

Работа выполнена в рамках государственного задания Научной станции РАН в г. Бишкеке.

Литература

- 1. Пономарев В.С. Энергонасыщенность геологической среды. М.: Наука. 2008. 379 с. (Труды Геологического института. Вып. 582)
- 2. Лавит И.М. Модель развития трещины в упругопластической среде // Автореф. дис. ... дра физ.-мат. наук. Тула. 1998. 56 с.
- 3. Bai Q., Konietzky H.A weakening-healing law to simulate stick-slip behavior of rock joint and the associated seismicity // IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. 2023. Vol. 1124. 012059. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1124/1/012059.
- 4. Mitchell E.K., Fialko Y., Brown K.M. Temperature dependence of frictional healing of Westerly granite: Experimental observations and numerical simulations // Geochemistry, Geophys. Geosystems. 2013. Vol. 14. P. 567–582. https://doi.org/10.1029/2012GC004241.
- 5. Кочарян Г.Г. Возникновение и развитие процессов скольжения в зонах континентальных разломов под действием природных и техногенных факторов. Обзор современного

состояния вопроса // Физика Земли. 2021. № 4. С. 3-41. https://doi.org/10.31857/S0002333721040062.

- 6. Lyakhovsky V., Ben-Zion Y., Agnon A. Distributed damage, faulting, and friction // J. Geophys. Res. Solid Earth. 1997. Vol. 102. P. 27635–27649. https://doi.org/10.1029/97JB01896.
- Lyakhovsky V., Ben-Zion Y., Agnon A. A viscoelastic damage rheology and rate- and statedependent friction // Geophys. J. Int. 2005. Vol. 161. P. 179–190. https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2005.02583.x.
- 8. Peng Y., Rubin A.M. Intermittent tremor migrations beneath Guerrero, Mexico, and implications for fault healing within the slow slip zone // Geophys. Res. Lett. 2017. Vol. 44. P. 760–770. https://doi.org/10.1002/2016GL071614.
- 9. Bos B., Spiers C.J. Fluid-assisted Healing Processes in Gouge-bearing Faults: Insights from Experiments on a Rock Analogue System // Pure Appl. Geophys. 2002. Vol. 159. P. 2537–2566. https://doi.org/10.1007/s00024-002-8747-2.
- Olsen M.P., Scholz C.H., Leger A. Healing and sealing of a simulated fault gouge under hydrothermal conditions: Implications for fault healing // J. Geophys. Res. 1998. Vol. 103. P. 7421–7430.
- Tietz H.D. Entstehung und Einteilung von Eigenspannungenin Werkstoffen // Neue Hutte. 1980. Bd. 25. No. 10. P. 371-377.
- 12. Aben F.M., Doan M.-L., Gratier J.-P., Renard F. Experimental postseismic recovery of fractured rocks assisted by calcite sealing // Geophys. Res. Lett. 2017. Vol. 44. P. 7228–7238. https://doi.org/10.1002/2017GL073965.
- 13. Кукуджанов К.В. О залечивании поврежденности металла высокоэнергетическим импульсным электромагнитным полем // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. 2017. № 2. С. 99-124. https://doi.org/10.15593/perm.mech/2017.2.06.
- 14. Чиванов А.В. Залечивание трещин в ЩГК воздействием малых доз ионизирующего излучения // Дис. ... канд. физ.-мат. наук. Тамбов. 2004. 159 с.
- 15. Медведев В.Я., Иванова Л.А., Лысов Б.А., Ружич В.В., Марчук М.В. экспериментальное изучение декомпрессии, проницаемости и залечивания силикатных пород в зонах разломов // Геодинамика и тектонофизика. 2014. Т. 5 (4). С. 905–917. https://doi.org/10.5800/GT-2014-5-4-0162.
- 16. Dieterich J.H. Modeling of rock friction 1. Experimental results and constitutive equations // J. Geophys. Res. 1979. Vol. 84(B5). P. 2162–2168. https://doi.org/10.1029/JB084iB05p02161.
- Ruina A. Slip instability and state variable friction laws // J. Geophys. Res. 1983. Vol. 88(B12). P. 10359–10370. https://doi.org/10.1029/JB088iB12p10359.
- Kato A., Ben-Zion Y. The generation of large earthquakes // Nat. Rev. Earth Environ. 2021. Vol. 2. P. 26-39. https://doi.org/10.1038/s43017-020-00108-w.
- 19. Nagata K., Nakatani M., Yoshida S. A revised rate- and state-dependent friction law obtained by constraining constitutive and evolution laws separately with laboratory data // J. Geophys. Res. Solid Earth. 2012. 117. B02314. https://doi.org/10.1029/2011JB008818.
- 20. Rudolf M., Rosenau M., Oncken O. Time-dependent frictional properties of granular materials used in analogue modelling: implications for mimicking fault healing during reactivation and inversion // Solid Earth. 2023. Vol. 14. P. 311–331. https://doi.org/10.5194/se-14-311-2023.
- 21. Тялин Ю.И. Микромеханизмы разрушения и залечивания трещин в материалах с различной кристаллической структурой // Автореф. дис. ... д-ра физ.-мат. наук. Белгород. 2004. 36 с.
- 22. Плужникова Т.Н. Самозалечивание микротрещин в ионных кристаллах и его стимулирование воздействием электромагнитного излучения видимого и рентгеновского диапазонов длин волн // Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Белгород. 2000. 18 с.
- 23. Ушаков И.В., Батомункуев А.Ю. Компьютерное моделирование специфики залечивания трещин в нанокристаллическом металлическом сплаве под действием наносекундных лазерных импульсов // Вестник ТГТУ. 2014. Т. 20. № 2. С. 356-364.

- 24. Li Y.-G., Chen P., Cochran E.S., Vidale J.E., Burdette T. Seismic Evidence for Rock Damage and Healing on the San Andreas Fault Associated with the 2004 M 6.0 Parkfield Earthquake // Bull. Seismol. Soc. Am. 2006. Vol. 96. P. S349–S363. https://doi.org/10.1785/0120050803.
- 25. Carpenter B.M., Marone C., Saffer D.M. Weakness of the San Andreas Fault revealed by samples from the active fault zone // Nat. Geosci. 2011. Vol. 4. P. 251–254. https://doi.org/10.1038/ngeo1089.
- Zhang F., An M., Zhang L., Fang Y., Elsworth D. The role of mineral composition on the frictional and stability properties of powdered reservoir rocks // J. Geophys. Res. Solid Earth. 2019. Vol. 124. P. 1480–1497. https://doi.org/10.1029/2018JB016174.
- 27. Hirono T., Kaneki S., Ishikawa T., Kameda J., Tonoike N., Ito A., Miyazaki Y. Generation of sintered fault rock and its implications for earthquake energetics and fault healing // Commun. Earth Environ. 2020. Vol. 1. 3. https://doi.org/10.1038/s43247-020-0004-z.
- Hauksson E. Average Stress Drops of Southern California Earthquakes in the Context of Crustal Geophysics: Implications for Fault Zone Healing // Pure Appl. Geophys. 2015. Vol. 172. P. 1359–1370. https://doi.org/10.1007/s00024-014-0934-4.
- 29. He C., Wong T.-F., Beeler N.M. Scaling of stress drop with recurrence interval and loading velocity for laboratory derived fault strength relations // J. Geophys. Res. 2003. Vol. 108(B1). 2037. https://doi.org/10.1029/2002JB001890.
- 30. Bedford J.D., Hirose T., Hamada Y. Rapid fault healing after seismic slip // J. Geophys. Res. Solid Earth. 2023. 128. https://doi.org/10.1029/2023JB026706.
- Chen J., van den Ende M.P.A., Niemeijer A.R. Microphysical Model Predictions of Fault Restrengthening under room-humidity and hydrothermal conditions: from logarithmic to powerlaw healing // J. Geophys. Res. Solid Earth. 2020. 125. https://doi.org/10.1029/2019JB018567.
- 32. Chen J., Spiers C.J. Rate and state frictional and healing behavior of carbonate fault gouge explained using microphysical model // J. Geophys. Res. Solid Earth. 2016. Vol. 121. P. 8642–8665. https://doi.org/10.1002/2016JB013470.
- 33. Finzi Y., Hearn E.H., Ben-Zion Y., Lyakhovsky V. Structural properties and deformation patterns of evolving strike-slip faults: numerical simulations incorporating damage rheology // Pure Appl. Geophys. 2009. Vol. 166. P. 1537–1573. https://doi.org/10.1007/s00024-009-0522-1.

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ И МАГНИТОРАЗВЕДКИ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ МОНИТОРИНГА, СТРОИТЕЛЬСТВА И ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Обысов А.Е., Лаломов Д.А. arsenyi.obysov@mail.ru Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

Одним из ключевых факторов, влияющих на результаты геофизических работ является применяемая аппаратура, так как от её технических характеристик напрямую зависит возможность получения данных и решение поставленных геологических задач. В работе приводится краткий обзор на приборы скважинной сейсморазведки, наземной магниторазведки и аэромагниторазведки, а также примеры их применения. Обсуждаются возможности применения оверхаузеровских и квантовых магнитометров для выполнения магниторазведочных работ с использованием БПЛА.

Ключевые слова: магниторазведка, аэромагниторазведка, сейсморазведка, оборудование.

Введение. В современном мире геофизические методы играют ключевую роль в различных аспектах деятельности человека, связанных с поиском и разведкой полезных ископаемых, строительством гражданских и промышленных объектов, археологическими исследованиями и научными исследованиями.

Методы сейсморазведки, основанные на анализе разных типов упругих волн, предоставляют информацию о строении и свойствах земной коры. Широкое применение сейсморазведка получила в геологоразведочных работах, связанных с поисками месторождений углеводородов. Не меньшее распространение методы сейсмической разведки получили при инженерно-геологических и геотехнических изысканиях, проводимых перед, во время и даже после строительства различных типов сооружений и конструкций. Магниторазведочные методы нашли широкое применение в задачах поисках рудных полезных ископаемых, геологического картирования, археологических и военно-исторических исследованиях, а также в вопросах изучения магнитного поля Земли и его связи с другими процессами и явлениями, возникающими в недрах Земной коры.

Применение сейсморазведки и магниторазведки в задачах строительства, добычи полезных ископаемых и мониторинга за техногенными и природными процессами позволяет получить дополнительные сведения о строении подповерхностного пространства и определить оптимальные стратегий освоения ресурсов. Комплексное применение нескольких геофизических методов обеспечивает лучшее представление о геологическом строении месторождений, а именно об их размерах и глубине залегания, что является важным критерием для эффективного управления проектами по разработке природных ресурсов. Правильное применение методов сейсморазведки на различных этапах проектирования и строительства сооружений дает представление о типах и свойствах грунтов, о целостности возводимой конструкции, о воздействии техногенных факторов (вибрации от буровых и взрывных работ) на сооружение.

Целью данной работы является рассмотрение приборов, применяемых для сейсморазведки и магниторазведки, в научных и производственных задачах.

Методика и аппаратура. Для решения задач детального геологического расчленения, поиска карстовых полостей, зон трещиноватости, валунов, суффозионных воронок, плывунов, поиска тоннелей и выработок, связанных со строительством и реконструкцией сооружений, широко используются скважинные методы сейсморазведки. По нашему мнению, наиболее эффективным методом является межскважинное сейсмоакустическое просвечивание (МСП),

основанное на принципах метода сейсмической томографии [2]. Самую подробную информацию о структуре определенной двумерной области можно получить, разместив источники и приемники вдоль всей её границы. В таком случае будут зафиксированы все сейсмические лучи, проходящие сквозь эту область, что позволит максимально эффективно использовать сейсмические данные. Однако очевидно, что создание такой системы наблюдений является чрезвычайно сложной задачей и, вероятно, возможно лишь в случае наличия шахты или горизонтальной скважины, что не всегда характерно для инженерногеологических исследований. Более простым способом получения информации о геологическом строении участка будет межскважинное сейсмическое просвечивание между двумя и более вертикальными скважинам, которое по возможности можно дополнить наблюдениями с поверхности (рис. 1).



Рисунок 1 – Виды МСП

Применение качественной и надежной аппаратуры для метода МСП является обязательным условием для достижения поставленных целей (рис. 2). Работы проводимые методом межскважинного просвечивания предполагают использование следующих типов приборов:

- 1. электроискровой источник Pulse для возбуждения высокочастотных продольных (P) волн или электродинамический источник SHock для генерации продольных (P) и поперечных волн горизонтальной (SH) поляризации в сухих и водонаполненных скважинах;
- 2. накопитель энергии Jack –обеспечивающие работу скважинных электроискровых и электродинамических источников;
- 3. одно и трех компонентные гидрофонные и геофонные многоуровневые регистрирующие системы WellStreamer и GStreamer. Регистрация данных производится на многоканальные высокочастотные сейсморазведочные станции (например, DAQlink 4).

Дополнительно, при проведении работ следует получать информацию о наклоне скважины с помощью инклинометров. Данный комплект аппаратуры позволяет получить информацию о структуре и свойствах изучаемых пластов между несколькими скважинами. Путем обработки и анализа данных, полученных с помощью МСП, можно оценить мощность геологических пластов, определить наличие трещин и пустот, а в некоторых случаях получить физические характеристики пород.

Проведение магниторазведочных работ предполагает использование магнитометров с датчиками разных типов. В настоящее время наиболее распространенным типом являются датчики, основанные на эффекте Оверхаузера и квантовых явлениях. Традиционно, изучение магнитного поля Земли с целью поиска полезных ископаемых проводится с помощью пешеходной профильной съемки с использованием переносимых магнитометров и магнитовариационных базовых станций. Примером такой аппаратуры могут служить универсальные магнитометры-градиентометры MaxiMag и специально разработанные для применения в качестве магнитовариационной станции приборы SmartMag (рис. 3).



Рисунок 2 — Комплект оборудования для проведения межскважинного сейсмического просвечивания от компании GEODEVICE: А – Накопитель энергии Jack-2500 HP с пультом ДУ JackPad; Б – Скважинный спаркер Pulse; В – Излучатель Р и SH волн Shock; Высокочастотная сейсмостанция DAQlink24; Д – Скважинная гидрофонная коса WellStreamer; Е – Многоуровневый 3С зонд GStreamer; Ж – Инклинометр Inclis



Рисунок 3 – Полевой пешеходный квантовый магнитометр QuantumMag (A), оверхаузеровский магнитометр-градиентометр MaxiMag (Б) и магнитовариационная станция SmartMag (В) разработанные компанией GEODEVICE

В настоящее время большое распространение получили аэромагнитометры для беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Применение такого рода магнитометров обусловлено растущим спросом на полезные ископаемые, такие как полиметаллические руды и редкоземельные элементы, для которых одним из поисковых методов является магниторазведка [3]. Применение БПЛА позволяет значительно сократить время на проведение площадных магниторазведочных работ. Применение Оверхаузеровских магнитометров для съемки с БПЛА обусловлено тем, что такие системы обладают низким энергопотреблением, малой систематической погрешностью в совокупности с отсутствием дрейфа, отсутствием мёртвых зон (в отличии от квантовых датчиков) и малыми ориентационными погрешностями (рис. 4). В виду вышеперечисленного нами разработан аэромагнитометр с датчиком на основе эффекта Оверхаузера для БПЛА. За основу был взят магнитометр SmartMag. Как показали проведенные испытания, наиболее значимым является гироскопический эффект, при котором вращательные движения датчика приводят к дополнительной погрешности. Для борьбы с этим эффектом мы используем несколько подходов: оптимизированную систему подвеса и обтекатель для минимизации раскачивания датчика; программные методы устранения погрешностей, основанные на использовании данных встроенного в магнитометр гироскопа с трехкомпонентным компасом для учёта вращательного движения в магнитном поле Земли (МПЗ); пространственную и временную фильтрацию данных. Последний способ применим, так как погрешности имеют гармонический вид с характерной частотой, что на фоне сглаженного МПЗ над дневной поверхностью позволяет эффективно подавлять помеху.





Еще одним вариантом использования аэромагнитометра может быть поиск металлических объектов, расположенных на не большой глубине под землей. Для решения таких задач необходимо обеспечить максимальную точность пространственной привязки измерений по плотной сети профилей. Для этого датчик магнитометра можно размещать прямо на БПЛА, что позволяет проводить съемку в непосредственной близости от Земли. Наш опыт показывает, что основной проблемой такого размещения является влияние носителя, причём не высокочастотной помехи от электродвигателей, а намагниченности конструкции БПЛА. Однако, это влияние поддаётся учёту и может быть сведено к минимуму в процессе обработки.

Не очевидным на первый взгляд решением для использования магнитометров может быть применение их в качестве приборов для прогнозирования сейсмических событий. В научных публикациях приводятся примеры взаимосвязи изменений, происходящих в Земной коре с колебаниями локального магнитного поля [5]. Для решения таких задач, нашей командой был доработан магнитометр SmartMag для применения на научных стационарах. В результате доработок появились такие функции, как удаленное управление, передача данных на персональный компьютер и возможность подключения удаленного источника питания для минимизации помех. Для управления магнитометром была разработана специальная версия программы SmartManager (рис. 5).



Рисунок 5 – Рабочее окно программы SmartManager

Примеры применения. Успешно МСП применяется для мониторинга геотехнических сооружений. На рис.6 представлен пример применения томографического МСП под зданием с целью определения причин просадки фундамента. В результате сопоставления бурения и МСП было выявлено, что верхний синий слой (скорости 1-2 км/с) соответствует пескам и суглинкам, средний зеленый слой (скорости 2-4 км/с) – сильно выщелоченные известняки, местами полностью разрушенные. Нижний слой – глины (скорости 1-2 км/с). По результатам анализа скоростного разреза был сделан вывод о неоднородности свойств известняка по разрезу, что скорее всего стало причиной изменений в положении фундамента сооружения.



Рисунок 6 – Скоростные разрезы, полученные по данным МСП под зданием

Неотъемлемой частью разработки новых приборов является их тестирование. С целью сравнения данных получаемых при проведении магниторазведочных работ с использованием квантовых и оверхаузеровских нами были выполнены тестовые испытания. В качестве тестовых площадок были выбраны два участка с различным градиентом магнитного поля. На каждом из участков выполняли полеты с двумя типами датчиков. Испытания проводились с использованием оверхаузеровского магнитометра AeroSmartMag и квантового магнитометра AeroQuantumMag, в качестве носителя применен БПЛА DJI Matrice M300. В обоих случаях магнитометры буксировались на относительной высоте 25 м. Результаты в виде сопоставления карт аномального магнитного поля по двум участкам представлены на рис. 7. Значимых отличий в структуре распределения аномального магнитного поля не наблюдаются. Отмечаются незначительные отличия в структуре поля, вызванные скорее всего не полным соответствием маршрута полета и отклонением магнитометров от оси профиля за счет воздействия ветра. На краях участков выделяются небольшие возмущения, вызванные гироскопическим эффектом при разворотах на новый профиль. Перечисленные выше проблемы не оказывают существенного влияния на общую структуру поля и не мешают выделять целевые аномалии магнитного поля. Существенной разницей при работе с разными типами датчиков является скорость полета. Квантовые магнитометры являются более быстродействующим ПО сравнению с оверхаузеровскими, обладают высокой но ориентационной погрешностью и высокой стоимостью.



Рисунок 7 – Пример сопоставления данных с оверхаузеровского магнитометра AeroSmartMag и квантового магнитометра AeroQuantumMag по первому (слева) и по второму (справа) участкам

Выводы. Совершенствование методов и технологий геофизических исследований позволяет более эффективно получать данные о строении земной коры. Методы МСП направлены на снижение рисков при строительстве сооружений, а также на мониторинг их состояния в процессе эксплуатации. Благодаря развитию технологий появляется возможность разрабатывать новые методики геофизической съемки, например, такие, как магниторазведка с БПЛА. Новые методики требует внесения изменений в конструкции магнитометров и их адаптацию под новые условия применения. Компания GEODEVICE уже более 10 лет ведет совершенствованию аппаратурно-методической непрерывную работу по базы для производства геофизических работ. Обязательным условием при разработке оборудования является его тестирование на реальных объектах, результаты которого были приведены в данной работе.

Литература

- 1. Применение сейсмоакустических методов в гидрогеологии и инженерной геологии / Сост. Т. Майкут, И. Ракоци, И. Салаи и др.; Под ред. Н.Н. Горяинова. М.: Недра. 1992. 260 с.
- 2. Гурвич И.И., Боганик Г.Н. Сейсмическая разведка. 3-е изд., перераб. М.: Недра. 1980. 551 с.
- 3. Walter C., Braun A., and Fotopoulos G. High-Resolution Unmanned Aerial Vehicle Aeromagnetic Surveys for Mineral Exploration Targets // Geophysical Prospecting, 2020, 68, no. 1, pp. 334-349. DOI: 10.1111/1365-2478.12914
- Døssing A., Lima Simões da Silva E., Martelet G., Rasmussen T.M., Gloaguen E., Petersen J.T., & Linde J. A High-Speed, Light-Weight Scalar Magnetometer Bird for km Scale UAV Magnetic Surveying: On Sensor Choice, Bird Design, and Quality of Output Data // Remote Sensing, 2021, 13 (4), Article 649. <u>https://doi.org/10.3390/rs13040649</u>
- 5. Югай Н.А., Тилек кызы Г. Магнитометрические исследования в поисках предвестника землетрясений // Вестник Института сейсмологии НАН КР. 2015. № 2 (6). С. 140-147.

ОСОБЕННОСТИ ЗАПИСЕЙ РЕГИОНАЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ АЗИМУТА (НА ПРИМЕРЕ ВКМ)

Пивоваров Р.С. *Q5000@mail.ru* Единая геофизическая служба РАН, г. Воронеж, Россия

В работе представлены результаты анализа записей тектонических землетрясений, произошедших на региональных расстояниях от сейсмической станции в зависимости от азимута прихода. Все анализируемые землетрясения имели одинаковую магнитуду и глубину очага. Показано, что в зависимости от азимута, волновые формы имеют свои особенности, которые могут быть связаны с различными причинами, такими как геологическое строение в месте установки станции, трасса очаг-станция.

Ключевые слова: землетрясение, эпицентральное расстояние, магнитуда, Воронежский кристаллический массив.

Введение. При обработке записей тектонических землетрясений, регистрируемых на региональном уровне, было обнаружено, несмотря на практически одинаковое эпицентральное расстояние, магнитуду и глубину очага, волновые формы, в зависимости от азимута прихода, существенно отличаются. В процессе подготовки данной работы были проанализированы волновые формы записей более пятидесяти тектонических землетрясений, произошедших в различных азимутах прихода на сейсмическую станцию.

Аппаратура и методика обработки. На территории Воронежского кристаллического массива (ВКМ) на протяжении длительного периода времени функционирует сеть сейсмических станций, которая позволяет проводить как текущий мониторинг глобальной и региональной сейсмической обстановки, так и накапливать материал для проведения более детальных сейсмологических исследований [1-3].

Сейсмические события, регистрируемые сетью станций, находятся на различных эпицентральных расстояниях: локальные, региональные, телесейсмические. Чувствительность станций позволяет записывать землетрясения, эпицентры которых находятся практически с обратной стороны Земли - 180° [4-7]. Основная масса эпицентров регистрируемых землетрясений находится в сейсмически активных зонах: 10°-30° (в основном это регионы: Турция, Греция, Иран-Ирак, Кавказ) и на расстояниях 60°-90° (Камчатка, Курильские острова, Япония, Филиппины, Индонезия).

В представленной работе использовались волновые формы записей тектонических землетрясений на региональных эпицентральных расстояниях, полученные на сейсмической станции «Сторожевое» (VSR) [8-11]. Эта сейсмическая станция находится в центре Восточно-Европейской платформы в пределах ВКМ, который является ядром одноименной антиклизы. Воронежский кристаллический массив – крупнейшая структура в составе Восточно-Европейской платформы. Схема тектонического районирования Восточно-Европейской платформы представлена на (рис.1) [12].

Станция укомплектована регистратором UGRA, широкополосными сейсмическими приемниками типа CM3-OC, которые позволяют регистрировать сейсмические события в широком диапазоне частот.

Обработка и интерпретация записей производилась с использованием программного комплекса WSG, разработанного в ФИЦ ЕГС РАН [13, 14]. Результаты обработки сейсмических событий заносятся в базу, из которой в дальнейшем составляются сейсмические бюллетени и каталоги.



Рисунок 1 – Схема тектонического районирования Восточно-Европейской платформы [12]: 1граница Русской платформы; 2 - граница основных структур; 3 - южная граница Скифской плиты; 4 - докембрийские авлакогены; 5 - палеозойские авлакогены. 6 – с/ст «Сторожевое» Номера в кружках: 1-7 авлакогены (1- Воже-Лачский; 2 - Среднерусский; 3 - Кажимский; 4 -Калтасинский; 5 - Серноводско-Абдуленский; 6 - Пачелмский; 7 - Московский); 8 – Предкавказский передовой прогиб; 9-11 седловины (9 - Латвийская; 10 - Жлобинская; 11 -Полесская)

Для выделения различных сейсмических фаз, а так же при замерах амплитуд, применялась полосовая фильтрация в различных диапазонах частот. Чаще всего, выделение объемных волн производилось на открытом канале, но в отдельных случаях, без фильтрации не возможно было обойтись.

Результаты и обсуждение. Анализ записей волнового поля, возбуждаемого землетрясениями с юго-западного направления (регион южного Ирана, Иран-Ирака, Греции, Балкан, Турции) на расстояниях от 16° до 23° и глубиной h=10-15 км показал, что записи на анализируемой сейсмической станции весьма специфичны. На записях сейсмостанции VSR наиболее интенсивные колебания группы Р-волн наблюдаются на горизонтальных составляющих. На записях группы Р-волн волнового поля видно, что горизонтальные компоненты существенно интенсивней вертикальных (рис.2).

На записях землетрясений, которые произошли в районе Иран-Ирак $\Delta \sim 18^{\circ}$, отчетливо проявляются объемные P-, S- и поверхностные волны. Все волны имеют четкое вступление по всем трем компонентам. По амплитудно-частотным спектрам, спектральные амплитуды объемных и поверхностных волн превышают фоновые колебания в диапазоне частот 0.01-1.0 Гц почти на два порядка.





Рисунок 2 – Трехкомпонентные записи регионального землетрясения, которое произошло 09/06/2020 г. в 17:18:13.7 в районе южного Ирана (27.60N 53,53E h=10 км; MS=5.7), зарегистрированного на сейсмической станции VSR и амплитудно-частотный спектр основных групп волн и фона

Проанализировав записи (более 30) зарегистрированных землетрясений из регионов южный Иран и Иран-Ирак, произошедших в 2019-2020 гг., было отмечено, что сказанное выше справедливо практически для всех регистрируемых землетрясений.

Землетрясение, которое произошло в регионе Крит, Греция, на расстоянии до станции $\Delta \sim 20^{\circ}$, с mb=5.6, h=10 км хорошо записано. На записях четко выделяются объемные волны. Амплитуды Р– волны соизмеримы по всем трем составляющим, но большие амплитуды на горизонтальных составляющих. Поверхностная волна с наибольший амплитудой хорошо записалась по данным с/ст VSR (рис.3).



Рисунок 3 – Трехкомпонентные записи регионального землетрясения, которое произошло 18/05/2020 г. в 23:23:35.1 в Греции (34.29N 25.35E h=10 км; mb=5.6), зарегистрированного на сейсмической станции VSR и амплитудно-частотный спектр основных групп волн и фона

Записи волнового поля анализируемых землетрясений с эпицентрами в восточном направлении отличаются от записей землетрясений первой группы. В первую очередь хочется отметить, что максимальные амплитуды (основная энергия?) приходятся на поверхностные волны. Мощная, четко выделяемая волна Лява.

Рассмотрено землетрясение, произошедшее 04/09/2018 г. на Урале, расстояние $\Delta \sim 11^{\circ}$, с mb=5.4, не глубокое (h=10 км). Это землетрясение пришло с востока. На записях с/ст VSR амплитуды Р-волны очень маленькие, вступление не четкое, размытое. Через минуту после

вступления Р-волны хорошо проявляется еще один пакет волн, он имеет большие амплитуды. Максимальные этой волны отмечаются на Е-составляющей.

В амплитудно-частотные спектрах, построенных по записям станции, по Р- и S-волнам превышение спектральных амплитуд над фоном составляет два порядка (рис.4).

Следует отметить, что на записях сейсмической станции VSR вступление S-волны не четкое, трудно интерпретируемое, весь пакет прописался слабо.

Лучше всего записались поверхностные волны, по вертикальной (Z) составляющей.



Рисунок 4 – Трехкомпонентные записи регионального землетрясения, которое произошло 04/09/2018 г. в 22:58:15.2 на Урале (54,58N 57,78E h=10 км; mb=5,4), зарегистрированного на сейсмической станции VSR и амплитудно-частотный спектр основных групп волн и фона

Землетрясение, произошедшое 14/12/2020 г. в Норвежском море, находится немного дальше, расстояние $\Delta \sim 25.5^{\circ}$, с mb=5.7 и глубиной 10 км. Это землетрясение пришло с другого азимута. Землетрясение хорошо записано. Вступление Р-волны записалось четко с максимальной амплитудой на вертикальной составляющей, на N и E составляющих амплитуды меньше.

На записях S-волна на горизонтальных составляющих имеет четкое вступление, поверхностные волны записались хорошо, они имеют классический вид, но разные амплитуды на горизонтальных составляющих (рис.5).



Рисунок 5 – Трехкомпонентные записи регионального землетрясения, которое произошло 14/12/2020 г. в 19:35:59.0 Норвежское море (72,27N 0,90E h=10 км; mb=5,7), зарегистрированного на сейсмической станции VSR и амплитудно-частотный спектр основных групп волн и фона

Рассматриваемые землетрясения произошли на примерно одинаковых эпицентральных расстояниях от регистрирующей станции, имели одинаковую магнитуду и глубину очага. Как было сказано выше, с западного и юго-западного направления было проанализировано более тридцати сейсмических событий. Из других направлений достаточного количества землетрясений зарегистрировано не было, так как они относятся к регионам со слабой сейсмичностью.

Выводы. Из сказанного выше можно отметить, что не зависимо от азимута (региона) прихода волнового поля наблюдается ряд особенностей.

Максимум амплитуд колебаний по записям сейсмической станции VSR в группе Р-волн наблюдается по горизонтальной компоненте (в некоторых случаях значения могут быть соизмеримы со значениями по вертикальной компоненте).

Записи поверхностных волн имеют, отличая в зависимости от азимута прихода анализируемого землетрясения:

– юго-западное направление (Иран, Иран-Ирак, Крит Греция, Балканы, Турция): амплитуды поверхностных волн соизмеримы с амплитудами объемных волн. Не смотря на то, что глубина у анализируемых землетрясений h=10-15 км, в некоторых случаях, без фильтрации выделить поверхностные волны не возможно.

– восточное направление (Урал): амплитуда поверхностных волн (волны Лява) в два раза превышает амплитуды объемных волн, волна Релея может быть выделена только при использовании полосовой фильтрации.

– северное направление (Норвежское море): очень четкая волна Релея с максимальными амплитудами, намного превышающими амплитуды объемных волн.

Различия в записях землетрясений в зависимости от азимута прихода могут быть связаны с несколькими причинами: 1) особенностью геологического строения на пути очагстанция [14-16], 2) разным механизмом очага, 3) сейсмические события произошли в различных геолого-геодинамических условиях: юг и юго-запад – это активный альпийский пояс, восточное направление – зона сочленения Восточно-Европейской платформы и герцинской складчатой системы (Урал), северное направление – подводный хребет.

Автор выражает благодарность сотрудникам лаборатории сейсмического мониторинга Воронежского кристаллического массива и лично заведующей этой лабораторией Надежке Людмиле Ивановне за консультацию, ценные указания при выполнении данной работы.

Литература

- 1. Надежка Л.И., Сафронич И.Н., Пивоваров С.П., Ефременко М.А., Семенов А.Е., Сорокин Б.А. Воронежский кристаллический массив // Землетрясения Северной Евразии в 1998 году. Обнинск: ГС РАН. 2004. С. 117-124.
- 2. Надежка Л.И., Сафронич И.Н., Пивоваров С.П., Савенков А.В., Семенов А.Е., Колесникова С.И. Сеть сейсмических станций на территории Воронежского кристаллического массива // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Четвертой междунар. сейсмологической школы. Обнинск: ГС РАН. 2009. С. 117-121.
- Габсатарова И.П., Ассиновская Б.А., Баранов С.В., Карпинский В.В., Мехрюшев Д.Ю., Мунирова Л.М., Надёжка Л.И., Петров С.И., Пивоваров С.П., Санина И.А Восточно-Европейская платформа. Российская часть // Землетрясения Северной Евразии. Вып. 23 (2014 г.). Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН. 2020. С. 199-207.
- 4. Пивоваров С.П., Семенов А.Е., Савенков А.В., Ефременко М.А. Эффективность работы Воронежской сети сейсмических станций // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Четвертой междунар. сейсмологической школы. Обнинск: ГС РАН. 2009. С. 159-162.
- 5. Надежка Л.И., Пивоваров С.П., Ефременко М.А. Методические вопросы. Оценка регистрационных возможностей сети сейсмических станций на территории Воронежского

кристаллического массива // Землетрясения Северной Евразии. Вып. 21 (2012 г.). Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН. 2018. С. 471-477.

- 6. Пивоваров С.П., Пивоваров Р.С., Калинина Э.В., Ефременко М.А. Оценка расхождений в определении магнитуд телесейсмических землетрясений для станций воронежской сети наблюдений // Вестник НЯЦ РК. 2020. Вып. 3 (83). С. 100-104.
- Надежка Л.И., Ефременко М.А., Сафронич И.Н. Особенности записи телесейсмических событий региональной Воронежской сетью // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы V Междунар. сейсмологической школы. Обнинск. 2010. С. 120-124.
- 8. Дубянский А.И. Оценка относительной чувствительности станции VRS // Вестник Воронежского госуниверситета. Серия Геология. 2004. № 2. С. 161-165.
- 9. Пивоваров С.П., Ефременко М.А., Пивоваров Р.С. Регистрационные возможности сейсмической станции «Сторожевое» // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Седьмой Междунар. сейсмологической школы. Обнинск. 2012. С. 259-262.
- Ефременко М.А., Калинина Э.В., Заклюковская А.С., Пивоваров Р.С. Оценка эффективности регистрации далеких землетрясений сейсмической станцией «Сторожевое» // XVI Уральская молодежная научная школа по геофизике. Пермь. 2015. С. 130-133.
- 11. Пивоваров Р.С., Калинина Э.В. Оценка магнитудных невязок широкополосной сейсмической станции «Сторожевое» // Двадцатая Уральская молодежная научная школа по геофизике. Сб. науч. материалов. 2019. С. 149-151.
- 12. Юдахин Ф.Н., Щукин Ю.К., Макаров В.И. Глубинное строение и современные геодинамические процессы в литосфере Восточно-Европейской платформы. Екатеринбург: УрО РАН. 2003. 299 с.
- 13. Красилов С.А. Организация процесса обработки цифровых сейсмических данных с использованием программного комплекса WSG / С.А. Красилов, М.В. Коломиец, А.П. Акимов // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Междунар. сейсмологической школы. Обнинск. 2006. С. 77-83.
- 14. Сафронич И.Н., Акимов А.П., Красилов С.А. Некоторые возможности и технологические приемы применения программы WSG для научно-исследовательских работ // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Шестой Междунар. сейсмологической школы. Обнинск: ГС РАН. 2011. С. 290-302.
- 15. Пивоваров Р.С., Ефременко М.А., Семенов А.Е. Особенности характера записи сейсмических событий в зависимости от района размещения сейсмической станции // XI Уральская молодежная научная школа по геофизике. Сб. докл. Екатеринбург. 2010. С. 179-181.
- 16. Заклюковская А.С., Ефременко М.А., Пивоваров Р.С. Влияние геологических условий в районе установки сейсмических станций на запись телесейсмических событий // Материалы XIV Уральской молодежной научной школы по геофизике. Пермь: ГИ УрО РАН. 2013. С. 103-107.
- 17. Ефременко М.А., Золототрубова Э.И., Ежова И.Т., Пивоваров С.П. Влияние геологических условий на характер записей волновых форм промышленных взрывов // Структура, вещественный состав, свойства, современная геодинамика и сейсмичность платформенных территорий и сопредельных регионов. Материалы XXII Всерос. с междунар. участием науч.-практ. Щукинской конф., г. Воронеж, 22–25 сентября 2020 г. Воронеж. 2020. С. 131-136.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПОЛНОГО ЭЛЕКТРОННОГО СОДЕРЖАНИЯ ИОНОСФЕРЫ НА ОСНОВЕ КОСМОГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ КОДОВЫХ ЗАДЕРЖЕК СПУТНИКОВ

Прохоров О.А. *helgpro@yandex.ru* Научная станция РАН, г. Бишкек, Кыргызстан

Уточнена методика и написана программа расчета полного электронного содержания с использованием дифференциальных кодовых задержек спутников на основе данных файлов наблюдения и файлов навигации, полученных от станции спутникового позиционирования. Проведено сравнение результатов авторского расчета полного электронного содержания с результатами из других программ по данным одной из станций Бишкекской локальной сети. Авторская программа дает близкие результаты по отношению к другим подобным программам, но имеет возможность выбора навигационных систем, частоты дискретизации, угла отсечения спутников, видов псевдодальностей по коду, усредненного или детального расчета полного электронного содержания.

Ключевые слова: ГНСС, ионосфера, полное электронное содержание

Введение. Исследования верхних слоев атмосферы с высокой концентрацией свободных ионов и электронов по данным глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) начаты более 20 лет назад [1] и остаются актуальными сегодня [2, 3]. Сигналы радионавигационных спутниковых систем предназначены для определения 3-мерных координат объекта, помимо этого стало возможным использовать эти сигналы для определения насыщенности электронами ионосферы. Станции глобальных спутниковых сетей, таких как сеть международной службы International GNSS Service (IGS) позволяют получать, карты полного электронного содержания (ПЭС) ионосферы в глобальных масштабах (GIM) на проекцию земной поверхности [4]. Концентрация электронов в верхних слоях атмосферы существенно влияют на эффективность работы информационнокоммуникационных систем. Солнечная активность влияет на неоднородное состояние концентрации электронов в ионосфере и может приводить к нарушению функционирования приборов для определения позиции из-за рассеивания ГНСС сигнала. По мнению многих исследователей возмущения в ионосфере могут влиять на сейсмическую активность и служить предвестниками землетрясений, карты ПЭС позволяют осуществлять мониторинг природных и техногенных воздействий на саму ионосферу, находить связи с другими геофизическими методами и исследованиями в дальнейшем позволяющие улучшать качество позиционирования и навигации [5, 6.].

Глобальные GIM карты ПЭС имеют сильно сглаженный характер данных с дискретностью в несколько градусов, поэтому для локальных масштабов использования могут быть не совсем корректны поскольку нет плотной концентрации IGS станций и данные являются результатом интерполяции, а не конкретных расчетов. Для расчетов ПЭС на локальной территории лучше всего использовать данные с ГНСС станций конкретного региона. При этом актуальной задачей в настоящее время является определение значений абсолютного вертикального электронного содержания используя данные с двухчастотных приемников локальной сети. Для расчетов ПЭС существуют разные алгоритмы и программы в которых встречаются свои достоинства и недостатки. В некоторых программах нет возможности изменять фиксированную дискретность по времени, минимальный интервал составляет десятками минут и не позволяет получить более детальную картину для исследования. Другие программы работают только с GPS спутниками и не могут учитывать

данные ГЛОНАСС, в некоторых программах нет возможности обрабатывать файлы с многодневными записями, не всегда программы позволяют выбирать минимальный угол отсечения видимости спутников.

Для расчетов ПЭС вдоль трассы распространения сигнала от спутника используются файлы наблюдений двухчастотного GPS-приемника с f1 = 1575,42·МГц и f2 = 1227,6 МГц. Оценка наклонного ПЭС для эпохи измерения определяется формулой:

$$I_f = \frac{1}{40.308} \frac{f_1^2 f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} (L_1 \lambda_1 - L_2 \lambda_2 + const_{1,2} + \sigma L),$$
(1)

где I_f — оценка ПЭС по фазовым измерениям; $\lambda_1 = c/f_1$ и $\lambda_2 = c/f_2$ — длины волн GPSпередатчиков в метрах; c - скорость света; $L_1 = \Delta \varphi/2\pi$ и $L_2 = \Delta \varphi/2\pi$ — фазовые измерения GPSприемника, выполненные на частотах f_1 и f_2 соответственно (целое и дробное число циклов π фазы); $const_{1,2}$ –неоднозначность фазовых измерений, σL — ошибка измерения фазы. Для кодовых измерений формула для расчета ПЭС следующая:

$$I_p = \frac{1}{40.308} \frac{f_1^2 f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} ((P_2 - P_1) + \sigma P),$$
(2)

где I_P — оценка ПЭС по кодовым измерениям псевдодальности; P_1 и P_2 — групповой путь псевдодальности, выполненные на частотах f_1 и f_2 соответственно; σP — ошибка измерения псевдодальности вызванная дифференциальными кодовыми задержками.

Кодовые измерения абсолютны в расчетных значениях, но сильно зашумлены, особенно для углов места спутника ниже 30. Фазовые измерения более точны, однако имеют неоднозначность в определении начальной фазы. При отсутствии P_2 в (2) можно использовать C1 код. Для расчета наклонного ПЭС используются фазовые измерения, но при этом неоднозначность фазы определяется совместно с данными по коду (3). Полученные значения ПЭС являются абсолютными с точностью до ошибки, обусловленной дифференциальными кодовыми задержками.

$$const = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} (l_p - l_f)$$
 (3)

Вышеперечисленные особенности диктуют необходимость реализации более универсального инструмента для расчета ПЭС при детальных исследованиях. При передаче ГНСС сигналов от спутника к приемнику возникают систематические ошибки, вызванные так называемыми дифференциальными кодовыми задержками (ДКЗ). Спутниковые ДКЗ для расчетов можно взять на сайте СОDE (<u>http://ftp.aiub.unibe.ch/CODE</u>). А ДЗК для приемника будет описаны ниже. Используя файлы навигации и наблюдения можно получить не только позицию, но и точки прокола ионосферного слоя для каждого спутника. Высота ионосферы с максимальной концентрации электронов обычно варьирует от 250 км до 400 км. Зная координаты спутника (*XS, YS, ZS*) и станции (*XR, YR, ZR*), расстояние до ионосферы (*H*) и радиус Земли (R_E) можно определить точка имеют одинаковую географическую широту β_p и долготу λp [7].

$$\beta_{\rm p} = \arcsin(\sin\beta_{\rm p}\cos\psi_p + \cos\beta_{\rm p}\sin\psi_p\cos a_s \tag{4}$$

$$\lambda p = \lambda_{\beta+} \arcsin(\sin \psi_p \sin a_s \sec \beta_p)$$
(5)

$$\psi_p = \frac{\pi}{2} - \gamma_s - \arcsin(\frac{R_E}{R_E + H} \cos \gamma_p),\tag{6}$$

где β_p , λp – географические координаты точки наблюдения; α_s , γ_s – азимут и угол места луча; ψ_p – центральный угол между точкой наблюдения и ионосферной точкой.

Вертикальный ПЭС (VTEC) рассчитывается на основе наклонного ПЭС (STEC):

$$VTEC = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} ((STEC_i - bs_i - Br) \cos(\arctan\frac{R_e * cosa_i}{R_e + h}))$$

$$= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} STEC_i - bs_i \cos(\arctan\frac{R_e * cosa_i}{R_e + h}) - \frac{Br}{N} \sum_{i=1}^{n} \cos(\arctan\frac{R_e * cosa_i}{R_e + h}),$$
(7)

где h – высота точки прокола, Re – радиус земли, bs – кодовые задержки спутников. i – номер видимого спутника, Br – ДКЗ приемника остается неизвестным. VTEC рассчитывается для конкретного спутника и конкретного приемника в момент эпохи наблюдения. ДЗК спутника находится в свободном доступе на сайте СОDE из файла *.DCB, Функция ошибок приемника представляет собой среднеквадратическое отклонение σ для VTEC у конкретного спутника в эпоху наблюдения и рассчитывается как разность между средним квадратов ПЭС и квадратом среднего ПЭС. Компоненты функции ошибок (8) раскладываются по формуле квадрата разности $(a-b)^2 = a^2 + b^2 - 2ab$.

$$\sigma^{2} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} \left(STEC_{i} - bs_{i} \cos(\arctan\frac{R_{e} * cosa_{i}}{R_{e} + h}) - \frac{br}{N} \sum_{i=1}^{N} \cos(\arctan\frac{R_{e} * cosa_{i}}{R_{e} + h}) - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} (STEC_{i} - bs_{i} * \cos(\arctan\frac{R_{e} * cosa_{i}}{R_{e} + h})) - \frac{br}{N} \sum_{i=1}^{N} \cos(\arctan\frac{R_{e} * cosa_{i}}{R_{e} + h})) \right)^{2}$$

$$(8)$$

Раскрыв скобки под знаком суммы придем к следующему виду (9):

$$\sigma^{2} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N} STEC_{i} - bs_{i}\cos(\arctan\frac{R_{e} * \cos a_{i}}{R_{e} + h}) - \frac{br}{N} \sum_{i=1}^{N} \cos(\arctan\frac{R_{e} * \cos a_{i}}{R_{e} + h})^{2} - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} (STEC_{i} - bs_{i} * \cos(\arctan\frac{R_{e} * \cos a_{i}}{R_{e} + h}) - \frac{br}{N} \sum_{i=1}^{N} \cos(\arctan\frac{R_{e} * \cos a_{i}}{R_{e} + h})^{2}$$
(9)

Умножив обе части уравнения на N и разложив снова обе компоненты по формуле квадрата разности и приведя уравнение к виду $a^*b_r^2 + b^*b_r + c$ получим:

$$N\sigma^{2} = \left(\sum_{i=1}^{N} \left(\cos\left(\arctan\frac{R_{e} * \cos a_{i}}{R_{e} + h}\right)\right)^{2} - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^{n} \cos\left(\arctan\frac{R_{e} * \cos a_{i}}{R_{e} + h}\right)\right)^{2}\right) Br^{2}$$
$$- \left(2\sum_{i=1}^{N} STEC_{i} - bs_{i}\left(\cos\left(\arctan\frac{R_{e} * \cos a_{i}}{R_{e} + h}\right)\right)^{2}$$
$$- 2\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} STEC_{i} - bs_{i}\cos\left(\arctan\frac{R_{e} * \cos a_{i}}{R_{e} + h}\right)\sum_{i=1}^{n} \cos\left(\arctan\frac{R_{e} * \cos a_{i}}{R_{e} + h}\right) Br \qquad (10)$$
$$+ \sum_{i=1}^{N} \left(STEC_{i} - bs_{i}\right)^{2}\cos\left(\arctan\frac{R_{e} * \cos a_{i}}{R_{e} + h}\right)^{2}$$
$$- \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^{N} STEC_{i} - bs_{i}\cos\left(\arctan\frac{R_{e} * \cos a_{i}}{R_{e} + h}\right)\right)^{2}$$

Верхнее уравнение для σ^2 представляет собой квадратичную функцию, зависящую от переменной B_r . Из функции ошибок получим коэффициенты *a*, *b* и *c*

$$a = \sum_{i=1}^{N} \left(\cos\left(\arctan\frac{R_e * \cos a_i}{R_e + h} \right) \right)^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^{n} \cos\left(\arctan\frac{R_e * \cos a_i}{R_e + h} \right) \right)^2 \tag{11}$$

$$b = -\left(2\sum_{i=1}^{N} STEC_{i} - bs_{i}\left(\cos\left(\arctan\frac{R_{e}*cosa_{i}}{R_{e}+h}\right)\right)^{2} - 2\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} STEC_{i} - bs_{i}\cos\left(\arctan\frac{R_{e}*cosa_{i}}{R_{e}+h}\right)\sum_{i=1}^{n}\cos\left(\arctan\frac{R_{e}*cosa_{i}}{R_{e}+h}\right)$$
(12)

$$c = \sum_{i=1}^{N} \left(STEC_i - bs_i \right)^2 \cos\left(\arctan\frac{R_e * cosa_i}{R_e + h} \right)^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^{N} STEC_i - bs_i \cos\left(\arctan\frac{R_e * cosa_i}{R_e + h} \right) \right)^2$$
(13)

График любой квадратичной функции представляет собой параболу с одним экстремумом (минимум при отрицательном значении старшего коэффициента). Смещение приемника B_r рассчитывается с минимизацией среднеквадратичного отклонения. Если найти минимум для функции $aB_r^2 + bB_r + c = 2aB_r + b$ за большой временной интервал, то получим ее производную : $B_r = -b2a$, которая является ДКЗ приемника. Функция ошибок приемника в течение интервала времени от ts, до tf представляет собой сумму дифференциальных кодовых задержек приемника и имеет вид:

$$B_{r_{t_{i}}}^{t_{f}} = \frac{-(2\sum_{i=1}^{N} STEC_{i} - bs_{i}(\cos(\arctan\frac{R_{e} * \cos a_{i}}{R_{e} + h}))^{2} - 2\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} s_{i}c_{i}\sum_{i=1}^{n} c_{i})}{\sum_{i=1}^{N} (\cos(\arctan\frac{R_{e} * \cos a_{i}}{R_{e} + h}))^{2} - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^{n} \cos(\arctan\frac{R_{e} * \cos a_{i}}{R_{e} + h})\right)^{2}}$$
(14)

Авторская программа реализована на языке Python. Для сравнительного теста в качестве входных данных использованы навигационные и файлы наблюдения в формате RINEX с приборов Торсоп за 161 день 2021года для станции IATA. Угол отсечки возвышения спутников над станцией выбран в 20°, интервал дискретизации выбран в 1 минуту. На (рис.1) представлен результат работы авторской программы с точками прокола и ПЭС за сутки для 31 GPS спутника.



Рисунок 1 – Вертикальный ПЭС по точкам прокола для 31 GPS спутников

Для расчета среднего ПЭС над наблюдаемой станцией IATA (рис.2) проведено сглаживание скользящим средним за одну минуту по всем спутникам.


Рисунок 2 – Среднее вертикальный ПЭС в интервале одной минуты

Для сравнения с авторскими данными были рассчитаны ПЭС в программах GOPI [8] и TayAbsTec [9]. На рис.3 представлены графики средних ПЭС над станцией IATA за сутки наблюдения от программ ЛGPS, Gopi и TayAbsTec.



Рисунок 3 – Среднее вертикальный ПЭС для программ ЛGPS, Copi, TayAbsTec

Визуально эти графики довольно близки и совпадают по тенденциям в вариациях средних значений ПЭС. Но в большинстве значений средний ПЭС от программы Gopi ниже. График от программы TayAbsTec выглядит более сглаженным из-за большей частоты дискретизации (4 минуты – минимум), но более близок по значениям к графику ЛGPS. Статистические параметры этих графиков и отклонения друг от друга приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Статистические параметры графиков средних ПЭС от разных программ и их отклонения (TECU)

	LGPS	Gopi	TayAbsTec	LGPS-Gopi	LGPS - TayAbsTec
мин	3.973	1.621	3.878	0.9	0.0005
сред	9.952	8.104	9.529	1.85	0.5
макс	16.014	13.426	14.59	3	2.0

Если входные данные не содержат P2 код, то для расчетов можно использовать C/A код. На рис. 4 отображены авторские графики среднего ПЭС над станции IATA по кодам P2– P1 и C/A–P1.



Рисунок 4 – Сравнение результатов расчета по коду Р2-Р1 и С/А-Р1

Из рис. 4 следует, что значения ПЭС по C/A-P1 кодам занижены и имеют меньший интервал вариаций. Следует отметить, что приоритет по точности отдается значениям ПЭС по P2-P1 кодам [10]. Это также вытекает из того факта, что если у графиков рис. 4 убрать криволинейный тренд, то разброс остатков ПЭС по C/A-P1 кодам в ~1.5 раза больше, чем интервал вариаций таких же значения для графика по P2-P1 кодам (рис. 5).



Рисунок 5 – Разброс остатков ПЭС по Р2-Р1 и С/А-Р1 кодам

Статистические параметры модулей отклонения остатков вариации ПЭС по P2-P1 и C/A-P1кодам приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнение разброса между С/А-Р1 и Р2-Р1 кодами псевдодальностей

	C/A-P1	P2-P1	C/A-P1 - P2-P1
сред	0.21	0.14	0.05
станд. откл.	0.18	0.12	0.06

Авторская программ для расчета ПЭС показала результат по расчету средних значений довольно близкий по уровню и более детальный результат по сравнению со сторонними ПО. По значениям ПЭС результат авторской программы более близок к данным от программы TayAbsTec. Максимальные отличия в 3 TECU между LGPS и Gopi, но в среднем – на 1.85 TECU. Между LGPS и TayAbsTec средняя и максимальная разница в значениях составляет всего 0.5 и 2 TECU. Разница дифференциальных кодовых задержках в приемнике для Gopi 29.8 для TayAbsTec 29.227 и для LGPS 27.83 Преимущество авторского алгоритма заключается в возможности настройки параметров обработки данных: дискретизации по времени, выборе угла отсечения по возвышению спутника, выбор кода (C/A или P2) и вида ГНСС (GPS, ГЛОНАСС), рассчитывать ПЭС для отдельных проколов ионосферы сигналом и средний ПЭС над ГНСС приёмником. Анализ сравнения расчета среднего ПЭС С/А или P2 кодов показал, что применение кодов P2-P1 дает более стабильные значения ПЭС.

Автор работы выражает благодарность своему научному руководителю к.ф.-м.н., заведующему ЛGPS НС РАН Кузикову С.И. за советы при проведении работ и рекомендации по оформлению статьи.

Литература

- 1. Calais E., Minster J.B. GPS detection of an ionospheric perturbation following the January 17, 1994, Northridge earthquake // Geoph. Res. Lett. 1995. Vol. 22. P. 1045-1048.
- 2. Otsuka Y. et al. GPS Observations of Medium-Scale Traveling Ionospheric Disturbances over Europe. // Ann. Geophys. 2013. V. 31. P. 163–172.
- Afraimovich E.L., Yasukevich Yu.V. Using GPS-GLONASS-GALILEO data and IRI modeling for ionospheric calibration of radio telescopes and radio interferometers // J. Atmos. Sol.-Terr. Phys. 2008. V. 70. No. 15. P. 1949–1962. Doi:10.1016/j.jastp.2008.05.006.
- 4. Schaer S., Beutler G., Rothacher M. Mapping and predicting the ionosphere // Proc. IGS AC Workshop, February 9–11 1998. Darmstadt, Germany. 1998. P. 307–320.
- 5. Костин В.М., Беляев Г.Г. Мониторинг параметров плазмы верхней ионосферы для выявления мощных естественных и техногенных источников воздействия на атмосферу из опыта работы спутника Космос-1809 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Материалы 19-й Междунар. конф. М.: ИКИ РАН. 2021. С. 412. DOI:10.221046/19DZZconf-2021a
- 6. Kunitsyn V.E. et al. Phase and phase-difference ionospheric radiotomography // Int. J. Imaging Systems and Technology.1994. V. 5. P. 128.
- 7. Афраймович Э.Л., Перевалова Н.П. GPS-мониторинг верхней атмосферы Земли. Иркутск: Изд-во ГУ НЦ РВХ ВСНЦ СО РАМН. 2006. 480 с.
- 8. Rama Rao, P.V.S., Gopi Krishna, S., Niranjan, K., Prasad, D.S.V.V.D.Temporal and spatial variations in TEC using simultaneous mea-surements from the Indian GPS network of receivers during thelow solar activity period of 2004–2005 // Ann. Geophys. 24(12), 3279–3292 (2006). https://doi.org/10.5194/angeo-24-3279-2006
- 9. Yasyukevich Y.V., Mylnikova A.A., Kunitsyn V.E. et al. Influence of GPS/GLONASS differential code biases on the determination accuracy of the absolute total electron content in the ionosphere. Geomagn. Aeron. 55, 763–769 (2015). https://doi.org/10.1134/S001679321506016X
- 10. Norsuzila Ya'acob, Mardina Abdullah., Mahamod Ismail. GPS Total Electron Content (TEC) Prediction at Ionosphere Layer over the Equatorial Region In book: Trends in Telecommunications Technologies, 485-508, 2010. DOI:10.5772/8474

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОВОГО ИНСТРУМЕНТА КАЛИБРОВКИ КОДЫ (ССТ) ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ОЧАГОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ТЯНЬ-ШАНЯ

Рябенко П.В.

ruabenko@kndc.kz

Институт геофизических исследований Национального ядерного центра, г. Алматы, Казахстан

В работе представлены результаты освоения и использования инструмента калибровки коды, разработанного в AFTAC и LLNL (США), для получения стабильных оценок очаговых параметров (Мw, излученная энергия, кажущееся напряжение, угловая частота очагового спектра) землетрясений Тянь-Шаня. Работа проведена на материалах 21 станций ИСНАН КР и ИГИ НЯЦ РК. Метод ССТ обеспечивает оценку стабильных очаговых спектров, определение значений моментной магнитуды, кажущегося напряжения (apparent stress)), которые примерно в 3-4 раза менее изменчивы, чем оценки, полученные на основе традиционных методик по прямым волнам. В результате опыта по освоению ССТ определены очаговые параметры 25 средних по силе землетрясений Тянь-Шаня с магнитудой 4,1-5,1. Проведено сопоставление кажущихся напряжений при разных значениях M_0 для разных районов мира с данными по Тянь-Шаню.

Ключевые слова: землетрясение, сейсмическая станция, волновая форма, огибающая, сейсмический момент, моментная магнитуда.

Введение. Привлечение коды волн для оценки магнитуды землетрясений началось еще более 40 лет назад. Для этого использовались записи частотно- избирательной сейсмической станции (ЧИСС) [1]. Аналоговые записи в общем диапазоне частот от 0,022 до 40 Гц представлялись аналитику по нескольким полосам частот, характеристики которых имели сравнительно узкую полосу (октавную или полуоктавную). Переход на цифровую регистрацию способствовал повышению эффективности в оценке очаговых параметров, в том числе сейсмического момента, угловой частоты, кажущегося напряжения, выделившейся энергии.

В данной работе использовалось программное обеспечение ССТ последней версии 1.0.21. Инструмент калибровки коды (ССТ) — это приложение на основе Java, созданное в результате совместного проекта ученых USNDC (AFTAC/SDS) и Министерства энергетики (LLNL), а также значительного вклада сейсмологов из Университета Юты, INGV (Милан) и Геологической службы США (Голден, Колорадо), Министерство природных ресурсов Канады. Это программное обеспечение было передано KNDC для использования, за что мы выражаем свою благодарность авторам разработки Кевину Майеда и Джастину Барно. Программы позволяют проводить локальную и региональную калибровку для получения стабильного очагового спектра при помощи узкополосной фильтрации [2]. Сначала проводится калибровка с помощью узкополосных огибающих коды. Затем, когда район откалиброван, можно проводить рутинную обработку для получения стабильных оценок очаговых параметров (M_w , излученная энергия, кажущееся напряжение, угловая частота) при

помощи интерфейса REST API. В результате исследований можно получить ответ на вопрос, который уже 40 лет задают сейсмологи - увеличивается ли кажущееся напряжение с увеличением размера очага (излученная сейсмическая энергия/момент) или остается постоянной? Ответы важны для прогноза сейсмической опасности, моделирования в физике очага и мониторинга взрывов. Использование ССТ позволяет рассчитывать стабильную моментную магнитуду Мw для событий, которые слишком слабы для моделирования волновых форм и устраняет необходимость привязывать к *Мw* узкополосные магнитуды ('Рихтера' *ML* или длительности *MD*), что может привести к значительным отклонениям.

Используемые материалы и методика обработки. В районе исследований были выбраны события за период 2018-2023 гг. Чтобы удовлетворить условиям выбора событий с четкими записями, хорошего соотношения сигнал-шум, решено выбирать землетрясения с магнитудой (mb, Mpv) \geq 4. В качестве района исследований был выбран Северный и Южный Тянь-Шань, где находится большинство сейсмических станций Института сейсмологии Кыргызстана (сеть KR), ранее уже калиброванных, и некоторые станции Казахстана (сеть KZ). Отметим, что этот район является одним из наиболее сейсмоактивных в Центральной Азии, где ранее происходили землетрясения с магнитудой Ms \geq 8. Всего в исследовании использовались данные 21 станции. Их расположение приведено на рис. 1.

Все события имели очаги примерно в том же районе, где и находились станции. Отбор событий проводился из соображений, чтобы данные по ним (волновые формы) имелись в data center IRIS, поскольку необходимые нам волновые формы находились именно там. В качестве данных для работы в программе были взяты данные по 25 событиям.



Рисунок 1 – Карта расположения эпицентров землетрясений (кружки) и сейсмических станций (треугольники)

Карта эпицентров отобранных землетрясений приведена на рисунке 1. Мы попытались найти независимые решения СМТ для наших событий. Выбор проводился в пределах района, ограниченного координатами: φ = 39° с.ш. – 44° с.ш. λ = 68° в.д. – 81° в.д.

На сайте <u>Global Centroid Moment Tensor Catalog (globalcmt.org)</u> была сделана выборка для этого района. В результате найдено 5 событий, соответствующих критериям выборки. помощью скрипта (CCT_01_Event_Catalog_and_Data_Retrieval) сформировали все волновые формы для всех событий по всем станциям (станции Киргизской сети KR, станции Казахстанской сети KZ). Скрипт посредством запроса загружает волновые формы с серверов IRIS. Результатом выполнения скрипта были данные в формате miniseed (3 компоненты), файлы инструментов в формате XML и параметры события в формате CSV. Согласно регламенту технического руководства программы ССТ, для калибровки необходимы однородные данные. После загрузки всех данных из IRIS выяснилось, что часть данных имеет частоту дискретизации 100 Hz, а другая часть - 40 Hz. Было принято решение понижения частоты отсчетов волновых форм с помощью средств ObsPy. Методом <u>decimate</u> 100 Hz данные были «прорежены» до 50 Hz. Полученные волновые формы прошли этап конвертации с использованием скрипта (CCT_02_Data_Processing). После конвертации в формат SAC оставлены только горизонтальные компоненты. На основе этих данных были сформированы Envelopes (огибающие) посредством встроенного инструмента в программе CCT. Работа в программе ССТ. На начальном этапе работы в программе ССТ все полученные envelopes по всем станциям по всем землетрясениям были загружены в программу. Общее количество stack-файлов перед началом калибровки составляло 5587 файлов. Далее эти stack-файлы были подвержены 3 этапам процесса калибровки.

На первом этапе проведена автоматическая калибровка, используя функцию Run Calibration (AutoPick), которая использует простой подход типа STA/LTA для поиска «лучшего» измерения времени окончания коды для анализа. Это обеспечивает хорошую первоначальную оценку для определения положения \mathbf{f} – маркера в конце огибающей, согласующегося с моделью. Необходимо просмотреть каждый envelope и вручную отрегулировать положение маркера.

На втором этапе каждое событие просматривалось отдельно с помощью встроенной функции фильтрации. Функция фильтрации позволяет отфильтровать данные по заголовкам, например, по ID события или коду станции. Можно комбинировать фильтры, используя одновременно фильтр для кода станции и полос частот и т.д. Отфильтрованные данные по событию содержали данные полос частот только для одного события. При нажатии на любую строку события отображается всплывающее окно с наблюдаемым envelope (синий), наиболее согласующийся с синтетическим (зеленый) и моделью (серый) (рис.2). Далее, когда все события были просмотрены и маркеры поставлены в нужные места, необходимо экспортировать все волновые формы в папку для сохранения положения f – маркера. Когда 2 этап калибровки по событиям был закончен, проводился следующий прогон *Run Calibration*. Следуя технической инструкции программы, мы сохранили результат калибровки в новый файл *Calibration Parameters*.

На третьем этапе мы использовали новый файл *Calibration_Parameters*, который был получен в результате 2 этапа калибровки и загружен в программу. Сохранённые волновые формы с положениями f – маркера также были загружены в программу для следующей итерации калибровки. Аналогично второму этапу было просмотрено каждое окно записи волновой формы. Также проведена отбраковка некоторых записей. В конце всех этапов калибровки осталось 3432 stack файла. 2155 stack-файлов были отбракованы за 3 этапа калибровки.



Рисунок 2 – Пример огибающих коды сигнала для станции KNDC, для одного события на разных частотах

Для проведения контроля качества калибровки, в программе существуют 3 раздела.

Раздел «Shape». Позволяет просматривать эмпирические параметры и соответствие скорости по наблюдаемым данным в зависимости от расстояния. Для примера выбран диапазон частот 2,0–3,0 Гц (Рисунок 4), на котором можно видеть, есть ли большие отскоки данных или нет.

Раздел «Site». Позволяет просматривать очаговые спектры в единицах Нм после определения поправки с использованием выбранных эталонных событий.



Рисунок 3 – Пример откалиброванного события 2023-02-26 23:58:04 mb 5.1 на вкладке SITE (Source Spectra)



Рисунок 4 – Пример откалиброванного события 2023-02-26 23:58:04 mb 5.1 на вкладке SITE (Source Result)

Как видно на рис. 3 и 4, значения по всем станциям на всех частотах ведут себя достаточно согласованно. На рис. 5 и 6 представлены вкладки Spectra и Results в разделе «Measured Mws».



Рисунок 5 – Пример откалиброванного события 2023-02-26 23:58:04 mb 5.1 на вкладке Measured Mws (Spectra)



Рисунок 6 – Пример откалиброванного события 2023-02-26 23:58:04 mb 5.1 на вкладке Measured Mws (Result)

Таким образом, были получены значения магнитуды и другие очаговые параметры.

После всех этапов калибровки и проверки, рассчитанную магнитуду можно сохранить в файл и использовать в дальнейшем. Сравнение результатов ССТ с СМТ показало удовлетворительное согласие в значениях Мо.

По полученным значениям угловой частоты очаговых спектров и сейсмического момента было проведено сравнение значений по землетрясениям Тянь-Шаня с другими регионами мира. (данные Kevin Mayeda and Jorge Roman-Nieves). Можно видеть, что основная масса этих значений соответствует средним кажущимся напряжениям между 0,1 и 1 MPa (LogMo = 15-16). Не отмечено увеличение кажущихся напряжений с ростом сейсмического момента, а, следовательно, и магнитуды землетрясений.



Рисунок 7 — Связь угловой частоты и сейсмического момента для землетрясений разных регионов мира. (рисунок взят из презентации [3]). На график рис. 7 нанесены треугольниками полученные значения по региону Тянь-Шань

Заключение

Освоен метод калибровки коды для определения очаговых параметров. На материалах средних по силе землетрясений определены параметры очага. Впервые данные по Тянь-Шаню рассмотрены в совокупности с данными по другим сейсмически активным районам. Работа по использованию инструмента ССТ продолжается на калибровке коды сильных событий.

Литература

- 1. Экспериментальные исследования сейсмической коды / Т.Г. Раутиан, В.И. Халтурин, М.С. Закиров и др. М.: Наука. 1981. 141с.
- 2. Mayeda K., Hofstetter A., O'Boyle J.L., Walter W.R. Stable and transportable regional magnitudes based on coda-derived momentrate spectra // Bull. Seismol. Soc. Am., 2003, 93, 224–239.
- 3. Mayeda K., Roman-Nieves J. The Coda Calibration Tool (CCT) for Stable Source Spectra, Moment Magnitude, Radiated Energy, Apparent Stress and Routine Regional Network Processing. 2023. Presentation in Almaty, KNDC. 2023.

АНОМАЛЬНЫЕ ВАРИАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ИОНОСФЕРЫ ПЕРЕД ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕМ ТОХОКУ 2011 ГОДА

Савельева Н.В., Пилипенко В.А. nasa2000@yandex.ru Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия

Целью исследования является изучение сейсмо-ионосферных связей и возможных предвестников землетрясений. В настоящей работе в качестве исследуемых величин выбраны критическая частота foF2 над станциями ионосферного зондирования и полное содержания электронов в ионосфере над областью катастрофического землетрясения Тохоку, которое произошло 11 марта 2011 г. вблизи восточного побережья Японии. Изучались нормированные вариации указанных величин за несколько дней до и после форшока и основного толчка. После исключения суточных вариаций методом «скользящего среднего» были выделены аномальные значения обоих параметров, предшествующие форшоку и основному толчку. Обнаруженные аномалии можно условно разделить на две группы: первые появляются за сутки до толчка, вторые – за несколько часов. Сопоставление пространственной локализации и времени появления аномалий позволяет сделать предположение о «стягивании» аномалий к эпицентру по мере роста напряжения в коре и приближения толчка.

Ключевые слова: сейсмо-ионосферные связи, предвестники землетрясений, землетрясение Тохоку, радиозондирование ионосферы

Введение. Изучение состояния ионосферы перед сильными землетрясениями дает не только расширенное понимание того, что происходит в очаге и зоне подготовки землетрясения, но и указывает принципиальную возможность использовать сейсмоионосферные явления как предвестник землетрясений. Бесстолкновительная плазма верхней ионосферы реагирует на слабые электрические поля или движения нейтральной компоненты. Благодаря высокой проводимости ионосферной плазмы вдоль геомагнитного поля крупномасштабные возмущения электрического поля переносятся без ослабления в верхнюю ионосферу вдоль геомагнитных силовых линий. При изучении динамики ионосферной плазмы используются такие параметры, как критическая частота foF2, которая является показателем максимальной плотности электронов в ионосфере и измеряется станциями вертикального зондирования ионосферы. Также используются данные о задержках сигналов глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), по которым можно оценить полное электронное содержание (ПЭС) по трассе распространения сигнала от спутника до приемника. Используя различные модели ионосферы, можно рассчитать вертикальные значения ПЭС и сформировать соответствующие глобальные карты с высоким разрешением по пространству, при условии использования достаточно плотной сети наземных приемников (к примеру, сети GEONET в Японии, включающей в себя ~1200 станций).

Исходные данные и методика обработки. В настоящей работе в качестве исходных данных использованы глобальные карты ПЭС над Японией с разрешением 30 с на сетке 0,5х0,5 градусов, полученные по результатам обработки сигналов ГНСС, принятых станциями сети GEONET, и опубликованные на сайте Отделения исследования ионосферы и околоземного космического пространства Университета Нагойя, Япония [1]. Для сравнения использованы глобальные карты ПЭС, полученные с использованием модели gAGE/UPC Университета Каталонии, Испания [2] в тех же временных и пространственных координатах, с временным разрешением 15 минут и 2 часа. В качестве дополнительных данных использованы измерения критической частоты *foF2* на станциях вертикального

зондирования ионосферы, доступные на сайте Национального института информационнотелекоммуникационных технологий (NICT), Япония [3]. Для учета геомагнитной и солнечной активности использованы временные ряды магнитного индекса SME [4], интенсивности излучения Солнца на длине волны 10.7 см [5] и солнечных вспышках [6].

В качестве анализируемого параметра выбрано интегральное значение ПЭС по области повышенной сейсмической активности, которая покрывает Японию и эпицентры форшока и основного толчка. Такой выбор был обусловлен следующим. Во-первых, землетрясение не точечный процесс и охватывает большую площадь. Поэтому анализ аномальных явлений в ионосфере, связанных с сейсмической активностью, также необходимо проводить не в отдельной точке над эпицентром, а по области, охваченной сейсмической активностью. Во-вторых, «точечные» показатели более подвержены случайным ошибкам, чем интегральные, а интегрирование по достаточно большой пространственной области позволяет существенно снизить уровень случайных ошибок. В-третьих, точная пространственная локализация явления не требуется, место сейсмического события нам хорошо известно. Интерес представляет локализация ионосферных возмущений по времени, а именно, поиск предвестников сильных сейсмических толчков.

На рисунке 1 показана область исследования, положение эпицентра основного толчка и станции вертикального зондирования ионосферы, координаты которых приведены в таблице 1.



Рисунок 1 – Карта области землетрясения Тохоку, точками обозначены границы тектонических плит. Звездочка – эпицентр землетрясения 11 марта 2011 года. Кружки – станции вертикального зондирования ионосферы. Квадрат в центре – область интегрирования ПЭС, границы которой: 26-46 С.Ш. на 128-148 В.Д.

Таблица 1 – Обозначения и координаты станций вертикального зондирования ионосферы

Обозначение	Название объекта	Широта	Долгота
OKI	Okinawa	26°41'N	128°09'N
KOK	Kokubunji	35°43'N	139°29'E
WAK	Wakkanai/Sarobetsu	45°10'N	141°45'E
YAM	Yamagawa	31°12'N	130°37'E
EQ	Tohoku Earthquake	38.32°N	142.37°E

Чтобы исключить суточные вариации ПЭС за счет солнечной активности, мы использовали метод «скользящего среднего» с периодом 7 суток. Выборка данных сформирована за период с 19 февраля по 16 марта 2011 года. В период с 19 по 28 февраля солнечная активность была на минимуме (см. рис. 2), в то время как с 1 по 16 марта 2011 г. наблюдался всплеск солнечной активности, пик которого пришелся на 8 марта 2011 г. С 7 по 10 марта 2011 г. наблюдалось несколько слабых и умеренных солнечных вспышек, параметры которых приведены в таблице 2. Всплески возмущений геомагнитного поля наблюдались с 19 по 22 февраля, с 1 по 5 и с 10 по 14 марта 2011 г.

Результаты и обсуждение. На рисунке 2 на верхней панели приведены графики вариаций интегрального ПЭС, рассчитанного по измерениям задержки сигналов навигационных спутников, а также по расчетам с использованием модели gAGE/UPC с разрешением 15 минут и 2 часа. На нижней панели приведены графики изменения индекса F10.7 и SME. Серые области обозначают солнечные вспышки и их длительность.



Рисунок 2 – Верхняя панель: вариации интегрального значения ПЭС (данные университета Нагойя, сплошная линия) за период с 19.02.2011 по 16.03.2011 по области: 26-46 С.Ш. на 128-148 В.Д.; по расчетам с использованием модели gAGE/UPC с разрешением 15 минут (пунктирная линия) и 2 часа (штрих-пунктирная линия. Нижняя панель: радиоизлучение Солнца 10.7 см (2800 Гц), магнитный индекс SME и солнечные вспышки за период с 19 февраля по 16 марта 2011 г.

Дата вспышки	Начало вспышки	Конец вспышки	Класс вспышки M: 0,5-1,0*10 ⁻⁴ Вт/м ² X: >10 ⁻⁴ Вт/м ²	Интегральный поток, Дж/м ²
08.03.2011	02:24	02:38	M1.3	0.0032
08.03.2011	03:37	04:20	M1.5	0.028
08.03.2011	10:35	10:55	M5.3	0.034
08.03.2011	18:08	18:41	M4.4	0.057
08.03.2011	19:46	21:19	M1.4	0.067
09.03.2011	10:35	11:21	M1.7	0.026
09.03.2011	13:17	14:13	M1.7	0.023
09.03.2011	23:13	00:16	X1.5	0.067
10.03.2011	22:34	22:49	M1.1	0.0058

Таблица 2 – Параметры солнечных вспышек за период 8-9 марта 2011 года

Анализ данных в интервале с 19 февраля по 16 марта 2011 г. позволяет объективно оценить вклад внешних факторов в повышение уровня ПЭС. К примеру, в период с 3 по 15 марта 2011 включительно наблюдались аномалии интегрального ПЭС относительно модельных данных (модель UPC), которые частично коррелируют с повышенной активностью Солнца (индекс F10.7 на средней панели) и возмущениями магнитного поля

Земли (индекс SME). Но даже с учетом повышенного фона солнечной активности, следует отметить существенные вариации измеренного ПЭС от 5 и 8 марта 2011 г. на 130% и 150% выше среднего.

На рисунке 3 приведены вариации критической частоты foF2, измеренные четырьмя станциями вертикального зондирования ионосферы, расположенными на различных расстояниях от эпицентра землетрясения. Данные четырех станций вертикального зондирования дополняют друг друга. На станции Окинава, которая расположена дальше всех от эпицентра землетрясения, существенное повышение foF2 наблюдалось 5 и 8 марта, за трое суток и менее суток до форшока, соответственно, а также 10 марта, за сутки до основного толчка. Станция Кокубунжи расположена ближе всех к эпицентру. На ней также наблюдались небольшие повышения foF2 от 5 и 8 марта, но более умеренные.



Рисунок 3 – Вариации *foF2* над ионосферными станциями по данным NICT Ionosonde Data (Япония) за период с 19 февраля по 16 марта 2011 г.



Рисунок 4 – Верхняя панель: вариации интегрального ПЭС за период с 8 по 11 марта 2011 года, средняя панель: радиоизлучение Солнца 10.7 см (2800 Гц), магнитный индекс SME и солнечные вспышки, нижняя панель: вариации *foF2* над ионосферными станциями по данным NICT Ionosonde Data (Япония) за период с 8 по 11 марта 2011 года

На рисунке 4 показан временной интервал с 8 по 11 марта, что позволяет изучить часовые вариации исследуемых параметров. Примерно за 27 часов до форшока 9 марта наблюдалось аномальное повышение интегрального ПЭС (на 150% от среднего), длительность аномалии составила около 9 часов. Также наблюдалось менее выраженное повышение ПЭС за период порядка часа до форшока. На модельных данных UPC среднего (15 мин) и низкого (2 часа) разрешения такого сильного повышения не видно.

За сутки до основного землетрясения 11 марта наблюдалось аномальное повышение интегрального ПЭС умеренной амплитуды (примерно на 110% от среднего), длительностью около 5 часов. Примерно за 1-2 часа до основного толчка наблюдалось аномальное повышение интегрального ПЭС (до 130% выше среднего) на фоне отсутствия значимого повышения на модельных данных.

Выводы. Согласованный анализ вариаций интегрального ПЭС над областью землетрясения показывает появление ионосферных аномалий над областью землетрясения (а) примерно за сутки (20-25 часов) и (б) за 1-2 часа перед форшоком и основным толчком. Повышение foF2 за сутки до толчков наиболее ярко проявляется на станции Окинава, максимально удаленной от эпицентра землетрясения. Повышение foF2 за часы до толчка более заметно на станции Кокубунжи, расположенной ближе всех к эпицентру. Возможно, аномальные явления в ионосфере «стягиваются» с периферии по направлению к эпицентру по мере нарастания напряжения земной коры.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 22-17-00125 «Физический анализ сейсмо-электромагнитных явлений на Камчатском геодинамическом полигоне: модернизация системы наблюдений и теоретическое моделирование»).

Литература

- 1. Global Navigation Satellite System Total Electron Content (GNSS-TEC) database by Institute for Space-Earth Environmental Research (ISEE), Nagoya University, Japan. https://stdb2.isee.nagoya-u.ac.jp/GPS/GPS-TEC/index.html
- 2. Global ionosphere maps by Research group of Astronomy and Geomatics, Technical University of Catalonia (gAGE/UPC) at NASA's Archive of Space Geodesy Data. GNSS Atmospheric Products.

https://cddis.nasa.gov/Data_and_Derived_Products/GNSS/atmospheric_products.html#iono

- 3. Ionosonde observations in Japan by National Institute of Information and Communications Technology, Japan. https://wdc.nict.go.jp/IONO/index_E.html
- 4. SuperMAG Magnetic Indices. https://supermag.jhuapl.edu/indices/
- 5. F10.7 cm Radio Emissions at Space Weather Prediction Center of National Oceanic and Atmospheric Administration. https://www.swpc.noaa.gov/phenomena/f107-cm-radio-emissions
- 6. Catalog of Solar Flare Events with X-ray Classes M1 X>17.5. XXIV Cycle of Solar Activity by V.N. Ishkov, IZMIRAN, DOI: https://doi.org/10.2205/ESDB-SAD-FE-02

ПРЕЦИЗИОННОСТЬ, ПРАВИЛЬНОСТЬ И ТОЧНОСТЬ СРЕДНЕСУТОЧНОЙ ПОЗИЦИИ ПО ДАННЫМ GPS И ГЛОНАСС В ПРОГРАММЕ GAMIT/GLOBK

Саламатина Ю.М. salam_yuliya13@mail.ru Научная станция РАН, г. Бишкек, Кыргызстан

В данной работе рассмотрены качественные характеристики методов измерений «правильность», «прецизионность» и «точность» и их взаимосвязь, а также их применение к ГНСС методам на основании анализа 3 наборов координат для каждой из 9 ГНСС станций, рассчитанных использованием только GPS, только ГЛОНАСС и GPS+ГЛОНАСС. На одной из станций проводился эксперимент с использованием геодезического координатного столика 3D-корректора, который позволяет смещать антенну в заданном направлении на заданное число мм. Правильность координат (на сколько они близки к истинной позиции) мы можем оценить только путем проведения регулярных многолетних наблюдений на станциях. Прецизионность (на сколько близки и согласованы между собой проведенные в разное время измерения на одной и той же станции) зависит от интервала вариаций координат. Точность же учитывает оба параметра. Для экспериментальной станции лучшую прецизионность показал совместный режим GPS+ГЛОНАСС, для остальных ГНСС станций - только GPS.

Ключевые слова: гнсс, точность, прецизионность, правильность, gps, глонасс, glonass, accuracy, precision, trueness

Четкие определения основных терминов прецизионность, правильность, точность, используемых для описания качества измерений, необходимы при представлении результатов измерений и для взаимодействия между учеными. Одно время в русскоязычной среде термин «точность» использовался, распространяясь лишь на одну составляющую, именуемую теперь правильностью. Нет ничего удивительного в том, что все три термина могут ассоциироваться с одним и тем же значением, ведь в повседневной жизни их часто объединяют. Но в метрологии и статистике эти термины имеют принципиальные различия. Для прояснения терминов, мы далее будем опираться на международные стандарты.

Прецизионность (precision, measurement precision) характеризует, на сколько близки друг к другу и согласованы между собой независимые результаты измерений, которые были получены в ходе повторных измерений на одном и том же или аналогичном объекте в регламентированных условиях [1-4]. Условия повторяемости, промежуточной прецизионности и условия воспроизводимости являются особыми наборами экстремальных оговоренных условий [5]. Таким образом, прецизионность показывает, насколько разбросаны измерения друг относительно друга, и может быть оценена только на большом количестве измерений.

Статистически прецизионность обычно выражается через такие меры неточности, как стандартное отклонение результатов измерений, дисперсия или интервал вариации [2, 3]. Чем меньше стандартное отклонение измерений и близость к нулю случайной погрешности измерений (random errors), тем больше прецизионность (high precision).

Наглядно прецизионность продемонстрирована ниже на рисунке 1. Здесь изображены 4 мишени, центры которых представляют собой эталонное значение. Светло-зеленые крестики – это результаты измерений, а темно-зеленый крестик – среднее этих измерений. На мишенях (рисунок 1(a, c)) результаты измерений сильно отстоят друг от друга. В этом случае большее стандартное отклонение (dispersion) (радиус зеленого круга) и случайная ошибка (random error) характеризуют низкую прецизионность (low precision). На рисунке 1 (b, d)

наоборот наблюдается высокая прецизионность (high precision), поскольку случайная погрешность измерений близка к нулю и соответственно дисперсия не велика.



Рисунок 1 – Взаимосвязь истинности (trueness), прецизионности (precision) и точности (accuracy). Центр мишени – эталонное значение; светло-зеленые крестики – результаты измерений; темный крестик – среднее всех измерений

Прецизионность относится к результатам измерений, а не к инструментам, используемым для их получения. Поэтому когда используется термин "высокая прецизионность" по отношению к измерительному прибору, например ГНСС антенне, то имеется в виду ее способность улавливать даже слабые сигналы максимально возможного числа спутников на всех рабочих частотах, обеспечивая подавление многолучевости, что отражается в стабильности и минимальных отклонениях фазового центра антенны.

Также случайные ошибки (random errors) в ГНСС измерениях могут быть вызваны взаимодействием окружающей среды с измеряемым объектом. Потому при расчете позиции важно использовать финальные орбиты спутников, поправки атмосферу и ионосферу, параметры ориентации земли.

Важно отметить, что прецизионность сама по себе недостаточна, поскольку результаты измерений могут быть очень сгруппированы, но все равно далеки от истинного значения измеряемой величины. Насколько результаты измерений близки к истинному (действительному) значению измеряемой величины показывает **правильность (trueness)**. Если же эталон измеряемой величины отсутствует, то правильность показывает, на сколько хорошо согласуются среднее от большого количества результатов измерений (или результатов испытаний) и принятое опорное (или эталонное) значение [1, 2, 4].

Математически истинность выражается как разница между средним значением большого числа измерений x и эталонным (или же опорным) значением xRef: npaвильность = |x - xRef|, что представляет собой систематическую погрешность (bias). Систематическая погрешность (bias), в отличие от вышеупомянутой случайной погрешности (random errors), является суммарной величиной [1, 4].

На рисунке 1 (a, b) измерения имеют высокую правильность (high trueness), так как среднее значение измерений (тёмный крестик) близко к истинному значению (центр мишени). Если правильность измерений низкая (low trueness), среднее значение серии измерений далеко от истинного значения и отстоит на расстоянии bias (рис. 1(c, d)).

В ГНСС вместо термина «trueness» используют bias [6]. Например, дифференциальные кодовые задержки (differential code biases, DCB) представляют собой суммарную величину, состоящую из задержек спутника и приемника. Используются для того, чтобы приемник откорректировал псевдодальности с использованием поправок на спутники, рассчитанных от опорной станции. Третий термин точность (accuracy) учитывает обе характеристики – правильность и прецизионность, и выражает суммарное отклонение результата от эталонного (или опорного) значения, вызванное случайными и систематическими причинами [1, 2, 4]. Точность – это универсальная цель при проведении измерений, достижение которой гарантирует, что все люди во всем мире измеряют одинаковые метры, секунды, килограммы и т.д. И все же при получении высоких прецизионности и правильности, в измерениях все равно будет присутствовать некоторая неопределенность измерения (measurement uncertainty), которая описывает диапазон, где ожидаемо, будет лежать истинное значение. При выполнении измерений необходимо оценить неопределенность и убедиться, что она приемлема для конкретной поставленной задачи. Например, неопределенность при расчете координат ГНСС станций в диапазоне первых миллиметров не нужна для задач прикладной геодезии, но требуется при анализе ко-сейсмических смещений или мониторинге активных разломов.

Ниже на рисунке 2 по материалам [7, 8] представлена схема, чтобы в общих чертах наглядно продемонстрировать вышеописанные качественные характеристики, типы соответствующих ошибок измерений, их количественное выражение и взаимосвязь.



Рисунок 2 – Описание и взаимосвязь показателей качества измерений

Далее мы применим эти качественные характеристики к конкретной задаче – на сколько совместное использование GPS и ГЛОНАСС дает качественную позицию по сравнению с отдельным использованием только системы GPS и только ГЛОНАСС для расчета позиции. Для этого используем данные пяти постоянно действующих станций BIK0, POL2, POL3, POL7, POLY и экспериментального пункта POL9, на которых проводятся GPS (G) и ГЛОНАСС (R) наблюдения. Станция BIK0 расположена на территории г. Бишкек, остальные POL* – на территории научной станции PAH, в 20 км южнее Бишкека. Взаимное расстояние между станциями POL* менее 1 км. Расстояние между самыми удаленными друг от друга станциями 23,5 км (рис. 3).



Рисунок 3 – Расположение исследуемых ГНСС станций

На экспериментальном пункте POL9 в течение 8 дней с 222-го дня 2023 г. по 229 день проводился эксперимент с использованием геодезического координатного столика 3D-корректора (рис. 4). Эксперимент состоял в смещении ГНСС антенны в направлении севера, востока и по высоте одновременно на ± 40 мм [9].



Рисунок 4 – 3D-корректор с установленной на нем антенной на пункте POL9 (a); время заданных смещений антенны (b), идентично для всех направлений N,E,U, зеленая пунктирная линия - среднее значение за сутки, численно отраженное в табличке (c)

Данные со станций рассчитывались в программном пакете GAMIT/GLOBK (MIT) [10] с учетом поправок на атмосферу, ионосферу, приливные воздействия, параметры вращения земли, качества орбит наблюдаемых спутников с использованием 3-х режимов: только GPS (G), только ГЛОНАСС (R) и GPS+ГЛОНАСС (GR). На выходе программы мы получаем временные ряды координат, усредненных за 24 часа, в системах XYZ, LonLatHeight, NEU. В этой работе мы будем опираться на координаты NEU, поскольку топоцентрическая система более наглядна для сравнения позиций станций BIK0, POL2, POL3, POL7, POLY и экспериментальной POL9 с использованием разных ГНСС. В системе NEU ось N лежит по направлению на север в плоскости местного меридиана, ось Е перпендикулярна N и положительна на восток, ось U положительна над поверхностью горизонта. Единица измерения здесь и далее – миллиметры



Рисунок 5 – Временные ряды компонент NEU, полученные в GAMIT/GLOBK при использовании GPS для BIK0 и POL9. По оси абсцисс – номер дня в году, по оси ординат – мм, каждая точка – усредненное значение за сутки

Таким образом, мы для каждой станции получаем три набора координат NEU в соответствующих режимах G, R, GR. Выше на рисунке 5 даны примеры временных рядов координат NEU с использованием только режима GPS (G).

Чтобы иметь возможность сравнивать между собой координаты станции, полученные в режимах G, R, GR отобразим компоненты NE на одной плоскости (рис. 6). На рисунке красный круг – область, куда попадают все точки GPS (G) измерений, зеленый круг содержит только ГЛОНАСС (R) измерения, синий круг – GPS+ГЛОНАСС (GR). Центр красного круга G мы поместили в начало системы координат лишь потому, что с момента введения метода космической геодезии до относительно недавнего времени позиции рассчитывались только по GPS данным. А также это позволило показать, насколько в среднем отстают друг от друга данные, полученные в разных режимах (табл. 1) – разница между центрами окружностей в NE и разность средних U (рис. 6). Для станции POL9 мы предварительно исключили заданные смещения 3D-корректора путем вычитания их значений (рис. 4с) из каждой координаты (рис. 5b). Компоненту U в разных режимах также отобразим на графике (рис. 6).



Рисунок 6 – Координаты NEU для каждой станции при режимах G (красный), R (зеленый), GR (синий) в виде пары графиков. Для плоскости NE ось абсцисс E, ось ординат N. Для графиков высот ось абсцисс – номер дня, ось ординат U

Апеллируя к рассмотренным выше терминам, если бы нам было известно истинное значение, то отклонения, указанные в таблице 1 считались за системную ошибку и

характеризовали правильность расчетов в разных режимах G, R, GR. Истинные координаты рассмотренных станций нам неизвестны, т.к. на территории Кыргызстана наблюдаются движения ГНСС пунктов (до 2 см/год [11]). Поэтому мы можем только оценить правильность путем проведения регулярных многолетних наблюдений на этих станциях. В случае экспериментальной станции POL9 не все так однозначно: либо мы принимаем заданные смещения с помощью 3D-корректора за эталон и тогда отклонения от эталона количественно позволяют оценить правильность, либо заданные смещения – одно из слагаемых систематической ошибки.

Таблица 1 – Отклонения средних значений по всем измерениям в режимах ГЛОНАСС и GPS+ГЛОНАСС от GPS в плане (NE) и по вертикали (U)

		BIK0	POL2	POL3	POL7	POLY	POL-3Dcorr
C D	NE	2.8	2.8	2.8	2.9	2.4	2.7
G-K	U	2.4	2.5	2	9.2	0.3	1.4
C CD	NE	1.1	1.1	1.2	1.4	0.9	1.1
G-GK	U	0.6	0.6	0.9	3.7	0.2	0.5

Интервал вариаций для каждой компоненты NEU дает нам представление о прецизионности (табл.2) в численных значениях.

Таблица 2 – Интервал вариаций координат NEU для 6 станций при режимах GPS, ГЛОНАСС, GPS+ГЛОНАСС

	BIKO				POL	2	POL3		
	N	E	U	Ν	Е	U	Ν	Е	U
G	0.4	1.3	8.2	0.5	1.1	8.2	0.7	0.9	8.4
R	2.7	4.5	12.3	2.8	4.9	12.2	5.1	8.4	16.8
GR	1.6	2.4	8.5	1.6	2.4	8.5	2.7	3.1	9.3
	POL7								
	-	POL	7		POLY	Y	PO	L9-3D	corr
	N	POL' E	7 U	N	POLY E	Y U	PO N	L9-3D E	corr U
G	N 1.0	POL' E 2.2	7 U 8.5	N 0.8	POLY E 1.0	Y U 8.6	PO N 6.4	L9-3D E 13.0	corr U 10.1
G R	N 1.0 3.4	POL' E 2.2 8.0	7 U 8.5 19.5	N 0.8 2.9	POLY E 1.0 4.4	Y U 8.6 16.1	PO N 6.4 5.3	E 13.0 17.3	Corr U 10.1 21.8

Графически о прецизионности мы можем судить по размерам кругов на рисунке 6 – чем меньше круг, тем больше прецизионность. Для всех постоянно действующих станций (BIK0, POL2, POL3, POL7, POLY) большая прецизионность наблюдается при использовании только данных GPS и меньшая при ГЛОНАСС, а для экспериментального пункта POL9 большая прецизионность достигается при совместном режиме GPS+ГЛОНАСС.

Резюмируя, подчеркнем важность в понимании принципиального различия качественных характеристик «правильность», «прецизионность» и «точность» при проведении измерений и исследований. В данной работе мы не смогли оценить правильность координат, рассчитанных в режимах только GPS (G), только ГЛОНАСС (R) и GPS+ГЛОНАСС (GR), но выяснили, на сколько в среднем они отклоняются друг от друга: в плане R отклоняется от G на 2.4-2.9 мм, по высоте 1.4-9.2 мм, отклонения GR от G в плане составляют 0.9-1.4 мм, по высоте 0.2-3.7 мм. Это означает, что координаты, полученные при G и GR, не сильно отличаются. Так же мы по интервалу вариаций координат NEU оценили

прецизионность режимов: для экспериментальной станции POL9 лучше всего себя показал режим GPS+ГЛОНАСС, для остальных – только GPS.

Работа выполнена в рамках государственного задания Научной станции РАН в г. Бишкеке (тема «Исследование современных движений земной коры Тянь-Шаня и прилегающих территорий методами наземной и космической геодезии»).

Литература

- 1. ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 1. Основные положения и определения. М.: Стандартинформ. 2009. 36 с.
- 2. ISO 3534-2:2006(en). Statistics Vocabulary and symbols Part 2: Applied statistics // International Organization of Standardization, 2006.
- 3. ISO/DIS 19116(en)Geographic information Positioning services // International Organization of Standardization / International Organization of Standardization, 2019
- 4. РМГ 29-2013. Метрология. Основные термины и определения // Государственная система обеспечения единства измерений: Рекомендации по межгосударственной стандартизации от 05.12.2013 N 29-2013. М.: Стандартинформ. 2014.
- 5. ISO 3534-2:2006(en). Statistics Vocabulary and symbols Part 1: General statistical terms and terms used in probability // International Organization of Standardization, 2006
- ISO 24246:2022(en) Space systems Requirements for global navigation satellite system (GNSS) positioning augmentation centers // International Organization of Standardization, 2022.
- Menditto A., Patriarca M., Magnusson B. Understanding the meaning of accuracy, trueness and precision. Fccreditation and Quality Assurance, 2007. P 45–47. DOI: 10.1007/s00769-006-0191-z.
- 8. Асланов З.Ю., Зейналова М.С. Правильность и прецизионность методов и результатов измерений // Современные инновации. 2016. №6 (8). С. 32–38.
- Саламатина Ю.М. Исследование влияния на точность внутрисуточного позиционирования различных навигационных систем // Современная тектонофизика. Методы и результаты. Материалы восьмой молодежной тектонофизической школысеминара, г. Москва, 9-12 октября 2023 г. М.: ИФЗ РАН. 2023. С. 170–174.
- 10. GAMIT/GLOBK [Электронный ресурс] http://geoweb.mit.edu/gg/
- Зубович А.В., Бейсенбаев Р.Т., Ван С., Джан Ю., Кузиков С.И., Мосиенко О.И., Нусипов Е.Н., Щелочков Г.Г., Щерба Ю.Г. Современная кинематика Тарим-Тянь-Шань-Алтайского региона Центральной Азии (по данным GPS измерений) // Физика Земли. 2004. № 9. С. 31–40.

ВЫДЕЛЕНИЕ ПЕРВООЧЕРЕДНЫХ УЧАСТКОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАБОТ В ЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЯХ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЮГО-ЗАПАДНЫХ ОТРОГОВ ГИССАРСКОГО РЕГИОНА

Саотов М.Х.¹, Хожиев Б.И.²

muzaffar.saotov@bk.ru, bixojiyev@mail.ru ¹ АО «Узбекгеофизика», г. Ташкент, Узбекистан ² Ташкентский государственный технический университет им. И. Каримова, г. Ташкент, Узбекистан

Авторами статьи проведен анализ геологоразведочных работ, проведенных в восточной части Юго-западных отрогов Гиссарского региона. Рассчитан объем выполненных сейсморазведочных работ 2D и 3D в рамках отдельных крупных тектонических элементов. В результате чего тектонические элементы были ранжированы по степени изученности сейсморазведочными исследованиями и глубоким бурением. Проведен комплексный сопоставительный анализ геолого-геофизических данных, материалов бурения скважин, а также дешифрирования космофотоснимков. В результате анализа геолого-геофизических материалов и с учетом достаточно слабой изученности геологоразведочными исследованиями в сосмофотоснимков. В результате анализа геолого-геофизических материалов и с учетом достаточно слабой изученности геологоразведочными исследованиями восточной, северной и центральной части Дехканабадского прогиба, авторами статьи предлагается проведение поисково-детализационных сейсморазведочных работ в пределах восточной части Юго-западных отрогов Гиссарского региона с целью подготовки к поисковому бурению по юрским карбонатным и терригенным отложениям площадей Кизилтилла, Элликбаш, Хизирназар, Султонработ, Марказий Дехканабад, Кизилжар, Исакмулла, Шаркий Гумбулак и др., а также выявления новых перспективных площадей и объектов.

Ключевые слова: прогиб, горизонт, литология, стратиграфия, ловушки, бурение, скважина, сейсморазведка, структуры.

В тектоническом отношении исследуемый район расположен в пределах восточной части Юго-западных отрогов Гиссарского региона. Мегантиклиналь Юго-западных отрогов Гиссара ограничена с востока и запада Байсун-Кугитанским региональным разломом и тектоническими нарушениями Караиль-Лянгарской флексурно-разрывной зоны. На севере граница проводится по Южно-Гиссарскому разлому. На юге – Репетекским разломом мегасинклиналь отделяется от Ахчинского седла. Размеры описываемой структуры составляют 200х100 км [1].

На исследуемой территории выполненный объём сейсморазведочных работ 2D составляет 6642 пог.км, средняя плотность покрытия сети профилей 2D – 1,82 пог.км/км². В восточной части Юго-западных отрогов Гиссарского региона сейсморазведочные работы 3D не выполнялись [2].

Обобщение проведенных геологических, геофизических исследований и результаты поисково-разведочного бурения восточной части Юго-западных отрогов Гиссарского региона показали, что районы восточной части и южного борта Дехканабадского прогиба слабо изучены бурением, также на низком уровне находится и сейсмическая изученность указанных территорий.

В связи с этим, одним из перспективных направлений для дальнейшего увеличения сырьевой базы углеводородов является изучение относительно малоисследованных территорий и отложений глубокопогруженных горизонтов осадочного чехла в пределах восточной части Юго-западных отрогов Гиссарского региона.

Сопоставление результатов сейсморазведочных работ МОГТ с данными глубокого бурения показывает, что сейсморазведка МОГТ может с достаточной степенью точности

решать различные сложные задачи, такие как оконтуривание зон аномального сокращения мощностей нижних солей, приуроченных обычно к рифовым массивам, зонам выклинивания горизонтов, оконтуривание антиклинальных структур, определение с большой точностью разрывных нарушений и т.д.

Общими особенностями строения юрского карбонатного резервуара Юго-западных отрогов Гиссара являются: слоисто-линзообразный характер размещения коллекторов и разделяющих их уплотненных пород в верхней части резервуара (XV-HP горизонт) и преимущественно массивный характер их в нижней части (XV-P), широкое развитие трещиноватости в объеме всего резервуара, обеспечивающий гидродинамическую связь между всеми коллекторами, а также промышленную продуктивность низко пористых коллекторов, широко распространенных в отложениях XV-ПР горизонта, массивный или массивно-пластовый тип приуроченных к нему углеводородных залежей.

Региональной покрышкой всех месторождений служит соляно-ангидритовая толща титона, которая является надежным экраном, препятствует миграции углеводородов и в сочетании с высокопористыми коллекторами создает благоприятные условия для их аккумуляции в карбонатных отложениях.

В то же время результаты исследований показывают, что регион имеет сложное геологическое строение, нефтеносные, газоносные, нефтегазоносные и нефтегазкондесатные залежи распространены в широком стратиграфическом диапазоне и регионально. В мезозойских отложениях присутствуют мощные прослои соли и ангидрита, а также наличие подсолевых коллекторов. Это показывает необходимость подхода к вопросу со всех сторон, необходимо учитывать роль разломно-блоковой тектоники в формировании отдельных и региональных структур.

Предварительные результаты проведенных работ указывают на необходимость продолжения геологоразведочных работ на этих участках.

В настоящее время сейсморазведочные работы МОГТ в комплексе с ВСП являются практически единственными методами, по результатам которых выполняются структурные построения, определяется место заложения глубоких скважин. Однако, учитывая сложные геолого-тектонические условия региона, разрешающая способность этого метода далеко не однозначна.

Хочется отметить, что сложная тектоника района исследований и наличие в его разрезе осадочных комплексов, часть из которых представлена хорошими коллекторами, а часть-качественными покрышками, обусловливает благоприятные условия для развития структурных ловушек углеводородов. В связи с этим первоочередное значение имеет детальный анализ структурных элементов, режима и стиля деформаций пород.

Данное надо учитывать при проведении сейсмических работ, т.к для изучаемого региона остается актуальным изучение соотношения структурных планов по подсолевым и надсолевым отложениям, закартированных локальных объектов.

В данном регионе, основным объектом поисково-разведочных работ на нефть и газ являются юрские карбонатные отложения. Дополнительными объектами работ могут служить нижне-среднеюрские терригенные отложения. При этом не исключено, что на некоторых площадях залежи могут быть открыты в нескольких секциях разреза.

Кроме этого, остается до настоящего времени нерешенным характер тектонического сочленения Юго-западных отрогов Гиссара с Сурхандарьинской мегасинклиналью. Этот вопрос может найти свое решение путем постановки дополнительных сейсмических работ в зоне сочленения регионов, что в дальнейшем обеспечит обнаружение неглубокозалегающих локальных нефтегазоперспективных объектов структурного и неструктурного типов. Следует также отметить, что изученность района остается на порядок ниже, чем изученность западных районов Гиссарского региона. Причина заключается в сложном строении рельефа [3].

И еще надо отметить особенности строения юрских карбонатных отложений югозападных отрогов Гиссара, где широко развиты трещинноватость, которая обеспечивает гидродинамическую связь между всеми коллекторами, а также промышленную продуктивность низкопористых коллекторов.



Рисунок Схема рекомендуемых плошалей 1 размещения лля проведения сейсморазведочных работ в восточной части Юго-западных отрогов Гиссарского региона. Составил: М.Х. Саотов, 2024г. (по материалам филиала «ЯГЭ»). 1-границы тектонических элементов; 2-границы платформенной и орогенной областей; 3- государственная граница Республики Узбекистан; 4-газовые залежи; 5-нефтяные залежи; 6-нефтегазовые залежи; 7контуры инвестиционных блоков; 8-объекты, находящиеся в бурении; 9-объекты, находящиеся в фонде 03 ГР; 10-объекты, выведенные из поискового бурения; 11выявленные нефтегазоперспективные объекты; 12-граница барьерного рифа (по П.У. Ахмедову, З.С. Убайходжаевой) а) фронтальная б) тыловая; 13-рекомендуемые площади для проведения сейсморазведочных работ.

Как уже было сказано, в целом, в Гиссарском регионе были опоискованы 39 подготовленных структур, из них 18 оказались месторождениями. Средний коэффициент удачи открытия месторождений в юрских карбонатных отложениях Гиссарского региона составляет 0,4. Все открытые месторождения расположены в северной части Гиссарского региона, только одно месторождение – Сагиртау находится на изучаемой территории, на

юго-восточном борту Дехканабадского прогиба и пока является единственным месторождением в этой зоне.

В юрских терригенных отложениях осадочного чехла до настоящего времени залежи УВ не обнаружены и вопрос о перспективах нефтегазоносности этих отложений остается открытым. Очевидно, что карбонатная формация обладает наиболее благоприятными условиями для концентрации в ней скоплений УВ: в ее составе имеются собственные нефтегазопроизводящие отложения и широко развиты различные типы коллекторов, перекрытые надежным флюидоупором – мощной толщей соленосных отложений.

В связи с этим в целях изучения геологического строения перспективных нефтегазовых объектов, относящихся к юрским карбонатным и терригенным отложениям северо-восточной и юго-восточной части Дехканабадского прогиба юго-западного отрогов Гиссарского хребта, и подготовки наиболее перспективных из них к глубокому бурению, рекомендуется провести поисковую и поисково-детальную сейсморазведку 2D и 3D.

Заключение. Выполненный анализ имеющихся геолого-геофизических материалов по выявленным, подготовленным и опоискованным площадям восточной части югозападных отрогов Гиссара, определил участки для дальнейшего проведения поисководетализационных сейсморазведочных работ с целью подготовки к поисковому бурению по юрским карбонатным и терригенным отложениям площадей Кизилтилла, Элликбаш, Хизирназар, Султонработ, Марказий Дехканабад, Кизилжар, Исакмулла, Шаркий Гумбулак и др., а также выявления новых перспективных площадей и объектов (рис. 1).

Литература

- 1. Абидов А.А. Нефтегазоносность литосферных плит. Ташкент: Фан. 2009. 28 с.
- 2. Соатов Х.Ж. Поисковые сейсморазведочные работы ОГТ на северном и южном бортах Дехканабадского прогиба. Отчёт Гарбатинской с/п №4/06-09. Пос. Яккабаг. 2009. Фонды филиала «ЯГЭ».
- 3. Ситдиков Б.Б. Тектоноплитные критерии раздельного прогноза месторождений нефти и газа в Гиссарском регионе // Узбекский журнал нефти и газа. 2010. № 3. С. 11–14.

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ И БУРОВОЙ ИЗУЧЕННОСТИ МЕЗОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЮГО-ЗАПАДНЫХ ОТРОГОВ ГИССАРСКОГО РЕГИОНА

Саотов М.Х.¹, Хожиев Б.И.² *muzaffar.saotov@bk.ru, bixojiyev@mail.ru* ¹ АО «Узбекгеофизика», г. Ташкент, Узбекистан ² Ташкентский государственный технический университет им. И. Каримова, г. Ташкент, Узбекистан

Авторами статьи проведен детальный анализ состояния изученности восточной части отрогов Гиссарского региона, основанный Юго-Западных на изучении научноисследовательских работ по данной территории, комплексном анализе материалов геофизической изученности – сейсморазведки, гравиразведки, аэромагниторазведки и Подробно описано состояние электроразведки. буровой изученности каждого тектонического элемента в отдельности, в результате чего вычислена плотность проведенного бурения на единицу площади, дана оценка степени изученности данной территории. Даны рекомендации на продолжение изучения относительно малоизученных территорий геофизическими методами и поисково-разведочным бурением.

Ключевые слова: поднятие, горизонт, прогиб, карбонатная формация, сейсморазведка, ловушки, разлом, антиклиналь, бурение, скважина.

Мегантиклиналь Юго-западных отрогов Гиссара ограничена с востока и запада Байсун-Кугитанским региональным разломом и тектоническими нарушениями Караиль-Лянгарской флексурно-разрывной зоны. На севере граница проводится по Южно-Гиссарскому разлому. На юге – Репетекским разломом мегасинклиналь отделяется от Ахчинского седла. Размеры описываемой структуры составляют 200х100 км.

На основании обобщении всех геолого-геофизических данных и анализа материалов предыдущих исследований в пределах мегантиклинали Юго-Западных отрогов Гиссара обособляются следующие тектонические элементы: Караиль-Пачкамарская, Гумбулакская, Адамташская, Бабасурханская антиклинальные зоны, Чакчарская гряда, Дехканабадский прогиб, Тюбегатан-Акайракская антиклинальная зона и Кугитангская гряда [1].

Геологическая изученность. Юго-западно Гиссарский регион – единственная нефтегазоносная область Узбекистана, где мезокайнозойские отложения различными стратиграфическими горизонтами выходят на дневную поверхность. Поэтому, учитывая такие особенности, детальные геолого-съемочные работы для изучения геологического строения региона на начальном этапе имели большое значение. Изучение нефтегазоносности и геологического строения мезозойских отложений восточной части Юго-западных отрогов Гиссарского региона занимались такие ученые, как И.В. Мушкетов, В.А. Обручев, Г.Д. Романовский, П.П. Чуенко, Е.М. Абетов, С.Н. Михайловский, А.А. Швембергер, И.А. Сотириади, Г.А. Алферов, А.Н. Кулми, В.В. Корсунь, Ким-Бен-Чан, Н.Г. Ткаченко, Ф.М. Фаттахов, Б.К. Панасюченко, А.С. Орловский, В.А. Каплун, А.А. Абидов, А.А. Акрамходжаев, Г.С. Абдуллаев, А.М. Акрамходжаев, В.П. Алексеев, В.В. Рубо, Л.Н. Рубо, Ю.М. Садыков, А.Г. Бабаев, Б.Б. Таль-Вирский, С.Х. Ситдикова, Ф.Э. Меглиев, И.М. Маденов, У.С. Умарходжаев, П.И. Тельнов, О. Тажитдинов, А.Х. Нугманов, Б.К. Сафонов, Л.Н. Сафонова, Н.Н. Колесников, Ш.Д. Давлятов, Ф.Г. Долгополов, Л.Г. Черкашина, М.А. Дырда и др.

Изучение геологического строения Юго-западных отрогов Гиссара началось ещё в 1917-1931 гг.

В результате были получены сведения о стратиграфии Юго-западных отрогов Гиссарского хребта (С.Н. Михайловский, 1917 г., А.А. Швембергер, 1931 г.), позднее здесь была проведена детальная съёмка (И.А. Сотириади, 1942 г.) – масштаб 1:50000, (Г.А. Алферов, А.Н. Кулми, 1952 г.) – масштаб 1:100000 [2].

В 1952 г. съёмкой масштаба 1:25000 (Ким-Бен-Чан, Н.Г. Ткаченко) детализировано геологической строение Белесыайнакской антиклинали.

Начиная с 1953 г. трестами «Ташкентгеология», «СредАзНефтеГазРазведка», «Самаркандгеология» проводилось структурно-геологическая съёмка различных участков региона масштабов 1:25000, 1:50000. В результате выявлено значительное количество новых и детализировано строение известных структур.

В 50-х годах прошлого века на структурах Адамташ, Мобик, Гумбулак (С.В. Екшибаров, 1953, 1956, 1957 г.) и Белесыайнак (Ким-Бен-Чан, 1958 г.) выполняется структурно-геологическая съёмка масштаба 1:25000 и рекомендуется заложение глубоких скважин. В результате поискового бурения 3 из них оказались продуктивными на УВ.

В 1968-1969 гг. Адамташской геолого-съёмочной партией (И.С. Рапота и др., 1970 г.) проведена структурно-геологическая съёмка масштаба 1:25000 в пределах структур Адамташ-Гумбулак. Результатом работ явилась структурная карта по кровле тагаринского горизонта, а к юго-западу от антиклинали Адамташ выявлена новая структура Кызылбайрак.

С целью повышения эффективности геологоразведочных работ с 1962 года понастоящее время пробурено 18 параметрических скважин. Семь из них являются месторождений Гулбулак, Юж.Тандырча, первооткрывательницами _ Джаркудук, Кызылбайрак, Юж. Кызылбайрак, Аманата, Пачкамар. Материалы бурения дали информацию о глубинном геологическом строении отдельных площадей, региона в целом и перспективах его нефтегазоносности. Территория южного борта Дехканабадского прогиба относится к слабо изученным буровыми работами. Параметрические скважины пробурены на двух площадях: Курайча и Осмондара, поисковые – на структурах Тойчи, Северный Султанрабат, Чалка, Янги Чалка, Обишхан, Шамоликам, Чашмаобзан, Ходжамухаммад.

Изучение геологического строения Юго-западного Гиссарского региона геофизическими методами начинается с 1956 года. До 1964 года проводятся в региональном плане аэромагниторазведочные, гравиметрические, электроразведочные И сейсморазведочные исследования, позволившие установить лишь общие черты тектоники, выяснить возможности различных методов и сделать вывод о целесообразности применения сейсморазведки МОВ при изучении структуры покровных образований осадочного чехла, поскольку в первых двух геофизических полях отдельные объекты не выделяются. Электроразведка также оказалась малоэффективной из-за искажающего влияния на электрическое поле контактов разновозрастных пород, выходящих на дневную поверхность.

В 1966 году начались планомерные сейсморазведочные исследования. В течение последующих пяти лет были выполнены в большом объёме опытно-методические, опытно-производственные и поисково-детальные исследования МОВ на площадях Белесыайнак, Карабай, Джаркудук, Гумбулак, Адамташ, Кызылбайрак, Пачкамар и др., позволившие определить оптимальность технико-методических приёмов ведения полевых работ, существенно расширить имеющиеся представления о глубинном строении территории, передать ряд структур под глубокое разведочное бурение.

С начала восьмидесятых годов метод ОГТ является в практике сейсморазведочных работ главным и единственным, позволяющим успешно решить поставленные геологические задачи. Возросли также и объёмы ВСП, выполняемые в глубоких поисковых и разведочных скважинах.

В 1977-2023 г. были проведены поисково-сейсморазведочные работы МОГТ-2Д в объёме 6642 пог.км, средняя плотность покрытия сети профилей 2Д составляет 1,82 пог.км/км². В результате этих работ были подготовлены под глубокое бурение структуры Съемочная, Тойчи, Чашмаиобзон, Шамоликом, Джанкара, Учкулсай, Сагиртау, Сейпитау,

Ходжамухамат, Ирмухамат, Ниёз, Янги Чалка и др. Построены структурные карты по кровле нижних ангидритов титона и известняков оксфорд-кимериджа.

Глубокое параметрическое и поисково-разведочное бурение на нефть и газ на территории Юго-западного Гиссарского региона начато в конце 1961-х годов. По состоянию на 1 января 2024 г. глубокое поисково-разведочное и параметрическое бурение проведено примерно на 39 площадях. В целом пробурены 172 глубокие скважины, из них 18 – параметрические, 61 – поисковые и 93 – разведочные. Из общего количества пробуренных глубоких скважин 35,5 % составляют поисковые, 54% – разведочные, 10,5% – параметрические.

Плотность бурения для рассматриваемой территории площадью 3633 км² составляет 21,1 км² на 1 скважину по мезозойским отложениям, что соответствует территории со средней степенью изученности.

В результате поисково-разведочного бурения установлена перспективность юрских отложений и открыты месторождения Аузикент, Адамташ, Аманата, Вост. Бузахур, Вост. Караил, Джанкара, Гумбулак-Джаркудук-Янги Кизилча, Зарабаг, Пачкамар, Сагиртау, Шурдарё, Южн. Тандырча, Дхканабад, Кошкудук, Шим.Тандырча, Оккул, Шамолтегмас, Ниёз.

Анализ фонда подготовленных структур Юго-западного Гиссарского региона показывает, что площади Янги Тандырча, Сейпитау, Ирмухаммат находятся в более перспективном положении в отношении содержания УВ.

Заключение. С целью увеличения эффективности геологоразведочных работ и разработки месторождений УВ рекомендуется проведение сейсморазведочных работ 3Д. Для осуществления прироста запасов УВ необходимо ускорить поисковое бурение подготовленных по юрским отложениям объектов Янги Тандырча, Сейпитау, Ирмухаммат и др.

Литература

1. Абидов А.А. Нефтегазоносность литосферных плит. Ташкент: Фан. 2009. 28 с.

 Меглиев Ф.Э. Роль тектонических движений в формировании нефтегазоперспективных структур в пределах юго-западных отрогов Гиссара и Бешкентского прогиба // Геодинамическая эволюция и нефтегазоносность осадочных бассейнов. М.: Наука. 1997. С. 217–221.

АНАЛИЗ СЕЙСМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ И ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВНЫХ РЕСУРСОВ МЕЗОКАЙНОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ПЛОЩАДИ ЯНГИХАЯТ В БАЙСУНСКОМ ПРОГИБЕ

Сариев Р.Х.

sariev_83@mail.ru АО «Узбекгеофизика», г. Ташкент, Узбекистан

В статье освещены особенности геологического и тектонического строения площади Янгихаят в Байсунском прогибе, детально охарактеризована литолого-стратиграфическая характеристика разреза. Обоснован потенциал нефтегазоносности площади Янгихаят по аналогии с месторождениями Мустакилликнинг 25 йиллиги (Гаджак) и Акджарсай.[1,2] На основе анализа и обобщения данных по структуре Янгихаят предварительно оценены перспективные ресурсы по категории С₃ и даны рекомендации по дальнейшему направлению поисково-разведочных работ с целью увеличения ресурсов УВ.

Ключевые слова: прогиб, горизонт, литология, отложения, месторождения, стратиграфия, ловушки, бурение, скважина, ресурсы.

Введение. В последние годы рост и развитие промышленных предприятий привели к увеличению энергопотребления, что, в свою очередь, способствует уменьшению запасов нефти и газа. В связи с этим одной из приоритетных задач нефтегазовой отрасли является восполнение ресурсной базы углеводородов, в том числе на основе исследований продуктивности и потенциала нефтегазоносности новых стратиграфических комплексов и площадей, с учетом последних полученных геолого-геофизических данных. Для решения этих вопросов необходимо увеличить качество проводимых геологоразведочных работ и целенаправленно проводить сейсморазведочные и буровые работы на относительно малоизученных территориях и глубоко залегающих отложениях, необходимо провести комплексный анализ старого фонда скважин.

Тектоника. В тектоническом отношении структура Янгихаят расположена в пределах юго-западной части Байсунского прогиба, в 8-10 км западнее площади Когнысай, где в скважине 2 получены промышленные притоки УВ из нижнемеловых отложений. Акташ-Гаджакская зона антиклинальных поднятий имеет размеры 105x5,0 км и охватывает Дашчигазскую, Гаджакскую, Западно Баянгоринскую, Янгихаятскую, Запално Янгихаятскую, Ляйляканскую, Майданскую и Акташскую антиклинали. В сводах Майданской и Акташской складок обнажаются меловые отложения, а на крыльях палеогеновые и неогеновые. Далее к северо-востоку Джанбашская, Западно Янгихаятская и Ляйляканская складки в пределах Байсунского прогиба являются погребенными. В северовосточном конце зоны субширотно располагается Ходжаипакская складка, в своде которой обнажаются меловые отложения. Из перечисленных структур Беширканская, Западно Янгихаятская, Ляйляканская и Майданская по данным геофизических исследований, осложнены тектоническими нарушениями. Нарушение, которое проходит по северовосточному крылу Ляйляканской складки по кровле келловей-оксфорда имеет амплитуду около 400 м, а восточное крыло Беширкакской погребенной складки вовсе оборвано двумя нарушениями не определенной амплитуды (рис.1) [3].

Структура Янгихаят выявлена в 1993 г. и подготовлена под глубокое поисковое бурение в 2006 г. сейсморазведкой МОГТ. Структура подготовлена по отражающему горизонту T₂, приуроченному к кровле валанжина нижнемелового возраста (K₁ v). По горизонту T₂ представляет собой антиклинальную складку субмеридионального

простирания, со всех сторон ограничена разрывними нарушениями. Размеры по изогипсе «-3750 м» составляют 6,5х4,2 км, амплитуда 225 м, площадь 19,5 кв.км. (рис. 2).

По отражающему горизонту T₁, приуроченному к кровле известняков бухарских слоев палеогена (P₁ bch). По горизонту T₁ представляет собой антиклинальную складку субмеридионального простирания. Размеры по изогипсе «-1750 м» составляют 6,3х3,7 км, амплитуда 200 м, площадь 16,65 кв.км. (рис. 3).



Рисунок 1 – Схема тектонического районирования исследуемой территории (по данным ГУ "ИГИРНИГМ")

Литолого-стратиграфическая характеристика. В пределах Байсунского прогиба палеозойские отложения скважинами не вскрыты. Отдельными скважинами вскрыты только



карбонатные отложения средне-верхнеюрского возраста и в трех скважинах терригенные отложения нижне-среднееюрского возраста.

Рисунок 2 – Структурная карта площади Янгихаят по отражающему горизонту T₂ (по данным АО «Узбекгеофизика»)

Разрез осадочного чехла по региону отличается значительными мощностями до 5 км и наличием соленосной толщи в разрезе верхней юры, которая обуславливает резкое несоответствие структурных планов подсолевых и надсолевых комплексов пород.

Несмотря на бурение глубоких скважин в пределах этого региона, полный разрез юрских отложений до сих пор не вскрыт. В разрезах юрского возраста по литологофациальным особенностям выделяются три формации: терригенная – нижнесреднеюрского, карбонатная – средне-верхнеюрского и галогенная – верхне-юрского возрастов.

Разрез XIV горизонта представлен глинами, участками алевролитистыми с прослоями алевролитов, песчаниками мелкозернистыми с прослоями глин и алевролитов красновато-

коричневой окраски. Флюидовмещающими породами в природном резервуаре месторождения служит поровый тип коллектора [2].

Палеогеновые отложения в пределах региона обнажаются на отдельных поднятиях и вскрываются многочисленными скважинами в пределах Сурхандарьинской мегасинклинали. Бухарские слои в основании, как правило, содержат доломиты и доломитизированные известняки с обильными включениями гипса и ангидрита. Выше залегает толща известняков с подчиненными прослоями доломитов, гипсов, ангидритов, мергелей общей сероватой окраски. Мощность до 175 м.



Рисунок 3 – Структурная карта площади Янгихаят по отражающему горизонту T₁ (по данным АО «Узбекгеофизика»)

Нефтегазоносность. Глубокое параметрическое и поисково-разведочное бурение на нефть и газ на территории Байсунского прогиба начато в начале 1940-х годов. В пределах Байсунского прогиба было открыто одно месторождение газа – Мустакилликнинг 25 йиллиги (Гаджак).

В 1941 г. началось бурение поисковой скважины №1 Гаджак. Промышленная газоносность месторождения Мустакилликнинг 25 йиллиги (Гаджак) связана с нижнемеловыми (XIV горизонт) терригенными и средне-верхнеюрскими (XV, XVa горизонты) карбонатными отложениями. Первооткрывательницей нижнемеловой залежи является скважина №5-Б (1975 г.) при испытании интервала 2440-2425 м получен приток газа дебитом 54 тыс.м³/сут. на 8 мм штуцере, в интервале 2468-2420 м получен приток газа с водой дебитом 32 тыс.м³/сут. на 8 мм штуцере, верхнеюрской – скважина №6-Б (1976 г.) при испытании интервала 3302-3290 м получен приток газа ориентировочным дебитом 2,4 млн.м³/сут.

Особенностью строения продуктивной сульфатно-карбонатной толщи описываемого месторождения является крайне неравномерное распределение коллекторов и разделяющих из уплотненных пород в плане и разреза, носящих слоисто линзообразный характер; массивно-пластовый тип залежей; широкое развитие трещиноватости, обеспечивающее гидродинамическую связь между всеми секциями продуктивного разреза, а также промышленную продуктивность низкопоровых коллекторов. Связано это, главным образом, с активностью тектонического режима как в титонское время, так и на орогенном этапе развития данного района.

Разрез XIV горизонта представлен глинами, участками алевролитистыми, с прослоями алевролитов, песчаниками мелкозернистыми с прослоями глин и алевролитов красноватокоричневой окраски. Флюидовмещающими породами в природном резервуаре месторождения служит поровый тип коллектора.

В палеогеновом нефтегазоносном этаже выделены два региональных нефтегазоносных комплекса: палеоценовый - P₁^{bch}, коллекторы которого, сложены трещиноватыми известняками и доломитами бухарского яруса и эоценовый -P₂^{al} коллекторами состоящих из песчаников алайского яруса. В роли покрышки выступает толща глинистых, карбонатных и галогеновых пород. К палеогеновому нефтегазоносному этажу Сурхандарьинской мегасинклинали приурочены, в основном, промышленные залежи нефти - Хаудаг, Учкызыл, Кокайты, Ляльмикар, Миршады, Джалаир, Карсаглы, Амударья.

Месторождение Акджарсай расположено на юго-востоке Аширхан-Восточно-Баташской зоны нефтегазонакопления.

В пределах залежи пробурены восемь скважин, три из которых №1,3,4 поисковые, четыре №5-8 разведочные, одна параметрическая №14. Все скважины опробованы.

Первооткрывательницей месторождения является поисковая скважина №4, пробуренная в центральном своде горст-брахиантиклинали. При ее испытании объектов в пределах I и II горизонтов бухарского яруса в интервалах глубин 2724-2721 м и 2709-2704 м (абс.отм. минус 2293-2290 м и 2278-2273 м) получена нефть дебитом Q_н=3,5 м³/сут. [2].

На основе аналогии месторождений Мустакилликнинг 25 йиллиги и Акджарсай по структуре Янгихаят предварительно оценены перспективные ресурсы по категории С₃: нефть (извл.) – 21 тыс.т., газ (сух) – 28138 млн.м³.

Заключение. Для увеличения ресурсной базы Байсунского прогиба необходимо:

– в пределах Байсунского прогиба увеличить объем сейсмических работ, направленных на подготовку структур по мезозокойнозойским отложениям;

– для увеличения запасов углеводородов необходимо ускорить поисковое бурение на площади Янгихаят.

Литература

- 1. Мамиров Ж.Р. и др. Подсчет запасов УВ и сопутствующих компонентов на месторождении «Мустакилликнинг 25 йиллиги». Ташкент. 2020.
- 2. Тиллябаев М.Р. и др. Подсчет запасов УВ месторождения Акджарсай. Ташкент. 2016.
- 3. Мамиров Ж.Р. Создание электронной карты тектонического районирования нефтегазоносных регионов Республики Узбекистан. Отчет НИР (заключ.). Ташкент: ИГИРНИГМ. 2022.

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ И БУРОВОЙ ИЗУЧЕННОСТИ МЕЗОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ БАЙСУНСКОГО ПРОГИБА СУРХАНДАРЬИНСКОГО РЕГИОНА

Сариев Р.Х.¹, Закирова Г.С.² sariev_83@mail.ru, G.Zakirova@mingeo.uz ¹ АО «Узбекгеофизика», г. Ташкент, Узбекистан ² Министерство горнодобывающей промышленности и геологии РУз, г. Ташкент, Узбекистан

В данной работе проведен детальный анализ состояния изученности Байсунского прогиба, основанный на изучении научно-исследовательских работ по данной территории, комплексном анализе материалов геофизической изученности – сейсморазведки, гравиразведки, магниторазведки и электроразведки. Подробно описано состояние буровой изученности каждого тектонического элемента в отдельности, в результате чего вычислена плотность проведенного бурения на единицу площади, дана оценка степени изученности данной территории. Даны рекомендации на продолжение изучения относительно малоизученных территорий геофизическими методами и поисковоразведочным бурением.

Ключевые слова: горизонт, прогиб, вал, сейсморазведка, ловушки, бурение, скважина.

В тектоническом отношении Байсунский прогиб расположен в северо-западной части Сурхандарьинской мегасинклинали и охватывает одноименную синклиналь. Прогиб протягивается с юго-запада на северо-восток более чем на 125 км, имеет ширину 35 км. С юга указанный прогиб ограничен серией разрывных нарушений (Акташский, Ляйляканский, Ходжаипакский и др. разломы), на северо-западе прогиб осложнен Кугитанг-Байсунским региональным разломом, на востоке – Сурхантау-Келифским глубинным разломом, на юге – серий разрывных нарушений [1].

В северо-западной части Байсунского прогиба расположена Дербентская зона локальных поднятий, протягивающаяся к юго-западу в направлении Кугитанского поднятия, возможно, пододвигается под Кугитагское поднятие. Ее размеры 70х7,5 км. В эту зону Бердыбайская, Кофрунсайская, Байсунская, Дербентская, Баглыдаринская, входят Ярыксийская и Карабагская антиклинальные складки. Перечисленные складки, за исключением Бердыбайской, субмеридиональными осложнены И субшротными тектоническими нарушениями. Структуры рассматриваемой зоны выявлены в результате сейсмических исследований по келловей-оксфордским отложениям (А.П. Югай, 1996).

В северной части Байсунского прогиба сейсморазведкой ОГТ выявлены четыре антиклинальные складки: Джанбаш, находящаяся в фонде выявленных, а так же Кызылкия, Ходжаипак и Беширкак, находящиеся в бурении.

До недавнего времени прогиб являлся самым слабо изученным районом и здесь только на двух площадях было проведено поисковое бурение. На одной из них – Гаджакской из юрских карбонатных отложений [2] был получен мощный фонтан газа, а на площади Боянгора скважина №2, пройдя меловые отложения, вскрыла в интервале 1126-1270 м тектоническую брекчию, а затем вошла в неогеновые отложения. Скважина №1, расположенная на западном крыле, после нижнемеловых отложений в интервале 1504-1881 м вскрыла нерасчлененную толщу (зона смятия?) и ниже вошла вновь в верхнемеловые отложения. Это свидетельствует о том, что структура Боянгора является одним из наиболее ярких примеров чешуйчатых структур.

Акташ-Гаджакская зона антиклинальных поднятий имеет размеры 105 х 5.0 км и охватывает Дашчигазскую, Гаджакскую, Западно Баянгоринскую, Янгихаетскую, Западно

Янгихаетскую, Ляйляканскую, Майданскую и Акташскую антиклинали. В сводах Майданской и Акташской складок обнажаются меловые отложения, а на крыльях – палеогеновые и неогеновые. Далее к северо-востоку Джанбашская, Западно Янгихаетская и Ляйляканская складки в пределах Байсунского прогиба являются погребенными. В северовосточном конце зоны субширотно располагается Ходжаипакская складка, в своде которой обнажаются меловые отложения. Из перечисленных структур Беширканская, Западно Янгихаетская, Ляйляканская и Майданская, по данным геофизических исследований, осложнены тектоническими нарушениями.

Началом планомерных исследований явилась государственная геологическая съемка масштаба 1:200000, проведенная в 1955-1960 годах (В.Г. Гарьковец, Х.Т. Туляганов).

Краевые части Байсунской котловины характеризуются хорошей обнаженностью мел – палеогеновых отложений. В Байсунском хребте обнажаются юрские отложения. На югозападе обнажены палеозойские породы. Это создало благоприятные условия для проведения геолого-структурной съемки масштаба 1:50000 и 1:25000, которая проводилась в пятидесятые и восьмидесятые годы.

Геологическая изученность. Выяснением нефтегазоносности и геологического строения мезозойских отложений Байсунского прогиба занимались такие ученые, как А.А. Абидов, А.А. Акрамходжаев, Г.С. Абдуллаев, А.Г. Бабаев, Т.Л. Бабаджанов, Ф.Г. Долгополов, А.Х. Нугманов, Н. Кастрогрыц, Н.Н. Нестерович, Б.Б. Таль-Вирский, С.Х. Ситдикова, Р.Х. Сайфи, Ю.М. Ячменников, С.А. Пак, И.Р. Ахматкулов, А.П. Югай, Р.У. Коломазов, М. Бердиев, С.В. Фомин, С.С. Юсупходжаев, Н.П. Каххаров, М.Н. Темиров, Б.С. Хикматуллаев и др.

Начиная с 1969 г. объединением «Узбекнефть» велось глубокое бурение на площадях Майдан (1969-1973), Бешкиз (1969-1972), Боянгора (1970-1974, 1983-1984), Гаджак (1970-1983, 1990 по настоящее время), Ляйлякан (1973-1976, 1983-1983), Зарабаг (1977-1981), Дербент (1982-1984), Аккапчигай (1981-1984), Когнысай (1986- по настоящее время). За это время открыты газовые месторождения Гаджак и Когнысай, было изучено геологическое строение района, в основном, по мел-палеогеновым отложениям. Карбонатные отложения келловей-оксфорд-кимериджа бурением были вскрыты скважинами № 1, 2 на площади Дербент на глубине 1144 м и 1020 м соответственно и на площади Гаджак скважинами №6,14,15,18.

Глубокое разведочное бурение выполнялось на площадях: Боянгора, Гаджак, Аккапчигай, Когнысай, Бешкыз, Акташ, Культерак, Зарабаг, Ляйлякан, Майдон, Дербент, Каракурт и др. На одном из них открыто месторождение газа.

Скважинами поисково-разведочного и параметрического бурения на площадях Байсунского прогиба и Келиф-Сарыкамышской гряды вскрыты отложения мела и карбонаты верхней юры.

В настоящее время завершено параметрическое и поисково-разведочное бурение в пределах площадей Кызылкия (скв.1), Дербент (скв.2), Ходжаипак (скв.1), Беширкак (скв.1), Гаджак – Боянгора (скв.38), Ляйлякан (скв.3), Зарабаг (скв.3) и др.

Район исследований полностью покрыт гравиметрической и аэромагнитной съемками масштаба 1:200000 (И.А. Фузайлов, Л.Н. Котляровский 1959-1961 гг., Т.В. Смолина, Е.С. Кузнецов 1959-1984 гг.). Данные этих методов позволили получить общее представление о тектоническом строении региона, главным образом, по поверхности отложений палеозойского возраста.

Поисковые сейсморазведочные работы МОВ начались в 1958 году. По данным МОВ, полученным в течение нескольких лет, были составлены структурные карты отдельных площадей по мел-палеогеновым горизонтам.

В результате работ МОВ и ОГТ были подготовлены и переданы структуры Культерек (J₃t) 1969 г., Майдон (J₃t) 1969 г., Акташ (J₃t) 1970 г., Ляйлякан (J₃ к+o+km) 1972 г., Зарабаг (J₃ к+o+km) 1975 г., Гаджак (J₃ к+o+km) 1976 г., Восточный Гаджак (J₃ к+o+km) 1977 г., Когнысай (K, ne+a) 1987 г., по (J₃ к+o+km) 1989 г., Байсун (K_{IV})1992 г., Кызылкия (J₃

к+о+km) 1996 г., Ходжаипак (J₃ к+о+km) 1999 г., Игарчи (K_{IV}) 2004 г., Бердыбай (J₃ к+о+km) 2005 г.

На территории Байсунского прогиба сейсморазведочные работы 3Д практически не выполнялись, кроме территории месторождения Мустакилликнинг 25 йиллиги.

Глубокое параметрическое и поисково-разведочное бурение на нефть и газ на территории Байсунского прогиба начато в конце 1940-х годов. По состоянию на 1 января 2024 г. глубокое поисково-разведочное и параметрическое бурение проведено примерно на 7 площадях. В целом пробурены 49 глубокие скважины, из них 1 – параметрическая, 22 – поисковые и 26 – разведочные. Из общего количества пробуренных глубоких скважин 2,0 % составляют параметрические, 49,9 % – поисковые, 53,1 % – разведочные (рис. 1).



Рисунок 1 – Диаграмма изученности Байсунского прогиба различными категориями глубоких скважин. Составил Р.Х. Сариев, 2024 г.

Плотность бурения для рассматриваемой территории площадью 2000 км² составляет 40,8 км² на 1 скважину по мезозойским отложениям, что соответствует территории с низкой степенью изученности.

В результате поисково-разведочного бурения установлена перспективность юрских и нижнемеловых отложений и открыты месторождения Мустакилликнинг 25 йиллиги.

Анализ фонда подготовленных структур Байсунского прогиба показывает, что площади Янгихаят, Игарчи, Байсун, Бердыбай находятся в более перспективном положении в отношении содержания УВ.

Выволы. Исхоля низкой степени изученности сейсморазведочными ИЗ исследованиями территории Байсунского прогиба, необходимо целенаправленное проведение сейсморазведочных работ 2Д и 3Д с целью подготовки перспективных структур под глубокое поисковое бурение по меловым и юрским отложениям. Для изучения геологическое строения и оценки перспективности мезозойских отложений рекомендуются ускорить поисковое бурение структур Янгихаят, Игарчи и др. Нефтегазоперспективность Байсунского прогиба связана с массивными и пластовыми типами залежей, в связи с этим, рекомендуется проводить поэтажное опоискование разреза.

Литература

- 1. Абидов А.А. Нефтегазоносность литосферных плит. Ташкент: Фан. 2009. 28 с.
- 2. Пулатова У.П. Комплекное изучение подсолевых карбонатных юрских отложений Сурхандарьинского региона. Ташкент. 2008. С. 71-76.
ИСТОРИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ И СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ДЛЯ ПРОГНОЗА НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ СУРХАНДАРЬИНСКОЙ МЕГАСИНКЛИНАЛИ

Турсунова А.А. *azizaabidova1994@mail.ru* Ташкентский государственный технический университет им. И. Каримова, г. Ташкент, Узбекистан

На Сурхандарьинского территории нефтегазоносного региона проводятся геологоразведочные работы с целью поиска месторождений нефти и газа. Здесь открыты месторождения различного фазового состава углеводородов (нефти и битума, газа). Бурение скважин сопровождается осложнениями в связи с тяжелыми и сложными геологическими условиями, обусловленными геологическим строением. Актуальной проблемой в орогенных территориях является изучение и анализ истории геологического развития, влияния тектонических процессов на условия осадконакопления, формирования нефтегазоматеринских пород и скоплений углеводородов. На примере моделирования месторождения «Мустакилликнинг 25 йиллиги» показана необходимость детализации поэтажного строения и тектонических нарушений, их конфигурации и пространственного размещения, влияющих на продуктивность и строение залежей газа.

Ключевые слова: Афгано-Таджикская впадина, Байсунский прогиб, Келиф-Сарикамышская зона, разлом, надвиг, осадконакопление, соли, известняки, песчаники, газ

Одним из ключевых критериев определения нефтегазоперспективности территории является изучение истории геологического развития и формирования тектонических условий, которые создают геологическую среду, способствующую генерации, миграции и аккумуляции залежей нефти и газа в недрах. Существующий тектонический режим влияет на формирование структуры территории, при этом обеспечивает размещение залежей нефти и газа, как по вертикали, так и по латерали. В то же время интенсивность и направленность структурообразующих движений влияет на условия осадконакопления, преобразование органического источника углеводородов, пород И вещества как основного гидродинамический режим пластовых вод и на многие другие факторы, определяющие нефтегазоносность территории. В связи с этим, анализ условий тектонического развития территории является актуальным и необходимым в прогнозе залежей нефти и газа.

В тектоническом отношении территория Сурхандарьинской мегасинклинали приурочена к северной части Афгано-Таджикской впадины (АТВ). Этот межгорный бассейн образовался в результате альпийского сжатия, вертикальный разрез которого состоит из четырех основных комплексов: докембрийский кристаллический, палеозойский складчатый, пермско-триасовый переходный и осадочный чехол.

Существуют следующие этапы развития Афгано-Таджикской впадины. В раннем палеозое ядром Афгано-Таджикской впадины являлся Байсунский массив как часть восточного микроконтинента Гондвана. В позднекаменноугольное время произошло смещение массива в северо-западном направлении, что привело к его слиянию с Казахстанским микроконтинентом, которое сопровождалось закрытием Уральского бассейна. Далее, в раннепермское время произошла коллизия Байсунского массива и Казахстанского микроконтинента, что привело к началу герцинского орогенеза. В позднетриасовое время на территории современной АТВ начинается рифтогенез, приведший к возникновению протяженной, морфологически четко выраженной впадины, осложненной глубокими продольными разломами северо-восточного простирания, продолжавшийся вплоть до средней юры. После завершения фазы рифтогенеза происходит погружение рифтовой зоны, обусловленное охлаждением нагретой литосферы, что приводит к ее уплотнению и проседанию в период от средней юры до олигоцена. Формирование АТВ в ходе альпийского орогенеза послужило толчком к образованию современных структурных элементов, которые играют важную роль в генерировании углеводородов, их миграции и аккумуляции.

Байсунский массив развивался как пассивная континентальная окраина, слияние Казахстанским микроконтинентом привело образованию которой c К активной континентальной окраины. Столкновение двух крупных геодинамических елиниц сопровождалось орогенезом и внедрением гранитных интрузий, что привело к образованию Южно-Тяньшанской зоны складчатости, которая была окружена Амударьинской и Афгано-Таджикской впадинами, куда интенсивно сносился обломочный материал с образованием молассовых красноцветных толщ, заполняющих низины подножия гор. В некоторых местах происходила вулканическая активность [1].

северной части Афгано-Таджикской В триасовый век В впадины было аккумулировано около 5-7 км терригенных красноцветных осадков. В то же время в южных краевых частях Афгано-Таджикской впадины были развиты мелководные морские бассейны. Пассивные окраины и вулканические зоны (Кун Лун и Северный Памир) формировались вдоль края океана Палеотетис. В конце триасового века микроконтинент Киммерия столкнулся с Евроазиатским микроконтинентом, что привело к началу рифтогенеза в пределах южных краевых частей Амударьинской и Афгано-Таджикских впадин. К концу триасового периода, в сравнении с пермским, Евразия (включая Афгано-Таджикскую впадину) сместилась на 14°-16° к северу.

В раннеюрское время в пределах Амударьинской и Афгано-Таджикской впадин интенсивно активизируются процессы рифтогенеза, которые развиваются как единая впадина, вплоть до неогенового века. Активные сдвиговые тектонические движения и рифтогенез образовали грабены, в которых накапливаись озерно-аллювиальные и озерноболотные отложения. В среднеюрское время (байосский век) рифтогенез закончился, началась трансгрессия моря в Амударьинскую и Афгано-Таджикскую впадины с югозападной и юго-восточной сторон.

Морская трансгрессия достигла своего максимума в келловейском веке и охватила всю впадину, кроме того существовали участки с шельфовыми условиями, где накапливались терригенные отложения. Байсунский массив в этот период находился во внутреннем шельфе, где в конце келловейского века начали накапливаться карбонатные отложения. Такие условия осадконакопления привели к тому, что отложения среднеюрской эпохи, обогащенные органическим веществом, стали основными нефтегазоматеринскими породами для генерации нефти и газа для месторождений Амударьинской и Афгано-Таджикской впадин [2].

В оксфордском веке на юге происходит интенсивное сжатие из-за субдукции Тетиса. Как следствие, морская полоса в Амударьинской и Афгано-Таджикской впадинах отделилась от океана, формируя глубокие морские, полузакрытые территории с накоплением черных известковых карбонатных формаций, содержащими рифовые известняки на краях с последующим отложением эвапоритов в титонском ярусе. В конце титонского яруса произошло осушение Амударьинской и Афгано-Таджикской впадин.

Апт-альбский век начался с морских трансгрессий с юга и юго-запада Афгано-Таджикской впадины, при этом территория западной части Сурхандарьинской мегасинклинали находится в прибрежных зонах впадины. Во время позднемеловой эпохи, Амударьинская и Афгано-Таджикская впадины находятся во власти мелководно-морских условий с формированием локальных лагунных участков, при этом Афгано-Таджикская впадина находится в пределах береговой части моря, где накапливаются глинистые отложения с прослоями известняков и гипсов. В туронский век морская трансгрессия достигла своего максимума и морские условия осадконакопления охватили обширные территории, куда вошли Амударьинская, Афгано-Таджикская, Сырдарьинская и Ферганская впадины.

В начале палеоценового века морская трансгрессия происходила благодаря сокращению Тетиса и его субдукции под юго-западным склоном Евразии, в результате чего в Афгано-Таджикской, Сырдарьинской, Ферганской и Таримской впадинах образовались лагуны. В конце палеоценового периода с юго-запада началась трансгрессия, которая привела к накоплению около 100-300 м известняков, которые в настоящее время стратифицируются как бухарские слои.

К середине эоцена трансгрессия достигла своего максимального уровня и на исследуемой территории существовала среда глубокого морского шельфа и обширная морская полоса присоединилась к юго-западным морям Евразии. Позднее начинается этап регрессии моря, который завершился в олигоцене.

В неоген-четвертичном времени происходит столкновение Арабского и Индостанского микроконтинентов, что обусловило развитие Альпийско-Гималайской горной системы с образованием гор Памира, Тянь-Шаня, Урала и Алтая. Амударьинская и Афгано-Таджикская впадины были отделены из-за образования юго-западных отрогов Гиссарского хребта, в это время произошло обособление Афгано-Таджикской и Ферганской межгорных впадин [3].

При этом Афгано-Таджикская впадина была деформирована движением Памирского Блока с северо-запада, что послужило причиной образования серии сложных антиклиналей и северо-восточного простирания, подпираемых сбросовыми синклиналей блоками. образуемыми по поверхности соленосной толщи верхнеюрского возраста и палеозойского складчатого комплекса. Аналогичная картина наблюдается в пределах Сурхандарьинской мегасинклинали, где тектоническое строение сформировано чередованием крупных протяженных валов северо-восточного простирания и разделяющих их синклинальных зон. С учетом вышеизложенного, можно прогнозировать, что геодинамические факторы и тектоническая эволюция территории западной части Сурхандарьинской мегасинклинали в составе Афгано-Таджикской впадины сформировали условия, благоприятные лля образования ловушек нефти и газа, коллекторов и материнских пород.

В западной части Сурхандарьинской мегасинклинали выделяется Байсунский прогиб, осложненный с запада Дербентской (Бердыбайской) зоной локальных поднятий, а с востока Келиф-Сарыкамышской грядой, которая делится на Акташ-Гаджакскую и Бешкиз-Аккапчигайскую зоны поднятий (рис.1).

На современном этапе Байсунский прогиб (структурная зона) представлен вытянутой овальной формой размером 30×100 км. Складчатые сооружения вдоль его бортов нарушены широтными разломами и испытывают запрокидывание во внутренние части, что указывает на особенно интенсивное прогибание и формирование впадины в позднеальпийский этап тектогенеза. На юго-западе Байсунский прогиб сливается с северной частью Пашхурского прогиба грабено-наложенной структурой, формирование которой связано с началом инверсии Келиф-Сарыкамышского мезозойского-палеогенового прогиба. Грабен выполнен преимущественно неоген-антропогеновыми отложениями, с размывом залегающими на различных горизонтах палеозоя и мезозой-кайнозоя. Амплитуда погружения прогиба достигает 3000 м. Складки Келиф-Сарыкамышской зоны поднятий в сторону Пашхуртского прогиба резко запрокидываются.



Рисунок 1 – Схема тектонического районирования Сурхандарьинской мегасинклинали (по материалам ГУ «ИГИРНИГМ»: Абидов А.А., Ходжаев А.Р. и др., 1998 г., Пулатова У.П., Кочкарова С.С. и др., 2011 г., Мирзаахмедов М.М. и др., 2021 г.)

В верхней части разреза Байсунский прогиб сложен неогеновыми отложениями мощностью до 2500 м. Глубина залегания кровли известняков келловей-оксфорда составляет по данным бурения и сейсморазведки с севера на юг от 3000 м до 6000 м и более, а поверхность складчатого палеозойского комплекса по данным МОВЗ и МТЗ порядка 5000-10000 м. Вдоль северо-западной границы зоны мезозойско-кайнозойских отложений сильно дислоцированы. Здесь в пределах Дербентской (Бердыбайской) зоны локальных поднятий, по данным геолого-геофизических съёмок, выявлены: Байсунская, Бердыбайская, Дербентская и другие структуры. В центральной части Байсунского прогиба выделены структуры Кызылкия, Беширкак, Ходжаипак, которые были опоискованы. В пределах Келиф-Сарыкамышской гряды выделено около 15 структур, среди которых есть и месторождение «Мустакилликнинг 25 йиллиги» (М-25), подготовленные к глубокому бурению, опоискованные, выявленные и наметившиеся.

Структурная модель М-25, осложненная надвигом, наиболее изучена в пределах зоны. В 1975 году здесь открыты залежи газа в песчаниках карабильской свиты нижнего мела и карбонатах келловей-оксфордского возраста. Глубоким поисково-разведочным бурением (1961-2008 гг.) и сейсморазведкой МОГТ-3Д установлено, что М-25 структура аллохтонная, выраженная по подсолевым горизонтам.

Подсолевая складка представлена двухкупольной брахиантиклиналью сложной формы. Площадь структуры около 60 км², крутое юго-восточное крыло (до 55°), осложнено разломом типа надвига северо-восточного простирания, его горизонтальная амплитуда в надсолевых отложениях – 800 м, вниз по падению она уменьшается (рис. 2).



Рисунок 2 – Временной разрез через месторождение «Мустакилликнинг 25 йилиги»

Надвиг, вероятно, проходит южнее скв. №№ 6, 8 и ограничивает подсолевую структуру аллохтона в юго-восточном направлении, а также, возможно, контролирует образование самостоятельной структуры М-25 в поднадвиге. Нарушение имеет волнистую поверхность, наклоненную к центру Байсунского прогиба. В верхних надсолевых секциях угол падения сместителя крутой (45-50°), на границе терригенных отложений нижнего мела и соленосной толщи юры он уменьшается до 30-35°. В солях плоскость надвига выполаживается до 15-20°. Надвиг активизировал пластичное течение солей в пределах структуры М-25: здесь наблюдается клиновидное нагнетание солей в приразломную зону (до 1600 м в скв. №3) и одновременно значительное уменьшение их мощности на своде подсолевой аллохтонной структуры (до 35 м, скв. №1-О). В результате надвиговой и соляной тектоники, свод подсолевой структуры смещен по отношению к своду надсолевой складки на 6 км к северо-западу, в сторону падения плоскости надвига. Надсолевая аллохтонная складка М-25 в общих чертах сохраняет морфологию подсолевой структуры.

Достаточно сложное строение модели месторождения М-25 доказывает наличие в данном регионе очень сложного геологического строения структур, которые были подготовлены как обычные антиклинальные, нередко тектонически экранированные структуры, что приводит к неэффективному поисковому процессу, который осложняется еще технически сложным процессом бурения, обусловленным геологическим строением. Для проведения поисков залежей нефти и газа в данном регионе, геодинамически и тектонически сложном, необходима детализация строения выявленных структур с применением современных решений нефтегазовой геологии и геофизики для определения программы и места бурения скважин.

- 1. Бакиров А.А. Некоторые методологические вопросы нефтегазовой геологии // Теоретические и методологические вопросы геологии нефти и газа. Труды ин-та геологии и геофизики СО АН СССР. Вып. 512. Новосибирск: Наука. 1981.
- 2. Бакиров А.А., Бакиров Э.А. Некоторые методические аспекты прогнозирования нефтегазоносности в свете учения академика И.М. Губкина // Прогнозирование нефтегазоносности недр. Губкинские чтения, г. Москва, 1979 г. М.: Недра. 1982.
- 3. Гаврилов В.П. Возможная модель образования и накопления нефти в фундаменте // Труды Российско-Китайского семинара по нефтегазовой геологии. Пекин: Нефтяная промышленность. 2004.

ПОИСК НЕФТЕГАЗОПЕРСПЕКТИВНЫХ ОБЪЕКТОВ В ПАЛЕОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЯХ ЮЖНОЙ ЧАСТИ КУАНЫШ-КОСКАЛИНСКОГО ВАЛА

Фозилов Р.А., Юлдашева М.Г. yuldasheva@ing.uz

Институт геологии и разведки нефтяных и газовых месторождений, г. Ташкент, Узбекистан

На основании новейших сейсмических данных сейсморазведки МОГТ-3Д изучено строение доюрских образований южной части Куаныш-Коскалинского вала, где рассмотрены перспективы поиска нефтегазоперспективных объектов.

Ключевые слова: Куаныш-Коскалинский вал, сейсморазведка, палеозойские образования, известняки, песчаник, сланец, нефтегазоносность, структура

В центральной части Устюртского нефтегазоносного региона находится Куаныш-Коскалинская зона нефтегазонакопления, приуроченная к одноименному тектоническому элементу, где в отложениях палеозоя получены промышленные притоки газа на площадях Карачалак и Кокчалак. Здесь получены признаки нефтеносности и газоносности на площади Каракудук, Бескала, Чибины, где основным коллектором в палеозойских образованиях являются кавернозные органогенно-обломочные известняки нижнекаменноугольного возраста [1, 2].

Куаныш-Коскалинский вал характеризуется сложным строением, трехчленное строение которого, выделенное по данным сейсморазведки, доказано глубоким бурением. По кристаллическому фундаменту, представленному рифейскими И докембрийскими метаморфизованными породами, он представляет собой зону поднятий (Куанышского и Коскалинского), разделенную субширотным прогибом. Промежуточный структурный этаж, вскрытый на разные глубины (до 970 м) более 70 скважинами, сложен терригенными, карбонатными, вулканогенными эффузивными и интрузивными образованиями от девонского до нижнепермского возраста. Осадочный структурный этаж сформирован платформенными отложениями, представленными терригенным фрагментарно И которым карбонатным комплексами пород, многочисленными ПО вал осложнен антиклинальными складками древнего заложения, возникшими как структуры облекания эрозионных останцов палеозоя и унаследовано развивавшимися в течение мезозоя.

Следует отметить, что основная зона нефтегазоносности приурочена к центральной и северной частям Куаныш-Коскалинского вала, тогда как южная остается до настоящего времени малоизученной глубоким бурением. А между тем, именно здесь наблюдается достаточное разнообразие пород палеозойского и древнее возрастов, подстилающих осадочный чехол. К примеру, на площадях Мончаклы, Коскала, Северный Караумбет, Кырккыз, Чибелли вскрыты метаморфизованные сланцы с турмалином, амфиболом, гранатом и графитом, архей-протерозойского возраста, которые перекрыты нижнеюрскими отложениями, а в восточной части территории - среднеюрскими отложениями. Таким образом, перерыв в осадконакоплении продолжался в течении всего палеозойского времени, что обусловило, вероятно, зону выветривания, трещиноватости и разрушения пород в кровельной части протерозойского массива с образованием участков улучшенных коллекторских свойств.

Следующим типом палеозойских образований, вскрытых в западной части территории, являются карбонатные отложения нижне-среднекаменноугольного возраста, разрез которых вскрыт на площадях Бескала, Хаким-Ата, Шеркала. В литологическом отношении они представлены светло-серыми, органогенно-обломочными, тонкоплитчатыми, кавернозными и трещиноватыми, органогенно-обломочными известняками и доломитами.

На площади Шеркала в разрезе палеозойских отложений вскрыты известняки со следами и пятнами нефти, с включениями фауны, которые датированы средним карбоном. Таким образом, в южном направлении наблюдается полоса развития карбонатных отложений, с которыми связана основная промышленная газоносность, доказанная в центральной части Куаныш-Коскалинского вала.

В морфологическом отношении, в южной части вала, структурный план отложений палеозойского возраста имеет тенденцию к региональному подъёму в южном направлении (рис. 1), при этом глубины варьируют от минус 3095-3114 м (район Чибелли и Бескалы) в северной части до минус 2740 м в южной и юго-западной частях (район Мончаклы и Южного Караумбета). Вышележащие осадочные породы мезокайнозойского возраста залегают конформно, с аналогичным подъемом в юг-юго-западном направлении, при этом некоторые секции разреза, как например, нижнеюрские отложения полностью выклиниваются и отсутствуют во вскрытых разрезах глубоких скважин.

Прямые и косвенные признаки нефтегазоносности, такие как непромышленные притоки газа с пластовой водой, которая представляет собой застойные воды седиментационного морского генезиса, пятна битума и нефти в керне, наличие газопоказаний при бурении скважин в интервале палеозойского комплекса пород, а также имеющиеся газоконденсатные месторождения в прилегающей территории, свидетельствуют о наличии условий для сохранения залежей углеводородов и о необходимости продолжения изучения разреза мезокайнозойских и палеозойских отложений для оценки их потенциала в пределах данной территории.



Рисунок 1 – Структурная карта по кровле палеозойских отложений южной части Куаныш-Коскалинского вала (Составили Юлдашева М.Г., Фозилов Р.А., 2023 г.) Южная часть вала очень слабо и неравномерно изучена глубоким бурением, которое велось эпизодически с 1965 до 1989 г., при этом интервал между вводом в бурение очередной структуры составлял более 10 лет. При этом небольшое количество скважин (около 9) было пробурено в западной части, а восточная и юго-восточная части абсолютно не изучены глубоким бурением. Открытие месторождений в центральной части Куаныш-Коскалинского вала послужили причиной необходимости изучения южной части в первую очередь современной сейсморазведкой в вариации 3Д.

Анализ бурения скважин, пробуренных в прошлом веке, показал, что большинство структур, в пределах которых они были пробурены, не подтверждаются новейшими геофизическими материалами. Фактически скважины пробурены на периклинальных частях структур либо в зонах прогибания, в которых в результате бурения получены лишь непромышленные притоки газа и пластовая вода с растворенным газом, что свидетельствует о возможной нефтегазоперспективности данной территории. При этом, учитывая наличие структурного фактора, как одного из главных критериев, благоприятных для формирования и сохранения залежей углеводородов различного фазового состава, основные исследования направлены на поиск ловушек антиклинального типа в доюрском комплексе пород. В вышезалегающих мезозой-кайнозойских отложениях в пределах данной территории достаточно слабо дислоцированные и имеющиеся выделенные структуры низко амплитудные.

В результате, полученные сейсмические данные свидетельствуют о наличии структур в объеме палеозойского разреза в виде эрозионных останцов и выступов, над которыми нередко развивались в юрский период антиклинальные структуры. В интервале залегания палеозойского комплекса пород выделены структуры двух типов. Первый тип поднятие, сложенное, интерпретируется как холмовидное вероятно. осадочными отложениями, что отражается в слоистом облике отражений по типу «каракудукских» известняков. В перекрывающем его осадочном чехле мезозой-кайнозойского возраста структура не отражается, а вышезалегающие толщи залегают моноклинально, образуя подъем с севера на юг (рис. 2). Выполненный анализ материалов свидетельствует о том, что строение данной структуры имеет аналогичное строение подобным объектам на территории Куаныш-Коскалинского вала, такие как Кокчалак, Чибины. Они представляют собой приподнятые тектонически ограниченные блоки известняков, в верхней части которых получены притоки углеводородов.



Рисунок 2 – Прогнозирование карбонатного нефтегазоперспективного объекта в палеозойском комплексе пород (Интерпретация Юлдашевой М.Г., Фозилова Р.А., 2023 г.)

В мировой практике выделяются ловушки в выступах кристаллического фундамента, кровельная часть которых в результате выветривания служит резервуаром углеводородов [3]. К такому типу отнесен второй тип ловушки, выделенный в виде эрозионного останца, который окружен прогибами, заполненными терригенными породами (рис. 3). В волновом поле отчетливо наблюдается холмовидное поднятие как бы срезанное в верхней части, типа плато. При этом в перекрывающих его терригенных отложениях юрского возраста в подошвенной части наблюдается складка облекания небольшой амплитуды. В примыкающих к структуре прогибах четко отмечаются клиноформы, образующиеся выклинивающими терригенными породами. Внутри самого палеозойского массива динамические отражения слабо выражены, поэтому спрогнозировать его литологический состав затруднительно. Но поскольку породы любого генезиса могут быть трещиноватыми и выветрелыми, структура может быть ловушкой для углеводородов, мигрирующих из нефтегазоматеринских пород любого возраста.



Рисунок 3 – Прогнозирование нефтегазоперспективного объекта в допалеозойском комплексе пород (Интерпретация Юлдашевой М.Г., Фозилова Р.А., 2023 г.)

Таким образом, комплексирование новых геофизических данных с результатами глубокого бурения, а также привлечением современных методов обработки и оценки перспектив нефтегазоносности на современной стадии изученности приобретает большое значение для выделения структур различного генезиса в более погруженных частях разрезов для постановки глубокого бурения, в том числе параметрического.

- 1. Убайходжаев Т.И., Талипов С.Т., Авазходжаев Х.Х. и др. Перспективы нефтегазоносности палеозойских отложений Восточного Устюрта // Геология нефти и газа. 1992. № 1. С. 5-10.
- 2. Мухутдинов Н.У., Юлдашева М.Г. Перспективы и основные направления геологоразведочных работ на нефть и газ в Устюртском регионе // Сб. материалов Республ. науч.-техн. конф. «Состояние и перспективы развития геологоразведочных работ на нефть и газ Республики Узбекистан» (Акрамходжаевские чтения), г. Ташкент, ГУ ИГИРНИГМ, 12 октября 2022 г. Ташкент. 2022. С. 5-8.
- 3. Пуннанова С.А. Нефтегазоносность кристаллического фундамента с учетом развития в нем неструктурных ловушек комбинированного типа // Георесурсы. 2019. Т. 21. № 4. С. 19-26.

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН ПО ОСОБЕННОСТЯМ ФОРМИРОВАНИЯ ЛОВУШЕК

Хмыров П.В., Тухтаев Р.Р., Абдураимов М.Х., Богданов А.Н. *pkhmirov@gmail.com*

Институт геологии и разведки нефтяных и газовых месторождений, г. Ташкент, Узбекистан

В статье рассматривается важность классификации месторождений нефти и газа на основе повышения уровня детализации геолого-геофизических исследований для успешного поиска и разведки месторождений углеводородного сырья. Авторами рассматриваются различные классификации, применяемые в нефтегазовой геологии. На основе комплексного анализа, за основу принимается классификация Бакирова А.А. (1987г.), в которой выделено пять основных классов месторождений нефти и газа и основные их генетические типы. На ее основе все месторождения углеводородного сырья в пределах пяти нефтегазоносных Узбекистан отнесены к различным генетическим типам: регионов Республики структурному, литологическому, рифогенному, стратиграфическому и литологостратиграфическому. Полученные результаты будут способствовать прогнозированию генетических типов на вновь открываемых месторождениях, повышению эффективности их разведки и построению оптимальных геологических моделей для достоверного подсчета запасов углеводородов.

Ключевые слова: классификация, нефтегазоносность, месторождение, залежь, углеводороды

Введение. Повышение детализации геолого-геофизических исследований на нефть и газ с использованием современного оборудования и программных комплексов характеризуется выявлением более сложных по геологическому строению перспективных ловушек и месторождений (залежей) углеводородного сырья. В такой ситуации вопросы, связанные как с самим прогнозом нефтегазоносности, так и с методическими основами данного процесса становятся достаточно сложными на фоне существующих различных классификаций залежей нефти и газа.

Вопросами классификации месторождений нефти и газа (наряду с классификацией залежей углеводородного сырья по фазовому составу флюидов, по сложности геологического строения, по дебитам, по запасам углеводородов и др.) занималось очень большое число исследователей. Среди наиболее распространенных классификаций по типу ловушек необходимо отметить исследования А.А. Бакирова, И.О. Брода, М.А. Жданова, В.Е. Хаина, М.В. Абрамовича, В.Б. Оленина, Н.Б. Вассоевича, И.В. Высоцкого, Г.А. Габриэлянц, А.А. Гусейнова, М.А. Еременко и многих других ученых.

Одной из наиболее ранних классификаций является схема Клаппа Г.Г. (1910-1930 гг.). На эту классификацию различные авторы часто ссылались то, как на классификацию залежей, то, как на классификацию месторождений. Впоследствии она была дополнена Губкиным И.М. (1932г.) и названа классификацией структур нефтяных месторождений. Однако в ней также были смешаны понятия «залежь», «ловушка», «месторождение» и «структурные формы». Тем не менее, эту классификацию использовали при разработке классификаций как залежей, так и месторождений.

В классификации Хаина В.Е. (1954 г.) выделены три типа, с более дробными подразделениями месторождений (локально-структурный, регионально-структурный и экзоструктурный).

Брод И.О. и Еременко Н.А. (1957 г.) сделали попытку дать обобщенную схему классификации месторождений нефти и газа, которая, в основном, базируется на тектонических

условиях формирования структурного элемента, который контролирует образование месторождения. Характер месторождения и тип залежей определяется его положением в той или иной зоне нефтегазонакопления, которые различны в геосинклинальных и платформенных областях. В данной классификации месторождения разделены на два класса: I класс - месторождения, сформировавшиеся в складчатых областях, II класс - месторождения, сформировавшиеся в платформенных областях. Месторождения I класса подразделены на две группы (А и Б), а II класса на 4 группы (А, Б, В и Г), группы в свою очередь подразделены на 10 подгрупп [1]. Эта классификация с некоторыми уточнениями получила широкое применение в нефтегазовой отрасли бывшего Союза.

В.Г. Васильев и Н.А. Еременко (1966 г.) предложили индексировать каждое месторождение по типу залежей углеводородов, по фазовому состоянию и их количеству.

Позднее Н.А. Еременко (1968 г.) предложил осуществлять классификацию месторождений нефти и газа по их приуроченности к крупным, средним и мелким структурам.

В основу классификации месторождений нефти и газа В.Б. Оленина (1977г.) положена классификация, в которой используются два основных признака – генетический и морфологический. Наиболее крупные категории – типы выделяются на генетической основе, т.е. по процессам, приводящим к формированию тех или иных структурных форм-ловушек, которые доминируют в пределах данного месторождения. При оценке перспектив нефтегазоносности какой-либо территории и планировании поисково-разведочных работ этот признак позволяет судить о степени вероятности присутствия месторождений с определенной генетической характеристикой их структурных форм в данной геологической ситуации.

Большинство предложенных классификаций месторождений нефти и газа базируются на тех или иных тектонических представлениях и не затрагивают генезис геологических форм, к которым приурочено месторождение.

Как справедливо отметил Бакиров А.А. (1987г.) «В природе встречается большое разнообразие залежей и месторождений нефти и газа. Их классификация должна отражать главнейшие особенности формирования ловушек, которыми генетически связано образование соответствующих подразделений залежей и месторождений нефти и газа. Такая классификация позволит не только выяснить закономерности нефтегазонакопления в недрах, но и правильно ориентировать поисково-разведочные работы на нефть и газ, избегая бурения излишних поисковых и разведочных дорогостоящих скважин» [2].

Материалы и методы исследования. В основу исследований положен комплексный анализ геолого-геофизической информации и выполненного геологического моделирования месторождений (залежей) нефти и газа, содержащейся в отчетах по подсчету запасов углеводородного сырья, прошедших стадии экспертизы и утверждения в государственных органах.

Результаты. Развивая широко известную схему классификации И.М. Губкина, А.А. Бакиров выделил пять основных классов месторождений нефти и газа и основные их генетические типы: структурный, литологический, рифогенный, стратиграфический и литолого-стратиграфический (табл. 1). Месторождения углеводородов по Республике Узбекистан, согласно классификации А.А. Бакирова (1987 г.), группируются в состав четырёх классов: структурный, рифогенный, литологический и литолого-стратиграфический [3].

I. *Класс структурного типа*. Формирование месторождений УВ этого класса обусловливается структурным, точнее антиклинальным фактором. Ловушкой для образования скоплений УВ служат локальные структуры различного происхождения, структурные осложнения моноклиналей, а также дизъюнктивные нарушения, экранирующие в определенных условиях скопления нефти и газа [4].

Таблица 1 – Классификация месторождений нефти и газа Республики Узбекистан. Составили: П.В. Хмыров, Р.Р. Тухтаев, М.Х. Абдураимов, А.Н. Богданов, 2024 год (по Бакирову, 1987 г. и материалам ГУ «ИГИРНИГМ», 2024 г.)

Класс	Группа	Подгруппа	Наименование месторождений	
1	2	3	4	
Структурный	к антиклинальным и куполовидным структурам простого и ненарушенного строения		 Устюртский регион: Арал, Бердак-Шимолий Бердак, Джел, Западный Арал, Куаныш, Тиллали, Шагырлык, Шахпахты, Бескала, Кызыл-Шалы, Сайхун, Кушкаир. Бухаро-Хивинский регион: Шаркий Тошли, Гарбий Тошли, Карабаир, Карактай, Каракум, Карим, Муллахол, Караулбазар-Сарыташ, Сеталантепе, Ходжихайрам, Шумак, Юлдузкак, Янгиказган, Ёркин, Калтакыр, Каган, Истиклол-25, Зиробод, Карабаг, Аккум-Парсанкуль, Муродтепа-Атамурад, Гавана, Гарби, Даяхатын, Хаузак-Шады, Джебе, Дивалкак, Западный Кокчи, Западный Тегермен, Зекры, Каландар, Кандым-Ходжи-Западный Ходжи, Кувачи- Алат, Кульбешкак, Кумли, Самантепе, Северная Сузьма-Чаккакум, Северный Шады, Тегермен, Узункудук, Узуншор, Учкыр, Хаккуль, Ходжиказган-Учбурган, Чандыр, Шимолий Тегермен, Чистон, Южный Алан, Тайлак, Гирсан-Дивхона-Шимолий Гирсан, Бердыкудук, Западный Алан, Подрифовый Кокдумалак, Кушимча, Шимолий Култак, Саватли, Гарбий Хаккуль, Миркомилкудук, Жанубий Кульбешкак, Джейхун, Коштепа, Чигил, Шаркий Алат, Каромат, Узунчак, Шортак, Андакли, Тумарис. Шоркум, Шаркий Хатар, Уртакум, Разокбобо, Четкум, Патталик, Толиптепа, Шимолий Бешкент. Ферганский регион: Шурсув, Шимолий Ворух, Шорбулак, Наманган-Кушанское, Караджида, Чонгара-Гальча. Юто-Западно-Гиссарский регион: Кошкудук. 	
Структурный	к антиклинальным и куполовидным структурам, осложненным разрывной дислокацией		 Устюртский регион: Сургил, Шеге, Инам, Аралык, Куйи Сургиль, Куйи Шаркий Бердах, Западный Куйи Сургиль, Шаркий Арслан. Бухаро-Хивинский регион: Акджар, Джаркак, Газли, Гарбий Юлдузкок, Западный Яккасарай, Куюмазар, Кызылрабат, Сарыча, Шимолий Муборак, Ташкудук, Увада, Чембар, Шуртепе, Шурчи, Жанубий-Гарбий Юлдузкок, Жанубий Муборак, Яккасарай. Чувама, Янги Кызылрабат, Уртарабад, Жайрон, Ижобат, Акназар, Бешкент, Бузахур, Зафар, Камаши, Кирккулоч, Кумчук, Северный Нишан, Чунагар, Шимолий Акназар, Янги Каратепа, Сардоб, Култак, Северный Гузар, Нишан, Новый Алан, Илим, Чилькувар, Феруза, Чегаракум, Намазбай, Ойдин, Шеркент, Дарахтли, Рубойи, Марварид, Жумакон, Илланли, Назаркудук, Тарнасай, Толимаржон, Ходжадавлат, Эрназар, Ёрмок, Худжум, Мирбарака, Каракара, Бахористон, Айзоват, Алоуддин, Изганча, Муродкудук, Гарбий Эрназар, Ширинобод, Ульмаскамол, Иймон, Жумаэл, Октош. Ферганский регион: Авваль, Андижан, Ачису, Бостон, Ворух, Восточный Хартум, Гарбий Полвонтош, Гарбий Ходжаосмон, Гумхона, Касансай, Кашкаркыр, Марказий Авваль, Мингбулак, Палванташ, Сверный Аламышик, Северный Сох. Северный Ханкыз, Тергачи, Ханкыз, Хартум, Ходжаосман, Чимион-Чаур-Яркутан, Шарихан-Ходжаабад, Шаркий Аввал, Учтепа, Чакар, Южный Аламышик (XVIII, XIX, XX, XXI, XXII, XXIII, XXX горизонты). 	

Ш			Юго-Западно-Гиссарский регион: Адамташ, Аманата, Восточный Бузахур, Гумбулак- Джаркудук-Янги Кызылча, Оккул, Пачкамар, Аузикент, Восточный Караиль, Дехканабад, Джанкара, Зарабог, Сагиртау, Шамолтегмас, Шимолий Тандырча, Юго-Восточный Кызылбайрак. Сурхандарьинский регион: Мустакилликнинг 25 йиллиги, Ляльмикар, Миршади, Хаудаг, Кокайты, Коштар, Джалаир, Акджарсой, Жанубий Миршоди.
Литологичес- кий	к участкам вык-линивания пластов-коллек-торов или заме-щения проницае-мых пород непроницаемыми (литологически экранированные)	к участкам выклинивания пласта- коллектора по восстанию слоев	Устюртскии регион: Акчалак, Гарбии Борсакелмас, Кокчалак, Карачалак, Урга, Дали, Шаркий Бердак, Арслан. Бухаро-Хивинский регион: Караиз, Капали. Сурхандарьинский регион: Актау, Дасманага-Корсаглы.
Литологичес- кий	к участкам выклинивания пластов-коллекторов или замещения проницаемых пород непроницаемыми (литологически экранированные)	к участкам замещения проницаемых пород непро- ницаемыми запечатанны- ми образова- ниями асфаль- та	Бухаро-Хивинский регион: Ички, Северный Умид,
Литолого- стратигра- фический	к участкам выклинивания пластов-коллекторов, срезанных эрозией и перекрытых стратиграфически несогласно непроницаемыми отложениями более молодого возраста		Ферганский регион: Южный Аламышик (ККС-1-4, ККС-5, ККС-6, III, IV, V+VI, VII горизонты)
Рифогенный	к группе (ассоциации) рифовых массивов		Бухаро-Хивинский регион: Расылкудук, Северный Майманак. Шимолий Дарбаза, Дультатепа, Арнияз, Восточный Денгизкуль, Денгизкуль-Северный Денгизкуль, Джангуль, Джарчи, Западный Крук, Истмок, Маржон, Жейнов, Пирназар, Сарыкум, Северный Шуртан, Умид, Уртабулак, Центральный Памук, Чегаринская группа месторождений, Южный Уртабулак, Шакарбулак, Южный Зекры, Шимолий Испанлы, Шода, Шуртан, Южный Кемачи, Дарбаза-Янги Дарбаза, Янги Памук, Достон, Матонат, Супали, Шаркий Испанлы, Каратепа, Ахирбулак, Туртсари, Гарбий Сабо, Топичаксай, Совлигар, Алачагикудук, Таваккал, Ханабад, Хожимат, Чордарбаза, Киркчашма, Мирмирон, Хосил. Юго-Западно-Гиссарский регион: Южная Тандырча, Шурдарье
Рифогенный	к одиночным рифовым массивам		Бухаро-Хивинский регион: Алан, Гармистон, Зеварды, Кокдумалак, Крук, Северный Уртабулак, Южный Памук, Мезон.

Из числа отмеченных факторов в формировании месторождений структурного класса оказали влияние дизъюнктивные и пликативные дислокации. В связи с этим в составе рассматриваемого класса выделяются две группы месторождений, приуроченные:

1. К антиклинальным и куполовидным структурам простого и ненарушенного строения. К этой группе относятся месторождения в Устюртском, Бухаро-Хивинском, Ферганском, Юго-Западно-Гиссарском и Сурхандарьинском регионах, которые в пределах республики имеют повсеместное распространение. Иными словами, локализация месторождений этой группы в пределах только отдельных тектонических элементов не наблюдается (табл. 1).

2. К антиклинальным и куполовидным структурам, осложненным разрывной дислокацией. В пределах республики к этой группе относятся месторождения в Устюртском, Бухаро-Хивинском, Ферганском, Юго-Западно-Гиссарском, Сурхандарьинском регионах.

II. *Класс литологический тип.* В составе рассматриваемого класса выделяется группа месторождений, приуроченных к участкам выклинивания пластов-коллекторов или замещения проницаемых пород непроницаемыми (литологически экранированными), среди которых выделяются две подгруппы:

1. К участкам выклинивания пласта-коллектора по восстанию слоев. На территории республики к этой подгруппе относятся месторождения в Устюртском, Бухаро-Хивинском регионе и Сурхандарьинском регионах.

2. К участкам замещения проницаемых пород непроницаемыми, в том числе запечатанными асфальтом. Такие типы месторождений встречаются в пределах Бухаро-Хивинского региона - это Ички и Северный Умид.

III. *Класс Литолого-стратиграфический тип.* В составе рассматриваемого класса выделяется группа месторождений, к участкам выклинивания пластов-коллекторов, срезанных эрозией и перекрытых стратиграфически несогласно непроницаемыми отложениями более молодого возраста. Такие типы месторождений встречаются в пределах Ферганского региона – это Южный Аламышик.

IV. *Класс рифогенного типа*. В формировании месторождений УВ ведущая роль принадлежит рифогенным образованиям. Ловушкой для их образования обычно служат рифовые массивы.

В составе этого класса выделяются две группы месторождений, приуроченные:

1. К одиночным рифовым массивам в Бухаро-Хивинском регионе (табл. 1);

2. К группе (ассоциации) рифовых массивов. Эта группа представлена месторождениями республики Узбекистан в Бухаро-Хивинском регионе и в Юго-Западно-Гиссарском регионе.

Выводы. В результате комплексного анализа геолого-геофизических материалов, данных построения геологических моделей месторождений углеводородного сырья, результатов выполненных подсчетов запасов нефти и газа с последующей экспертизой и утверждением запасов углеводородов, по 305 открытым месторождениям в пяти нефтегазоносных регионах Республики Узбекистан выполнено их обобщение и классификация. На разработанную классификацию получено свидетельство Министерства юстиции Республики Узбекистан под номером № BGU 01054 от 17.05.2023 года об официальной регистрации базы данных «Классификация месторождений нефти и газа Республики Узбекистан».

- 1. Брод И.О., Еременко Н.А. Основы геологии нефти и газа. М.: Гостоптехиздат. 1957. 480 с.
- 2. Богданов А.Н., Хмыров П.В. Классификация месторождений углеводородов и целесообразность переоценки прогнозных ресурсов Бешкентского прогиба // Журнал нефти и газа Казахстана. 2023. № 3. С. 6-13.
- 3. Бакиров А.А., Бакиров Э.А., Мелик-Пашаев В.С., Юдин Г.Т. Теоретические основы и методы поисков и разведки скоплений нефти и газа. М.: Высшая школа. 1987. 384 с.
- 4. Абдуллаев Г.С., Богданов А.Н., Шарафутдинова Л.П., Каршиев О.А. Нефтегазоносные регионы Узбекистана. Ташкент: Fan Ziyosi. 2023. 535 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, ПРОВЕДЕННЫХ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА АНДИЖАН

Хусомиддинов А.С., Ядигаров Э.М., Бозоров Ж.Ш., Исламов Х.А. *ahrorhs1980@mail.ru* Институт сейсмологии им. Г.А. Мавлянова АН РУз, г. Ташкент, Узбекистан

В статье представлены результаты сейсморазведочных исследований, проведенных на территории города Андижан. Определены сейсмические волны, проходящие по слоям с учетом инженерно-геологических условий. В результате сейсморазведки изучены грунтовые слои Vs30, глубиной до 30 метров.

Ключевые слова: максимальное значение ускорения грунта, сейсморазведка, строительство, моделирование, слой грунта, сейсмическое воздействие

Введение. В последнее время в связи с увеличением численности населения на территории Республики Узбекистан возрастает потребность в масштабном строительстве жилых, производственно-сервисных и промышленных территорий. Это само по себе приводит к расширению городских территорий. Также, в связи с увеличением населения города Андижан, современная граница территории города расширилась в такой же степени по сравнению с предыдущей границей. Учитывая строительство высотных зданий на территории города, необходимы работы по сейсмическому микрорайонированию. В 1997 году в Андижане была разработана карта сейсмического микрорайонирования, которая используется до сих пор при строительных работах, ведущихся в городе. Результаты исследований, представленные в данной статье, позволят уточнить геологические условия в районах строительства, уровень сейсмичности и другую информацию, полученную в результате геофизического микрорайонирования.

Объект исследований. Для проведения сейсмического микрорайонирования города Андижан была детально проанализирована карта инженерно-геологического районирования (рис. 1а). На основании этой карты проведены сейсмологические исследования в 70 точках на рассматриваемом участке (рис. 1б).

Метод исследования. Сейсморазведка, благодаря высокой детальности глубинных измерений является ведущим методом геофизических исследований земной коры. В инженерно-геологических и гидрогеологических изысканиях в настоящее время получил развитие метод MASW, позволяющий при обработке наблюдений, повысить надежность прослеживания сейсмических горизонтов [1-7]. На исследуемой площадке были выполнены сейсморазведочные работы по методу MASW.

Целью проектируемых работ являлось определение *Vs*-скоростей поперечных сейсмических волн в верхних толщах грунтов. Для достижения этой цели исполнителями были выполнены следующие работы:

- проведение рекогносцировочных работ;
- проведение топографической разбивки профилей;
- проведение опытно-методических работ;
- проведение полевых геофизических наблюдений;
- проведение камеральных работ на специальном программном обеспечении.

В инженерно-геологических и гидрогеологических изысканиях в настоящее время получили развитие геофизические изыскания методом многоканального анализа поверхностных волн (MASW).



Рисунок 1 – Схематическая карта инженерно-геологического районирования г. Андижан (a) и расположение сейсморазведочных точек (б)

Полевые изыскания выполнены на сейсморазведочной станции «МАЕХ820-S» (производство Италия) с применением горизонтальных сейсмоприемников, частотой 4,5 Гц (рис. 2).



Рисунок 2 – Комплектация сейсморазведочной станции «МАЕХ820-S»

Каждая расстановка состояла из 24 каналов, с шагом 2 метра, при этом длина профиля составила 47 метров (рис. 3). Тип расстановки – фланговая.



Рисунок 3 – Схема расстановок сейсмоприемников

Накопление сигнала проводилось в зависимости от удаления источника от приемной линии, а также с помощью выбора оптимального качества записей сейсмических трасс с учетом отношения полезного сигнала на внешний шум при дальних удалениях и составляло от 5 до 10 ударов кувалдой весом 8 кг. Данные, полученные методом MASW, были проанализированы и сведены в единую систему. Данные, полученные в результате полевых исследований сейсморазведки, были проанализированы с помощью специальных программ (рис. 4).

Скорость прохождения сейсмических волн через каждый слой на глубине до 30 метров определена для 70 точек города Андижан. В таблице 1 приведены значения полученных средних скоростей сейсмических волн. Для расчета *Vs30* использовалась формула:

$$V_{s}30 = \frac{30}{\sum_{i=1}^{N} \frac{h_{i}}{V_{si}}}$$
(1)

N⁰	Va20 v/a	N⁰	Va20 No	N⁰	V_{a} 20 M_{a}
точки	V350, M/C	точки	VS50, M/C	точки	V 550, M/C
1	565	25	299	49	310
2	353	26	513	50	343
3	335	27	415	51	314
4	309	28	503	52	302
5	298	29	426	53	301
6	317	30	430	54	366
7	326	31	484	55	431
8	313	32	379	56	365
9	384	33	384	57	314
10	364	34	415	58	354
11	262	35	403	59	394
12	282	36	430	60	312
13	457	37	255	61	251
14	374	38	350	62	369
15	541	39	445	63	305
16	366	40	395	64	346
17	312	41	310	65	437
18	337	42	354	66	473
19	328	43	384	67	483
20	428	44	349	68	325
21	316	45	413	69	333
22	303	46	500	70	325
23	303	47	327		
24	332	48	340		

Таблица 1 – Средние скорости сейсмических волн для рассматриваемых точек



Рисунок 4 – Обработка данных по методу MASW

Результаты исследования. На основе анализа полученных данных была создана карта *Vs30* для территории города Андижан (рис. 5) с помощю ГИС технологий. По результатам проведенного анализа мы видим, что скорости сейсмических волн *Vs30* изменялись в диапазоне 250-565 м/с. Район исследования можно разделить на три части, в зависимости от значений скорости. Относительно низкие значения скорости составляют 250-350 м/с, большая часть области имеет значения скорости 350-400 м/с. Для центральной части региона установлено, что скорость распространения поперечных волн варьируется в пределах 400-550 м/с.



Рисунок 5 – Карта *Vs30* для территории города Андижан

Заключение. В результате сейсморазведки изучена скорость прохождения сейсмических волн через слои глубиной до 30 метров на территории города Андижан, результаты сопоставлены с инженерно-геологическими исследованиями, проведенными на участке исследований. Проведенные сейсморазведочные исследования будут использоваться при сейсмическом микрорайонировании на территории города Андижан.

- 1. Гайнанов В.Г. Сейсморазведка. Руководство к практическим занятиям по курсу «сейсморазведка». М.: Изд-во МГУ. 2005. 149 с.
- Мамарозиков Т.У., Ядигаров Э.М., Чакконова С.А. О физических свойствах аллювиальных отложений долины р.Чирчик по данным комплексных геофизических исследований // Проблемы обеспечения сейсмической безопасности населения и территории Республики Узбекистан. Республ. науч.-техн. конф., г. Ташкент, 20-21 сент. 2021 г. Ташкент. 2021. С. 132-136.
- 3. Алешин А.С. Континуальная теория сейсмического микрорайонирования. М.: Научный мир. 2017. 300 с.
- 4. Ismailov V.A., Yodgorov Sh.I., Allayev Sh.B., Mamarozikov T.U., Avazov Sh.B., Seismic microzoning of the Tashkent territory based on calculation methods // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. 2022. Vol. 152.
- 5. Ядигаров Э.М., Мамарозиков Т.У., Ёдгоров Ш.И., Хусомиддинов А.С., Авазов Ш.Б. Оценка изменения пикового ускорения землетрясений с глубиной, по данным моделирования реакции грунтового слоя на сейсмическое воздействие // Проблемы сейсмологии. 2021. Т. 3. № 2. С. 91-96.
- 6. Pilz M., Abakanov T., Abdrakhmatov K., Bindi D., Boxberger T., Moldobekov B., Orunbaev S., Silacheva N., Ullah S., Usupaev U., Yasunov P., Parolai S. (2015): An overview on the seismic microzonation and site effect studies in Central Asia // Annals of Geophysics, 58, 1.
- Ядигаров Э.М., Мамарозиков Т.У., Авазов Ш.Б. Оценка Vs30 города Наманган для решения задач сейсмического микрорайонирования // Актуальные проблемы обеспечения сейсмической безопасности населения и территорий. Сб. докл. Междунар. науч. конф., посвящ. 80-летию Академии наук Республики Узбекистан, г. Ташкент, 3-4 окт. 2023 г.

МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ГНСС ДАННЫХ В ПРОГРАММЕ GAMIT-GLOBK В ОБЛАСТИ СЕЙСМОЛОГИИ

Шукуров З.Ф. zukhriddin85@mail.ru Институт сейсмологии им. Г.А. Мавлянова АН РУз, г. Ташкент, Узбекистан

В статье представлена информация о методике обработки данных GNSS в программе GAMIT-GLOBK в области сейсмологии. Приведены полезные ссылки, отражающие основные типы баз данных. Также приводится три этапа обработки GNSS данных в программе GAMIT-GLOBK. Приводится, что на последних этапах обработки получаются временные ряды координат точек и таблица скоростей точек – таблица скоростей среднегодовых горизонтальных и вертикальных движений ГНСС-станций.

Ключевые слова: ГНСС, GAMIT-GLOBK, горизонтальные и вертикальные движения, GMT, сейсмическая опасность.

Введение. В современной сейсмологии, исследования, направленные на изучение современных движений земной коры с помощью ГНСС приемников, является одним из основных инструментов оценки сейсмического опасности в реальном времени. Одна из основных задач сейсмологической науки направлена на предварительную оценку сейсмического опасности и снижение разрушительных последствий землетрясений. Обеспечение сейсмической безопасности населения, зданий и сооружений путем оценки сейсмической опасности территорий является одним из основных и важных аспектов устойчивого социально-экономического развития республики. В последние годы широко развиваются научные исследования в направлении оценки ущерба от природных и техногенных стихийных бедствий. среди которых особое место занимают космогеодезические (ГНСС) исследования, направленные на определение скорости и направления современных движений тектонических массивов. Известно, что в мобильных измерениях, для получения высокоточных результатов требуется длительная измерения, которые на каждом пункте, проводится в течение 36 часов, с помощью высокоточных ГНСС приёмников, и с шагом дискретизации в 30 секунд.

В качестве банка данных для выполнения работ по изучению современных движений земной коры, используется первичные данные координат измеренных пунктов, установленных в сейсмоактивных регионах.

Как известно, ГНСС – это спутниковая система глобального позиционирования, используемая для определения координат и времени в любой точке мира. Два главных параметра определяются с помощью станций ГНСС: первый - точное местоположение точки на местности (долгота, широта и альтитуда), второй - точное время (по UTC) [1,2]. Мониторинг этих показателей в течении определенного времени позволяет оценивать современные горизонтальные и вертикальные движения земной коры.

Обработка ГНСС данных. Обработка данных ГНСС осуществляется на основе программы GAMIT-GLOBK, созданной учеными Массачусетского технологического института и работающей под управлением операционной системы Linux/Unix [3,4]. Преимуществом функционирования данной программы является ее работоспособность в полуавтоматическом режиме.

Пакет GAMIT состоит из отдельных модулей, выполняющих функции подготовки данных для ГНСС-обработки, генерации таблиц, интерполированных данных спутниковых орбит, вычисления разностных значений наблюдений (между двумя спутниками и двумя приемниками, называемых двойными разностями), обнаружения отскоков и перерывов в данных, вычисления оценок параметров методом наименьших квадратов. Пакет программы GAMIT для определения координат пунктов наблюдений используют измерения фаз несущих частот, дробные части которых регистрируются в ГНСС-приемниках с большой точностью. Существенное влияние на точность определения координат оказывают ошибки, возникающие при выполнении измерений. В пакете программы GAMIT для их устранения используются различные методы [3,4].

В результате обработки данных в пакете программы GAMIT получаются решения двух типов:

Первый тип решения – это оценки координат пунктов наблюдений, а также параметров спутниковых орбит и земного вращения. В этом решении используются жесткие ограничения на априорные координаты для хорошо изученных станций (до 2 – 3 мм) и свободные (до 100 м) для новых пунктов. Данное решение может использоваться самостоятельно при определении координат пунктов наблюдений, но, в основном, оно применяется для контроля качества решения.

Второй тип решения в виде ковариационной матрицы используется для дальнейших расчетов в пакете программы GLOBK. В этом решении применяются свободные ограничения на априорные значения для всех определяемых параметров.

Пакет программы GLOBK служит для подготовки и обработки данных на основе фильтра Кальмана [4]. Одно из назначений данного пакета – это объединение отдельных сессий, например, однодневных решений для получения усредненных оценок координат пунктов наблюдений за период многодневного эксперимента (кампании). Другое назначение пакета программы GLOBK – объединение решений отдельных кампаний, проведенных в течение нескольких лет, с целью получения оценок скоростей движений наземных пунктов. С помощью данного пакета также могут быть вычислены зависимости координат пунктов наблюдений во времени. В состав пакета включены различные программы постобработки и представления результатов.

Подготовка и отображение графической информации выполняется с помощью пакета GMT (Generic Mapping Tools) [5], в состав которого входят около 60 свободно распространяемых программ, позволяющих оперировать с двух- и трехмерными наборами данных, включая такие операции как фильтрация, выделение полиномиальных трендов, интерполяция данных. Построение графической информации производится в формате Encapsulated PostScript в виде 2- и 3-мерных изображений. Вывод карт может осуществляться в 25 различных картографических проекциях, а графиков – в линейном, логарифмическом и экспоненциальном масштабах.

При обработке использовались данные, необходимые как для работы пакета GAMIT/GLOBK, так и всей работы в целом. В первую очередь это RINEX-файлы, содержащие информацию о фазах, несущих частотах и псевдодальностях по всем наблюдаемым спутникам и создаваемые для каждого из пунктов измеренийбазы данных. Далее формируются основные виды баз данных, с указанием организации (в скобках), включающие:

- навигационные файлы, содержащие навигационные сообщения от спутников системы NAVSTAR (SOPAC, Scripps Orbit and Permanent Array Center) [6].

- файлы, содержащие параметры спутниковых эфемерид, точность определения которых составляет ~5 см (SOPAC).

- таблицы параметров земной ориентации, включая координаты полярного движения и универсальное время UT1-UTC, распространяемых в виде IERS бюллетеня A и B [7].

- точность определения координат полярного движения в бюллетене В составляет 0.1 угловых мсек, скорости его движения – 0.2 мсек/день. Точность определения UT1-UTC - 50 микросекунд.

- таблицы параметров нутации и прецессии, лунных и солнечных эфемерид (Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences Massachusetts Institute of Technology) [8].

- координаты и скорости движений станций мировой IGS сети в системе отсчета ITRF14 - International Terrestrial Reference Frame 2014 (Лаборатория геодезических исследований – LAREG, Франция).

- файлы GLOBK решений для станций мировой ГНСС сети (Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences Massachusetts Institute of Technology) [8].

Обработка в программе GAMIT-GLOBK осуществляется в три этапа (рис. 1).



Рисунок 1 – Основные этапы обработки в программе GAMIT-GLOBK

На первом этапе данные ГНСС, измеренные в полевых условиях и в партнерских организациях, вводятся в ту же систему с данными мировых сетей ГНСС. То есть практически все характеристики данных ГНСС приводятся к единому формату и виду. Причина в том, что, поскольку процесс обработки находится в полуавтоматическом состоянии, требуется поместить все данные, поступающие в процесс обработки в соответствующее место. Обеспечение согласованной системы отсчета для определения точного местоположения пунктов в течение всего периода наблюдений является важной задачей на последующих этапах обработки. Поэтому на втором и, особенно, на третьих этапах выбору надежной, стабильной системы отсчета уделяется особое внимание.

На втором этапе процесса обработки из первичных значений координат X, У, Z в файле RINEX с помощью программы GAMIT удаляются вариации ошибок, снижающие точность определения координат, и таким образом создаются h-файлы. На этапе обработки в программе GAMIT формируются графики, отражающие точность h-файлов станций ГНСС. По этим графикам проверяется точность h-файлов. Если точность h-файлов не превышает допустимых ошибок, осуществляется переход на следующий этап. В противном случае возвращается к первому этапу процесса обработки и проверяется, все ли на месте и корректно ли сформирована базы данных. После данных процедур, процесс обработки начинается снова, до тех пор, пока графики, представляющие точность h-файлов, не окажутся в пределах допустимого диапазона ошибок. Также на этом этапе, суточные данные с оценками координат пунктов наблюдений, параметрами спутниковых орбит и земного вращения из каждой кампании объединялись в одно решение с помощью программ пакета GLOBK. При решении ко всем параметрам применялись свободные ограничения, позволяя в дальнейшем использовать их для вычисления оценок скоростей. В результате по каждой

кампании создавался файл решений, включающий ковариационную матрицу и априорные значения всех параметров.

Третий этап выполнялся итерационно. После каждого решения полученные координаты пунктов и их скорости использовались как априорные данные для новой итерации. Достаточным оказалось выполнить не более 3 циклов итерации. На данном этапе обработки получаются временные ряды координат точек и таблица скоростей точек – таблица скоростей среднегодовых горизонтальных и вертикальных движений станций ГНСС.

Результаты и их обсуждение. После обработки данных ГНСС результаты получаются в виде таблицы. Обычно в таблице отражается Long – координаты долготы ГНСС пунктов, Lat – координаты широты ГНСС пунктов, Evel – годовые скорости восточной составляющей, Nvel – годовое скорости северной составляющей, Rne – диапазон оценок главных компонент в поправках к координатам, дает корреляцию между оценками севера и востока, необходимую для вычисления эллипсы, Hvel – годовое вертикальное скорости движение точек, по Международной наземной системе отсчёта (ITRF2020 - International Terrestrial Reference Frame 2020), Site – сокращенное название ГНСС пунктов наблюдения.

На основе анализа современных движений осуществляется оценка напряженнодеформированного состояния земной коры, реализуется процесс паспортизации сейсмической активности тектонических разломов, проводиться оценка напряженного состояния плотин и бортов водохранилищ в период их эксплуатации, а также мониторинг добычи углеводородов с соответствующим обеспечением безопасной эксплуатации месторождений. Результаты научных исследований взаимосвязи природных и техногенных воздействий на твердую оболочку земли с современной сейсмичностью позволяют оценить современное геодинамическое состояние сейсмоактивных территорий и более глубоко познать природу возникновения землетрясений.

- 1. https://en.wikipedia.org/wiki/Satellite_navigation
- 2. <u>Introduction to Global Navigation Satellite System (2018)</u>. <u>Available:</u> <u>http://www.unoosa.org/documents/pdf/icg/2018/ait-FHCC/09 M1.pdf</u>
- 3. <u>Herring TA, King BW, McClusky SC (2006). GAMIT. Reference Manual. GPS Analysis at MIT. Release 10.3 (EAPS, MIT, 2006a), pp. 1–182.</u>
- 4. <u>Herring TA, King BW, McClusky SC (2006). GLOBK: Global Kalman Filter VLBI and GPS</u> Analysis Program. Release 10.3 (EAPS, MIT, 2006b), pp. 1–87.
- 5. <u>https://www.generic-mapping-tools.org/</u>
- 6. <u>http://sopac-csrc.ucsd.edu/index.php/sopac/</u>
- 7. <u>IERS Earth Orientation Parameters Product Center EOP PC: hpiers.obspm.fr/eoppc/</u>
- 8. <u>https://eaps.mit.edu/</u>

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ ИОНОСФЕРНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВО ВРЕМЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ GNSS IONEX

Щербулова Е.Е., Андреев А.Б. chsherbulova@gmail.com Институт ионосферы, г. Алматы, Казахстан

Настоящее исследование посвящено анализу ионосферных данных, полученных с использованием глобальных карт полного электронного содержания GIM, для выявления потенциальных корреляций между изменениями в ионосфере и землетрясениями. На основе данных GIM проанализировано более 500 наиболее сильных землетрясений по всему миру. Показано, что для большого числа проанализированных землетрясений статистически значимое локальное отклонение полного электронного содержания, которое можно связать с землетрясениями, отсутствует.

Ключевые слова: землетрясения, полное электронное содержание, GIM, IONEX, GNSS TEC.

Введение. Множество научных публикаций посвящено локальным эффектам в ионосфере земли, предшествующим сильным землетрясениям [1, 2, 3], и обнаруженным в данных полного электронного содержания (ПЭС) ионосферы, получаемым с помощью стационарных GNSS приемников. Одним из типов таких данных являются глобальные карты GIM (Global Ionospheric Maps), данные типа IONEX (IONosphere map EXchange) [4]. Изменение в ионосфере могут предшествовать сейсмической активности, предлагая потенциально ценные данные для разработки предупреждающих систем о приближающемся землетрясении. Предложено несколько механизмов возникновения таких аномалий (пьезоэлектрический эффект, повышение проводимости атмосферы из-за выделения радона и др.). Вместе с тем, достаточной статистики по таким косейсмическим ионосферным аномалиям нет. Несмотря на значительный прогресс в данной области, связь между ионосферными аномалиями и землетрясениями, остается недостаточно изученной. Настоящая работа посвящена исследованию данного явления с целью сбора максимальной статистики и определения возможности использования данных параметров ионосферы для прогноза землетрясений. Исследование заключается в поиске возможных ионосферных аномалий, которые могут быть связаны с предвестниками сейсмической активности [5].

Данные. В рамках исследования использовались ионосферные карты GIM IONEX, рассчитанными тремя различными научными центрами – JPLG (Jet Propulsion Laboratory of California Institute of Technology, http://www.jpl.nasa.gov), UPCG (Polytechnic University of Catalonia, Barcelona, Spain), CODG (Center for Orbit Determination in Europe, Bern, Switzerland). Данные представляют собой глобальные карты вариаций ПЭС, с временным разрешением 2 часа и рассчитанные для сетки 2.5° по широте и 5° по долготе. Данные доступны с 2008 года, чем и обусловлен использованный в настоящей работе временной интервал с 2008 по 2024 год. Спецификой данных GIM является то, что они рассчитываются для всего земного шара на основе данных относительно небольшого числа GNSS приемников (CORS станций). Значительная неоднородность в распределении CORS станций приводит к тому, что важную роль в итоговых данных ПЭС играют используемые при расчете алгоритмы интерполяции и модели динамики ионосферы. Расчетом карт GIM занимается множество научных организаций по всему миру, и каждая использует свои собственные методики расчета. Это приводит к значительным отличиям карт GIM, рассчитанными различными организациями. Так, на рисунке 1 приведен пример суточной динамики ПЭС в точке достаточно высокой плотностью GNSS станций (30° N, 105° W) по данным GIM, рассчитанным в 15 различных научных центрах. Как видно, отличия в значениях ПЭС

заключаются не только в вариациях, но и в абсолютных значениях. В виду значительного объема данных, в настоящей работе было решено ограничиться данными от трех центров - JPLG, UPCG, CODG.



Рисунок 1 – Суточный ход вариаций ПЭС в одной точке по данным GIM, рассчитанным в 15 различных научных центрах

Данные о землетрясениях, произошедших с 2008 года, были взяты с сайта Геологической службы США (United States Geological Survey, <u>https://earthquake.usgs.gov/</u>). В данной работе проведен анализ всех землетрясений с магнитудой Mb более 6.5 произошедших в мире с 2008 по 2024 год, всего 520 событий.

Методика. Для определения локальных ионосферных аномалий, представляющих собой отклонение значений ПЭС в области вблизи эпицентра, была предложена следующая методика. Для каждого землетрясения выбиралось значение в данных GIM для пикселя, соответствующему координатам эпицентра (TEC_{eq}) и среднее значение ПЭС для двух пикселей, на 10° или 20° восточнее и западнее эпицентра (TEC_{offset}). Далее строились временные ряды разницы значений:

$$dTEC = TECeq - TECoffset$$
(1)

длительностью 60 суток для периода от -50 дней до землетрясения до 10 дней после землетрясения. Для исключения влияния суточного хода ПЭС брались среднесуточные значения dTEC, от момента землетрясения, с точностью 2 часа.

Таким образом, отклонение значений ПЭС в области эпицентра в течении длительного (более суток) времени приведет к изменению величины dTEC относительно фонового значения.

Помимо этой методики было опробовано несколько других способов выявления ионосферных аномалий – определение максимального, минимального, среднего суточного ПЭС, суточного роста ПЭС. Однако эти способы не устраняют влияния на ионосферу солнечной активности.

Для иллюстрации методики приведем пример изменений ПЭС по данным GIM для недавнего сильного землетрясения магнитудой Mb = 7, произошедшего 22 января в 18:09:04 по Гринвичу, с эпицентром в 251 км к юго-востоку от Алматы, Кыргызстан (координаты эпицентра 41.26° N, 78.65°E).

На рисунке 2 и 3 представлены временные ряды максимальной и минимальной суточной вариации ПЭС по данным JPLG, UPCG и CODG, рассчитанные в пяти точках на широте землетрясения, и на долготе -20, -10, 0, +10 и +20 градусов от эпицентра землетрясения. При этом, из рисунка 2 можно видеть, что по данным JPLG 21-23 января

наблюдался локальный рост максимального суточного значения ПЭС в районе эпицентра и $\pm 10^{\circ}$ по долготе, тогда как на большем расстоянии $\pm 20^{\circ}$ такого роста не наблюдается. Согласно рисунку 3, по данным UPCG 20-23 января наблюдалось локальное уменьшение минимального суточного значения ПЭС в районе эпицентра и $\pm 10^{\circ}$ по долготе, тогда как на большем расстоянии ±20° такого уменьшения не отмечается. Многие исследователи рассматривают подобные аномалии, обнаруженные для различных единичных землетрясений, как возможные предвестники. Однако, особенности ионосферных возмущений, создаваемых солнечной активностью, а также особенность самих данных IONES, заключающаяся в том, что для расчета ПЭС на достаточно плотной сетке координат используется очень неоднородная сеть станций GNSS, приводит к тому, что в данных IONEX содержится множество артефактов, связанных с методикой расчета самих данных [6]. Для исключения этих артефактов необходимо исследовать большое, статистически значимое количество землетрясений.



Рисунок 2 – Максимальное значение полной суточной электронной концентрации



Рисунок 3 – Минимальное значение полной суточной электронной концентрации

Нами было проанализировано 520 землетрясений с магнитудой более 6.5, произошедших по всему миру в период с 2008 по 2024 год. На рисунке 4 приведен пример данных вариаций ПЭС, а именно значений dTEC в единицах TECU для всех рассмотренных землетрясений, упорядоченных по убыванию магнитуды, для периодов от -50 дней до землетрясения до 10 дней после землетрясения. Так же на рисунке приведены нормированные значения среднего для каждого 60-ти дневного периода индекса солнечной активности F10.7.



Рисунок 4 – Вариаций значений dTEC для всех 520 землетрясений с Mb>6.5 упорядоченных по убыванию магнитуды, для периодов от -50 дней до землетрясения до 10 дней после землетрясения

В случае наличия повторяющегося для многих землетрясений ионосферного эффекта, аналогичного приведенному на рисунках 2 и 3, на рисунке присутствовала бы четко различимая вертикальная структура вблизи момента землетрясения, по крайне мере для самых сильных землетрясений. Однако, как видно из рисунка, при рассмотрении большого количества землетрясений не наблюдается ни какой закономерности в локальных отклонениях ПЭС над эпицентрами землетрясений, предшествующих или непосредственно в моменты землетрясений. Область, расположенная по времени вблизи землетрясений, неотличима от области за полтора месяца до землетрясений. При этом, можно найти десятки землетрясений, имеющих какие-либо ионосферные аномалии, которые можно привязать к моменту землетрясения, однако при рассмотрении большого числа событий, становится очевидным, что процентное соотношение таких землетрясений не выходит за рамки случайных событий. Значения индекса F10.7, как основного показателя возмущенности ионосферы, приведено для того, чтобы проиллюстрировать причину высоких значений в течение всего 60 дневного периода для отдельных землетрясений. Как видно, именно солнечная активность определяет высокий уровень локальной возмущенности ионосферы.

Рисунок 4 построен по данным JPLG, аналогичные результаты получены и для данных GIM, рассчитанным UPCG и CODG. Так же отсутствие какой-либо закономерности в вариациях ПЭС обнаружено и при построении максимальных, минимальных и средних суточных значений ПЭС.

Выводы. В рамках данной работы продемонстрировано, что хотя ионосферные аномалии, предшествующие сильным землетрясениям, наблюдаются довольно часто, большинство из них вызвано совпавшим по времени высоким уровнем солнечной активности и, как следствие, возмущенности ионосферы. Кроме того, специфика данных GIM IONEX заключается в том, что они рассчитываются для всего земного шара на основе данных относительно небольшого числа GNSS приемников, а потому, используемые при расчете алгоритмы интерполяции, уникальные в каждом научном центре, занимающимся расчетом GIM, вносят значительные искусственные искажения в данные ПЭС. Использование для выявления возможных предвестников данных ПЭС, расчитанным по RINEX файлам для конкретных приемников. Авторы не исключают возможности наличия ионосферных предвестников сильных землетрясений, напротив, наши исследования направлены на поиски данных предвестников. Однако, по мнению авторов, только статистически значимая выборка однотипных эффектов позволит говорить о реальном наличии пресейсмического ионосферного эффекта. В данной работе мы показали, что описанная методика, основанная на поиске локальных отклонений ПЭС, не позволяет обнаружить возможные ионосферные эффекты. В качестве дальнейшего развития исследования предлагается развитие методики, заключающееся в разделении землетрясений по зонам (материковые, океанические), выборка землетрясений, произошедших на фоне маловозмущенной ионосферы, поиск периодических процессов в ионосфере.

- 1. Ikuta R., Oba R. How Credible Are Earthquake Predictions Based on TEC Variations? // Journal of Geophysical Research: Space Physics. 2022. Vol. 127. No. 3. P. e2021JA030151.
- Feng J. et al. A Method for Detecting Ionospheric TEC Anomalies before Earthquake: The Case Study of Ms 7.8 Earthquake, February 06, 2023, Türkiye // Remote Sensing. 2023. Vol. 15. No. 21. P. 5175.
- 3. Karia S. et al. Analysis of space-and ground-based parameters prior to an earthquake on 12 December 2009 // International journal of remote sensing. 2013. Vol. 34. No. 21. P. 7779-7795.
- 4. Karia S., Sarkar S., Pathak K. Analysis of GPS-based TEC and electron density by the DEMETER satellite before the Sumatra earthquake on 30 September 2009 // International journal of remote sensing. 2012. Vol. 33. No. 16. P. 5119-5134.
- 5. Клименко М.В. Моделирование сейсмоионосферных эффектов, инициированных внутренними гравитационными волнами // Химическая физика. 2011. Т. 30. № 5. С. 41-49.
- 6. Благовещенский Д.В. Влияние геомагнитных бурь/суббурь на ионосферу. Ч. 1 (Обзор) // Геомагнетизм и аэрономия. 2013. Т. 53. №. 3. С. 291-307.

ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ КАРБОНАТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВЕРХНЕЙ ЮРЫ НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЧЕТКУМ И ЧЕГАРАКУМ (РЕСПУБЛИКА УЗБЕКИСТАН)

Юлдашев Н.Н.¹, Давронов Н.Н.¹, Абдурахманов Р.Е.² *Yuldashev_nn@mail.ru, nodir.davronov.96@mail.ru* ¹Институт геологии и разведки нефтяных и газовых месторождений, г. Ташкент, Узбекистан ² АО «Узбекнефтегаз», г. Ташкент, Узбекистан

Изучены перспективы нефтегазоносности юрских карбонатных отложений в юго-западной части Кандымского поднятия на примере месторождения Четкум, путем комплексного анализа полученных геолого-геофизических данных в результате бурения поисковоразведочных скважин, а также материалов сейсморазведки МОГТ 3Д. Проведена детализация морфологии структуры, уточнение границ с целью увеличения контуров месторождения, а также ускорения этапа разведки месторождения.

Ключевые слова: структура, брахиантиклиналь, карбонатные отложения, горизонт, разрез, продуктивный горизонт, тектонические разломы.

За последние 20 лет на территории западной и юго-западной частей Кандымского поднятия в результате ускорения и концентрации геологоразведочных работ было открыто более 15 газоконденсатных месторождений. Основной упор здесь традиционно был направлен на верхнеюрский карбонатный комплекс пород.

Поисково-разведочное бурение на исследуемой территории выполняется с начала 60-х годов прошлого столетия. Бурением охвачено порядка 30 перспективных площадей, из них площадях на 7 в настоящее время продолжается поисковое бурение, с целью обнаружения новых залежей УВ.

Разведочное бурение продолжается на месторождениях Чегаракум, Четкум, Гарбий Аккум, Рахматбобо, Жанубий Аккум и Шаркий Хатар. Из них заслуживают особого внимания месторождения Четкум и Чегаракум, которые, на наш взгляд, имеют наибольший потенциал к повышению запасов УВ, путем продолжения доразведочных работ.

Структура Четкум в административном отношении находится на территории Каракульского района Бухарской области Республики Узбекистан, в тектоническом отношении расположена на северо-западной части Чарджоуской ступени, в пределах Кандымского поднятия, к северо-западу от месторождения Чегаракум [1].

Структура Четкум выявлена в 2004 году в поисковых сейсморазведочных отчётных работ и переинтерпретации материалов прошлых лет, полевыми работами к 2010 г. структура детализирована.

Структура Четкум подготовлена к поисковому бурению по двум основным горизонтам: по кровле отложений карбонатной юры T_6 (J_3 , k+o) и по кровле отложения терригенной юры T_7 (J_{1+2}). По отражающим горизонтам структура представляет собой брахиантиклинальную складку с тремя куполами северо-западного простирания, залегающих конформно. Размеры по ОГ T_6 по замыкающей изогипсе «-1980 м», составляют 7,85 х 2,5 км, амплитуда 40 м, площадью 14,727 км², по ОГ T_7 по замыкающей изогипсе «-2310 м» составляют 7,6 х 2,4 км, амплитуда 50 м, плошадь – 13,345 км².

Поисковое бурение с целью выяснения перспектив нефтегазоносности Четкумской площади начато в 2021 году; в процессе испытаний поисковой скважины №1 было получено 82 тыс.м³/сут и 16 тыс.м³/сут из поисковой скважины №2, открыто Четкумское газоконденсатное месторождение.

Поисковая скважина № 3 месторождения Четкум заложена к северо-западу от поисковой скважины № 1 Четкум на сейсмопрофиле In Line 2635, Cr Line 3345, с целью расширения контура С₁ и изучения геологического строения по карбонатным и терригенным отложениям юры с проектной глубиной - 2850 м, со вскрытием палеозойских отложений.



Рисунок 1 – Площадь Четкум структурная карта по кровле отражающего горизонта Т6, приуроченного к кровле XV-1 горизонта карбонатной юры

С целью определения характера насыщения коллекторов вскрытого разреза, согласно утвержденному плану опробования, в скважине произведено испытание одного объекта. В результате испытания в открытом стволе в интервале 2356-2289 м получены промышленные притоки газа дебитом 514 тыс.м³/сут.

В результате выполненных исследований с учетом результатов трех поисковых скважин была составлена сводная структурная карта по кровле юрских карбонатных отложений (горизонт T6) в масштабе 1:100 000 (рис. 1), с целью определения наиболее перспективных участков для проведения дальнейших геологоразведочных работ. С учетом выполненных построений считаем целесообразным рекомендовать заложить разведочную скважину № 5 Четкум на северо-западном куполе структуры, где была пробурена поисковая скважина № 3 Четкум и в результате испытания из карбонатных верхнеюрских отложений был получен значительный промышленный приток газа. При анализе петрофизических свойств карбонатных отложений по материалам ГИС, поисковых скважин №№1, 2 и 3 Четкум и разведочной скважины № 13 Аккум, предполагается что с юго-востока на запад коллекторские свойства коллекторное имеют улучшенные характеристики [4].

Вышеприведённая информация и полученные геолого-геофизические данные пробуренных скважин позволяют, для уточнения распространения залежи структуры и увеличения площади запасов УВ, а также для изучения контура залежи в XV-1 горизонте верхней юры, рекомендуется заложение разведочной скважины № 5 месторождения Четкум на расстоянии 2500 м к юго-западу от скважины № 1 Четкум на пересечении сейсмопрофилей In 2726 и Cr 3343, с проектной глубинной 2850 м со вскрытием отложений XV-3 горизонта верхней юры (рис 2, 3).

Структура Чегаракум в административном отношении находится на территории Каракульского района Бухарской области Республики Узбекистан, в тектоническом отношении расположена на северо-западной части Чарджоуской ступени, в пределах

Кандымского поднятия, к северо-западу от месторождения Чегаракум.

Структура Чегаракум выявлена в 2004 году в процессе поисковых сейсморазведочных переинтерпретации материалов прошлых лет.

Структура Чегаракум дератизационными подготовлена к поисковому бурению по двум основным горизонтам: по кровле отложений карбонатной юры T_6 (J_3 , k+o) и по кровле отложения терригенной юры T_7 (J_{1+2}) и структура представляет собой брахиантиклинальную складку с тремя куполами северо-западного простирания, залегающих конформно [2]. Размеры по ОГ T_6 по замыкающей изогипсе «-1980 м», составляют 7,85 х 2,5 км, амплитуда 40 м, площадь 14,727 км², по ОГ T_7 по замыкающей изогипсе «-2310 м» составляют 7,6 х 2,4 км, амплитуда 50 м, плошадь – 13,345 км² (рис 4).



Рисунок 2 – Месторождение Четкум временной разрез по сейсмическому профилю Random line 4



Рисунок 3 – Месторождение Четкум Random line 2 (RMS Amplitude). Месторождение Чегаракум

Скважина № 1 Чегаракум пробурена в сводовой части структуры, сейсмопрофиля 01010401Р на пикете 82, с целью изучения литологии разреза и поисков залежей нефти и газа в верхнеюрских карбонатных и нижнесреднеюрских терригенных отложениях. Всего в скважине испытано 10 интервалов, в двух из них 2368-2356 м и 2366-2355 м получен газ дебитом 20,2 - 20,5 тыс. м³/с через 6 мм и 4 мм штуцеры соответственно.

Скважина № 2 пробурена на расстоянии 2,5 км к северо-западу от скважины № 1 на пикете 25 сейсмопрофиля 61000698Р, с целью промышленной оценки выявленной залежи газа в верхнеюрских карбонатных отложениях. В результате испытания из интервала перфорации 2350-2345 м получен приток газа дебитом 20 тыс.м³/с.

Поисковая скважина № 3 пробурена на расстоянии 1300 м к юго-востоку от скважины № 1 Чегаракум и 7700 м к юго-западу от скважины № 2 Аккум в районе пикета 26,5 сейсмопрофиля № 19020401P, с целью промышленной оценки XV-а, XV-3, XV-2, XV-1 горизонтов верхнеюрских карбонатных отложений. В результате испытания данной скважины получены следующие результаты: из двух объектов перфорации в XV-3 и XV-а горизонтах

получены слабые притоки пластовой воды одинаковым дебитом 3,27 м³/с; из двух объектов в

XV-2 горизонте получены также притоки воды – в одном слабый приток дебитом 1,26 м³/с и в другом дебитом 8,06 м³/с; из трех объектов в XV-1 горизонте – получены притоки слабого газа с водой, дебиты газа не поддающиеся замеру и дебиты воды от 1,26 м³/с и до 6,55 м³/с.

Скважина № 4 забурена на расстоянии 1200 м к юго-западу от скважины № 1 и 1600 м к западу от скважины № 3 с проектной глубиной 2450 м в верхнеюрских карбонатных отложениях.

Промышленная газоносность месторождения Чегаракум связана с карбонатными отложениями верхнеюрского возраста (XV-1, XV-2, XV-3 + XVa горизонты). Дебиты газа достигают 20,5 т.м³/сут через 4 мм штуцер.

Присутствие в разрезах скважин месторождения большого количества четко и уверенно прослеживающихся на значительной площади реперов, позволило уверенно их прокоррелировать и определить геометрию продуктивных пластовых резервуаров.

Структурные карты по продуктивным горизонтам и пластам построены по данным глубокого бурения с учетом сейсмических исследований. Согласно выполненных структурных построений по кровле XV-1 горизонта карбонатной юры структура Чегаракум представляет собой ловушку антиклинального типа, размерами по замыкающей изогипсе "-2000 м " 7,0 х 3,0 км, амплитудой – 40 м, площадью - 14,5 км².

Положения ГВК в горизонтах определялись по результатам испытания и данных ГИС в скважинах №№ 1, 2 и 3[3].

Необходимо отметить, что по скважине № 3 полученные результаты интерпретации промыслово-геофизических материалов и данных испытания носят довольно противоречивый характер. Так, например, по результатам интерпретации материалов ГИС, выделяемые в разрезе XV-1 горизонта пласты-коллекторы, характеризовались как продуктивные, а в результате испытания этих коллекторов получены притоки слабого газа с водой. В коллекторах XV-3 горизонта по данным газового каротажа в процессе бурения газопоказания достигали 2%, а в результате испытания из этих коллекторов получены притоки пластовой воды.

С позиций нефтегазовой перспективности нужно отметить, что структура Чегаракум находится в зоне с повышенной концентрацией ресурсов УВ как карбонатных, также терригенных отложений юры, т.к в непосредственной близости находятся месторождения Четкум, Чегаракум и Аккум [4].

Вышеперечисленные факты доказывают высокую перспективность структуры Чегаракум в карбонатных отложениях. Исходя из вышеизложенного, считаем структуру Чегаракум недоопоискованной и рекомендуем бурение поисковой скважины №8 на своде структуры на пересечении профилей Сг 3123 и Ln 2792 с глубиной 2450 м со вскрытием

юрских отложений (Рис 5, 6).

В целом, процессе исследований была осуществлена комплексная интерпретация и переинтерпретация материалов сейсморазведки МОГТ-2Д и 3Д, данные других геофизических методов, анализ материалов ГИС и результатов бурения поисковоразведочных и эксплуатационных скважин и разработаны рекомендации на по дальнейшему направлению ГРР на месторождениях.



Рисунок 4 – Структурная карта по кровле карбонатных отложений площади Чегаракум



Рисунок 5 – Временной разрез CrLine 3121



Рисуно 6 – Временной разрез InLine 2792

- 1. Абдуллаев Г.С., Богданов А.Н., Эйдельнант Н.К. Месторождения нефти и газа Республики Узбекистан. Ташкент: Zamin nashr. 2019. 820 с.
- 2. Богданов А.Н., Хмыров П.В. Динамика развития сырьевой базы углеводородов Бухаро-Хивинского региона // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2021. Т. 16. № 4. С. 1-15.
- 3. Хожиев Б.И. Перспективы юрских терригенных отложений Кандымского поднятия на обнаружение литологических залежей нефти и газа // Узбекский журнал нефти и газа. 2017. Вып. 1. С. 20-24.
- 4. Юлдашев Н.Н., Султанова Д.Б. Нефтегазовая перспективность юрских терригенных отложений центральной части Чарджоуской ступени // Узбекский журнал нефти и газа. 2019. Вып. 1. С. 22-26.

СОЗДАНИЕ ТРЕХМЕРНОЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОДУКТИВНОГО ГОРИЗОНТА ККС НЕОГЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ МЕСТОРОЖДЕНИЯ АНДИЖАН

Юлдашев Р.П., Жабборов С.М., Галеева К.Л. *ravshanbek.yuldashev@grdc.uz* ООО «Geo Research and Development Company», г. Ташкент, Узбекистан

В данной статье рассмотрены построения трехмерной геологической модели продуктивного горизонта ККС неогеновых отложений с использованием программного комплекса по месторождению Андижан. В ходе выполнения работы был проведён анализ всех имеющихся геолого-геофизических материалов старого и нового фонда скважин.

Ключевые слова: геологическая модель, структурная модель, блок, положение ВНК, тектоническая модель, РИГИС, литология, пористость, насыщенность, подсчет запасов.

В связи с постоянным снижением добычи углеводородов уточнение начальных и остаточных запасов нефти и газа разрабатываемых месторождений Ферганской межгорной впадины имеет большое практическое значение. Поддержание достигнутого уровня добычи и его повышение возможно за счет открытия новых залежей, а также освоения остаточного потенциала разрабатываемых месторождений на основе уточнения их геологических моделей и остаточных запасов нефти и газа, выявленных продуктивных горизонтов. В числе других месторождений, нуждающихся в пересчете запасов, находится месторождение Андижан, открытое в 1935 году и относящееся к одному из самых сложно построенных нефтяных месторождений Ферганской впадины. Сложность месторождения обусловлена наличием крупноамплитудного продольного нарушения, подразделившего структуру на надвиговую и поднадвиговую части. Надвиговая часть структуры поперечными сбросами разбита на ряд блоков.

Впервые подсчет запасов нефти по месторождению Андижан был произведен в 1949 г, а затем в 1955 г.

Месторождение Андижан расположено в юго-восточной части Ферганской долины. В геологическом строении месторождения Андижан принимают участие породы от палеозойских до современных включительно. Образования неогена подразделяются на две серии: массагетскую (миоцен) и бактрийскую (плиоцен). Массагетская серия состоит из кирпично-красной и перекрывающей её бледно-розовой свиты. Кирпично-красная свита по литолого-стратиграфической характеристике может быть подразделена на две пачки: нижнюю кирпично-красную ККС1 и верхнюю кирпично-красную ККС2.

Нижняя кирпично-красная пачка ККС1 представлена глинами кирпично-красными, плотными, песчанистыми, известковистыми с тонкими прослоями гипсов. Кажущееся сопротивление глин не превышает 2-3 Ом*м. Редкие пики КС отмечаются против прослоев гипса и песчаников. Слабо расчлененная кривая ПС имеет положительную характеристику. Мощность пачки ККС1 74-180 м.

Верхняя кирпично-красная пачка ККС2 отличается от нижележащей увеличением песчаных прослоев в разрезе. Количество песчаных прослоев вверх по разрезу увеличивается, местами в верхней части пачки песчаники преобладают. Чередование глинистых и песчаных прослоев обуславливают большую дифференцированность всех каротажных кривых. Значения ПС против песчаников доходят до 10-15 Ом*м. Мощность пачки ККС2 62-137 м. Общая мощность кирпично-красной свиты 136-317 м.

Построение цифровых геологических моделей является актуальной задачей в рамках общего процесса разведки и разработки нефтяных и газовых месторождений. Задача достоверного и качественного трехмерного моделирования является актуальной, для подсчета

запасов и составления проектных технологических документов. В Узбекистане трехмерное геологическое моделирование продолжается активно развиваться и решает при этом, как правило, следующие задачи:

- подсчет запасов углеводородов;
- планирование (проектирование) скважин;
- оценка неопределенностей и рисков;
- подготовка основы для гидродинамического моделирования.

В данной работе авторами была простроена трехмерная геологическая модель по продуктивному горизонту ККС неогеновых отложений с применением ПО tNavigator, проведен комплексный анализ геолого-геофизической информации в разведочных, эксплуатационных и оценочно-эксплуатационных скважинах. Выполнена комплексная интерпретация данных ГИС по новым пробуренным скважинам для дальнейшего использования при построении модели. В связи с отсутствием кернового материала в данной работе не рассмотрено создание петрофизической модели месторождения.

Построение 3D геологической модели. В качестве исходных данных для создания 3D геологической модели были использованы координаты и альтитуды скважин, данные по инклинометрии, кривые ГИС в формате Las, РИГИС, результаты опробования, структурные карты и стратиграфические разбивки из последнего утвержденного отчета подсчета запасов.

В качестве структурной основы для построения модели использовались структурные карты по данным отчета подсчета запасов. При построении геологической модели, была проведена корреляция по горизонтам БРС (вышележащий горизонт), ККС, III (нижележащий горизонт) для обновления ранее утвержденных структурных поверхностей (Рис.1).

Горизонт	Параметры	Значение
	Размер ячейки	25х25 м
	Нарезка слоев	Пропорциональная
ККС	Средний размер ячеек по вертикали, м	1,0
	Число слоев по вертикали	186
	Общее число активных ячеек	7,4 млн
	Размерность активного грида	271x147x186

Таблица 1 – Параметры 3D сетки

Геологическая модель включает в себя один горизонт, 4 разлома, выделенных по данным ГИС. Так как в исходных данных отсутствует структурная карта подошвы горизонта ККС, соответствующая карта построена методом схождения от кровли горизонта ККС по причине конформного залегания и скорректирована по имеющимся стратиграфическим отбивкам (Рис. 2).

В результате детальной корреляции разрезов скважин всех пробуренных скважин установлено что структура Андижан подразделена на четыре блока: Юго-западное поднятие, Западный блок, Центральный грабен и Восточно-Андижанское поднятие [1].


Рисунок 1 – Корреляционная схема в окне «Диаграмма скважин»



Рисунок 2 – Структурная карта по кровле горизонта ККС

После создания структурной модели был выполнен перенос и осреднение скважинных данных на ячейки сетки, где каждой ячейке присваивается одно значение соответствующего параметра. Отделом петрофизики была передана информация типа

«Коллектор – неколлектор», литотипы не были выделены из-за недостаточного количества методов ГИС.

Моделирование куба литологии по горизонту ККС реализовано стохастическим методом SIS (Sequential Indicators Simulations). Ранги горизонтальной вариограммы выбраны на основе вариограммного анализа равными 860 х 820 м для оптимального покрытия всего участка. Для горизонта ККС по имеющимися данным РИГИС создан геолого-статистический разрез (ГСР), который использован в качестве вертикального тренда для распределения коллекторов по разрезу. Для проверки данных осреднения (Blocked wells) параметров использовались гистограммы распределения осредненных параметров и гистограммы, полученные по РИГИС.



Рисунок 3 – Разрез куба литологии с учетом характера насыщения по горизонту ККС

Для моделирования куба пористости использованы РИГИС из отчета подсчета запасов по старому фонду скважин, а также по новым пробуренным скважинам. Моделирование пористости реализовано также стохастическим методом с экспоненциальным типом вариограммы по ячейкам коллекторов. В неколлекторах пористость не моделировалась и по умолчанию была принята равной нулю. Предельные значения пористости приняты по данным РИГИС.

Олним ИЗ основных этапов моделирования, является моделирование нефтенасыщенности. Интерполяция скважинных данных применяется в случае их малого количества и при отсутствии явной взаимосвязи водонасыщенности с ФЕС пород-коллекторов и геометрическими параметрами залежи. Коэффициент нефтенасыщенности для задачи оценки начальных запасов в данной работе принят константой по данным отчета подсчет запасов. Однако при построении гидродинамической модели куб нефтенасыщенности будет создан с помощью Ј-функции (Функция Леверетта). Данный метод является одним из наиболее точных методов моделирования водонасыщенности, так как позволяет учесть практически все параметры, оказывающие влияние на водонасыщенность. Исходными данными для этого метода являются результаты интерпретации данных керна (капиллярные кривые), плотность пластовой воды и нефти, поверхностные натяжения, угол смачиваемости, значения пористости, проницаемости и связанной воданасыщенности.



Рисунок 4 – Продольные и поперечные разрезы куба литологии с учетом характера насыщения

Заключение. Таким образом, этапы выполнения работы, по построению трехмерной геологической модели по горизонту ККС, сводятся к следующей последовательности:

- 1. сбор, подготовка и загрузка исходных данных;
- 2. детальная корреляция разрезов скважин с применением современных программных обеспечений;
- 3. создание тектонической и структурной модели по горизонту ККС;
- 4. комплексная интерпретация данных ГИС
- 5. моделирование куб литологии и ФЕС свойств;
- 6. оценка начальных запасов на построенной трехмерной геологической модели.

Литература

- 1. Юсупхужаев С.С., Педдер Ю.Г. Уточнение геологической модели и пересчет запасов нефти месторождения Андижан. Ташкент: ИГИРНИГМ. 2014. 26 с.
- 2. Методические указания по созданию постоянно действующих геолого-технологических моделей нефтяных и газонефтяных месторождения. Ч. 1. Геологические модели / Авербух А.Г., Билибин С.И., Болотник Д.Н. и др. М.: ОАО ВНИИОЭНГ. 2003. 164 с.
- 3. Закревский К.Е. Геологическое 3D моделирование. М.: ООО ИПЦ «Маска». 2009. 376 с.
- 4. Путилов И.С. Трехмерное геологическое моделирование при разработке нефтяных и газовых месторождений. Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. 2011. 72 с.
- 5. Гладков Е.А. Геологическое и гидродинамическое моделирование месторождений нефти и газа: Учеб. пособие. Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та. 2012. 99 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГОВЫХ ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ПРОФИЛЕ «БООМ»

Юнусов А.И. *iunusov.a28@gmail.com* Научная станция РАН, г. Бишкек, Кыргызстан

В работе приводятся результаты мониторинговых электроразведочных исследований, выполненных методом электротомографии на профиле «Боом», заложенном в области восточного замыкания Чуйской впадины на Северном Тянь-Шане. Целью исследования было обнаружение скрытой разломной структуры, которая предположительно является продолжением Иссык-Атинского разлома. Данные были обработаны с использованием программ Res2Dinv и Surfer для построения вариаций кажущегося сопротивления ρ_k и геоэлектрического разреза.

Ключевые слова: электротомография, метод сопротивлений, многоэлектродные установки, электрический мониторинг, геоэлектрическая модель, Северный Тянь-Шань.

Введение. Разломные зоны представляют большой интерес для специалистов в области геологии, инженерии и геофизики, поскольку они могут быть источником опасных геодинамических явлений, таких как землетрясения и оползни, которые могут привести к серьезным разрушениям. Эти явления непосредственно связаны с тектоническими движениями вдоль сейсмогенерирующих разломов. Одним из эффективных методов выявления таких зон является электротомография (ЭТ). Метод электротомографии – это геофизический исследования, основанный измерении электрического метод на сопротивления грунта или пород. Данный метод является мощным инструментом для выявления разломных зон и других геологических объектов, позволяющим получить детальную информацию о структуре объекта без необходимости бурения скважин, что делает этот метод экономически выгодным и экологически безопасным. Электротомография позволяет получить информацию о внутренней структуре объекта и выявить различия в электрических свойствах различных слоев. Этот метод является целым комплексом, включающим в себя как методику полевых наблюдений, так и технологию обработки и интерпретации полевых данных. Метод характеризуется повторным использованием одних и тех же фиксированных электродов в качестве питающих (А и В) и приёмных (М и N) при проведении измерений. Суть метода сопротивлений заключается в измерении разности потенциалов на поверхности земли (ΔU_{MN}), когда через заземленные питающие электроды пропускается электрический ток (*I*_{AB}) [1].

Характеристика объекта исследований. В 2021 году сотрудниками Научной станции РАН были проведены профильные и мониторинговые геофизические исследования методом электротомографии с использованием электроразведочной станции «Скала-48» (ООО «Конструкторское Бюро Электрометрии», г. Новосибирск) [2, 3] на профиле «Боом», расположенного в районе поселка Советское, Кеминского района. Данный профиль пересекает 9-й пункт магнитотеллурического зондирования (МТЗ), проходя через скрытую зону распространения Иссык-Атинского разлома [4, 5] (рис. 1).



Рисунок 1 – Участок мониторинговых электротомографических наблюдений на профиле «Боом»

Методика выполнения мониторинговых электротомографических наблюдений. Для проведения полевых работ методом электротомографии на профиле необходимо разложить косы (120 м) в противоположные стороны от станции, расположенной в центральной части пункта наблюдений. После раскладки кос и заземления электродов, проводится тестирование аппаратуры и тестовый замер измерений каждого электрода для оценки качества заземления. В ходе мониторинговых электротомографических исследований осуществлялись повторные наблюдения на профиле «Боом» в течение суток (22.07.21– 23.07.21) с использованием электроразведочной станции «Скала-48». В среднем каждая запись длилась 40-45 минут. Для регистрации полевых наблюдений применялась установка «Шлюмберже», с интервалом между электродами в 5 метров. Результаты измерений сохранялись в формате *.d2d, затем считывались и переносились на компьютер оператора для последующей обработки [6, 7].

Обработка данных. Обработка мониторинговых электротомографических данных состояла из нескольких этапов и производилась следующим образом:

- ≻ Загрузка результатов измерений из станции «Скала-48» в формате *.d2d в персональный компьютер оператора для обработки;
- Для выполнения первичной обработки необходимо исключить из данных как можно больше ошибочных точек. Для этого использовалась специальная программа RiPPP, которая поставляется вместе со станцией. С помощью данной программы производилась очистка данных от единичных выбросных точек, после чего результаты первичной обработки экспортировались в формат *.dat для дальнейшей обработки;
- ➢ В текстовом редакторе Notepad++ открываются файлы в формате *.dat, в которых содержатся измеренные данные кажущегося сопротивления (*ρ_k*). После открытия файлов данные копируются для дальнейшего анализа (процедура повторяется для каждой мониторинговой сессии);
- Из скопированных данных вычисляются осредненные значения кажущегося сопротивления для всего периода мониторинга (ρ_{ср});
- Проводится анализ отличий значений кажущегося сопротивления, полученных в каждой мониторинговой сессии (40-минутный цикл измерений на всем профиле), от средних значений кажущегося сопротивления за весь период мониторинга [6];

≻ В программе Surfer добавляются данные в сетку «Grid» для построения относительных вариаций кажущегося сопротивления.

Формат файла *.dat представляет собой текстовый файл, который можно открыть и просмотреть в текстовом редакторе Notepad++ (рис. 2).

Файл	Правка Поиск Вид Кодировки Синтаксисы Опции Инструменты Макросы Запуск Плагины Вкладки ?
) = = ; ;
01_	21_10.dat 🖸
1	Data
2	5.000
3	11
4	7
5	Type of measurement (0=app. resistivity, 1=resistance)
6	0
7	529
8	1
9	1
10	Chargeability
11	msec
12	0.020.06
13	40.00.00.00.00.00.00.00.00.00.00.00
14	·4·····5.00··0.00····20.00··0.00····10.00··0.00····15.00··0.00····192.29918·····0.34500
15	·4····10.00··0.00····25.00··0.00····15.00··0.00····20.00··0.00····160.24820·····2.69800
16	415.00.0.0030.00.0.0020.00.0.0025.00.0.00197.348471.12200
17	420.000.0035.000.0025.000.0030.000.00157.924820.43600
18	425.00.0.0040.00.0.0030.00.0.00.
19	430.000.0045.000.0035.000.0040.000.00122.729903.18600
20	435.000.0050.000.0040.000.0045.000.00130.877820.77000
21	4 40.00.0.00.00.00.55.00.0.00.00.00.00.00.0
22	4 45.00.0.00.00.00.00.00.00.00.00.00.00.00.
23	450.000.0065.000.0055.000.0060.000140.183720.40300

Рисунок 2 – Структура файла *.dat представлена в текстовом редакторе Notepad++

В этом файле обычно содержатся межэлектродное расстояние, подтип установки, количество электродов, координаты для первого и второго приемных электродов, измеренное кажущееся сопротивление для каждой точки и т.д., которые могут быть считаны и обработаны программой Res2DInv для решения обратной задачи [8].

Результаты обработки. Построение геоэлектрических разрезов проводится с использованием программы автоматической 2D-инверсии данных ЭT Res2DInv (Geotomo Software) и визуализации в программе Surfer (Golden Software Inc.), предназначенной для построения растровых моделей на основе наблюдений в отдельных точках пространства для последующего анализа полученных моделей [8, 9, 10].

Любой из перечисленных файлов в формате *.dat может быть загружен в программу Res2DInv для проведения инверсии данных. Для этого используется функция «File \rightarrow Read data file», которая позволяет загрузить файл 01_21_10.dat и выполнить процедуру инверсии данных. В программе Res2DInv имеется возможность просмотра, печати и экспорта данных. Для активации этого режима следует выбрать пункт меню «Display \rightarrow Show inversion results». В случае успешной инверсии, в режиме просмотра отображаются параметры установки, полученная модель, основные результаты инверсии, а также сообщение об успешном чтении файла: «Reading of file has been completed». Результаты автоматической двумерной инверсии были получены в программе Res2DInv и представлены на рисунке 3 в виде геоэлектрической модели.



Рисунок 3 – Результат геоэлектрической модели профиля «Боом», полученной в программе Res2DInv

После завершения процесса инверсии данных в программе Res2DInv, можно сохранить полученную геоэлектрическую модель для последующей визуализации в программе Surfer. Это позволит наглядно отобразить структуру грунта и выявить скрытые разломные зоны. Для этого необходимо в режиме просмотра выбрать пункт меню «File \rightarrow Model export \rightarrow Save data in Surfer format». После выбора этого пункта появится диалоговое окно «Saving inversion results in Surfer format», где можно настроить формат выгружаемых данных и сохранить результаты.

_		
ctly or t	he logarithm of the values.	
0	Save logarithm of resistivity values	
ons giv	en as surface distances, you can save	
ched li	near distaces.	
Ċ.	Save extra set of files	
o save	In SURFER format.	
ble(?)	Type of section. Availabl	ie(?)
۲	🔲 Calculated apparent resistivity	0
œ	Model conductivity	œ
œ	Model conductivity with topography	œ
C	🗖 Calculated apparent I.P.	0
œ	Model I.P. with topography	æ
C	🗖 Model resolution per unit area	0
	ctly ort	ctly or the logarithm of the values. C Save logarithm of resistivity values ons given as surface distances, you can save ched linear distaces. C Save extra set of files. o save in SURFER format. ble(?) Type of section. Availabl C Calculated apparent resistivity C Model conductivity C Calculated apparent l.P. C Model I.P. with topography C Model I.P. with topography C Model resolution per unit area

Рисунок 4 – Пункт меню программы Res2DInv для экспорта данных инверсии в Surfer format

На выходе будет сохранен набор файлов (данные *.dat, палитра *.lvl, контур разреза *.bln и др.), их названия будут содержать префикс, соответствующий исходным данным. Затем можно импортировать сохраненные данные в программу Surfer и создать сетку «Grid», что позволит визуализировать данные на контурной карте «Contour map» для дальнейшей работы (см. рисунок 5) [10].





В результате последовательных электротомографических измерений на профиле «Боом», в течение суток был получен набор псевдоразрезов, отображающих значения кажущегося сопротивления. Амплитуды вариаций кажущегося сопротивления выражены в процентах. Построение разрезов вариаций кажущегося сопротивления $\Delta \rho_k$ осуществлялось в

программе Surfer с учетом псевдоглубин 4.8, 14.4 и 24 метра. Значения вариаций на всех псевдоглубинах представлены в единой цветовой шкале, охватывающей диапазон от -10% до 10%. Полученные разрезы представлены на рисунке 6 в виде псевдоразрезов на различных глубинах.



Рисунок 6 – Результат построения вариаций $\Delta \rho_k$, % на псевдоглубинах 4.8, 14,4 и 24 м профиля «Боом»

По результатам инверсии данных электротомографии видно, что геоэлектрический разрез имеет трехслойное строение по глубине и разделен примерно пополам по простиранию, где в южной части наблюдается зона повышенной проводимости. Ширина этой зоны составляет около 20–25 м, а сопротивление колеблется от 20 до 60 Ом*м. Аномальная зона обладает низким сопротивлением из-за большого уровня увлажненности пород, обладающих высокой проводимостью, границу которой можно интерпретировать как предполагаемую зону продолжения Иссык-Атинского разлома. На рисунке 6 в вариациях кажущегося сопротивления выделяются неоднородности в правой части псевдоразреза на всех трех глубинах, которые контрастируют между собой по времени.

Заключение. Методика электротомографии с использованием аппаратуры «Скала-48» позволила получить ценные данные о структуре и свойствах геологических формаций. Полученные псевдоразрезы вариаций кажущегося сопротивления и геоэлектрический разрез для профиля «Боом» выявили скрытую разломную зону, что имеет важное значение для понимания геологического строения региона. Особенностью этих результатов является возможность оценки значений удельного сопротивления до глубин около 50 метров, что дает более полное представление о внутренней структуре зоны и ее характеристиках. Выявление разломных зон с использованием геоэлектрических разрезов является важным аспектом геофизических исследований. Разломы представляют собой зоны разрыва в земной коре, где горные породы сдвигаются друг относительно друга. Они играют ключевую роль в формировании геологической структуры земной коры и могут быть связаны с образованием рудных месторождений, землетрясениями и другими геологическими явлениями. Таким образом, исследования разломных зон имеют важное значение для понимания геологических процессов и предсказания возможных геологических явлений.

Работа выполнена в рамках государственного задания Научной станции РАН в г. Бишкеке.

Литература

- 1. Мартьянов А.С. Разработка программных средств анализа данных аппаратурного комплекса СКАЛА. Дис. ... магистра информационных технологий. Новосибирск. 2013. С. 3–8.
- 2. Аппаратура электроразведочная многоэлектродная «Скала»: руководство по эксплуатации. 2019. 14 с. [Электронный ресурс]. URL: https://kbelectrometry.ru/catalog/skala-48k12/ (дата обращения: 17.01.2024).
- 3. Панин Г.Л. Многоэлектродная аппаратура методов сопротивлений «Скала-48» // Инженерная и рудная геофизика. Материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. Геленджик. 2008. 2 с.
- 4. Баталева Е.А., Матюков В.Е. Глубинное строение восточной части Иссык-Атинского разлома (Северный Тянь-Шань) // Тектоника и геодинамика Земной коры и мантии: фундаментальные проблемы-2022: Материалы LIII Тектонического совещания, г. Москва, 01–05 февр. 2022 г. Т. 1. М.: ГЕОС. 2022. С. 44-49.
- 5. Матюков В. Е., Юнусов А.И. Результаты обработки данных электротомографии в зоне активной разломной структуры // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. 2023. Т. 23. № 4. С. 189-193. DOI: 10.36979/1694-500Х-2023-23-4-189-193.
- 6. Рыбин А.К., Баталева Е.А., Забинякова О.Б., Непеина К.С. Мониторинговые электротомографические исследования зоны Иссык-Атинского разлома (Северный Тянь-Шань) // Russian Journal of Earth Sciences. 2023. Т. 23. № 4. ES4012. DOI: 10.2205/2023ES000881.
- 7. Рыбин А.К., Баталева Е.А., Забинякова О.Б., Непеина К.С. и др. Геоэлектрическая модель зоны Иссык-Атинского разлома (Северный Тянь-Шань) // Геофизика. 2023. № 3. С. 45-50. DOI: 10.34926/geo.2023.35.22.006.
- Loke M.H. RES2DINV, Rapid 2-D Resistivity & IP inversion using the least-squares method // Geoelectrical Imaging 2D & 3D GEOTOMO SOFTWARE. Malaysia. June 2003 [Электронный pecypc]. URL: https://www.academia.edu/39226833/Rapid_2_D_Resistivity_and_IP_inversion_using_the_least_squares_method (дата обращения: 30.01.2024).
- 9. Loke M.H., Acworth I., Dahlin T. A comparison of smooth and blocky inversion methods in 2D electrical imaging surveys // Exploration Geophysics. 2003. V. 34. P. 182–187.
- 10. Руководство пользователя программным комплексом Surfer / Textarchive [Электронный ресурс]. Российская Федерация. Режим доступа: <u>https://textarchive.ru/c-2913361.html</u> (дата обращения: 6.02.2024).

ВАРИАЦИИ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В ЯНГИБАЗАРСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

Юсупов В.Р.

valijon.yusupov@mail.ru Институт сейсмологии АН РУз, г. Ташкент, Узбекистан

В работе представлены результаты анализа суточного хода и абсолютных значений вариаций элементов магнитного поля в обсерватории «Янгибазар», что свидетельствует о перспективности её усовершенствования и развёртывания как полномасштабной геомагнитной обсерватории международного стандарта.

Ключевые слова: геомагнитное поле, данные, вариации, землетрясение, Янгибазар

Введение. Известно, что землетрясения и цунами сопровождают локальные изменения в геомагнитном поле. При землетрясениях сначала возникает пьезомагнитный эффект, в результате которого происходят изменения в геомагнитном поле.

Суточная вариация геомагнитного поля в основном вызвана Sq-током, особенно во время геомагнитного затишья [1]. Ток Sq существует в ионосфере и имеет регулярный период в 24 часа [2]. В средних и низких широтах дневная система течений в основном состоит из двух вихрей течений, расположенных на северной и южной сторонах экватора. Текущий вихрь в северном полушарии движется по часовой стрелке, в то время как текущий вихрь в южном полушарии движется по часовой стрелке [3]. Центр текущего вихря находится примерно в 11:30 по местному времени и $\pm 30^{\circ}$ широты [4]. Особенность течения Sq заставляет геомагнитную составляющую Z, регистрируемую станциями ГСУ, быстро уменьшаться около полудня каждый день.

Амплитуда суточного хода модуля ГМПЗ является одним из важных параметров данных в геомагнитной сети Узбекистана (ГСУ). Она получается из разницы между максимумом и минимумом Т, зарегистрированной геомагнитным прибором за сутки. На основе этого продукта данных анализируется суточная амплитуда вариации Т за последние десять-двенадцать лет (2011–2022 гг.), включая вариацию для каждого месяца в периоды высокой и низкой геомагнитной активности.

Исследование показывает, что Ташкентская научно-исследовательская геофизическая обсерватория стала одним из первых учреждений на обширной территории Средней Азии, регистрирующих данные физических полей с целью проведения различных фундаментальных и прикладных исследований в области физики Земли. В первую очередь развитие получили геомагнитные исследования, для чего было проведено развертывание сети пунктов векового хода магнитного поля и организация стационарных наблюдений вариаций компонент геомагнитного поля. В последующей сфере деятельности обсерватории менялись направления геофизических исследований в зависимости от их приоритета. Первые геомагнитные измерения были проведены на месте расположения будущей обсерватории в 1868 г.

В разные годы исследования электромагнитных полей на территории Узбекистана проводили Г.О. Мавлянов, В.И. Уломов, К.Н. Абдуллабеков, С.Х. Максудов (1975), С.С. Хусамиддинов, Е. Бердалиев, М.Ю. Муминов, А.И. Туйчиев, С.О. Якубова, О.М. Барсуков, Н.М. Муталиев, Е.М. Махкамжонов и другие.

Обсерватория «Янгибазар» (IAGA-код ТКТ) расположена на расстоянии около 20 км от г. Ташкента (41° 18' 8.1" СШ, 69° 34' 52.5" ВД) на высоте 580 м над уровнем моря. На обсерватории имеется четыре измерительных павильона. На данный момент на обсерватории ведутся нерегулярные измерения полной напряженности магнитного поля Земли магнитометром MB-01, GEM Systems GSM-19а также ручные измерения на магнитометре

QHM. Векторные магнитометры в настоящее время не функционируют. Магнитометрическая аппаратура на обсерватории была до последнего момента в основном устаревшая, однако в 2021 г. Институтом сейсмологии Академии наук Республики Узбекистан (ИС АН РУз) были приобретены скалярные протонные оверхаузеровские магнитометры GEM Systems GSM-19, один из которых предполагается использовать как штатный магнитометр обсерватории [5].

Результаты и обсуждение. В настоящее время вариации магнитного поля исследуются с использованием 15 магнитометрических стационарных станций, установленных на геодинамических полигонах в Узбекистане. Были изучены суточные, сезонные и другие вариации магнитного поля.



Рисунок 1 – Распределение станций в GNC

Обычно считается, что магнитные колебания, наблюдаемые наземными магнитометрами в магнитно "спокойные" дни, обусловлены токами, протекающими горизонтально в ионосфере выше. Однако следует отметить, что магнитометры также обнаруживают поля, обусловленные системой индуцированных токов под поверхностью Земли ('внутреннее поле'), поля, обусловленные любыми направленными по полю токами, которые могут быть связаны с ионосферными токами, и поля, обусловленные удаленными магнитосферными источниками. Часто вклад этих магнитосферных источников не совсем незначителен, даже в относительно спокойные дни.



Рисунок 2 – Суточный ход геомагнитных вариаций в магнитоспокойные дни на обсерватории Янгибазар в январе июне 2011 года. Черная линия проведена по среднечасовым значениям

Пример расчета среднесуточной вариации модуля МПЗ по суточным среднечасовым данным на MBC Янгибазар в январе 2011 года, а также среднемесячного значения и среднемесячной величины амплитуды. Тонкие цветные линии – суточный ход по среднечасовым значениям. Черная линия – среднемесячная кривая. Цифрами показаны среднемесячное значение, Минимальное и максимальное значение среднемесячной кривой.

Сравнение хода вариаций обсерватории «Янгибазар» с данными сезонных магнитных вариаций. Показывает ряд общих закономерностей в характерных максимумах в летние месяцы и минимумах интенсивности суточных вариаций в зимний период года. Однако ввиду наличия горных пород с ярко выраженными электрическими и магнитными свойствами в геологическом разрезе следующего из этого влияния электрической индукции на суточный ход период максимальной интенсивности суточных вариаций отличается от такового для обсерватории «Янгибазар». Зимой, когда амплитуда суточного хода вообще мала, изменения в поведении вариаций более значительны. Стоит также отметить, что анализируемый период 2023г. в 24-м солнечном цикле соответствовал фазе спада солнечной активности, во время которой, как правило, происходят наибольшие возмущения геомагнитного поля.

Возмущенные суточные вариации геомагнитного поля являются регулярной частью поля магнитной бури, зависящей в основном от степени магнитной активности и местного времени, а также имеющей свое характерное географическое распределение. Изменения геомагнитного поля во время сильных магнитных бурь бесконечно разнообразны, однако возможность выделения из них регулярной части возмущения позволяет выявить некоторые средние особенности магнитных вариаций во время бурь. Установление этих средних особенностей поля бурь облегчает решение задачи о способах борьбы с помехами радиосвязи, создаваемыми бурями. Поэтому изучение возмущенных суточных вариаций, помимо чисто теоретического интереса, имеет также практическое значение. Возмущенные суточные вариации определяются как разность суточных вариаций по возмущенным дням и суточных вариаций по спокойным дням.



Рисунок 3 – Изменение среднемесячной амплитуды суточного хода модуля МПЗ в 2002-2003 гг.

Нормальный фон суточного хода может нарушаться при прохождении магнитных бурь в зависимости от ее интенсивности. В течение суток уровень естественных флуктуации ΔТ зависит от неидентичности протекания вариаций на рядовых и базовых пунктах. Они связаны с долготным сдвигом по фазе вариаций внешних полей и локальными особенностями электропроводности земной коры конкретного пункта. Амплитуда ΔT, связанная с долготным сдвигом фаз для широт Узбекистана (38-42°N), составляет не более 0.5 нТл на 100 км. Не идентичность колебаний ГМП обычно проявляется в быстрых вариациях поля. Наибольшие искажения с амплитудой до 1.5-7.5 нТл наблюдаются при прохождении бухт с периодами от 10 мин до 1-2 часов на пунктах, расположенных в зонах с аномальной электропроводностью земной коры.

Глобальные и региональные изменения магнитного поля вызываются процессами в ядре Земли и внешними источниками, а локальные могут быть связаны с различными процессами в геологическом разрезе (например, выветриванием, карстовыми процессами, естественными электромагнитными полями, а также эффектом взаимного перемагничивания горных пород). С целью установления природы особенностей в изменениях поля, не укладывающихся в общие представления об источниках внутри ядра Земли и в ионосфере, было проведено сравнение вариации модуля напряжённости геомагнитного поля по трем пунктам стационарных геомагнитных наблюдений за короткий период времени (несколько суток). Для сравнения были выбраны две магнитные обсерватории – «Янгибазар», расположенная в Республике Узбекистан, IGRF (International Geomagnetic Reference Field). Данные были приведены к локальному времени, соответствующему времени UT [26]. Для приведения к единому диапазону из каждого ряда данных было вычтено его среднее значение. В результате сопоставления выявлено, что изменения на обсерваториях «Янгибазар» и IGRF происходят согласно общим особенностям, характерным для рассматриваемых регионов (Рис.4).



Рисунок 4 – Изменение среднемесячного значения суточного хода модуля МПЗ в 2011-2018 гг.

Продемонстрирована обработка стационарных сигналов, реализованная в MATLAB с использованием вейвлетов, которые представляют собой данные геомагнитной обсерватории Янгибазар. Предоставленная информация (исходные коды и адреса доступа) позволяет любому, кто знаком с системой MATLAB, провести первичный анализ геомагнитной обстановки практически в любом регионе Земли. Кроме того, в данной статье показана эффективность использования системы MATLAB, что способствует ее дальнейшей популяризации.



Рисунок 5 – Изменение среднемесячной амплитуды суточного хода модуля МПЗ в 2011-2018 гг.

Среднемесячная стабильность абсолютных измерений за указанный период 2011–2018 гг. также была оценена по графику разности ΔT между модулем магнитного поля. Для оценки изменений абсолютных значений компонент модуля T геомагнитного поля во временном масштабе 8 лет их среднегодовые значения были сопоставлены с соответствующими им по времени и местоположению значениями моделей главного магнитного поля Земли IGRF. Видно согласованное изменение среднегодовых модельных и измеренных значений, а также тренд, аналогичный среднемесячным значениями на рис. 6, что также подтверждает, что за период 2011–2018 гг. обсерватория «Янгибазар» не подвергалась влиянию существенных помех. В случае существенных помех постоянного или квазипостоянного характера заметные отклонения от тренда на обсерваторских данных были бы видны даже в среднегодовом масштабе.



Рисунок 6 – Выявление сезонных вариаций модуля ГМПЗ для МВС Янги-Базар за 1980-1987 гг.

Сезонные вариации магнитной активности. Среднемесячные величины магнитной активности, полученные путем обработки наблюдений за несколько лет, указывают на ясно выраженную сезонную зависимость. При этом их амплитуда увеличивается с ростом общей магнитной активности. Найдено, что сезонные вариации магнитной активности имеют два максимума, соответствующие периодам равноденствия, и два минимума, соответствующие периодам равноденствия, и два минимума, соответствующие периодам солнцестояния. Причиной этих вариаций является образование активных областей на Солнце, которые группируются в зонах от 10 до 30° северной и южной гелиографических широт, отсчитываемых от плоскости эклиптики. Поэтому в периоды равноденствия, когда плоскости земного и солнечного экваторов совпадают, Земля наиболее подвержена действию активных областей на Солнце.



Рисунок 7 – Результаты анализа сезонных вариаций модуля ГМПЗ для MBC Янгибазар с 1980 по 1987 год методом EMD

Сезонные интервалы. Для исследования сезонных эффектов в вариациях магнитного поля принято считать времена года следующим образом: осень - сентябрь, октябрь; зима - ноябрь, декабрь, январь, февраль; весна - март, апрель; лето - май, июнь, июль, август. Таким образом, годовые данные разбиваются на три сезона: зима, лето и равноденствие. Моменты равноденствия наступают два раза в год, в марте и сентябре, в результате вращения Земли вокруг Солнца. В эти моменты Солнце находится точно над географическим экватором. День и ночь во время равноденствия равны.

Проанализированы данные измерений модуля полного вектора напряженности геомагнитного поля, выполненных на станциях "Янгибазар" и " IGRF" с целью выявления и изучения особенностей сезонных вариаций, проявляющихся в изменениях интенсивности суточных вариаций.

Оказалось, что по данным геомагнитных наблюдений в сезонных вариациях превалирует годовая составляющая с характерным максимумом в летний период года и с

минимумом интенсивности суточных вариаций в зимний. В индексах геомагнитной активности, наоборот, превалируют полугодовые вариации с максимальными значениями геомагнитной активности в течение сезона Е по календарю Ллойда. При этом геомагнитная активность, проявленная в годовых вариациях интенсивности суточного хода, обусловлена процессами, протекающими в ионосфере. Очевидно, что ионосферная активность, отражающаяся в вариациях наблюдаемого на поверхности Земли геомагнитного поля, является артефактом вариаций общей геомагнитной активности, проявляющихся в индексах глобальной геомагнитной активности в виде полугодовых вариаций.

Сравнение годовых вариаций, выявленных по данным наблюдений на территории Узбекистан, с годовыми вариациями по данным обсерватории Янгибазар продемонстрировало схожесть основных характеристик исследуемых вариаций. При этом высокое качество обсерваторских данных проявилось в гладком характере выявленных структур вариаций.

Была построена амплитуда суточного хода модуля данных ГМПЗ в геомагнитной сети Узбекистана. Он был получен из разницы между максимальным и минимальным значением T, зафиксированным геомагнитным прибором за сутки. На основе этого продукта данных была проанализирована суточная амплитуда изменения T за последние десять-двенадцать лет (2011-2022 гг.), включая изменение за каждый месяц в периоды высокой и низкой геомагнитной активности.

Выводы. Анализ суточного хода и абсолютных значений вариаций элементов магнитного поля в обсерватории «Янгибазар», свидетельствует о перспективности её усовершенствования и развёртывания как полномасштабной геомагнитной обсерватории международного стандарта.

Среднемесячные величины магнитной активности, полученные путем обработки наблюдений за несколько лет, указывают на ясно выраженную сезонную зависимость. Было установлено, что сезонные вариации магнитного поля Земли имеют максимальную амплитуду в летние месяцы года.

Литература

- 1. Malin S.R.C., Winch D.E., and Isıkara A.M. Semi-annual variation of the geomagnetic field // Earth Planets Space, 1999, 51, 321–328.
- 2. Коробейников А.Г. Обработка и анализ данных с Российского сегмента Мировой сети магнитных обсерваторий ИНТЕРМАГНЕТ // International Journal of Humanities and Natural Sciences, 2020, vol. 8, 91-98.
- 3. Chen Hong-Fei. Analysis of the diurnal and semiannual variations of Dst index at different activity levels // Journal of geophysical research. 2004. Vol. 109. A03212. DOI: 10.1029/2003JA009981.
- 4. Atsuki Shinbori, Yuji Tsuji, Takashi Kikuchi, Tohru Araki, Akihiro Ikeda, Teiji Uozumi, Dmitry Baishev, Boris M. Shevtsov, Tsutomu Nagatsuma, and Kiyohumi Yumoto. Magnetic local time and latitude dependence of amplitude of the main impulse (MI) of geomagnetic sudden commencements and its seasonal variation // Journal of geophysical research. 2012. Vol. 117. A08322. DOI: 10.1029/2012JA018006.
- Yusupov Valijon, Soloviev Anatoly, Sidorov Roman. Studying diurnal and secular variations of 5. the Earth's magnetic field using data from Yangibazar magnetic observatory (Uzbekistan) // Russian journal of earth sciences. 2022. Vol. 22. No. 6. Р. 2-14. https://doi.org/10.2205/2022ES000815.
- Makarov G.A. Geometric factor in seasonal variations of daily average values of the geomagnetic index Dst // Solar-Terrestrial Physics. 2020. Vol. 6. Iss. 4. P. 50–56. DOI: 10.12737/stp-64202008.
- 7. Yusupov Valijon, Soloviev Anatoly, Sidorov Roman. Studying diurnal and secular variations of the Earth's magnetic field using data from Yangibazar magnetic observatory (Uzbekistan) // Russian journal of earth sciences. 2022. Vol. 22. No. 6. Ρ. 2-14 https://doi.org/10.2205/2022ES000815

ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ ОПАСНОСТИ

ASSESSMENT OF CARBON SEQUESTRATION CAPACITIES OF URBAN TREES IN BISHKEK

Abisheva Z., Boizeau Ph., Orunbaev S. *abisheva_z@auca.kg* American University of Central Asia, Bishkek, Kyrgyzstan

This research examines the carbon sequestration capacity of different tree species in the urban environment of Bishkek for contributing to the city's sustainable development and climate change mitigation efforts. With growing concerns about climate change and carbon emissions in cities, the role of urban greenery, especially trees, is becoming critical in sequestering carbon dioxide (CO₂). A study conducted in the Bishkek Ecopark evaluates the sequestration abilities of pine, birch, maple, linden and catalpa trees. Using measurements of tree characteristics and established equations, carbon storage and sequestration rates for each species are calculated. The results show significant variability in sequestration capacity among species, with linden and pine trees showing the highest potential. This variability highlights the importance of strategic species selection in urban forestry practices to enhance carbon sequestration. The study highlights the ecological value of urban green spaces and suggests integrating species with high sequestration capacity, such as linden and pine, into future urban planning and greening initiatives. These efforts can contribute to Bishkek's sustainable development and climate change mitigation strategies by highlighting the need for diverse and strategically planned urban forests.

Keywords: Carbon Sequestration, Urban Forestry, Tree Species, Climate Change Mitigation, Sustainable Urban Planning

Introduction. The growing threat of climate change, highlighted by rising carbon dioxide (CO₂) emissions, is a global issue affecting urban centers. Dense populations, industrial activities, and transportation networks contribute to these emissions, further worsening cities' ecology. Bishkek, the capital of Kyrgyzstan, is an example of such an urban area, accounting for more than half of the country's greenhouse gas emissions. The city's energy sector and transport sector are the main sources of CO₂ emissions in Bishkek, which requires effective measures to reduce carbon dioxide emissions [1].

Given these urban problems, the role of green infrastructure, especially trees, and their ecological functions are crucial. Urban greenery represents the potential to reduce carbon dioxide emissions through carbon sequestration. Through the natural process of photosynthesis, plants convert CO_2 into biomass, effectively removing the greenhouse gas from the atmosphere. Thus, strategies to sequester carbon dioxide through urban greenery offer an opportunity to achieve carbon neutrality and mitigate climate change.

The diversity of tree species in urban environments adds a variable to the carbon sequestration equation. Different species have different abilities to absorb CO_2 , which is a factor in Bishkek's environmental strategy. Recognizing this, this study focuses on assessing the carbon sequestration potential of different tree species in the urban environment of Bishkek. Thus, the study aims to recognize the role of urban greenery in environmental sustainability, climate change mitigation, and adaptation.

Literature review

Urban green spaces have received significant attention in recent years, not only for their aesthetic and recreational value but also for their potential to mitigate climate change. As urban areas continue to expand and their contribution to carbon emissions increases, the importance of understanding the carbon sequestration potential of greenery becomes central.

The carbon sequestration process in trees is natural, where trees absorb carbon dioxide during photosynthesis, converting it into glucose and releasing oxygen as a byproduct [2]. As highlighted in the source from Jog, trees that grow the most rapidly absorb the most carbon. Although young trees grow faster, most trees sequester carbon at their fastest rate in the middle and end of their lives. Because during these stages, even though the growth rate of older trees may slow, their enormous size allows them to store significant amounts of carbon [3]. However, it is worth considering that the ability to sequester carbon also varies among fast-growing large trees. This is supported by the study "Screening Tree Species for Carbon Storage Potential through Urban Tree Inventory in Planted Vegetation" which recorded 2860 trees from 36 species and found that species like Ficus spp., Azadirachta indicia, and Conocarpus erectus were dominant contributors to carbon sequestration [4]. These findings underscore the ability of green spaces to sequester carbon and the opportunity to enhance this capacity through strategic plantation programs.

While the direct carbon sequestration benefits of trees are evident, urban green spaces offer numerous other environmental benefits. As highlighted in the research from Xi'an, urban greenery plays an irreplaceable role in low-carbon cities. They not only act as carbon sinks but also play a crucial role in regulating the urban climate, mitigating the urban heat island effect, and indirectly reducing carbon emissions [5]. For instance, a well-planned green space can reduce the overall energy consumption of a city, thereby reducing carbon emissions [5]. Moreover, the strategic placement of these green spaces can make life more convenient for residents, promoting the use of public transportation or walking, further reducing carbon emissions. Overall, urban vegetation has a significant role in addressing various environmental challenges, thereby contributing to the sustainability of the city.

Data and Methodology. *Study Area*. Bishkek is the capital of Kyrgyzstan and the country's largest urban area. The city has several large green spaces, but the most prominent one is Elm Grove. Elm Grove is the oldest urban forest in Kyrgyzstan, located in the north of the capital (Fig. 1).



Figure 1– Map of Elm Grove and its location in Bishkek city. Map created using the Free and Open Source QGIS.

The grove was founded in 1881 on the initiative of Alexei Fetisov. The horticulturist arrived in Bishkek and planted 80000 seedlings of trees and shrubs, making it the largest green urban area in Central Asia with an area of about 215 hectares. Since the country's independence in 1991, urbanization, tree-cutting, and poor urban planning have reduced the area by 60%. However, at the initiative of the American University of Central Asia (AUCA) and French-Kyrgyz Association of Ecotourism (AFKE), 41 hectares of Elm Grove were transformed into a specially protected area Ecopark (Fig. 2). At the moment, the total area of Ecopark and Elm Grove is 123 hectares.



Figure 2 – Map of Ecopark and its location in Elm Grove. Map created using the Free and Open Source QGIS.

Data and Methodology. Data. Primary data includes collecting information about tree characteristics.

A series of Pine plantations began in 2019 and continued in subsequent years. In particular, 65 pine trees were planted in 2019, 136 trees were planted in 2021, 20 more in 2022, and 14 more in 2023. Also in 2019, Catalpa plantation was planted - about 10 and Birch - about 30. The Ecopark also has a Linden plantation of 20 trees, which were planted in 2023, but were originally planted in 2021 on the provider's property. Maple planting began in 2020 and continued in 2021, with a total of 25 trees. The total plantation was about 290-300 trees, however, during the period from 2019 to the present, some trees died due to various factors.

The choice of trees is determined by their recommendations from the National Academy of Sciences of The Kyrgyz Republic [6], which is a landscaping guide for city municipal structures and planners. The eco-park was chosen as the study area due to the diversity of tree species. For comparison purposes, the study focused on plantations of trees of approximately the same age to evaluate the carbon sequestration efficiency of different species. The French-Kyrgyz Ecotourism Association and tree suppliers provided the necessary information about the years of establishment of the plantations and any subsequent changes. *Methodology:*

To calculate current carbon storage, the biomass of each tree in the study is determined using equations and conversion factors derived from the literature [7]. These equations are typically applied to trees growing in forests. However, given that the trees in the Ecopark have been planted and are growing under natural conditions, no adjustments were made to the equations. Inputs for the equations include data on the trunk diameter, height, and planting year of each tree. Utilizing these data to compute the annual amount of CO_2 sequestered by a tree, the following determinations are made:

- 1. The total (green) weight of the tree using tree height and diameter.
- 2. The dry weight of organic matter by multiplying the total weight by 72.5%. The average tree is 72.5% dry matter and 27.5% moisture according to the University of Nebraska publication.
- 3. The weight of carbon in the tree by multiplying the dry weight by 50%. Since the average carbon content is usually 50% of the tree's total volume.
- 4. The weight of carbon dioxide sequestered in the tree by multiplying the weight of carbon by 3.6663. CO₂ is composed of one molecule of Carbon and 2 molecules of Oxygen. Carbon has an atomic mass of 12.001115. Oxygen has an atomic weight of 15.9994. CO₂ has a mass of C+2*O=43.999915. The ratio of CO2 to C is 43.999915/12.001115=3.6663.

5. The weight of CO₂ sequestered in the tree per year by dividing the weight of CO₂ by the age of the tree.

For trees with different diameters, the corresponding equations are used: When D < 11 inches

$$W = \frac{0.25 * D^2 * H * 120\% * 72,5\% * 50\% * 3,6663}{Tree \ age}$$

When $D \ge 11$ inches

$$W = \frac{0.15 * D^2 * H * 120\% * 72,5\% * 50\% * 3,6663}{Tree \ age}$$

Equation 2

Equation 1

W = Above-ground weight of the tree in pounds

D = Diameter of the trunk in inches

H = Height of the tree in feet

Results. This chapter presents the findings of the study on the carbon sequestration capacities of different tree species in Bishkek's urban areas. The primary objective of this research is to assess and compare the ability of selected tree species to sequester carbon dioxide. The analysis is based on the primary data collected from the tree measurements conducted in the Ecopark of Bishkek, covering a range of species, including pine, linden, and others. The table below provides an overview of the species studied, the number of trees of each species, and their ability to sequester carbon dioxide and carbon (Tab 1).

Table 1 – C (Carbon) and CO_2 (Carbon Dioxide) Sequestration Capacities of Tree Species in Bishkek's Ecopark

No.	Species	Number	С	CO ₂
		of trees	(in mt)	(in mt)
1	Pines	205	2.21	8.1
2	Birch	25	0.06	0.22
3	Maple	25	0.06	0.23
4	Linden	20	0.5	1.84
5	Catalpa	9	0.04	0.16
	Total	284	2.88	10.55

The estimated total carbon sequestration from all trees in the study area is approximately 2.88 metric tons (mt), corresponding to about 10.55 mt of CO₂. It is important to note that the distribution of tree species within the park is uneven, requiring an analysis based on average values to account for this diversity.

Table 2 presents a statistical summary of the variables measured across all studied tree species within Bishkek's Ecopark. Key parameters were determined including diameter, height, and the sequestered amount of CO_2 in total and per year, expressed in metric tons (mt).

Table 2 – Statistical Description of Studied	Variables for	r All Tree	Species
--	---------------	------------	---------

	Median	Mean	Max	Min	Negative range (stdev)	Positive range (stdev)
Diameter in cm	11.5	12.22	31.9	2.1	10.12	19.68
Height in cm	191.5	208.21	374	70	138.21	165.79
CO ₂ total in mt	0.02	0.04	0.25	0.0003	0.04	0.21
CO2 per year in mt	0.01	0.01	0.11	0.0001	0.01	0.09
C in mt	0.01	0.01	0.07	0.0001	0.01	0.06

Analysis revealed important statistical information about these tree species. For CO_2 sequestration, the median total sequestered amount is 0.02 mt, with an average of 0.04 mt. The maximum and the minimum values are 0.25 mt and 0.0003 mt. The standard deviation suggests a negative range of 0.04 mt and a positive range of 0.21 mt for total CO_2 sequestration.

Annually, the median CO_2 sequestration per tree is 0.01 mt, with an average of the same value. The maximum annual sequestration is 0.11 mt, and the minimum is 0.0001 mt, with the standard deviation indicating a negative range of 0.01 mt and a positive range of 0.09 mt.

Tables 3, 4, 5, 6, and 7 present the statistical summaries for the variables measured for Pine, Birch, Maple, Linden, and Catalpa tree species within Bishkek's Ecopark.

	Median	Mean	Max	Min	Negative range (stdev)	Positive range (stdev)
Diameter in cm	12	13.34	31.9	5.5	7.84	18.56
Height in cm	173	188.13	374	104	84.13	185.87
CO ₂ total in mt	0.02	0.04	0.25	0.003	0.04	0.21
CO2 per year in mt	0.01	0.02	0.11	0	0.01	0.09
C in mt	0.01	0.01	0.07	0.001	0.01	0.06

Table 3 – Statistical Description of Studied Variables for Pine Species

Pines show the greatest diameter variability among the species studied, with significant differences between minimum and maximum values. Height also has a wide range, due to the varying ages and maturity of the species. Pine trees have the highest maximum values for both CO_2 and C sequestration. However, this is due to the large number of pine trees measured.

Table 4 – Statistical Description of Studied Variables for Birch Species

	Median	Mean	Max	Min	Negative range (stdev)	Positive range (stdev)
Diameter in cm	6	6.13	8	5	1.13	1.87
Height in cm	248	250.88	293	218	32.88	42.12
CO ₂ total in mt	0.01	0.01	0.01	0.01	0.003	0.01
CO2 per year in mt	0.002	0.002	0.003	0.001	0.001	0.001
C in mt	0.002	0.002	0.004	0.002	0.001	0.002

Birch trees have a narrow range in diameters, suggesting a more uniform size among the sampled individuals. Their height statistics indicate taller growth, with less variation in height compared to other species. CO_2 and C sequestration values are consistent.

Table 5 – Statistical Description of Studied Variables for Maple Species

	Median	Mean	Max	Min	Negative range (stdev)	Positive range (stdev)
Diameter in cm	5.9	6.15	9.2	4	2.15	3.05
Height in cm	247.9	244.7	355.1	139.9	104.8	110.4
CO ₂ total in mt	0.01	0.01	0.02	0.003	0.01	0.01
CO ₂ per year in mt	0.002	0.002	0.006	0.001	0.001	0.003
C in mt	0.002	0.003	0.006	0.001	0.002	0.004

Maples have a wider range of diameters than birches, but less than pine trees. Height data varies, with significant differences between the tallest and shortest maples. The sequestration rates are low.

	Median	Mean	Max	Min	Negative range (stdev)	Positive range (stdev)
Diameter in cm	17.9	17.77	20.5	15.8	1.97	2.73
Height in cm	315	315	315	315	0	0
CO ₂ total in mt	0.09	0.09	0.12	0.07	0.02	0.03
CO2 per year in mt	0.03	0.03	0.04	0.02	0.01	0.01
C in mt	0.03	0.03	0.03	0.02	0.01	0.01

Table 6 – Statistical Description of Studied Variables for Linden Species

Linden trees present the least variability in diameter and no variability in height because all measured trees were planted at the same time from the same provider. They show high median and mean values for CO_2 and C sequestration per year.

Table 7 – Statistical Description of Studied Variables for Catalpa Species

	Median	Mean	Max	Min	Negative range (stdev)	Positive range (stdev)
Diameter in cm	8.2	8.17	17.5	2.1	6.07	9.33
Height in cm	254	208.33	264	70	138.33	55.67
CO ₂ total in mt	0.02	0.02	0.06	0.0003	0.02	0.04
CO2 per year in mt	0.003	0.004	0.011	0.0001	0.003	0.008
C in mt	0.004	0.005	0.015	0.0001	0.005	0.01

Catalpa trees have a wide range in diameter and height. Data on catalpa sequestration reveal a wide variation in values, both in total and per year, possibly due to different growth rates or environmental conditions affecting the trees.

The statistical analysis shows that Pine and Linden species have higher carbon sequestration potential, with Pine trees leading in total carbon sequestration and Linden trees showing high rates of annual carbon sequestration. Birch and Maple species are more consistent in size and sequestration potential, suggesting a similar growth pattern. Catalpa trees, although having a smaller size, show significant variability.

The table below illustrates the differences in carbon dioxide sequestration among various tree species in the Ecopark of Bishkek. The data represent the amount of CO_2 sequestered in mt by Catalpa, Birch, Maple, Linden, and Pine trees, alongside the total weight of CO_2 sequestered by all species combined (Fig. 3).

From the bar plot, it is evident that Pine trees have sequestered the most CO_2 , with a total of approximately 8.1 mt. The second largest CO_2 sequesters were Linden trees, which have sequestered about 1.84 mt of CO_2 . Maple and Birch trees have each sequestered roughly 0.22-0.23 mt. Among the species analyzed, Catalpa trees sequestered the least amount of CO_2 - 0.16 mt. However, due to the uneven distribution of tree species, it is essential to consider the average sequestration values per tree.

The cumulative data in Figure 3 shows the total CO₂ sequestration capabilities among different tree species in the Bishkek Ecopark, showing that Pine and Linden trees are the most significant sources of carbon sequestration. While the total amount provides information about the collective impact of the plantations, it is the average annual sequestration per tree that provides a deeper understanding of the individual contributions of each species (Fig 4). This individual analysis allows for a more detailed assessment of each tree's ability to contribute to the Ecopark's carbon sequestration efforts.



Figure 3 – Comparative Weights of CO₂ (Carbon Dioxide) Sequestered by Tree Species in Bishkek's

Ecopark. Chart created using the R programming



Comparative Mean Annual Weights of CO2 Sequestered per Tree by Species

Figure 4 – Comparative Mean Annual Weights of CO_2 (carbon dioxide) sequestered per Tree by Species in kg. Each column represents the mean weight of CO_2 captured by a single tree of a given species for one year. Chart created using the R programming

According to Figure 4, Birch and Maple trees sequester the least $CO_2 - 1.8$ kg and 2.4 kg. The third largest quantity of annual sequestration per tree is Catalpa - 3.5 kg. Pines, despite their greater contribution to the total sequestration of CO_2 , are in second place - 15.3 kg. Lindens, on a per-tree basis, vastly outperform Birch, Maple, Catalpa, and Pine trees in annual carbon sequestration - 30.6 kg. Specifically, Lindens capture almost triple the CO_2 of Pines and more than six times that of Catalpas annually. This dramatic contrast in sequestration rates can be explained by the generally faster growth and larger size of linden trees. Rapid growth correlates with increased photosynthesis, the biological mechanism for absorbing CO_2 to produce plant tissue. In addition, the extensive foliage of linden trees provides a large surface area for photosynthesis. These findings suggest prioritizing linden trees in planting initiatives aimed at enhancing carbon sequestration.

In conclusion, this chapter presents an analysis of the carbon sequestration capacity of different tree species in the urban landscape of Bishkek. Data collection and evaluation identifies significant differences in sequestration rates within each species. In this study, the extensive variability highlights the complexity of the ecological functions of urban green spaces and reveals the

need for strategic biodiversity in urban forestry practices. The results obtained in this study argue for the selective integration of tree species such as linden and pine into future urban planning and greening initiatives.

Discussion. The research on the ability of different tree species to sequester carbon in the urban ecosystem of Bishkek provides implications for city sustainability and climate change mitigation. Quantitatively comparing species such as pine, birch, maple, linden and catalpa, the results show significant variability in carbon sequestration potential, with pine and linden showing high abilities.

The characteristics of linden, characterized by their rapid growth and extensive foliage, confirm that the physical characteristics of the tree are correlated with its ability to sequester carbon. These data also confirm that not only the presence of urban green spaces, but also their compositional biodiversity influences the urban carbon cycle. These ideas have implications for developing strategies for urban environmental management by emphasizing the role of species selection in improving carbon sequestration efficiency.

The finding of linden's high sequestration capacity is also consistent with a study conducted in a temperate climate in China [8]. Moreover, the observed rates of linden and pine sequestration are consistent with global trends noted in the literature, which advocates the selection of tree species in urban forestry programs aimed at maximizing carbon sequestration [9]. The similarities noted in this study when compared to global data highlight the importance of incorporating strategic selection of vegetation types into Bishkek's urban planning policies.

From a practical perspective, the findings of this study have implications for urban planning and climate change policy formulation in Bishkek and similar urban settings. Identifying tree species with high sequestration capacity allows for the development of more targeted and effective urban greening strategies, optimizing the environmental benefits of green spaces. Additionally, the study's focus on species diversity suggests the inclusion of diverse, highly sequestered species in forestry initiatives, which improves not only carbon sequestration, but also biodiversity, air quality, and urban well-being.

In conclusion, this study provides valuable information on the species' sequestration abilities of trees in the Bishkek climate and lays the foundation for a database. The outstanding characteristics of linden trees highlight the potential for using certain species in efforts to solve local environmental problems. As cities like Bishkek continue to develop, integrating the results of such findings into urban planning will be essential to achieving sustainable development goals and climate change mitigation.

Conclusion. The research, conducted to evaluate the carbon sequestration capacity of different tree species in the urban conditions of Bishkek, identifies several key ideas. Through detailed analysis covering species such as pine, birch, maple, linden and catalpa, this study not only quantifies the carbon sequestration potential inherent in Bishkek's urban forestry, but also highlights the significant differences between species in their ability to capture and store carbon dioxide.

Pines and linden trees are particularly efficient at sequestering carbon, with linden trees showing exceptional annual carbon sequestration rates. This finding confirms the critical role that species selection plays in improving the effectiveness of urban green spaces as carbon sinks. By prioritizing the integration of highly sequestering species such as linden and pine into urban forestry initiatives, Bishkek can more effectively use these natural resources in its efforts to combat urban pollution and contribute to mitigating the effects of global climate change.

This study also identifies areas for further investigation. Future research should focus on the long-term dynamics of carbon sequestration by different tree species and the influence of urban environmental factors on trees and their sequestration capacity.

In conclusion, this study contributes to the discussion on urban sustainability and climate change mitigation. By providing a detailed assessment of the carbon sequestration capacity of different tree species in urban areas of Bishkek, it lays the foundation for more informed, strategic and effective urban forestry practices that contribute to a sustainable urban future.

References

- 1. UNFCCC, Third National Communication of the Kyrgyz Republic under the UN Framework Convention on Climate Change. 2016. 106 p.
- 2. Jin S., Zhang E., Guo H., Hu C., Zhang Y., Yan D. Comprehensive evaluation of carbon sequestration potential of landscape tree species and its influencing factors analysis: implications for urban green space management // Carbon Balance and Management. 2023. Vol. 18. No. 1. pp. 17.
- 3. Cox H.M. A Sustainability Initiative to Quantify Carbon Sequestration by Campus Trees // Journal of Geography. 2012. Vol. 111. No. 5. pp. 173–183.
- 4. Al-Nadabi A.S., Sulaiman H. Screening Tree Species for Carbon Storage Potential through Urban Tree Inventory in Planted Vegetation // Open Journal of Forestry. 2022. vol. 13. no. 1. pp. 61-74.
- Fan L., Wang J., Han D., Gao J., and Yao Y. Research on Promoting Carbon Sequestration of Urban Green Space Distribution Characteristics and Planting Design Models in Xi'an // Sustainability. 2022. Vol. 15. No. 1. p. 572.
- 6. Андрейченко Л., Малосиева Г. Рекомендации по ассортименту древесных растений для озеленения г. Бишкек / Ботанический сад им. Э. Гареева НАН КР. Бишкек. 2017. 39 с.
- Nowak D.J., Greenfield E.J., Hoehn R.E., Lapoint E. Carbon storage and sequestration by trees in urban and community areas of the United States // Environmental Pollution. 2013. Vol. 178. pp. 229–236.
- Lu X., Wang H. A Quantitative Study on Carbon Sequestration An Analysis of Changbai Mountain Forest Example // Highlights in Science Engineering and Technology. 2023. vol. 40. pp. 1–7.
- 9. Jo H.-K., Kim J.-Y., Park H.-M. Carbon reduction and planning strategies for urban parks in Seoul //Urban Forestry & Urban Greening. 2019. Vol. 41. pp. 48–54.

INTEGRATED ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL HAZARDS AT A WASTE POLYGON SITE IN BISHKEK: SEISMIC AND AIR POLLUTION ANALYSIS

Jung Y., Orunbaev S. yoonho_j@auca.kg American University of Central Asia, Bishkek, Kyrgyzstan

This study presents an integrated assessment of environmental hazards at a waste polygon site in Bishkek, Kyrgyzstan, through the analysis of seismic data and air pollution measurements. Seismic recordings were conducted to evaluate the geotechnical characteristics of the soil covering the waste, revealing a thickness of approximately 23 meters and indicating very soft soil conditions. Concurrently, air pollution measurements using the IQAir AirVisual Pro sensor identified significantly elevated levels of PM2.5, with readings reaching 156 μ g/m³ at the waste burning site compared to 78 μ g/m³ at other city locations. These findings underscore the dual environmental threats posed by ground instability and air pollution at the waste polygon site. Recommendations include the enforcement of strict waste management regulations to prohibit open burning, enhancement of air quality monitoring systems, implementation of geotechnical stabilization measures, community engagement initiatives, and continuous monitoring and evaluation. By addressing these challenges through a collaborative and interdisciplinary approach, stakeholders can work towards mitigating environmental hazards and promoting a healthier and more sustainable living environment in Bishkek.

Keywords: waste polygon, seismic analysis, air pollution, PM2.5, waste management, community engagement, sustainable solutions

Introduction. Bishkek is the one of cities around the whole world who burns their waste in the polygon it was problem in Kyrgyzstan for many years. It can be a problem for many years in future because Kyrgyzstan is still hitting with coal, of course not at all but anyway, but because of this ordinary people are dying because of bad chemicals which throughout from this wastes and this gases flying to their territory where they live. Also, these chemicals which throughout from these wastes are one of the reasons which make smog in Bishkek. Smog is one of the reasons who can make disease in your length, blood vessels etc. Climate change is a pressing global issue that is primarily driven by human activities, including our wasteful habits and unsustainable practices.

The issue of waste management, particularly the burning of waste in the Bishkek city polygon, has been a persistent problem in Kyrgyzstan for many years [1]. This practice not only contributes to local air pollution but also poses significant health risks to nearby residents [2]. The combustion of waste releases harmful chemicals and gases into the atmosphere, exacerbating air quality issues and contributing to the formation of smog in Bishkek [3]. Exposure to these pollutants can lead to respiratory problems, cardiovascular diseases, and other adverse health effects among the population [4].

Climate change, driven by human activities such as the excessive release of greenhouse gases (GHGs), is a pressing global issue [5]. The burning of waste adds to GHG emissions, further exacerbating climate change impacts [6]. Landfills, in particular, emit methane, a potent GHG, as organic waste decomposes anaerobically [7]. Proper waste management practices such as recycling, composting, and waste reduction can help mitigate these emissions and reduce the environmental footprint of waste disposal [8].

The Bishkek sanitary landfill is a significant source of air pollution in the city, emitting pollutants such as nitrogen oxides, formaldehyde, and volatile organic compounds [3]. The government has taken steps to address the air pollution problem, including the construction of a new sanitary landfill [9]. However, until the new landfill becomes operational, waste burning continues at the old site, exacerbating air quality issues.

To combat air pollution in Bishkek, the government has implemented measures such as increasing the use of public transportation, promoting cleaner fuels like natural gas, and planting trees to improve air quality [10]. While these efforts have helped reduce pollution levels to some extent, more action is needed to close the old landfill and prevent waste burning at the new site. Public awareness campaigns about the health risks of air pollution can also help mobilize support for stricter environmental regulations and waste management practices.

Current situations:

The conservation process involved covering the ground soil with waste materials at the waste polygon in Bishkek. This measure was implemented to prevent further contamination of the soil and to minimize the release of pollutants into the environment. By covering the soil with waste, it acts as a protective barrier, reducing the potential for leaching and preventing direct contact between the soil and the waste materials.

During autumn, heavy rainfall can indeed pose challenges for waste management, particularly if the waste has not been properly covered or managed. Excessive rainwater can infiltrate the waste, leading to increased moisture content and potentially triggering the process of waste liquefaction.

Comparing with past research, in the last spring, Kyrgyzstan was still burning 5.5-6.5 tons of coal per day for heating, electricity, and for various other reasons, which is not normal. Additionally, 400-500 tons of waste still goes to the waste polygon, which hasn't changed compared to last year. To address these problems, we conducted analyses and made two trips last summer and this winter. Additionally, we conducted several studies and analyses using drones, interviewed people living near the polygon, who described in detail the problems they faced in the past and how they are affected now. We also analyzed data using seismological equipment and air quality sensors.

Addressing the issue of waste management and air pollution in Bishkek requires a multifaceted approach involving government intervention, public awareness, and community engagement. By implementing sustainable waste management practices and reducing reliance on waste burning, Bishkek can work towards a cleaner, healthier environment for its residents.

Data. The conducted study involved both remote sensing and ground-based measurements within the territory of the Waste Polygon in Bishkek city. Ground-based seismic measurements were performed near the village as well as within the waste-covered areas to evaluate the stability of the ground. This was achieved utilizing a Data CUBE equipped with a 4.5 Hz geophone sensor. Additionally, measurements were conducted at the waste burned site using air pollution equipment to assess the level of air pollution in the area.

The seismic measurements were conducted using sophisticated equipment known as the Data CUBE system, which is widely recognized for its accuracy and reliability in seismic data acquisition [11]. This system is equipped with a 4.5 Hz geophone sensor, renowned for its high sensitivity to seismic waves [12]. The geophone sensor, with its ability to detect even subtle ground movements, is essential for assessing ground stability in diverse environments [13]. By leveraging the capabilities of the Data CUBE system and the 4.5 Hz geophone sensor, the study aimed to provide comprehensive insights into ground stability within the Waste Polygon, contributing to the assessment of potential hazards and risks to the surrounding areas (Fig. 1).

For air pollution recording at the waste burning site, we utilized the IQAir sensor, specifically the AirVisual Pro Monitor. This indoor air quality monitor is designed to accurately measure air pollution levels within various indoor environments, including homes, schools, and businesses. It can detect pollutants originating from various sources such as cooking, cleaning, wood burning, interior decoration, smoking, as well as outdoor sources like wildfire smoke and traffic pollution entering the building [14] (Fig. 2).

The AirVisual Pro Monitor provides real-time and historical data on air quality, which can be accessed via the free mobile IQAir AirVisual app. This allows for continuous monitoring of air pollution levels and enables timely interventions to address any spikes or deviations from acceptable air quality standards [14]. By utilizing this advanced monitoring equipment, we were able to gather precise data on air pollution levels at the waste burning site, facilitating a better understanding of the environmental impact of waste burning activities and informing mitigation strategies.



Figure 1- Left. Seismic measurement on the stable ground. Right. Seismic measurement on the soil covered waste



Figure 2 – IQAir AirVisual Pro, Indoor Air Quality Monitor

Results. Seismic recordings were conducted on both stable soil and soil covered with waste, and the data obtained were analyzed (Fig. 3).

The Horizontal to Vertical (H/V) Spectral Ratio is a method used in seismology and geophysics to analyze the frequency content of seismic waves recorded at a specific location [15]. It is particularly useful in assessing the site response or amplification characteristics of the ground motion caused by seismic events.

The H/V spectral ratio technique involves measuring the amplitudes of seismic waves recorded in horizontal (North-South or East-West) and vertical components and then calculating the ratio of these amplitudes across a range of frequencies [15]. This ratio provides information about the resonance frequencies of the site, which can vary depending on the geological and topographical characteristics of the area.

Channe	el Data						
Open	<u>C</u> lose <u>J</u> oi	n <u>E</u> FT		û * * * Sca	ing 3 bytes 💌 🗖 H	iemove DC ∏ Auto Scale i Gain 🔽 Show Title	Save
c0BEMp0	31.03.2024	4 10:38:44 L00sps (00:42:2	9.875)		·····		
100 ANNA	(with the M	MAMMAN	www.	MMANMAMMAN	have have have been	Maninamana	waterthilliter
.100 mV			(We fee weed a set		····· alle · · · · ·	a ita da ita ita ita ita ita ita ita ita ita it
-200 mV							
cOREMo	2 31 03 202	1.10.38.44	11:00:29.361	11:00:34.367	11:00:39.374	11:00:44.381	11:00:49.387
1 019 950 s	amples @ 400	00sps (00:42:2	29.875)		·····		
www.	mm him	MMMM	www.www.wwwwww	MMMMMmmm	www.www.	mmmmmmmm	Mr. Mannen
-100 mV		4					
-200 mV	11-0	124 354	11:00:29:361	11:00:34:367	11-00-39 374	11:00:44.381	11:00:49 387
cOBEJpO	31.03.2024	10:39:14		11.00.04.007	11.00.00.014	11.00.44.001	11.00.40.007
948 750 sar	nples @ 400,0	Osps (00:39:31	Litti in an an all la	بغاليه والباغي فالما ومعامد	and an and the lock of the second	فالمالم والألدر تسأريه ومرا	instant all hilles
的知识	add a stand of	AUM AN	tection descention of the		off when the second	and a manufacture of the	and a high days
-100 mV	••••••••••						
-200 mV	11:00):24.354	11:00:29.361	11:00:34.367	11:00:39.374	11:00:44.381	11:00:49.387
c0BEJp2 948 750 sat	31.03.2024	10:39:14	8751	1111H			
Milmall	KANA MANA	VARAANAAN	high akta in this latin	And hold here and a second	A DRAWARD A RAWARD AND A RAWARD A	Ulhan Radia Alanda Ata Ata	ALLANK AN IN ALLAND
Altriath	t, Httitta	i the first	ind the state of the other shift	i den and den de serveren de serveren En la serveren de serveren d	M	thur his statistics and	auk kas illi suurakki
-100 mV	·			-4.046			
	11:00	0:24.354	11:00:29.361	11:00:34.367	11:00:39.374	11:00:44.381	11:00:49.387
<u>•</u>							

Figure 3 – Seismic waveform on both stable soil (top), and soil covered with waste (bottom) 2 channels, vertical and horizontal

The H/V spectrogram of seismic waves displayed recordings of the artificial soil covered with waste, revealing significant differences compared to the stable soil in the village (fig.4).

Specifically, the spectrogram indicated that the soil covered with waste exhibited characteristics of very soft soil, whereas the stable soil in the village showed distinct properties. These findings provide valuable insights into the structural integrity and stability of the soil in areas impacted by waste accumulation, highlighting the potential risks associated with waste disposal practices.



Figure 4 – H/V ratio of stable soil (left) and on waste site covered soil (right)

The waste polygon site, where waste burning occurs, was monitored for air pollution using the IQAir AirVisual Pro sensor. The sensor recorded significantly higher levels of air pollution at this site compared to other locations in the city. Specifically, the Indoor Air Quality sensor indicated a very poor air quality reading, with PM2.5 levels reaching 156 μ g/m³ at the waste burning site, in contrast to 78 μ g/m³ recorded at other sites in the city (Fig. 5).



Figure 5 – IQAir AirVisual Pro was used Air Quality in the burning site

These findings underscore the severe impact of waste burning on local air quality, particularly in terms of fine particulate matter (PM2.5) pollution. PM2.5 particles are known to pose significant health risks, as they can penetrate deep into the respiratory system and bloodstream, causing respiratory and cardiovascular problems, exacerbating asthma and other respiratory conditions, and increasing the risk of premature death.

Discussions. The results of the Horizontal to Vertical (H/V) spectral ratio analysis indicate significant differences in the soil characteristics between the waste site covered by soil and the stable site:

Waste Site Covered by Soil:

• The H/V ratio analysis suggests that the soil at the waste site is very soft.

• The approximate thickness of the soil layer at the waste site is determined to be 23 meters. Stable Site:

• In contrast, the soil at the stable site exhibits characteristics of hard soil.

• The thickness of the soil layer at the stable site is estimated to be 210 meters.

These findings provide valuable insights into the mechanical properties and geological conditions of the subsurface at both sites. The soft soil observed at the waste site may indicate potential instability and susceptibility to ground motion amplification during seismic events. Conversely, the presence of hard soil at the stable site suggests greater stability and resistance to seismic forces.

Understanding the differences in soil characteristics and thickness between the two sites is essential for various applications, including seismic hazard assessment, site selection for infrastructure development, and geotechnical engineering projects. Further analysis and interpretation of these results can inform land-use planning and risk management strategies to mitigate potential hazards associated with soil instability and seismic vulnerability.

The elevated PM2.5 levels recorded at the waste burning site highlight the urgent need for effective measures to address this environmental and public health concern. Mitigation strategies may include stricter regulations and enforcement of waste management practices to prevent open burning, promotion of alternative waste disposal methods such as recycling and composting, and implementation of air quality monitoring and reporting systems to track pollution levels and inform decision-making.

Furthermore, community awareness and engagement initiatives can play a crucial role in advocating for cleaner air and sustainable waste management practices. By addressing the root causes of air pollution and implementing targeted interventions, it is possible to improve air quality, protect public health, and create a healthier and more sustainable environment for all.

Conclusions. In conclusion, the combined analysis of seismic data and air pollution measurements provides valuable insights into the environmental and geotechnical conditions at the waste polygon site in Bishkek.

The seismic recordings and subsequent analysis reveal that the soil covering the waste at the site is very soft, with an approximate thickness of 23 meters. This suggests potential instability and susceptibility to ground motion amplification during seismic events, posing risks to infrastructure and public safety.

Additionally, the air pollution measurements, particularly the high levels of PM2.5 recorded at the waste burning site, indicate severe degradation of air quality in the vicinity. This poses significant health risks to nearby residents, with potential impacts on respiratory and cardiovascular health.

These findings highlight the urgent need for comprehensive mitigation measures to address both the geotechnical instability and air pollution issues at the waste polygon site. Effective waste management practices, including alternatives to open burning such as recycling and composting, are essential to reduce pollution levels and protect public health. Furthermore, geotechnical interventions may be necessary to stabilize the soil and minimize the risk of ground instability.

Overall, a multidisciplinary approach involving collaboration between environmental scientists, geotechnical engineers, public health experts, and policymakers is essential to develop and implement sustainable solutions for mitigating the environmental and public health impacts of waste management practices at the waste polygon site in Bishkek.

Recommendations. Based on the findings from the seismic and air pollution analyses at the waste polygon site in Bishkek, the following recommendations are proposed:

Implement Strict Waste Management Regulations: Enforce regulations to prohibit open burning of waste at the polygon site and promote alternative waste disposal methods such as recycling, composting, and landfilling in controlled environments.

Improve Air Quality Monitoring: Enhance air quality monitoring systems to provide real-time data on pollution levels, particularly PM2.5, at the waste polygon site and surrounding areas.

This will facilitate early detection of pollution hotspots and prompt intervention measures.

- *Conduct Comprehensive Geotechnical Assessment*: Perform a detailed geotechnical investigation to assess the stability of the soil at the waste polygon site and identify potential risks of ground instability. Implement measures to stabilize the soil and minimize the risk of seismic-induced hazards.
- Community Engagement and Education: Increase awareness among the local community about the environmental and health impacts of waste burning and air pollution. Encourage community participation in waste management initiatives and promote sustainable practices.
- *Collaborative Approach:* Foster collaboration among government agencies, environmental organizations, academia, and community stakeholders to develop and implement holistic solutions for addressing the environmental and public health challenges associated with waste management at the polygon site.
- *Continuous Monitoring and Evaluation*: Establish a long-term monitoring program to track changes in soil stability and air quality over time. Evaluate the effectiveness of mitigation measures and adjust strategies as needed to ensure sustained improvement in environmental quality and public health outcomes.

By implementing these recommendations in a coordinated manner, stakeholders can work towards mitigating the environmental and public health risks posed by waste management practices at the polygon site in Bishkek, ultimately fostering a cleaner, healthier, and more sustainable environment for all residents.

References

- 1. World Bank. Waste Management in Kyrgyzstan: Turning Trash into Cash. 2018. Retrieved from [https://www.worldbank.org/kyrgyzstan].
- 2. UNDP. Kyrgyz Republic: Waste Management Situation Analysis. 2020. Retrieved from [https://www.undp.org/kyrgyz-republic].
- 3. UNEP. Waste Management in Bishkek: Challenges and Solutions. 2019. Retrieved from [https://www.unep.org/bishkek-waste-management].
- 4. WHO. Air Pollution and Health. 2016. Retrieved from [https://www.who.int/airpollution].
- 5. IPCC. Global Warming of 1.5°C. 2018. Retrieved from [https://www.ipcc.ch].
- 6. UNFCCC. The Paris Agreement. 2020. Retrieved from [https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement].
- 7. EPA. Landfill Methane Outreach Program. 2020. Retrieved from [https://www.epa.gov/lmop]
- 8. EU. Waste Management in the European Union. 2020. Retrieved from [https://europa.eu/youreurope/environment/waste/index_en.htm].
- 9. AKIpress News Agency. Construction of New Sanitary Landfill in Bishkek. 2019. Retrieved from [https://www.akipress.com/news].
- 10. Government of Kyrgyzstan. Air Quality Improvement Initiatives. 2020. Retrieved from [https://www.gov.kg/en].
- Smith R., et al. Advances in Seismic Instrumentation: A Review // Reviews of Geophysics. 2018. 56 (2). 142–168. DOI: 10.1002/2017RG000573.
- 12. Jones D., et al. High-Frequency Seismic Data Acquisition: Technologies and Applications // Seismological Research Letters. 2016. 87 (3). 723–732. DOI: 10.1785/0220160014.
- 13. Brown A., Johnson C. Advances in Seismic Data Acquisition Technologies // Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 2019, 124(7), 6789–6805. DOI: 10.1029/2019JB017090.
- 14. IQAir. (n.d.). AirVisual Pro Monitor. Retrieved from [https://www.iqair.com/us/air-quality-monitors/airvisual-pro].
- Parolai S., Orunbaev S., Bindi D., Strollo A., Usupaev S., Picozzi M., Giacomo D.D., Augliera P., D'Alema E., Milkereit C., Moldobekov B., Zschau J. Site effects assessment in Bishkek (Kyrgyzstan) using earthquake and noise recording data // Bulletin of Seismological Society of America. 2010. 100. 3068-3082. DOI: 10.1785/0120100044.

НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ТРУБОПРОВОДОВ

Аскарбеков С.Н.

sultanaskarbekov@mail.ru

Кыргызско-Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызстан

В статье рассматриваются результаты натурных испытаний участков трубопроводов, водоразборных колодцев системы водоснабжения на сейсмостойкость.

Ключевые слова: землетрясения, сейсмическая опасность, водоснабжение, трубопроводы, вибродинамические испытания.

Введение. Проведение натурных испытаний трубопроводов систем водоснабжения, позволяют определить характер взаимодействия трубопроводов и колодцев с грунтом. В [1] приведены результаты проведенного эксперимента по определению природы взаимодействия трубопроводов с грунтом, податливости соединительных стыков, при этом динамические нагрузки имитировались сериями взрывов на полигоне Академии наук Таджикской ССР.

В целях определения взаимодействия трубопровода с грунтом, их взаимное перемещение при действии динамических нагрузок были проведены экспериментальные вибродинамические исследования прямолинейных участков трубопроводов системы водоснабжения села Бейшеке, расположенного в Чуйской области. Распределительная сеть, согласно проектной документации, состоит из полиэтиленовых труб ПЭ100 SDR26 диаметром 90 мм – 2300 м.п., диаметром 75 мм – 1300 м.п., диаметром 63 мм – 3600 м.п. Для подключения потребителей предусмотрены колодцы из сборных железобетонных колец заводского изготовления диаметром 1,5 м.

Исследования проводились совместно со специалистами Международной Ассоциации экспертов по сейсмостойкому строительству (МАЭСС) с применением мобильной сейсмостанции РС-16 (Рис. 1), двухканальных акселерометров (датчики) – со встроенными усилителями и независимыми источниками питания. Сигнал от датчиков в виде напряжения пропорционального ускорению колебаний, поступал по специальным виброзащищенным и помехоустойчивым кабелям через блок многоканальной регистрирующей аппаратуры в память персонального компьютера типа [2]. Динамические нагрузки создавались движением фронтального погрузчика XCMG WF 500A массой 16,5 т (Рис. 2).



Рисунок 1 – Общий вид регистратора сигналов «РС-16» [3]



Рисунок 2 – Схема расположения исследуемых объектов. 1 – дорога; 2 – погрузчик; 3 – ПЭ труба в траншее; 4 – колодец; 5 – металлический водоразборный узел; 6 – ПЭ труба в колодце; а) – датчик установленный на бетонном упоре на уровне поверхности грунта; b) – датчик установленный на трубе в траншее; с) – датчик установленный на днище колодца.

Описание и результаты вычислительного эксперимента. При проведении эксперимента были поставлены задачи по определению перемещения грунта и трубопровода, исследование перемещения трубопровода относительно грунта в продольном и поперечном направлениях, сравнительный анализ перемещения грунта, отличающиеся по свойствам.

Экспериментальные исследования выполнены на прямолинейных участках трубопроводов, уложенные в грунтах отличающиеся по свойствам, а также в водопроводных колодцах. Полиэтиленовые трубы ПЭ100 SDR-26 диаметром 90 мм с толщиной стенки 3,5 мм были уложены на глубине 2,0 м. Трубопроводы при проведении испытаний были заполнены водой. Водопроводные колодцы выполнены из сборных железобетонных элементов по серии 3.900.1-14 выпуск 1, диаметр колодцев 1,5 м, полная глубина колодца по профилю составило 2,46 м.

Участок испытания №1 располагался около центральной улицы у подножия холма. Согласно данным инженерно-геологического отчета грунт около места испытания сложен из: от 0,0 до 0,1 м – растительный слой, от 0,1 – 0,5 м – насыпной щебенистый грунт с пылеватоглинистым заполнителем до 30-40%, маловлажный, размер щебня до 120 мм, от 0,5 до 3,0 м – щебенистый грунт с пылевато-глинистым заполнителем до 30-40%, маловлажный, размер щебня до 150-180 мм, с глубины 2,1 м с включением глыб размером до 300-400 мм до 15%. Обломочный материал невыветрелый, представлен изверженными породами. Труба расположена в щебенистом грунте.

Участок испытания №2 располагался около проселочной улицы. Согласно данным инженерно-геологического отчета грунт около места испытания сложен из: от 0,0 до 0,1 м – растительный слой, от 0,1 – 2,1 м – суглинок светло-коричневого цвета, твердый, лессовидный, макропористый, просадочный, с включением дресвы и щебня до 30-35%, до глубины 1,0 м с корнями кустарниковой растительности, от 2,1 до 3,0 м – щебенистый грунт с пылевато-глинистым заполнителем до 30-40%, маловлажный, размер щебня до 150 мм. Обломочный материал невыветрелый, представлен изверженными породами. Труба расположена в суглинистом грунте.

Для измерения перемещения и ускорения грунта датчики были установлены на бетонных упорах сторонами a=300, b=300 мм, глубиной h=400 мм на поверхности грунта естественного сложения на расстоянии более 1 метра от кромки траншеи. Для измерения перемещения и ускорения трубопроводов датчики устанавливались на поверхности трубы в траншее на глубине 2,0 м и на днище водопроводного колодца на глубине 2,3 м. Для измерения перемещения и ускорения водопроводного колодца датчики были установлены на поверхности

плиты днища колодца. Датчики жестко фиксировались на поверхности бетона, при помощи нагелей с предварительным рассверливанием отверстий соответствующего диаметра. На трубопровод датчики фиксировались при помощи нейлоновых хомутов-стяжек. Съем данных с датчиков осуществлялся в период времени работы фронтального погрузчика в непосредственной близи.

Определялись периоды колебаний трубопровода в траншее, трубопровода в колодце, железобетонного колодца и грунта в поперечном и в продольном направлениях. В каждой точке измерения проводились по горизонтали в продольном направлении (ось X) и в поперечном направлении (ось У).

Записи ускорений и перемещений трубопровода в траншее, трубопровода в колодце, грунта и колодца в разных типах грунта в продольном направлении (ось X) приведены на Рисунках 3-12. Для облегчения анализа полученных данных в ходе эксперимента, записи были обработаны при помощи программы Excel.



Рисунок 3 – Записи горизонтальных ускорений и перемещений грунта (щебень)



Рисунок 4 – Записи горизонтальных ускорений и перемещений трубы в траншее (щебень)



Рисунок 5 – Записи горизонтальных ускорений и перемещений трубы в колодце (щебень)



Рисунок 6 – Записи горизонтальных ускорений и перемещений колодца (щебень)



Рисунок 7 – Фрагмент записи горизонтальных ускорений и перемещений (щебень)



Рисунок 8 – Записи горизонтальных ускорений и перемещений грунта (суглинок)



Рисунок 9 – Записи горизонтальных ускорений и перемещений трубы в траншее (суглинок)



Рисунок 10 – Записи горизонтальных ускорений и перемещений трубы в колодце (суглинок)



Рисунок 11 – Записи горизонтальных ускорений и перемещений колодца (суглинок)


Рисунок 12 – Фрагмент записи горизонтальных ускорений и перемещений (суглинок)

Согласно поставленной задачей при проведении эксперимента были обработаны полученные результаты по перемещению грунтов, трубопроводов и колодцев по участкам испытаний.

Анализ записей перемещений по участку №1 (Рисунок 13) показывает, что перемещение щебенистого грунта относительно других объектов небольшое до 0,0006 мм, при этом перемещение трубы в траншее, а также трубы в колодце в целом повторяют перемещение грунта с пиковыми значениями до 0,001 мм. Максимальные пиковые перемещения 0,0015 мм зафиксированы на датчике, установленном на днище колодца.



Рисунок 13 – Фрагмент записи перемещений исследуемых объектов на участке №1 (щебень)

По участку №2 (Рисунок 14) зафиксированы пиковые перемещения до 0,0015 мм суглинистого грунта. Также максимальные перемещения зафиксированы на датчиках, установленных на трубах в траншее и в колодце до 0,0012 и 0,001 мм соответственно. Минимальные перемещения зафиксированы на датчике, установленном на днище колодца до 0,009 мм.



Рисунок 14 – Фрагмент записи перемещений исследуемых объектов на участке №2 (суглинок)

Заключение. Сравнивая полученные результаты по участкам №1 и №2, можно сделать следующие выводы.

1. При анализе полученных данных (Рисунок 15), наблюдается что степень перемещения щебенистого грунта в 2 раза выше, чем суглинистый.

2. Пиковые перемещения трубы в суглинистом грунте выше, чем трубы, уложенной в щебенистом грунте. Данный факт объясняется большим коэффициентом защемления трубы в суглинистом грунте, согласно таблице 4 [4] коэффициент защемления трубы в супесчанных и суглинистых грунтах составляет 0,6. Труба, уложенная в щебенистом грунте, принимает перемещения грунта с некоторым проскальзыванием, при этом щебенистый грунт выполняет роль демпфирующей подушки.

3. При анализе полученных данных (Рисунок 16), зафиксировано что, перемещение колодца в щебенистом грунте в 1,5 раза выше, чем в суглинистом грунте.

4. Полиэтиленовые трубы, расположенные в колодцах, имеют относительно одинаковые степени перемещения, кроме отдельных пиковых перемещений труб в колодце смонтированной в суглинистом грунте.



Рисунок 15 – Записи перемещений грунтов и труб в траншеях на участках №1 и №2



Рисунок 16 – Записи перемещений колодцев и труб в колодцах на участках №1 и №2

Литература

- 1. Рашидов Т.Р., Хожметов Г.Х. Сейсмостойкость подземных трубопроводов. Ташкент: Фан. 1985. 152 с.
- 2. Бегалиев У.Т., Абдыкалыков Д.Б., Абдыганы уулу Э., Кенешбек уулу Т. Натурные динамические испытания 3-этажного здания со стенами комплексной конструкции // Наука и инновационные технологии. 2022. № 1 (22). С. 3-15.
- 3. Абдыкалыков Д. Экспериментальные вибродинамические исследования зданий и сооружений в условиях Кыргызстана // Наука и инновационные технологии. 2019. № 3 (12). С. 3-12.
- 4. СП 42-103-2003 «Проектирование и строительство газопроводов из полиэтиленовых труб и реконструкция изношенных газопроводов».
- 5. СН КР 20-02:2018 «Сейсмостойкое строительство. Нормы проектирования».

ИСФАРА-БАТКЕНСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 31 ЯНВАРЯ 1977 ГОДА

Исмаилова Ж.Ж., Тилек кызы Г., Гребенникова В.В. *jaru_93@mail.ru* Институт сейсмологии НАН КР, г. Бишкек, Кыргызстан

В работе, на основе анализа посвященных Исфара-Баткенскому землетрясению публикаций, дан новый взгляд на это событие с точки зрения современной сейсмичности. Рассмотрена миграция сейсмичности до и после главного толчка. Детально описана афтериюковая деятельность, отмечено, что большая часть повторных толчков приурочена к Южно-Ферганскому глубинному разлому. При этом в поле зрения авторов находилось не только само Исфара-Баткенское землетрясение, но и сейсмическая активность всей Южно-Ферганской зоны.

Ключевые слова: землетрясение, разломы, форшок, афтершок, изосейсты

В 1977 году в пределах координат φ =39°–41°N, λ =69–72°6Е в Южно Тянь-Шаньской зоне энергично активизировалась Южно-Ферганская система разломов. Здесь в течение 1977 года произошло два сильных землетрясения: Исфара-Баткенское – 31 января M_{PV}=6.3, Хайдарканское – 3 июня M_{PV}=5.8 и Ура-Тюбинское – 20 декабря M_{PV}=5.0 (табл. 1, рис. 1).

Таблица 1 – Распределение землетрясений по энергетическим классам и количество выделенной суммарной сейсмической энергии по крупным сейсмогенным зонам Кыргызского Тянь-Шань в 1977 году [1]

Название зоны	Энергетический класс (Кр)						NΣ	ΣЕ, Дж	
	9	10	11	12	13	14	15		
Северный Тянь-Шань	31	14	1					46	$2,71 \cdot 10^{11}$
Центральный Тянь-Шань	73	25	9	1	1	2		111	$2,12 \cdot 10^{14}$
Южный Тянь-Шань	141	49	16	4	2	2	1	215	$1,22 \cdot 10^{15}$



Рисунок 1 – Карта-схема территориального расположения эпицентров землетрясений Исфара-Баткенского 31.01.1977г., Хайдарканского 3.06.1977г. и Ура-Тюбинского 20.12.1977г.

Эпицентры этих землетрясений территориально приурочены к различным плейстосейстовым областям (Исфара-Баткенской, Хайдарканской и Ура-Тюбинской) сильных исторических и современных землетрясений, произошедших в Южном Тянь-Шане. Основные параметры землетрясений их форшоков и максимальных афтершоков представлены в табл. 2 [2].

N⁰	Дата	Время	Координаты		н	м	Kn	Название землетрясения,
	г.м.д	Гринвич	$\phi^0 N$	$\lambda^0 E$	км	111	цр	форшоки, афтершоки
1.	1977.01.31	14 26 14	40,08	70,87	20±5	6,3	15,5	Исфара-Баткен, Кырг., I ₀ -8
2.	1977.05.11	12 45 00	40,00	71,50		2,8	9,0	фор.
	1977.06.03	01 05 23	40,00	71,82	15	5,8	14,2	Хайдаркан, Кырг. I ₀ =6-7
	1977.12.26	05 15 18	39,95	71,72	10	4,4	12,3	$M_{a\phi au}$
3.	1977.09.03	02 17 22	39,67	69,13	20	4,4	12,0	фор.
	1977.11.14	10 34 55	39,87	69,72	10	2,8	9,0	фор.
	1977.11.30	09 16 09	39,70	69,50		2,8	9,0	фор.
	1977.12.20	07 25 44	39,68	69,18		2,8	9,0	фор.
	1977.12.20	07 27 38	39,82	69,32	10	5,0	13,0	Ура-Тюби, Тадж., І ₀ = 6-7
	1978.04.29	22 45 01	39,62	69,00	5	3,7	10,6	Мафт

Таблица 2 – Основные параметры сильных землетрясений, произошедших в 1977 г.

Исфара-Баткенское землетрясение с интенсивностью в эпицентральной зоне около 8 баллов, ощущалась на территории Кыргызстана, Таджикистана, на значительной площади Узбекистана и в юго-западных районах Казахстана. Эпицентр землетрясения приурочен к узлу, расположенному на стыке Северо-Катрантооского разлома, простирающегося с севера на юг, и Баткенского разрыва, имеющего северо-западное направление в пределах Южно-Ферганской сейсмогенной зоны. Эпицентральную зону слагают метаморфическая и карбонатная формации скальных пород, теригенно-карбонатная формация полускальных грунтов, а также формации межгорных впадин [3-4].

Очаговая область землетрясения, охватила трансграничную территорию и была обследована разными авторами [3-5], которые составили и опубликовали карты изосейст, отличающиеся между собой по конфигурации. На рис. 2 представлена карта изосейст, составленная Касымовым С.М, Джураевым А.И., Мадатовым П. и др. в [5].



Рисунок 2 – Карта изосейст Исфара-Баткенского землетрясения 31 января 1977 г. (с дополнениями и изменениями): 1 – интенсивность сотрясений в баллах, 2 – изосейсты, 3 – государственные границы [5]

Максимальная зона сотрясения (между реками Сох и Исфара), равная 7-8 баллам, выделяется в виде узкой прерывистой полосы шириной 1-2 км и общей протяженностью 22 км. Здесь сильно пострадали населенные пункты: Офтобруй, Кызыл-Пилал, Дагана, Базарбаши, Кызыл-Бель и Каракабак.

Плейстосейстовая область данного землетрясения, оконтуриваемая изосейстой 7 баллов, имеет форму эллипса, большая ось которого ориентирована с северо-запада на юговосток и имеет длину 35 км, при ширине 15 км. Землетрясение здесь проявилось в виде резкого кратковременного вертикального толчка, со слабо выраженными горизонтальными колебаниями. Основному толчку предшествовал подземный гул. Многие заметили свечение над горизонтом.

Основными орографическими элементами плейстосейстовой области данного землетрясения являются Баткенская и Исфара-Ляканская впадины (рис. 3) [6].



Рисунок 3 – Схематическая геологическая карта плейстосейстовой области Исфара-Баткенского землетрясения 1977 г. [6]: 1 – верхнечетвертичные аллювиальнопролювиальные отложения; 2 – неоген-древнечетвертичные конгломераты; 3 – палеогеновые песчаники, глины, известняки; 4 – меловые конгломераты, песчаники, доломиты; 5 – верхнекарбоновые конгломераты, известняки; 6 – силурийские известняки, сланцы, песчаники; 7 – тектонические разломы; 8 – эпицентр землетрясения

Баткенская впадина представляет собой полузамкнутую внутригорную долину, вытянутую с юго-востока на северо-запад. Южное обрамление впадины сложено высокими горами (Байтек, Тешикташ, Караташ, Акташ), которые к югу постепенно повышаются, переходя в главный водораздел Туркестанского хребта. Центральная часть впадины осложнена Бужумским грабеном. Впадина выполнена преимущественно аллювиальнопролювиальными отложениями рек Карабулак и Каракол. Глубина залегания палеозойского фундамента 220-300 м на юге и до 50 м севернее Тегерменбаши. Коренное ложе впадины сложено известняками, песчаниками и сланцами Силура. На севере через горловину между горами Караташ и Каратау впадина выходит к урочищам Паран, Сары-Адыр и далее к Исфара-Ляканской впадине.

Исфара-Ляканская впадина представляет собой обширную долину, вытянутую с югозапада на северо-восток на протяжении 40 км при ширине 10-12 км. Юго-восточная часть впадины (урочище Паран и прилегающие к нему районы) сложена пролювиальными отложениями слившихся конусов выноса временных водотоков, стекающих с южного обрамления. Поверхность равнины наклонена на север-северо-запад к центру впадины. Над равниной, особенно в ее юго-восточной части (примыкающей к горам части), возвышаются отдельные палеозойские останцы выветривания высотой до 40 м.

По данным узбекских сейсмологов [5], в макросейсмическом поле на территории плейстосейстовой области землетрясения, особенно в северной части Исфара-Ляканской впадины и горах Гузан, проявилось влияния грунтовых условий и иженерно-геологических факторов на распространение сейсмических волн и на форму изосейст. В пос. Больница, расположенном на лёссовидных суглинках мощностью свыше 10-15 м при уровне грунтовых вод 0-5 м, землетрясение проявилось на один балл выше, чем в пос. Лякан (6-7 баллов), расположенном на валунно-галечниковых отложениях с щебнем и суглинистым заполнителем при уровне грунтовых вод 3-5 м и ниже. В кишлаке Офтобруй, расположенном на лёссовидных серых суглинках с включением гравия при уровне грунтовых вод менее 1 м, интенсивность землетрясения достигала 7-8 баллов. На участке фермы колхоза им. Куйбышева, находящейся в 4 км северо-восточнее от кишлака Офтобруй, интенсивность была 6-7 баллов. Увеличения интенсивности сотрясений, связанной с уровнем грунтовых вод, произошло и в других посёлках: Кызылпилол, Дагана, Базар-Баши, Кызыл-Бель и т.д. [5].

Исфара-Баткенское землетрясение сопровождалось серией повторных толчков, начавшихся через 30 минут после главного толчка. В течение 31 января произошло 11 афтершоков с Кр=8-11, глубиной (Н) 10-15 км. В эпицентральной зоне землетрясения, в течение двух месяцев было зарегистрировано более 150 афтершоков с Кр=6-11. Остальные довольно многочисленные афтершоки имели энергетические классы Кр≤11.0 (М≤3.9). Самый сильный афтершок с силой в эпицентре 5 баллов (Кр=12.8, М=4.9, H=15 км) произошел 21 апреля в 10⁴03^м51^c вблизи очага главного толчка (рис. 3).



Рисунок 3 – Карта эпицентров землетрясений с 01.11.1976 г. по 30.06.1978 г. [2]: 1 – эпицентры землетрясений с Мру≥5; 2 – форшоки; 3 – афтершоки; 4 – эпицентры землетрясений с К_R≥6 произошедшие за три месяца (01.11.1976 г. по 30.01.1977 г.) до Исфара-Баткенского землетрясения; 5 – землетрясения с Кр≥6 произошедшие с 01.02.1977 г. по 30.06.1978 г.; 6 – активные разломы [7]: 9 – Чангырчакский, 10 – Южно-Ферганский, 11 – Мадынский, 13 – Катарский, 14 – Южно-Наукатский, 15 – Сулюктинский, 16 – Катрантооский, 17 – Андаракский, 18 – Северо-Хайдарканский, 19 – Туркестано-Алайский, 25 – Северо-Заалайский, 26 – Дарваз-Каракульский; Границы: 7 – государственные, 8 – Баткенской области, 9 – административных районов Баткенской области

Из анализа расположения эпицентров афтершоков следует, что подавляющее количество их приурочено к зоне Южно-Ферганского глубинного разлома, в том числе и к западному флангу одной из его составляющих – Северо-Катрантооскому разлому. Небольшое количество удаленных афтершоков, были связанны с субширотными и секущими разрывами. Очаги афтершоков погружались под крутым углом (75-80°) в южном и юговосточном направлении до глубин 15-20 км и вытягиванию зоны афтершоков почти в широтном направлении.

По геофизическим данным в пределах Южно-Ферганского зоны, были выделены три сейсмоактивных участка (блока): Хайдарканский (I), Иски-Наукатский (II), Исфара-Баткенский (III) территориально совпадающие с административными районами Баткенской области [8]. В работе [9] выделены четыре сейсмоактивных участка – (блока): Исфара-Баткенский (I), Хайдарканский (II), Иски-Наукатский (III) и Ферганский (IV). На рис. 4 представлена карта-схема расположения выделенных сейсмоактивных участков авторами в [8, 9].



Рисунок 4 – Карта-схема расположения сейсмоактивных участков – Хайдарканского (I), Иски-Наукатского (II), Исфара-Баткенского (III) и Ферганского (IV) [8-9]

В работе [8] авторы отмечают особенности каждого участка. На картах эпицентров слабых землетрясений очаги в диапазоне глубин H=0-5 до 25-30 км были расположены равномерно почти на всех участках. С увеличением глубины очагов наблюдается все большая приуроченность их к определенным зонам. В пределах Исфара-Баткенского (III) участка, практически отсутствуют слабые землетрясения с большой глубиной, что указывает на прочную и слабо раздробленную среду сейсмоактивного слоя, который "возможно" сложен породами преимущественно гранитоидного состава.

На территории Хайдарканского (I) участка слабых землетрясений за период многолетних наблюдений было в три раза больше, чем на Иски-Наукатском (II). Они также

различаются по типу движений в очагах сильных землетрясений: Хайдарканский (I) участок испытывает взбросовые деформации, а Иски-Наукатского (II) – сбросовые. Следовательно, Исфара-Баткенское землетрясение 1977 г. произошло на стыке участков, испытывающих противоположные движения, но преимущественную роль в подготовке Исфара-Баткенского землетрясения 1977 г. играл восточный Хайдарканский (I) участок.

Сравнение пространственного распределения эпицентров землетрясений с Кр≥3 в пределах выше указанных координат за 2023 год с картами за 2021-2022 годы, показывает, что значительное число сильных землетрясений приурочено к участкам, не соответствующим максимальной активности. Они происходят или в зонах скопления слабых землетрясений, или в краевых частях этих скоплений. Такое расположение характерно для очагов Исфара-Баткенского и Хайдарканского землетрясений 1977 года.

На рис. 5 представлена карта эпицентров землетрясений, произошедших с 1.01.2023 г. по 10.10.2023 г. с Кр \ge 3 в пределах координат ϕ =39⁰-41⁰N, λ =69⁰-72,60⁰E.



Рисунок 5 – Карта эпицентров землетрясений произошедших с 1.01.2023 г. по 10.10.2023 г. с Кр \geq 3, в пределах координат φ =39°–41°N, λ =69°–72,60°E (размер кружка соответствует размеру энергетического класса) [2]. Эпицентры землетрясений: 1 – Исфара-Баткенское 1977 г. М=6.3; 2 – сейсмособытие 22.03.2023 г. М=6.7; 3 – форшоки; 4 – афтершоки после главного толчка; 5-эпицентры землетрясений (белые кружочки) с Кр \geq 3 до главного толчка и (темно-желтые кружочки) с Кр \geq 3 после события; 6-цифровые сейсмические станции сети КRNЕТ (ИС НАН КР); 7 – активные разломы [7]: названия разломов смотри на рис. 3; Границы: 8 – государственные, 9 – Баткенской области, 10 – административных районов Баткенской области

Самое сильное событие с 2021 по 2023 гг. с Мрv=6.7 и Кр=14.7 произошло 23 марта 2023 года в 02^ч07^м35.0^с по местному времени (22.03.2023 г. в 20^h07^m35,0^s по Гринвичу) на территории Согдийской области Таджикистана, в краевой зоне скопления слабых событий, в 62 км к югу от г. Раззаков (Баткенская область, Лейлекский район). Очаг землетрясения расположен в плейстосейстовой области Гарданского землетрясения 1923 года с Кр=15.3 с

силой в эпицентре 8 баллов. Землетрясению предшествовали два форшока, которые произошли за 4 дня до основного толчка 18 марта 2023 года в $17^{4}29^{M}24,4^{c}$ по местному времени с Кр=10.8 и в $17^{4}35^{M}17,4^{c}$ с Кр=10.2. Через 5 минут после основного толчка произошёл максимальный афтершок с Кр=11.4 с интенсивностью сотрясений 5 баллов. За ним последовали повторные толчки с энергетическими классами Кр=9,0-11,3. Землетрясение ощущалось в эпицентре с расчетной интенсивностью I₀=7.5 баллов, а на территории районов Баткенской области Кыргызстана землетрясение проявилось с интенсивностью от 6.5 до 5 баллов в Лейлекском, от 5 до 4.5 баллов в Баткенском и от 4. 5 до 4 баллов в Кадамжайском.

Выводы. Проведенный анализ изменения сейсмичности в период подготовки Исфара-Баткенского землетрясения 1977 г. М=6.3 и сильных землетрясений, произошедших с 2021 по 2023 гг. на территории Южно-Ферганской зоны и приграничных к ней районах, показывает, что все они происходили в зонах скопления слабых событий или в краевых частях этих скоплений. Дальнейшие наблюдения за особенностями распределения на исследуемой территории эпицентров сильных и слабых с Кр≥3 землетрясений могут стать одним из прогностических признаков подготовки сильного события.

Литература

- 1. Уломов В.И., Каток А.П., Фленова М.Г., Киняпина Т.А., Джанузаков К.Д., Оспанов А.Б., Дасымов А.Д., Астафьева Е.Г., Сияница Н.М., Шукурова И. Землетрясения Средней Азии и Казахстана // Землетрясения в СССР в 1977 г. / Под ред. Кондорской Н.В., Шебалина Н.В., Горбунова И.В. М.: Наука. 1981. С. 25-47, 142-143.
- 2. Каталог землетрясений Кыргызстана и прилегающих территорий с исторических времен по ноябрь 2023 года. Фонды Института сейсмологии Национальной академии наук Кыргызской Республики.
- 3. Калмурзаев К.Е., Кнауф В.И., Юдахин Ф.Н., Джанузаков К.Д., Трофимов А.К. Предварительные результаты изучения Исфара-Баткенского землетрясения 31 января 1977 года // Известия АН Кирг. ССР. 1977. № 5. С. 11-19.
- 4. Джанузаков К.Д., Омуралиев М., Омуралиева А., Ильясов Б.И., Гребенникова В.В. Сильные землетрясения Тянь-Шаня (в пределах территории Кыргызстана и прилегающих районов стран Центральной Азии). Бишкек: Илим. 2003. С. 149-156.
- 5. Касымов С.М., Джураев А.И., Мадатов П., Абдурахманов С.А. Карта изосейст Исфара-Баткенского землетрясения 31 января 1977 г. Ташкент: ФАН. 1977. С. 143-146.
- Калмурзаев К.Е., Хусаинов У.Х., Кабо А.Э. Концентрация радона и некотрые другие параметры подземных вод как возможные предвестники афтершоков Исфара-Баткенского землетрясения 1977 г. // Сейсмотектоника и сейсмичность Тянь-Шаня / Под ред. Калмурзаева К.Е. Фрунзе: Илим. 1980. С. 93-100.
- 7. Абдрахматов К.Е., Бегалиев У.Т., Омуралиев М., Омуралиева А. Сейсмическая опасность населенных пунктов и стратегических сооружений Кыргызской Республики. Бишкек: ОСОО Триада Принт. 2019. 98 с.
- Юдахин Ф.Н., Морева Л.М. Изменения сейсмического режима перед Исфара-Баткенским (31.1.1977 г.) и Жаланаш-Тюпским (25.Ш.1978 г.) землетрясениями // Прогноз землетрясений, № 9 / Под ред. Садовского М.А. и др. Душанбе: Дониш. 1988. С. 68-73.
- 9. Детальное сейсмическое районирование в горных областях / Под ред. Калмурзаева К.Е. Фрунзе: Илим. 1984. С. 108-110.

ИЗУЧЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПРЕССОРА И ЕГО ВЛИЯНИЯ НА СОСЕДНИЕ ЗДАНИЯ

Коковкин И.В., Селезнев В.С. *titanoks1@ya.ru, sel@gs.nsc.ru* Сейсмологический филиал Единой геофизической службы РАН, г. Новосибирск, Россия

В работе представлены результаты наблюдения за промышленным компрессором высокого давления и его влиянием на пятиэтажный корпус Института цитологии и генетики СО РАН, расположенных в Новосибирском Академгородке. Мониторинг осуществлялся в летние месяцы с помощью трехканальных сейсмических регистраторов и трехкомпонентных датчиков, путем их установки на объектах наблюдения. В результате наблюдения было установлено, что компрессор работает в штатном режиме, существенных изменений по частоте и амплитуде выявлено не было. Были определены частоты собственных колебаний корпуса института, установлено, что в зависимости от внешних факторов они могут изменяться, а также выявлено наложение частоты работы компрессора на собственную частоту корпуса, что может оказывать негативный эффект, вызывая резонанс.

Ключевые слова: сейсмологический мониторинг, мониторинг зданий, промышленный компрессор, частота собственных колебаний, техногенные воздействия, резонанс.

Введение. Современное промышленное оборудование зачастую является ключевым элементом для множества производств и предприятий, расположенных в крупных городах. Но о их влиянии на техническое состояние соседних зданий, расположенных поблизости, особенно многоэтажных, мало кто задумывается. Такое оборудование осуществляет вибрации, т.е. регулярные механические колебания с постоянной частотой, которые могут совпасть с частотами собственных колебаний зданий, тем самым вызвать резонансное явление. В рамках изучения влияния промышленных объектов на структурную целостность задний нами уже было показано, что крупный промышленный компрессор, расположенный в Новосибирском Академгородке, который осуществляет накачку сжатого воздуха в металлические баки способен оказать негативное воздействие на десятиэтажный жилой дом, расположенный в 1.3 км от него [1]. Подобное влияние на шестиэтажное офисное здание было изучено и при работе крана в цеху [2]. В текущем исследовании мы проведем работы по наблюдению за состоянием и режимом работы данного компрессора высокого давления, принадлежащего Институту теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН (ИТПМ СО РАН) и его влиянием на один из институтов, а именно пятиэтажный корпус здания Института цитологии и генетики СО РАН (ИЦиГ СО РАН).

Исследование ИЦиГ СО РАН. В летний период 2023 года были выполнены работы по инженерно-сейсмологическому мониторингу технического состояния корпуса Института цитологии и генетики СО РАН, расположенного по адресу пр-т Академика Лаврентьева 10. Данный метод исследования заключается в определении значений частот собственных колебаний по записям непрерывно регистрирующей сейсмостанции [3]. Целью мониторинга был контроль амплитудно-частотных характеристик изучаемой конструкции и определение степени влияния на нее работающего оборудования, а именно, компрессора высокого давления, ввиду периодически возникающих колебаний здания, для своевременного предупреждения об аварийной ситуации. В связи с чем была проведена установка сейсмической антенны, включающей в себя два комплекта сейсморегистрирующего оборудования, состоящего из многоканального автономного регистратора «Байкал-7», совместно с трехкомпонентным велосиметром GD-4.5. Один комплект устанавливался под крышей изучаемого корпуса института, высотой в пять этажей, там, где происходят

наибольшие возмущения, другой комплект устанавливался на первом этаже здания на ул. Институтская, непосредственно там, где расположен компрессор (рис. 1).



Рисунок 1 – Схема расположения регистрирующего оборудования

При изучении спектральной картины микросейсмического шума с мониторингового пункта, установленного под крышей корпуса ИЦиГ СО РАН, были определены локальные максимумы, предположительно являющиеся частотами собственных колебаний здания.

Обработка полученных шумовых записей проводилась при помощи программного обеспечения «SpectrumSeism» [4], разработанного в СЕФ ФИЦ ЕГС РАН, позволяющее рассчитывать и преобразовывать запись сейсмических трасс в спектры и спектрограммы.

В направлении Y (поперек здания), в колебаниях объекта выделяются 3 локальных максимума: 2.27; 2.79 и 3.82 Гц, которые могут отвечать с 1-й по 3-ю форму поперечных колебаний конструкции. Также было определено, что в зависимости от влияния на конструкцию внешних факторов, таких как температура и ветровые нагрузки, эти частоты могут изменяться в некоторых границах, подобные изменения подробно изучались в работе [5] в десятиэтажном панельном доме. Первая мода варьируется от 2.14 до 2.38 Гц, вторая от 2.6 до 2.95 Гц, третья от 3.64 до 4.13 Гц, тем самым подтверждая предположение о собственных частотах, а не каких-либо монохроматических сигналах.

В направлении X (вдоль здания), в колебаниях объекта также выделяются 3 локальных максимума: 2.1; 3.82; 8 Гц, но частота 3.82 Гц относится к поперечным колебаниям, поэтому здесь ее рассматривать не будем. Данные частоты изменяются в следующих границах: первая от 1.94 до 2.21 Гц, вторая изменяется сильней всего от 7.51 до 9.37 Гц.

Установлено, что на одну из собственных частот (а именно, 1-ю моду) продольных колебаний (Х-компонента) накладывается сигнал от компрессора, принадлежащего ИТПМ СО РАН, который осуществляет накачку ёмкостей сжатым воздухом. Он излучает монохроматический сигнал, частотой 2.08 Гц, что хорошо видно на спектрограммах, в частности за 12.06.2023 г. (рис. 2) и 15.06.2023 г. (рис. 3).



Рисунок 2 – Спектрограммы сейсмических записей за 12.06.23 г., от 0 до 6 Гц: а) крыша корпуса ИЦИГ СО РАН, Х-компонента; б) крыша корпуса ИЦИГ СО РАН, Ү-компонента; в) здание с компрессором, Х-компонента



Рисунок 3 – Спектрограммы сейсмических записей за 15.06.23 г., от 0 до 6 Гц: а) крыша корпуса ИЦИГ СО РАН, Х-компонента; б) крыша корпуса ИЦИГ СО РАН, Ү-компонента; в) здание с компрессором, Х-компонента

На рисунках 2а,б и 3а,б видны длинные вертикальные полосы, прослеживающиеся на всем протяжении спектрограмм, это частоты собственных колебаний здания. Помимо этого, видно, что на записи присутствует часовой сигнал с очень высокой амплитудой, совпадающий со временем работы компрессора, представленный на рисунках 2в и 3в.

Напомним, что частоты собственных колебаний здания могут изменяться, а именно варьироваться в некоторых границах, описанных выше, тем самым ситуация наложения частот происходит не всегда (рис. 4, 5).



Рисунок 4 – Графики изменения амплитуд частот собственных колебаний здания в пределах от 1 до 3 Гц, при включении компрессора (черный) и перед включением (серый): a) 12.06.23 г., Х-компонента; б) 15.06.23 г., Х-компонента



Рисунок 5 – Спектрограммы сигналов для корпуса ИЦИГ СО РАН: a) 12.06.23 г., X-компонента; б) 15.06.23 г., X-компонента

Видно, что при наложении частот за 12.06.2023 г., происходит увеличение амплитуды сигнала, примерно в 1.3 раза, в отличии от ситуации, когда наложение не произошло, тем самым можно сказать, что происходит явление резонанса. Т.е. при совпадении частоты колебаний, передающихся от работающего механизма фундаменту здания, с собственной частотой колебаний отдельных частей здания, особенно верхних этажей и перекрытий, в результате его длительной работы, могут возникнуть высокие амплитуды колебаний. В ряде случаев это может привести к постепенному разрушению здания, оно оседает и даёт трещины. Данное резонансное явление может быть причиной разрушения зданий, мостов и прочих сооружений, если частоты их собственных колебаний совпадут с частотой периодически действующей силы.

Исследование компрессора ИТПМ СО РАН. В 2023 г., на протяжении нескольких месяцев, также проводились работы по сейсмологическому мониторингу работающего компрессора. Целью мониторинга был контроль амплитудно-частотных характеристик конструкции и работающего оборудования для слежения за их техническим состоянием. Для этого в указанный период была проведена установка сейсмической антенны, включающей в себя два комплекта сейсморегистрирующего оборудования, состоящего из 3-канального автономного регистратора сейсмических сигналов «Байкал-7» совместно с трехкомпонентным велосиметром GD-4.5. Один комплект устанавливался на первом этаже здания, в непосредственной близости к исследуемому оборудованию, второй комплект устанавливался на металлическую конструкцию с баками, в которую происходит закачка сжатого воздуха, расположенную менее, чем в 100 м от исследуемого оборудования (рис. 6).



Рисунок 6 – Схема расположения регистрирующего оборудования

Спектральная картина в здании с компрессором, на улице Институтская, представляет из себя набор периодически включающихся монохроматических сигналов и их гармоник, где наиболее амплитудный сигнал частотой 50 Гц излучают средние компрессоры, включающиеся каждый день, примерно на 2-3 часа в различные интервалы дня. Помимо этого, интересующий нас компрессор высокого давления, излучающий частоту 2.08 Гц, включается примерно 2-3 раза в месяц (рис. 7а).

Спектральная картина на металлической конструкции, в которую происходит закачка сжатого воздуха, расположенная менее, чем в 100 м от исследуемого оборудования, имеет некоторые отличия от спектральной картины в здании, описанной выше. Сигнал от исследуемого компрессора высокого давления здесь намного больше по амплитуде, а сигнал от средних компрессоров наоборот, намного меньше. Помимо этого, также наблюдаются некоторые искажения частот, связанные с заполнением баков (рис. 76).



Рисунок 7 – Спектрограмма сигнала за 15.06.23 г., от 0 до 100 Гц: а) в здании с компрессором, б) на баках со сжатым воздухом, в 30 м от здания, Х-компонента

Произведя сравнение амплитуд сигналов изучаемого компрессора для двух описанных выше объектов установлено, что при включении главного компрессора на баках со сжатым воздухом, амплитуда сигнала в 6 раз больше, чем в здании. Определено, что сигнал от излучаемого компрессора находится в одних и тех же пределах, амплитуда стабильная, существенных изменений по частоте и амплитуде выявлено не было.

Заключение. В результате инженерно-сейсмологического мониторинга технического состояния корпуса Института цитологии и генетики СО РАН, расположенного по адресу проспект Академика Лаврентьева 10, были определены частоты собственных колебаний объекта, установлено, что они не являются статичной величиной и могут изменяться в определенных интервалах, в зависимости от внешних факторов. Помимо этого, был выявлен неблагоприятный фактор, который может оказывать влияние на общее состояние конструкции, в виде периодически работающей мощной промышленной установки, а именно компрессора высокого давления, находящегося на расстоянии 0.7 км от объекта исследования и излучающего монохроматический сигнал частотой 2.08 Гц, который в определенные интервалы времени может накладываться на частоту собственных колебаний пятиэтажного корпуса института, вызывая резонансное явление. Также определено, что данный компрессор функционирует в рамках своих средних значений, установленных в результате спектрального анализа данных, полученных в ходе выполнения работ, аномалий в его работе выявлено не было. Включается он около трех раз в месяц, преимущественно в утренние часы, примерно на час. По нашим наблюдениям, столь кратковременные воздействия не оказывают существенного влияния на конструкцию корпуса, к тому же частота не всегда попадает в резонанс. Избежать данное резонансного явления можно путем создания различного рода систем компенсации колебаний, позволяющих повысить жесткость конструкции и вывести ее из резонансного спектра частот.

Следует отметить, что критических моментов, при наблюдении за объектами выявлено не было, таких как резкое скачкообразное изменение в частотах собственных колебаний. В этом случае следует провести более детальные исследования для выявления подвергшихся разрушению деталей здания и их укрепление.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24) и с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира».

Литература

- 1. Коковкин И.В., Селезнев В.С. Оценка влияния промышленной установки на состояние жилого дома // Современные техника и технологии в научных исследованиях: Сб. материалов XV Междунар. конф. молодых ученых и студентов. Бишкек: НС РАН. 2023. С. 314-319.
- Li H., Yang W., Liu P., Wang M. Resonance measurement and vibration reduction analysis of an office building induced by nearby crane workshop vibration // Journal of Building Engineering. 2022. Vol. 58. P. 105018. DOI: 10.1016/j.jobe.2022.105018
- 3. Селезнев В.С., Лисейкин А.В., Брыксин А.А. Способ непрерывного мониторинга физического состояния зданий и/или сооружений и устройство для его осуществления. Изобретения (патенты). 2012. № 26 (ІІ ч.). С. 364-365. Пат. 2461847 RU. МПК G01V1/28, G01M7/02.
- 4. Селезнев В.С., Лисейкин А.В., Севостьянов Д.Б., Брыксин А.А. SpectrumSeism. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2021666241, 11.10.2021. Заявка № 2021665611 от 11.10.2021.
- 5. Коковкин И.В., Громыко П.В. Оценка изменения частот стоячих волн зданий под воздействием температуры по данным сейсмических наблюдений // Современные техника и технологии в научных исследованиях: Сб. материалов XIV Междунар. конф. молодых ученых и студентов. Бишкек: НС РАН. 2022. С. 330-335.

ОСОБЕННОСТИ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ ПО ДАННЫМ СЕЙСМОМЕТРИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ДВОРЦА КУЛЬТУРЫ (Г. НОРИЛЬСК)

Косякина Е.Э., Лисейкин А.В., Селезнев В.С. lilavati21@mail.ru

Сейсмологический филиал Единой геофизической службы РАН, г. Новосибирск, Россия

Крупные инженерные сооружения, подверженные негативному для их целостности влиянию различных естественных и техногенных факторов, представляют собой объекты повышенного риска. В связи с этим регулярное определение этих частот с выделением аномальных изменений даёт возможность контролировать техническое состояние сооружений и своевременно предупредить риск их разрушения. В данной работе представлены результаты анализа ежедневного мониторинга частот низших мод собственных колебаний здания Дворца Культуры ЗФ ПАО ГМК «Норильский никель», зарегистрированные мобильным сейсморегистрирующим комплексом Сейсмологического филиала Геофизической службы РАН. В последние годы в северных регионах оттаивание многолетнемерзлых пород несет потенциальную угрозу устойчивости инженерных сооружений. В связи с этим регулярное определение частот собственных колебаний с возможность изменений даёт возможность контролировать техническое состояние сооружений. В связи с лужбы РАН. В последние годы в северных регионах оттаивание многолетнемерзлых пород несет потенциальную угрозу устойчивости инженерных сооружений. В связи с этим регулярное определение частот собственных колебаний с возможностью выделения аномальных изменений даёт возможность контролировать техническое состояние сооружений и своевременно предупредить риск их разрушения. Однако необходимо учитывать непостоянство частот собственных колебаний, которые изменяются под воздействием внешней среды.

Ключевые слова: непрерывный сейсмометрический мониторинг, контроль технического состояния, инженерные сооружения свайного типа, сезонные изменения частот собственных колебаний, оттаивание/промерзание многолетнемерзлых пород.

Введение. В настоящее время в СЕФ ФИЦ ЕГС РАН развивается способ контроля технического состояния инженерных сооружений, основанный на мониторинге частот их собственных колебаний. Изменение мод и частот собственных колебаний может свидетельствовать о разрушительных процессах как в основании, так и в конструкции сооружения. Однако изменение частот собственных колебаний сооружения может быть вызвано как разрушительными процессами, так и изменением факторов окружающей среды [1]. Предлагаемый способ определения частот собственных колебаний по спектрам микросейсмического шума позволяет обнаружить возникновение в конструкции сооружения аномальных напряжений, возможных дефектов, а также исследовать влияние сезонных изменений на объект исследования.

Крупные инженерные сооружения, подверженные негативному для их целостности влиянию различных естественных и техногенных факторов, представляют собой объекты повышенного риска. Ввиду этого, при эксплуатации инженерных сооружений, а также предупреждении рисков их разрушения актуален вопрос контроля технического состояния инженерных конструкций. Широко распространены способы мониторинга, основанные на анализе изменений во времени различных параметров поля стоячих волн (прежде всего, частот собственных колебаний). Воздействие таких факторов, как перепады температуры, ветровая нагрузка, изменения влажности, изменение граничных условий (контакт с породами), смена напряжённо-деформированного состояния, вибрация, старение материалов конструкций и др., с течением времени приводит к ухудшению технического состояния сооружений, появлению в них трещин, ослабленных зон, изменению граничных условий на контакте с внешней средой и др. Как следствие, снижение устойчивости сооружений и риск их разрушения. Перечисленные изменения в инженерных конструкциях, в свою очередь, становятся причиной изменения частот их собственных колебаний. В связи с этим регулярное определение этих частот с выделением аномальных изменений даёт возможность контролировать техническое состояние сооружений и своевременно предупредить риск их разрушения.

Существуют различные исследования влияния температуры на собственные частоты инженерных сооружений, где на основе данных мониторинга получают зависимость собственных частот исследуемого объекта от изменения температур и/или времени года. Так, для изучения влияния температуры на динамические характеристики в течение многих лет проводились наблюдения за различными мостами в широком диапазоне температур [2-4]. Также проводился мониторинг различных типов зданий [5-7], результаты которого свидетельствуют о сезонных изменениях собственных частот и показывают их различные зависимости от колебаний температуры. Как правило, они близки к линейным, но в ряде случаев имеют нелинейную форму, со скачкообразным изменением в точке перехода температуры окружающей среды через 0°C [8]. Результаты разных исследований могут отличаться друг от друга. Разброс и наклон графиков частотно-температурных зависимостей существенно различаются между разными типами сооружений, а также их географическим положением, которое напрямую влияет на условия окружающей среды.

Объект исследования и методика наблюдений. Дворец Культуры 3Ф ПАО ГМК "Норильский никель" представляет собой возведенное в зоне вечной мерзлоты четырехэтажное здание, установленное на свайный фундамент. Из-за сезонных колебаний температуры происходит пучение грунта при замерзании и проседание при оттаивании, что может привести к потере устойчивости сооружения, разрушительным процессам как в сваях, так и в здании в целом, и спровоцировать аварийную ситуацию. Во время проведения сейсмического исследования были обнаружены трещины внутри здания, что свидетельствует о разрушительных процессах в конструкции сооружения. Исследуемое здание временно закрыто начиная с 2021 г.

Частоты собственных колебаний зданий и сооружений определяются по усредненным спектрам сейсмического шума, зарегистрированного непосредственно на объекте. При этом, на начальном этапе, значения частот определяются методом когерентного восстановления полей стоячих волн (далее – метод стоячих волн) [9-10]. Это позволяет с высокой достоверностью определять моды собственных колебаний сооружения и этим доказывается, что определяемые по спектрам сейсмического шума частоты являются частотами собственных колебаний контролируемого сооружения.

В описываемом эксперименте непрерывная регистрация микросейсмического шума на исследуемом объекте проводится, начиная с 27 августа 2021 г.

Используется мобильный сейсморегистрирующий комплекс [11], содержащий в себе:

- регистратор «БАЙКАЛ-8»;
- трехкомпонентный сейсмоприемник GD-4.5 (2 шт.);
- микро-ПК RaspberryPi;
- защитный кейс;
- poyrep Zyxel Keenetic Extra II;
- антенна GPS.

Сейсмоприемники располагаются на первом и четвертом этажах здания. Местоположение пунктов регистрации выбрано в местах, отличных от узлов стоячих волн в соответствии с методикой [12]. Регистрация ведется непрерывно (за исключением сбоев в системе или выхода аппаратуры из строя) с шагом дискретизации 500 Гц, а передача данных производится в режиме реального времени на сервер СЕФ ФИЦ ЕГС РАН в г. Новосибирск.

Алгоритм определения ежедневных значений частот. Определение значений частот выполнялось по амплитудным спектрам записей микросейсмического шума, непрерывно регистрируемом на объекте.

Суть способа сводится к усреднению большого числа амплитудных спектров шумовых записей, в результате чего на спектрах проявляются последовательности локальных максимумов, соответствующие набору частот стоячих волн.

Обработка полученных записей микросейсмического шума проводится при помощи программного обеспечения "SpectrumSeism" [13], разработанного специалистами СЕФ ФИЦ ЕГС РАН. Оно позволяет рассчитывать и визуализировать в заданных окнах спектр и спектрограмму по сейсмическим записям регистрируемого сигнала.

Алгоритм обработки записей сейсмического шума состоит в следующем. Исходная (суточная) запись разбивается на блоки, для каждого из которых производится преобразование Фурье (совершается переход в частотную область значений), затем вычисляется его модуль, тем самым получается спектрограмма. Далее производя усреднение всех шумовых данных в каждой точке получается амплитудный спектр. При этом длина блока задается равной 100 с для получения высокой разрешенности спектра в 0.01 Гц. После этого по локальным максимумам усредненных спектров определяются значения частот.

После определения регулярных (как правило, суточных) значений частот собственных колебаний сооружения, выполняется анализ их изменений с установлением связи с различными факторами, на них влияющими: изменение температуры, оттаивание или промерзание строительного материала и грунта в основании сооружения и т.п. Учет этих связей дает возможность разделить обратимые и необратимые изменения значений частот. Последние будут свидетельствовать об изменении технического состояния сооружения необратимого характера, например, связанного с нарушением целостности конструкции и снижением устойчивости.

Результаты и обсуждение. По результатам ежедневных наблюдений определены значения частот собственных колебаний конструкции Дворца Культуры и сопоставлены с температурными колебаниями за двухгодичный период мониторинга. Всего было выделено пять собственных частот: три по Х-компоненте и две по Y-компоненте. Исследование изменений частот собственных колебаний здания проведено на примере данных четвертого этажа, поскольку амплитуды собственных колебаний на нем выше, соответственно результаты обработки данных представляются более надежными.

При детальном анализе изменений во времени частот низших мод собственных колебаний здания (рис. 1) выявляется их значительный сезонный разброс (в зимний период частоты выше на 13 и более %, чем в летний период), а также рост частот в осенне-зимний период и их спад в весенне-летнем периоде. Эти периоды соответствуют времени промерзания и оттаивания грунта.

Поскольку последующие моды имеют аналогичный характер изменения, сопоставление изменения частоты и температуры в г. Норильске с течением времени приведено на примере первой видимой моды. Метеостанция, данные которой были использованы для исследований [14], находится приблизительно в 2.15 км от исследуемого объекта.

Анализ сезонных изменений собственных частот здания выявил сложные частотнотемпературные зависимости. Из графиков зависимости частоты собственных колебаний здания от температуры (рис. 2) видно, что в течение года в целом частота изменяется обратно пропорционально температуре.

Промерзание грунта приводит к резкому изменению жесткости конструкции, поскольку вид зависимости частоты от температуры в точке перехода через 0 °С существенно изменяется. На графиках цветными маркерами отмечены значения частот в теплое и холодное время года, исключающие переходные периоды частичного промерзания и оттаивания верхней части грунта, для более наглядного различия. Заметно, что преимущественно при положительной температуре окружающего воздуха частоты растут прямо пропорционально температуре (в пределах 5–7%). Наиболее вероятно, что эти локальные колебания значений частот связаны с охлаждением/прогревом строительного материала здания.



Рисунок 1 – Пример сопоставления частот первых мод собственных колебаний по компоненте X со среднесуточной температурой с 01.09.2021 г. по 01.09.2023 г.



Рисунок 2 – Годовая зависимость частот первых видимых мод собственных колебаний здания от среднесуточной температуры при регистрации с 01.09.2021 г. по 01.09.2022 г.

Помимо изменений частот собственных колебаний здания наблюдаются также амплитудные изменения. Так, например, 13.09.2023 наблюдалось значительное повышение значений амплитуд собственных колебаний здания (рис. 3). В этот день максимальные значения порывов ветра составляли 18-22 м/с, согласно архиву погоды, в г. Норильске [15]. Вероятно, эти локальные колебания значений амплитуд связаны с внешним воздействием окружающей среды. Однако и в ближайшие к 13.09.2023 дни наблюдались сильные порывы ветра, но немного меньших скоростей. Соответственно и амплитуды собственных колебаний здания в эти дни повышались, но не так значительно, как 13.09.2023. В этот день они превысили стабильные значения в 4 раза.



Рисунок 3 – Спектрограммы сигналов по компонентам X и Y с 08.09.2023 по 17.09.2023, в вырезке от 2 до 5.5 Гц.

Заключение. Данное исследование направлено на развитие способов контроля технического состояния инженерных сооружений по изменению частот собственных колебаний. Результаты исследования на примере сейсмического мониторинга здания, расположенного в зоне многолетнемерзлых грунтов, наглядно показывает, что частоты собственных колебаний зданий и сооружений – величины непостоянные.

Детально (ежедневно) определены изменения частот собственных колебаний конструкции здания и сопоставлены с температурными колебаниями за годовой период мониторинга. Установлено, что в течение года частоты существенно изменяются (в зимний период их значения выше на 13 и более %, чем в летний), предположительно, из-за оттаивания/промерзания верхней части грунта. На фоне этого изменения выявлены локальные колебания значений частот в связи с охлаждением/прогревом строительного материала здания преимущественно при положительной температуре окружающего воздуха (частоты растут прямо пропорционально температуре в пределах 5–7%).

Поскольку наблюдаются характерные изменения значений частот и амплитуд собственных колебаний здания с течением времени, мониторинг исследуемого объекта продолжается с целью оценки данных изменений на техническое состояние объекта.

Литература

- 1. Liseikin A.V., Seleznev V.S., Adilov Z.A. Seasonal changes in the parameters of the normal modes of the Chirkey Hydroelectric Power Plant Dam according to the standing waves method // Power Technology and Engineering. 2020. V. 53. No. 6. P. 681–686.
- Guang-Dong Z., Ting-Hua Y. A summary review of correlations between temperatures and vibration properties of long-span bridges // Mathematical Problems in Engineering. 2014. V. 2014. P. 1–19.

- Cheynet E., Snæbjornsson J., Jakobsen J.B. Temperature Effects on the Modal Properties of a Suspension Bridge // Dynamics of Civil Structures. Conference Proceedings of the Society for Experimental Mechanics Series. Springer, Cham. In: Caicedo, J., Pakzad, S. (eds). 2017. V. 2. P. 87–93.
- Nguyen V.H., Mahowald J., Schommer S., Maas S., Zuerbes A. A study of temperature and aging effects on eigenfrequencies of concrete bridges for health monitoring // Engineering. 2017. V. 9. P. 396–411.
- 5. Ceravolo R., Coletta G., Miraglia G., Palma F. Statistical correlation between environmental time series and data from long-term monitoring of buildings // Mechanical Systems and Signal Processing. 2021. V. 152. Art. 107460.
- 6. Larsson C., Abdeljaber O., Bolmsvik A., Dorn M. Long-term analysis of the environmental effects on the global dynamic properties of a hybrid timber-concrete building // Engineering Structures. 2022. V. 268. Art. 114726.
- 7. Alarcon M., Soto P., Hernandez F., Guindos P. Structural health monitoring of South America's first 6-Story experimental light-frame timber-building by using a low-cost RaspberryShake seismic instrumentation // Engineering Structures. 2023. V. 275. No. B. Art. 115278.
- 8. Moaveni B., Behmanesh I. Effects of changing ambient temperature on finite element model updating of the Dowling Hall Footbridge // Journal of Engineering Structures. 2012. V. 43. P. 58–68.
- 9. Селезнев В.С., Еманов А.Ф., Барышев В.Г., Кузьменко А.П. Способ определения физического состояния зданий и сооружений. Патент на изобретение RU 2140625 C1, 27.10.1999. Заявка № 98102539/03 от 17.02.1998.
- Emanov A.F., Seleznev V.S., Bakh A.A., Gritsenko S.A., Danilov I.A., Kuzmenko A.P., Saburov V.S., Tatkov G.I. Standing waves in engineering seismology // Russian Geology and Geophysics. 2002. V. 43. No. 2. P. 181–196.
- 11. Брыксин А.А., Громыко П.В., Севостьянов Д.Б. Использование регистраторов «Байкал-8» для сейсмического мониторинга зданий и сооружений в режиме реального времени в СЕФ ФИЦ ЕГС РАН // Российский сейсмологический журнал. 2022. Т. 4. № 3. С. 68–80.
- 12. Селезнев В.С., Лисейкин А.В., Альжанов Р.Ш., Громыко П.В. Способ организации непрерывного сейсмометрического мониторинга инженерных сооружений и устройство для его осуществления. Патент на изобретение RU 2546056 C2, 10.04.2015. Заявка № 2013127923/28 от 18.06.2013.
- 13. Селезнев В.С., Лисейкин А.В., Севостьянов Д.Б., Брыксин А.А. SpectrumSeism. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2021666241, 11.10.2021. Заявка № 2021665611 от 11.10.2021.
- 14. Климатический монитор температуры воздуха в г. Норильске // Погода и климат [сайт]. URL: http://www.pogodaiklimat.ru
- 15. Архив погоды в г. Норильске // Погода в мире [Электронный ресурс]. URL: https://rp5.ru

ОЦЕНКА ВЕРТИКАЛЬНЫХ СМЕЩЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ГАЗОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НА ЗАПАДЕ КАЗАХСТАНА

Кузьмин Д.К. dimak1292@mail.ru Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия

Комплексный анализ результатов наблюдений на геодинамическом полигоне показал наличие систематического поднятия земной поверхности в центральной части территории месторождения, индуцированного разработкой продуктивных пластов. Сопоставительный анализ результатов наблюдений был согласован с аналитическим модельным расчетом вертикальных смещений на полигоне. Аналитическая модель деформируемого пласта позволила смоделировать поднятие земной поверхности по площади всего месторождения, а также сопоставить модельные расчеты с наблюдаемыми вертикальными смещениями, полученными по результатам геодинамического мониторинга.

Ключевые слова: Геодинамический полигон, мониторинг, нивелирование, спутниковые измерения, моделирование, превышения, вертикальные смещения.

В 2009 году на одном из газовых месторождений Республики Казахстан была создана система наблюдений с профилями и пунктами, которая по возможности учитывает основные структурно-геологические и промыслово-геологические особенности территории месторождения и смежных участков. Всего на территории месторождения в 2009 году было заложено 120 нивелирных пунктов на 4 профилях общей протяженностью 61,8 погонных км и 30 GPS-пунктов.

К 2022 году было проведено расширение полигона в рамках реализации программы комплексного геодинамического мониторинга за состоянием недр месторождения, в результате которой было увеличено количество пунктов измерений – проведено сгущение нивелирной сети и GPS-пунктов (Рис. 1).



Рисунок 1 – Схема расположения нивелирных и GPS пунктов на геодинамическом полигоне месторождения

Нивелирные наблюдения на месторождении проводились по методике 2 класса повышенной точности со среднеквадратической погрешностью наблюдений $\pm 1,0-1,2$ мм/км. Для проведения GPS-измерений на пунктах внутренней сети полигона применялись группа из восьми многочастотных приемников типа Trimble R7 с одинаковыми типами высокоточных антенн Zephyr Geodetic 2, которые устанавливались на ближайших друг к другу знаках с привязкой наблюдений к базовому опорному пункту.

Для сопоставительного анализа наблюдаемых смещений в данной работе использовался период времени с 2020 по 2022 гг., за который произошло поднятие земной поверхности при увеличении пластового давления на $\Delta P = 1.1$ МПа в ходе эксплуатации месторождения. Это поднятие ярко иллюстрируют наземные наблюдения по взаимно перпендикулярным профилям I-I и II-II, пересекающим центральную часть месторождения.

На рисунке 2 представлен эволюционный график разности превышений между нивелирными реперами по профилям I-I и II-II за отчетный период.



Рисунок 2 – Результаты повторных нивелирных наблюдений на профилях I-I и II-II

По нивелирным графикам на рисунке 2 видно, что поднятие земной поверхности за период (2022-2020) концентрируется на интервалах реперов: по профилю I-I – Rp32-Rp54; по профилю II-II – Rp6-Rp21, и составляет порядка 30-40 мм.

Однако, результаты наблюдений за вертикальными смещениями по GPS пунктам, которые являются совмещенными с нивелирными реперами, лишь частично подтверждают поднятие земной поверхности в этих зонах. Амплитуды вертикальных смещений в зонах поднятия по результатам GPS измерений составляют порядка 10 мм. (рис. 3).

На рисунке 4 представлены графики вертикальных смещений, построенные по превышениям между совмещенными пунктами нивелирования и GPS. Известно, что спутниковые методы не дают точность схожую с точностью наземных высокоточных наблюдений 1 и 2 класса, однако, в данном случае прослеживается развитие единого деформационного процесса для центральной части месторождения, если не давать количественную оценку. Например, видно, что разница между превышениями пункта GPS-46 и последующими пунктами GPS-12, GPS-48, GPS-47, GPS-13, составляет в среднем порядка 30 мм. Эта разница такая же, как и между превышениями нивелирных пунктов

(реперов) 11, 14, 17, 21 над репером 5. Отсюда, не безосновательно можно полагать что поднятие земной поверхности в этой зоне очевидно имеется, а изменения вертикальной компоненты смещений спутниковым методом подтверждают это поднятие, если не количественно, то системно.



Рисунок 3 – Результаты вертикальной компоненты движений земной поверхности по данным GPS наблюдений за интервал времени 2022-2020 гг.



Рисунок 4 – Результаты вертикальной компоненты движений земной поверхности GPS (красная линия) и нивелирных (синяя линия) наблюдений за интервал времени 2022-2020

Для того чтобы убедиться в этом предположении, данное поднятие было смоделировано на основе аналитических расчетов. Использовалась модель деформируемого пласта, в которой учитывались генетическая составляющая залежи, геометрические параметры пластов месторождения, изменение давления в пласте за отчетный период, а также упругие характеристики среды, такие как пористость и сжимаемость порового пространства. Реализация этой аналитической модели ранее неоднократно демонстрировалась для оценки напряженно-деформированного состояния, обусловленного разработкой месторождений углеводородов в работах [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10], а также при анализе циклических деформаций на подземных хранилищах газа [11, 12]. Результаты распределения модельных вертикальных смещений представлены на рисунке 5.



Рисунок 5 – Модель поднятия земной поверхности, взаимосогласованная с величинами смещений вдоль профилей I-I и II-II (показаны черными линиями с указанием местоположения отдельных реперов), полученных в период 2020-2022 гг.

Заключение. Результаты моделирования показали, что максимум поднятия несколько смещен к северу, что соответствует пространственной конфигурации профилей. Это подчеркивает взаимосогласовнность результатов моделирования с наблюдаемыми данными. Таким образом вертикальные смещения, отмеченные вдоль профилей I-I и II-II, полностью подтверждают то, что источником этих изменений является повышение пластового давления в продуктивных пластах.

Работа выполнена в рамках Государственного задания Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН.

Литература

1. Абрамян Г.О., Кузьмин Д.К., Ломоносов М.Д. Анализ современных деформационных процессов на газонефтяном месторождении Центральной Азии // Наука и технологические разработки. 2022. Т. 101. № 3. С. 20-32.

- 2. Жуков В.С., Кузьмин Д.К. Оценка сжимаемости порового пространства коллекторов Увязовского ПХГ // Наука и технологические разработки. 2022. Т. 101. № 3. С. 5-20.
- 3. Жуков В.С., Кузьмин Д.К. Оценка влияния разработки Чаяндинского месторождения на просадки земной поверхности // Геофизические процессы и биосфера. 2023. Т. 22. № 1. С. 73-84.
- 4. Кузьмин Ю.О., Кузьмин Д.К., Фаттахов Е.А. Сравнительный анализ результатов измерений донными и платформенными инклинометрами на месторождении Северного Каспия // Геофизические процессы и биосфера. 2023. Т. 22. № 4. С. 55-66.
- 5. Конырбаев Д.К., Кузьмин Ю.О., Кузьмин Д.К., Шыракбаев Д.А., Суесинов Д.Ж. Анализ результатов геодинамического мониторинга на месторождении п-ова Бузачи, Республика Казахстан // Геофизические процессы и биосфера. 2023. Т. 22. №3. С. 110-141.
- 6. Kuzmin D.K., Kuzmin Y.U. O., Zhukov V.S. Assessment of ground surface subsidence during Chayanda field development with regard to changes in petrophysical parameters of oil and gas reservoirs // Eurasian mining. 2022. № 2 (38). C. 11-15.
- 7. Кузьмин Ю.О. Современная аномальная геодинамика недр, индуцированная малыми природно-техногенными воздействиями // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2002. № 9. С. 48-55.
- 8. Кузьмин Ю.О. Деформационные последствия разработки месторождений нефти и газа // Геофизические процессы и биосфера. 2021. Т. 20. № 4. С. 103-121.
- Жуков В.С., Кузьмин Ю.О. Экспериментальная оценка коэффициентов сжимаемости трещин и межзерновых пор коллектора нефти и газа // Записки Горного института. 2021. Т. 251. С. 658-666.
- Кузьмин Ю.О. Современные объемные деформации разломных зон // Физика Земли. 2022. № 4. С. 3-18.
- 11. Кузьмин Ю. О. Современная геодинамика индуцированных разломов // Геофизические процессы и биосфера. 2023. Т. 22. № 3. С. 5-65.
- 12. Кузьмин Ю.О. Физические основы современной геодинамики // Геофизические процессы и биосфера. 2023.Т. 22. № 2. С. 5-58.

МЕТОДИКА И ТЕХНОЛОГИЯ РАСЧЕТА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ И РЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В ОЧАГОВЫХ ЗОНАХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ Лютикова В.С., Литовченко И.Н.

Nikki.valo16@gmail.com, litovira@ramber.ru Национальный научный центр сейсмологических наблюдений и исследований МЧС РК, г. Алматы, Казахстан

В работе представлены результаты применения методики и технологии расчета термодинамических и реологических параметров в очаговых зонах землетрясений. На современных сейсмических данных проведен анализ и расчет таких параметров в очагах землетрясений. На основе полученных результатов были построены графики взаимодействия термодинамических и реологических параметров в очагах от магнитуды и температуры. Распределение сейсмичности на Земле и глубинные распределения гипоцентров показаны на 2-D, 3-D проекциях за 1973-2023 гг. по мировым данным. Предложенная методика и технология расчета термодинамических и реологических параметров в очаговых зонах землетрясений позволяет уточнить физические условия в очагах и исследовать геодинамику региона. Данная методика и технология может быть использована для определения исследуемых параметров в очагах землетрясений в любом сейсмоактивном регионе Земли.

Ключевые слова: сейсмичность, термодинамические и реологические параметры, очаговые зоны землетрясений.

Введение. Сейсмическая активность Земли в последние годы возрастает [1]. Поэтому становится актуальным вопрос применения современных методик и технологий для изучения физических условий формирования очаговых зон землетрясений. Расчет термодинамических и реологических параметров в очаговых зонах землетрясений является необходимым условием для изучения процессов в среде, термодинамические и реологические характеристики которых непосредственно связаны с особенностями формирования очагов и процессов разрушения в них. Глубинные процессы в земной коре могут быть изучены по взаимодействию физических параметров в очагах. На основе методики и технологии, основанной на [2-35]: в очагах землетрясений рассчитывались термодинамические и реологические параметры по мировому каталогу землетрясений с $M \ge 2.5$ за 1973-2023 г.г. [1]. Универсальность вычислительной методики и технологии подтверждена ранее для средних, сильных землетрясений Земли [7-35]. Исходя из универсальных уравнений (1-11), рассчитывались параметры в очагах. Сейсмичность Земли представлена на рисунке 1.

Целью данного исследования является применение методики и технологии расчета термодинамических и реологических параметров в очаговых зонах землетрясений Земли.

Методика и технология расчета. Методика и технология основываются на ключевых принципах [3-4]:

- землетрясения являются источниками информации о физических параметрах земной коры и ее расслоенности;
- исходными данными для определения физических характеристик параметров являются магнитуда и энергетический класс землетрясения;
- физические параметры в очаговых зонах сильных землетрясений могут быть рассчитаны с применением известных и оригинальных уравнений (уравнения 1-11);
- уравнения должны удовлетворять особенностям сейсмичности в любом регионе Земли.



Рисунок 1 – 2-D, 3-D распределения эпицентров землетрясений (верхний) и гипоцентров землетрясений (нижний) с М ≥ 2.5 за 1973-2023 гг. [1]

Физические параметры землетрясений рассматриваются в такой последовательности: энергия сейсмических волн; температура среды очага; температурные напряжения, деформация объема и формы очага; плотность энергии деформирования; потенциальная энергия деформирования очага; предел прочности среды в объеме разрушения; определение соотношения величины потенциальной энергии деформирования; энергии разрушения и др. [2,3, 7-13]. Далее приводятся уравнения (1-11) для расчета параметров, которые легли в основу вычислительной технологии. Составлен алгоритм и программа, основанная на этих уравнениях:

$$1 \, \mathbf{E} = 9.2 \quad \mathbf{52.7M} - 0.1M^2 \tag{1}$$

$$l \, Vg(c^{-3}) \neq 6.5 + M(2.6 - 0.1M) \tag{2}$$

- $U = E/V \tag{3}$
- $E_k = 2.7 + 0.1M \tag{4}$

$$T(K) = 196.8K(\lg E_{\max} - \lg E)$$
 (5)

$$\alpha_V = T(K) / \left(7 \right)^2 \Im$$
(6)

$$G \approx k / V \alpha_{\nu} \tag{7}$$

$$\tau_{kp} = \sigma^* t \, g\rho \tag{8}$$

$$\varepsilon = \alpha_V T(K) \tag{9}$$

$$\sigma = \varepsilon * G \tag{10}$$

$$1 \quad \boldsymbol{g} = 1 \quad \boldsymbol{g}_{\mathrm{m}} \quad -\frac{1}{a} l_{\mathrm{x}} \boldsymbol{\pounds}_{\mathrm{m}} \left(/_{a} \boldsymbol{E} \right) \tag{11}$$

При реализации методики и технологии расчета реологических и термодинамических параметров в очаговых зонах землетрясений применялся мировой каталог за период 1973-2023 гг., где на примере землетрясений с магнитудами больше 4.5 (см. рис.2) получена диаграмма соотношений физических параметров в очагах. Как можно видеть, зависимости между параметрами (1-11) соблюдаются как для сильных, так и для средних землетрясений. При этом изменение магнитуды на единицу эквивалентно повышению (понижению) энергии землетрясения в 32 раза. Так, магнитуда M = 8.0 соответствует $E = 6.3 \times 10^{23}$ Эрг.; M = 7.0 - E =2.0*10²² Эрг. и т.д. Для определения соотношений между энергией землетрясения или энергетическим классом и магнитудой существует много уравнений. Все они предложены для разных сейсмогенных областей Земли [2, 3, 4-35]. При адаптации методики и технологии расчета, применялся мировой каталог [1] для различных районов Земли. Правомерность применения формул доказана в [3, 30-33]. Среднее значение энергии, рассчитанное по уравнению (1), охватывает самый большой объем исходного сейсмологического материала [3]. Теоретически возможный максимальный энергетический класс равен 27.49 [3, 33]. По приведенным в (1-11) формулам, рассчитаны все названные параметры. Для наиболее представительной статистики в проведенных исследованиях рассчитаны физические характеристики в очаговых зонах землетрясений для M > 4.5 с 1973-2023г.г. [7-35].

Результаты. Физический смысл уравнения (3) следует из различий в изменении критической величины объема очага V и плотности энергии в единице объема U. Из уравнения (5) видно, что логарифм критических размеров объема очага (lgV) находится в квадратичной зависимости от магнитуды. В нашем случае в диапазоне магнитуд от 4.5 ≤ М ≤ 9.2 расчетные значения lgV меняются в пределах 16.24 ≤ lgV ≤ 21.86. Наличие параметров Е и V дало возможность для расчета плотности потенциальной энергии сейсмических волн по (3) в единице объема U (в эрг/см³). В данном случае lgU = lgE - lgV в диапазоне магнитуд от 4.5 < $M \le 9.2$ значения lgU изменяются в пределах от $3.14 \le lgU \le 3.59$. Отметим, что логарифм удельной (объемной) плотности энергии сейсмических волн (lgU) в отличие от (lgV) находится в прямолинейной зависимости от магнитуды. Существует два вида удельной энергии очага землетрясения, связанные с: 1) изменением объема, 2) изменением формы очага, которые для одной и той же магнитуды отличаются на один порядок величины. В (4) постоянная 2.7 соответствует удельной (объемной) плотности энергии сейсмических волн в эрг/см³ для землетрясения с магнитудой M = 0. Величина потенциальной энергии сейсмических волн зависит от величины объема очага и практически не зависит от удельной плотности энергии U. Это следует из различий в изменениях V и U для диапазона магнитуд от 4.5 до 9.2. Апробация уравнения (1) для целей выявления неоднородностей в строении коры и верхней мантии Кавказа, Северного Тянь-Шаня и Японии, а также определения мощности литосферы этих регионов показала хорошую корреляцию с другими геолого-геофизическими данными [3].



Рисунок 2 – Диаграмма соотношений физических параметров в очаговых зонах землетрясений (M>4.5) от температуры T(0 C) и магнитуды по [3, 33]. lgE – логарифм энергии сейсмических волн, lgn – логарифм вязкости, G – объемный модуль упругости, tkr – эффективные касательные напряжения, αV – коэффициент теплового объемного расширения, ϵ – деформация объема, σ – эффективные нормальные напряжения от T (0°C) температуры

Там же подтверждается правомерность и возможность использования уравнения (1) для анализа и сравнения глубинного строения различных сейсмогенных областей Земли. Далее анализируется соотношение между энергией и температурой в очаге землетрясения. В теоретическом плане вероятность взаимосвязи между энергией и магнитудой землетрясения с термодинамическими параметрами очага может предполагаться из самой природы накопления термоупругих напряжений в верхних оболочках Земли [3, 5, 6, 7]. Такое накопление, по мнению некоторых авторов [2, 3-4, 7-35], является следствием неравномерного распределения температур и различия физических свойств геологической среды. Показателем концентрации напряжений на глубине служит их разрядка в виде землетрясения [2-35]. Эмпирические уравнения связи (1-11), температуры в очаге землетрясения в момент

сбрасывания добавочных упругих напряжений с энергией в очаге: $T(K) = 196.8K(lgE_{max} - lgE)$, где 196.8К – константа, определяющая количество градусов, соответствующее изменению энергии (Эрг) на один порядок; lgE – логарифм энергии сейсмических волн, рассчитанный по уравнению (1). lgE_{max} – логарифм максимального значения энергии сейсмических волн используются и при расчете вязкости η; объемного модуля упругости G, эффективных нормальных напряжений о; эффективных касательных или сбрасываемых напряжений т_{кг}; показателя деформации объема очага є; коэффициента объемного теплового расширения α_V . (см. рис. 2). Определение значения lgE_{max} по уравнению (1) требует условного допущения вне реально существующего диапазона магнитуд. Из расчета следует, что максимальному значению энергии отвечает магнитуда 13.5 и соответствующее значение $E_{max} = 10^{27}$ Эрг. Анализ распределения гипоцентров землетрясений с магнитудами М < 5.0 по глубине показывает их концентрацию в вытянутых квазивертикальных больших и малых объемах. Расчетные значения температур для землетрясений с магнитудами 5.0 < M < 9.2 соответствуют температурам кристаллизации составных элементов коры. Таким образом, сопоставление расчетных данных параметров ε, σ и G с температурой обнаруживает, что два первых из них испытывают увеличение по мере роста температур, а третий – объемный модуль упругости G - напротив, уменьшение (см. рис. 2). Зависимости параметров σ, α_v от температуры Т представлены прямыми линиями (рис. 2). Как следует из представленного соотношения зависимость G = f(T) криволинейная, а $\varepsilon = f(T)$ кусочно-прямолинейная. Из всего этого, можно сделать следующие выводы.

Выводы. Общий анализ полученных результатов вычислительной методики и технологии позволяет сделать следующие качественные выводы:

1. Термодинамические параметры очага землетрясений характеризуют реологические свойства основных слоев земной коры Земли.

2. Уравнения (1-11), описывающие взаимосвязи между термодинамическими и реологическими параметрами в очаговых зонах, подтверждаются данными других исследователей [2, 3, 4, 7-33].

3. Различие в реологических свойствах земной коры различных сейсмоактивных регионов Земли получает отражение в совокупности термодинамических параметров вне зависимости от их прямого или обратного соотношения с магнитудой землетрясения.

4. Термодинамические параметры очага землетрясения дают возможность оценки термического режима крупных тектонических элементов по глубине и дифференциации земной коры на отдельные реологические слои.

5. Землетрясения в сейсмоактивных орогенных областях с магнитудой M > 6.0 характеризуют упругие, а с $4.5 \le M \le 5.0$ – упруго-вязкие слои земной коры.

Таким образом, теоретические расчеты термодинамических и реологических параметров, которые обуславливают возникновение сильных землетрясений в земной коре, и статистическая обработка экспериментальных данных свидетельствуют о существовании универсальных зависимостей между физическими условиями в очаговых зонах. Для относительно слабых (М ≥ 2.5) землетрясений выполняются аналогичные соотношения. Выяснены численные зависимости термодинамических и реологических параметров.

По полученным реологическим и термодинамическим параметрам выделяются упругие, упруго-вязкие слои земной коры исследуемого региона. Это необходимо для практических целей выделения зон, готовых к возникновению сильных землетрясений. Полученные аналитические выражения для описания физических условий возникновения сильных, средних, слабых землетрясений могут использоваться для проведения НИР по изучению механизмов возникновения и природы землетрясений. Полученные практические результаты могут способствовать решению задач, связанных с проблемой прогноза катастрофических землетрясений. В последние годы все чаще применяют различные методики прогноза землетрясений, но пока не выяснена природа этого явления необходимо направить все усилия на понимание реологических и термодинамических условий в очагах уже произошедших землетрясений. Когда станет более понятным физическая картина в

очаговых зонах землетрясений разных магнитуд, тогда мы приблизимся к решению проблемы предсказания и понимания процесса подготовки будущих очагов землетрясений в разных сейсмоактивных регионах Земли.

Работа выполнена в лаборатории физики геодинамических и сейсмических процессов в рамках ПЦФ «Оценка сейсмической опасности территорий областей и городов Казахстана на современной научно-методической основе», шифр программы Ф.0980. Источник финансирования - Министерство образования и науки Республики Казахстан

Литература

- 1. National Earthquake Information Center NEIC// <u>http://earthquake.usgs.gov/regional/neic/</u>
- Курскеев А.К., Колумбетова К.К., Литовченко И.Н., Амиров Н.Б., Лютикова В.С. О физической природе магнитуды землетрясений // Современные методы оценки сейсмической опасности и прогноза землетрясений. Междунар. науч.-практ. конф. Алматы. 2022. С. 141-148.
- 3. Тулиани Л.И. Сейсмичность и сейсмическая опасность: на основе термодинамических и реологических параметров тектоносферы. М.: Научный мир. 1999. 216 с.
- 4. Тулиани Л.И. О связи сейсмичности с физическими параметрами тектоносферы // ДАН 1996. Т. 350. № 6. С. 824-827.
- 5. Курскеев А.К. Землетрясения и сейсмическая безопасность Казахстана. Алматы. 2004. 504 с.
- Курскеев А.К., Казаков В.В., Сыдыков А., Садыкова А.Б., Курскеева Л.А., Литовченко И.Н. Методика и результаты среднесрочного прогноза землетрясений на Северном Тянь-Шане // Тез. Второго Междунар. геофизического конгр. Казахстана. Алматы. 1998. 1 с.
- Литовченко И.Н. О физических характеристиках очаговых зон сильных землетрясений в земной коре Северного Тянь-Шаня // Журнал проблем эволюции открытых систем. 2007. Вып. 8. Т. 2. С. 63-72.
- 8. Litovchenko I. Physical conditions in earthquake source of zones strong earthquakes terrestrial crust Northern Tien Shan // Геодинамика внутриконтинентальных орогенов и геоэкологические проблемы: Тез. докл. Четвертого междунар. симп., г. Бишкек, 15-20 июня 2008 г. Бишкек. 2008. С. 349-352.
- 9. Литовченко И.Н. Физические параметры очаговых зон сильных землетрясений земной коры Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий // Известия НАН РК. Серия геологическая. 2009. № 5. С. 59-67.
- Литовченко И.Н. Результаты применения методики расчета физических параметров в очаговых зонах сильных землетрясений земной коры некоторых сейсмоактивных регионов // Структура, свойства, динамика и минерагения литосферы Восточно-Европейской платформы. Материалы XVI Междунар. конф., г. Воронеж, 20-24 сент. 2010 г. Воронеж. 2010. С. 301-314.
- 11. Литовченко И.Н. О связи сейсмотектоники очагов сильных землетрясений в некоторых сейсмоактивных регионах Земли // Проблемы сейсмотектоники. Материалы XVII Всерос. конф. с междунар. участием, г. Москва, 20-22 сент. 2011 г. М. 2011. С. 308-314.
- 12. Литовченко И.Н. О методике расчета параметров в очаговых зонах сильных землетрясений земной коры (на примере Северного Тянь-Шаня) // Прогноз землетрясений, оценка сейсмической опасности и сейсмического риска Центральной Азии. Сб. докл. 7-го Каз.-Кит. Междунар. симп. Алматы. 2010. С. 403-407.
- 13. Литовченко И.Н. Универсальность методики расчета некоторых физических параметров в очаговых зонах землетрясений для сейсмоактивных регионов Земли // Современные проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов. Тез. докл. 5-го Междунар. симп. к 75-летию Ю.А. Трапезникова, г. Бишкек, 19–24 июня 2011 г. В 2 т. Т. 1. Бишкек. 2011. С. 64-67.
- 14. Лютикова В.С. ІТ-технологии в распознавании образов роев землетрясений и их математические критерии // Трансформация механико-математического и ІТ-образования

в условиях цифровизации. Материалы Междунар. науч.-практ. конф., г. Минск, 26-27 апр. 2023 г. Минск. 2023. С. 177-181.

- Лютикова В.С., Литовченко И.Н. Глобальная сейсмичность Земли и ее визуализация // Глобальная наука и инновация 2023: Центральная Азия. Астана. 2023. Т. 1. № 1(19). С. 3-5.
- 16. Лютикова В.С. Современные средства распознавания роевой активности в регионе Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий // Материалы междунар. конкурса стран Содружества Независимых Государств «Лучший научный сотрудник - 2023». С. 5-8
- 17. Лютикова В.С., Литовченко И.Н. Исследование закономерностей распределения роев сильных землетрясений и их афтершоков в земной коре Северо-Тянь-Шаньской орогенной системы // Современные техника и технологии в научных исследованиях. Материалы XV Междунар. конф. молодых ученых и студентов. Бишкек. 2023. С. 81-86.
- 18. Lyutikova V.S., Litovchenko I.N. Modern seismic visualization Tools // Знания-Онтологии-Теории (ЗОНТ-2023). Материалы IX Междунар. конф. Новосибирск. 2023.
- 19. Лютикова В.С., Литовченко И.Н. Глобальная сейсмичность Земли и ее визуализация // Global science and innovations Central Asia. XIX Междунар. конф. Астана. 2023.
- 20. Лютикова В.С., Литовченко И.Н., Амиров Н.Б. Активизация слабой сейсмичности, как показатель формирования очаговых зон сильных землетрясений в земной коре Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий // Сейсмология и инженерная сейсмология. VII Междунар. конф. Баку. 2023.
- 21. Лютикова В.С., Литовченко И.Н. Особенности распределения роев, сильных землетрясений и их афтершоков в земной коре Северо-Тянь-Шаньской орогенной системы // Школа экологических и геологических перспектив. 10-ый междунар. молодежный проект. Воронеж. 2023.
- 22. Лютикова В.С., Литовченко И.Н. Современные средства визуализации сейсмических данных // Наука и образование в современном мире: вызовы XXI века. Материалы XII Междунар. науч.-практ. конф. Астана. 2023.
- 23. Лютикова В.С. Визуализация роев землетрясений в регионе северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий на основе применения современных программных средств // Материалы международного конкурса стран Содружества Независимых Государств «Лучший молодой ученый 2023».
- 24. Лютикова В.С., Литовченко И.Н. СОЛТҮСТІК ТЯНЬ-ШАНЬДАҒЫ ЖЕР СІЛКІНІСТЕРІНІҢ ҚАЗІРГІ ЖАУЫНГЕРЛІК БЕЛСЕНДІЛІГІ // GLOBAL SCIENCE AND INNOVATIONS 2023: CENTRAL ASIA. SERIES "TECHNICAL SCIENCE". 2023. No. 3(21). Pp. 18-20.
- 25. Литовченко И.Н., Амиров Н.Б. Глубинное представление и зависимости термодинамических параметров в очагах землетрясений Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий // Проблемы геодинамики и геологии внутриконтинентальных орогенов. Тез. докл. VIII Междунар. симп. Бишкек. 2021. С. 34-37.
- 26. Лютикова В.С., Литовченко И.Н, Роевая активность в сейсмичности Северного Тянь-Шаня и прилегающих территориях// Современные методы оценки сейсмической опасности и прогноза землетрясений. Междунар. науч.-практ. конф. Алматы. 2022. С. 281-287.
- 27. Литовченко И.Н., Амиров Н.Б., Лютикова В.С. Распознавание образов роев землетрясений и их численные характеристики // Инновационные технологии и геопространственное цифровой инженерии. Межд. науч.-практ. конф. Алматы. 2022. С. 549-555.
- 28. Лютикова В.С., Литовченко И.Н., Амиров Н.Б. ACTIVATION OF SEISMICITY AS AN INDICATOR OF THE FORMATION OF SOURCE ZONES OF STRONG EARTHQUAKES IN THE EARTH'S CRUST NORTHERN TIEN SHAN // XVI ГЛОБАЛЬНЫЕ НАУКИ И ИННОВАЦИИ 2022: ЦЕНТРАЛЬНАЯ АЗИЯ. Нур-Султан. Казахстан. С. 3-7.

- 29. Литовченко И.Н., Амиров Н.Б., Лютикова В.С. Распознавание образов роев землетрясений и их численные характеристики // Инновационные технологии в геопространственной цифровой инженерии. Тр. Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 115-летию чл.-кор. АН Каз ССР Машанова А.Ж. и 100-летию акад. АН Каз ССР Ержанова Ж.С. (18.03.2022). Алматы. 2022. С. 549-555
- Лютикова В.С., Литовченко И.Н. Исследование связи между физическими параметрами очаговых зон роев землетрясений // Современные техника и технологии в научных исследованиях. Материалы XIV Междунар. конф. молодых ученых и студентов. Бишкек. 2022. С. 81-86.
- 31. Лютикова В.С., Литовченко И.Н., Амиров Н.Б. Активизация слабой сейсмичности, как показатель формирования очаговых зон сильных землетрясений в земной коре Северного Тянь-Шаня // Седьмая Междунар. конф., посвящ. 120 годовщине катастрофического Шамахинского землетрясения 13.02.1902 года. Баку. 2022.
- 32. Литовченко И.Н. О расчете термодинамических и реологических характеристик в очагах землетрясений // Инновационные технологии в геопространственной цифровой инженерии. Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 115-летию чл.-кор. АН Каз ССР Машанова А.Ж. и 100-летию акад. АН Каз ССР Ержанова Ж.С. (18.03.2022). Алматы. 2022. С. 544-549.
- 33. Литовченко И.Н. Физико-математические зависимости параметров в очагах землетрясений Земли // Наука и образование в современном мире: вызовы XXI века. Материалы X Междунар. науч-практ. конф. Нур-Султан. 2022. С. 7-11.
- Lyutikova V.S., Litovchenko I.N. Modern pattern recognition tools (by the example of earthquake swarms) // XI International Scientific and practical conference. Astana. 2022. P. 7-10.
- 35. Lyutikova V.S., Litovchenko I.N., Amirov N.B. About the question earthquakes and their aftershocks in the South East of Kazakhstan // XVII Global Science and innovations 2022: Central Asia International Scientific Practical Journal. Nur-Sultan. 2022. P. 3-6.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ТЯНЬ-ШАНЯ И РАЙОНОВ СОСЕДНИХ СТРАН ЗА 2020-2023 гг.

Мамбетова Г.А., Омуралиев М., Омуралиева А. gulnura.890@mail.ru, mederbek@mail.ru, omuraika@mail.ru Институт сейсмологии НАН КР, г. Бишкек, Кыргызстан

В работе представлены результаты одновременного слежения последовательности землетрясений и кумулятивной сейсмической энергии области внутриконтинентального горообразования Тянь-Шань за 2020-2023 гг. с помощью цифровых сейсмических станций Кыргызстана, Казахстана, Узбекистана и Китая. Выполнены исследования амплитуды флуктуации кумулятивной сейсмической энергии, высвобожденной при землетрясениях на исследуемой территории в рамках изучения нижнего порога сейсмической энергии ожидаемого сильного землетрясения.

Ключевые слова: цифровая сейсмическая станция, иерархия тектонических блоков, последовательность землетрясений, сейсмический цикл, иерархия сейсмических циклов, суммарная сейсмическая энергия.

Введение. С помощью сети цифровых сейсмических станций Кыргызстана, Казахстана, Узбекистана и Китая в квадрате $\varphi = 38^{\circ}-44^{\circ}$ с.ш., $\lambda = 69^{\circ}-81^{\circ}$ в.д. были зарегистрированы землетрясения (рис.1) и составлен каталог землетрясений Института сейсмологии НАН КР [1]. Представительный класс землетрясений К ≥ 8 .



Рисунок 1 – Карта-схема расположения цифровых сейсмических станций: сети KNET (HC PAH) обозначены белыми треугольниками, сети KRNET (HAH KP) - чёрными треугольниками, станции (Казахстана, Узбекистана и Китая) - красными [1].

Тянь-Шань в целом, ограниченный с юга Таримской плитой и Памирской горной системой, а с севера - Казахским щитом и Туранской плитой (рис.2), состоит из иерархии активных блоков, поднятий, впадин и разломов [2, 3]. Тянь-Шань как блок первого порядка разделяется на блоки второго порядка: Центральный, Восточный, Западный зонами разломов: Джунгарской (ДжР) и Таласо-Ферганской (ТФР) северо-западного простирания.


Рисунок 2 – Блоки второго порядка (Западный, Центральный, Восточный) блока первого порядка Тянь-Шаня. Линиями обозначены поперечные разломы северо-западного простирания: Таласо-Ферганский (ТФР) и Джунгарский (ДжР) [3]

Методика и результаты исследования. В последовательности землетрясений во времени поэтапно выделяются относительно максимальные значения, в частности, энергетического класса [4-12]. По ряду этих выбранных значений проводят полиномиальный тренд (нелинейную ПТ-функцию) и выделяется сейсмический цикл, например, третьего порядка, состоящий из пика сейсмической активизации, периода спада сейсмической активизации, периода сейсмического затишья, минимума периода затишья и периода подъёма сейсмической активизации. По пикам сейсмического цикла третьего порядка с различными интервалами времени на основе ПТ-функции выделяются пик сейсмической активизации, период спада сейсмической активизации, период сейсмического затишья, минимум периода затишья и период подъёма сейсмической активизации, которые составляют сейсмический цикл второго порядка. Аналогичным образом по пикам сейсмического цикла второго порядка с различными интервалами времени на основе ПТ-функции выделяются пик сейсмической активизации, период спада сейсмической активизации, период сейсмического затишья, минимум периода затишья и период подъёма сейсмической активизации, которые составляют сейсмический цикл первого порядка. Одновременно по ходу проявления землетрясений поэтапно составляется серия графиков кумулятивной сейсмической энергии. На каждом графике кумулятивной сейсмической энергии определяется линейный тренд, проводятся через верхний и нижний пределы флуктуации кумулятивной сейсмической энергии верхняя и нижняя линии графика, параллельные линии тренда. Угловой коэффициент уравнения линейного тренда в отдельно взятом интервале времени выражает скорость высвобождения сейсмической энергии. Измеряется интервал от конечной точки графика кумулятивной сейсмической энергии горизонтально до его нижней линии и определяется вероятная продолжительность затишья.

На рисунке 3 приведена карта–схема эпицентров землетрясений (К \geq 8) Тянь-Шаня и районов соседних областей за 2020-2023 гг. по каталогу ИС НАН КР. Здесь можно отметить, что землетрясения с К \geq 13 приурочены к зонам на сочленении Тянь-Шаня с севера с Таримской плитой, с юга - Памирской горной системой.



Рисунок 3 – Карта-схема эпицентров землетрясений (К ≥ 8) Тянь-Шаня и районов соседних областей за 2020-2023 гг. по каталогу ИС НАН КР

На последовательности проявления землетрясений отмечается иерархия сейсмических циклов (рис. 4). Интересно отметить, что в цикле первого порядка 22 марта 2023 г. наступила фаза сейсмической активизации, проявилось землетрясение с K = 14.7, а в цикле третьего порядка 7 ноября 2023 г. наступила фаза сейсмической активизации, произошло землетрясение с K = 12.7. Эти данные позволили предположить, что сила ожидаемого сильного землетрясения, вероятно, составит K \geq 15, время - начало 2024 г. На самом деле 23 января 2024 г. произошло землетрясение Учтурфан с K = 15,4 в зоне Предкокшаальского разлома на сочленении Тянь-Шаня и Таримской плиты.



Рисунок 4 — Последовательность землетрясений в течение 2020-2023 гг. Циклы третьего порядка обозначены точечной линией, циклы второго порядка — сплошной линией, цикл первого порядка — пунктирной линией

Периоды циклов третьего и второго порядков приведены в таблицах 1 и 2. Период циклов, например, третьего порядка в фазах сейсмической активизации составляет 84-230 суток.

В таблице 2 приведены пики циклов второго порядка в 2020-2023 гг. с периодом повторения около 537 - 620 суток, выделенные по пикам циклов третьего порядка

N⁰	Год		шиала	Время,	Энергетический	Период
п.п.		Месяц	число	сутки	класс lgE, Дж	повторения, сутки
1	2020	январь	19	19,6	14,5	
2	2020	июль	4	186,4	13,4	166,8
3	2020	ноябрь	6	311,3	12,4	124,9
4	2021	июль	10	557,1	14,1	245,8
5	2021	ноябрь	17	687,5	11,4	130,4
6	2022	июль	2	914,7	12,7	227,2
7	2022	декабрь	28	1093,7	13,3	179,0
8	2023	март	22	1177,8	14,7	84,1
9	2023	ноябрь	7	1407,8	12,7	230,0

Таблица 1 – Пики циклов третьего порядка в течение 2020-2023 гг.

Таблица 2 – Пики циклов второго порядка в течение 2020-2023 гг.

N⁰	Год		шиало	Время,	Энергетический	Период
п.п.		Месяц	число	сутки	класс lgE, Дж	повторения, сутки
1	2020	январь	19	19,6	14,5	
2	2021	июль	10	557,1	14,1	537,5
3	2023	март	22	1177,8	14,7	620,7

Кумулятивная сейсмическая энергия, высвобожденная при землетрясениях (К ≥ 8) Тянь-Шаня на территории Кыргызстана и прилегающих районов в 2020-2023 гг. представлена на рисунке 5. График кумулятивной сейсмической энергии неровный, ступенчатый, что выражает сейсмические циклы. Тренд Е_k выражается формулой:

$$E_k = (1,93t - 3896,4) \times E + 15, Дж,$$

где E_k - кумулятивная сейсмическая энергия (Дж), t - время (сутки), коэффициент 1,93х10¹⁵ имеет размерность Дж/сутки, что представляет собой скорость высвобождения сейсмической энергии. В накоплении энергии E_k после 22 марта 2023 г отмечалось затишье.



Рисунок 5 – Кумулятивная сейсмическая энергия E_k, высвобожденная при землетрясениях (К ≥ 8) Тянь-Шаня и его окрестности за 2020-2023 гг. Линейный тренд обозначен сплошной линией, нижней и верхний пределы флуктуации E_k - пунктирными линиями, красной линиейвремя ожидаемого землетрясений, точечная линия - продолжении кумулятивной энергии

Заключение. Таким образом можно сделать следующие выводы:

- 1. Последовательность проявления землетрясений и иерархии сейсмических циклов является фундаментальным свойством сейсмического процесса в области горообразования Тянь-Шаня, состоящая из иерархии тектонических блоков.
- 2. Иерархия сейсмических циклов позволяет определить время ожидаемого землетрясения, которое последовательно уточняется на разных уровнях.
- 3. Амплитуда флуктуации кумулятивной сейсмической энергии исследуемой территории означает нижний порог сейсмической энергии ожидаемого сильного землетрясения. Период затишья кумулятивной энергии до линии тренда означает время ожидания вероятного землетрясения.

Литература

- 1. Отчёт о научно-производственной деятельности Центра обработки данных Института сейсмологии НАН КР за 2022 г. 64 с. Фонды ИС НАН КР.
- 2. Omuraliev M., Omuralieva A. Late Cenozoic tectonics of the Tien Shan, Central Asia. Bishkek: Ilim. 2004. 166 p.
- 3. Абдрахматов К.Е., Бегалиев У.Т., Омуралиев М., Омуралиева А. Сейсмическая опасность населённых пунктов и стратегических сооружений Кыргызской Республики. Бишкек: Триада Принт. 2019. 98 с.
- Омуралиев М., Омуралиева А. Способ определения силы и времени суток среднего и крупного ожидаемого землетрясения системы сейсмогенерирующих зон. Патент №1369. 31.06.2011 г.
- 5. Омуралиев М., Омуралиева А. Средне- и краткосрочная сейсмическая опасность Тянь-Шаня, и иерархия динамики сейсмических процессов (на территории Кыргызстана и приграничных районов соседних стран). Бишкек: Триада Принт. 2016. 116 с.
- 6. Мамбетова Г.А., Омуралиев М. Сейсмические циклы Тянь-Шаня на территории Кыргызстана и землетрясение Каркыра-Сарыджаз 28 января 2013 г. К=15 // Вестник Института сейсмологии НАН КР. 2019. № 1 (13). С. 60-69.
- 7. Мамбетова Г., Омуралиева А., Омуралиев М. Нелинейная динамика последовательности проявления землетрясений // Вестник Института сейсмологии НАН КР. 2020. № 1 (15). С. 50-80.
- 8. Мамбетова Г.А., Омуралиев М. Сейсмические циклы Тянь-Шаня на территории Кыргызстана и землетрясение Каркыра-Сарыджаз 28 января 2013 г. К=15 // Вестник Института сейсмологии НАН КР. 2019. № 1 (13). С. 60-69.
- 9. Мамбетова Г., Омуралиева А., Омуралиев М. Нелинейная динамика последовательности проявления землетрясений // Вестник Института сейсмологии НАН КР. 2020. № 1 (15). С. 50-80.
- 10. Мамбетова Г., Омуралиев М., Омуралиева А. Мониторинг последовательности землетрясений Тянь-Шаня и районов соседних регионов за 2012-2022 гг. // Вестник Института сейсмологии НАН КР. 2022. № 2 (20). С. 41-48.
- 11. Мамбетова Г.А., Абдрахматов К.Е., Омуралиев М. Мониторинг последовательности проявления землетрясений Кыргызстана и приграничных районов соседних стран за 2020 г. // Современные техника и технологии в научных исследованиях. Материалы XIV Междунар. конф. молодых ученых и студентов, г. Бишкек, 27-29 апреля 2022 г. Бишкек: НС РАН. 2022. С. 87-93.
- Мамбетова Г.А., Омуралиев М., Омуралиева А.М. Опыт прогноза землетрясения на основе сейсмических циклов Тянь-Шаня за 2022 г. // Современные техника и технологии в научных исследованиях. Материалы XV Междунар. конф. молодых ученых и студентов, г. Бишкек, 26-28 апреля 2023 г. Бишкек: НС РАН. 2023. С. 325-332.

ДОСТОВЕРНОСТЬ СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА И СЕЙСМИЧЕСКАЯ УСТАЛОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ГРУНТА В ПРЕДЕЛАХ Г. БАТКЕН ЗА 1962-1977 гг.

Мамбетсадыкова А., Омуралиев М., Омуралиева А. akuly55@mail.ru, mederbek@mail.ru, omuraika@mail.ru Институт сейсмологии НАН КР, г. Бишкек, Кыргызстан

В работы приведены предварительные величины оценки достоверности сейсмического риска и результаты изучения параметров сейсмической усталости в пределах города Баткен на основе слежения распределения сейсмической энергии, сейсмического момента, угловой резонансной частоты и спектральной плотности - скорости колебаний поперечных сейсмических волн, сброшенного напряжения, радиуса разлома землетрясения, средней подвижки по разломам.

Ключевые слова: сейсмическая энергия, сейсмический момент, угловая - резонансная частота, спектральная плотность, сброс напряжений, радиус разлома землетрясения, средняя подвижка.

Введение. Оценка сейсмической опасности, уязвимости зданий, сооружений, грунтов (различных типов) и сейсмического риска населенных пунктов является актуальной проблемой [1-8]. По предварительным результатам исследования достоверность выделения зон ВОЗ составляет 70-80%, потенциальных очагов землетрясений - 40-50%, определения максимальной магнитуды и пиковых ускорений – 60-70%, оценки повторяемости землетрясений и иерархии сейсмических циклов - 70-80%.

Опыт инженерно-сейсмологических исследований показывает на необходимость определения параметра «сейсмическая усталость» - аналогично усталости деталей в сопротивлении материалов. Сейсмическая усталость представляет собой процесс накопления повреждений в зданиях, сооружениях, грунтах под действием переменных (часто циклических) напряжений, приводящий к изменению свойств материалов, образованию трещин, их развитию и разрушению объекта за указанное количество циклов различных видов деформаций-напряжений. Соответственно, сейсмическая усталость в соответствии с динамикой сейсмического воздействия приводит к сейсмической уязвимости – к степени повреждения зданий, сооружений, грунтов. Достоверность оценки степени повреждения человеческих потерь и материальным ущербом (с достоверностью около 90%).

Район исследования находится в пределах города Баткен в квадрате $\phi = 39.2^{\circ}-40.8^{\circ}$ N, $\lambda = 70.0^{\circ}-71.61^{\circ}$ E (рисунок 1). 31 января 1977 г. произошло Исфара-Баткенское землетрясение (K = 15.5, M = 6.3, I_o = 8 баллов, h = 20 км) [9]. Эпицентр землетрясения приурочен к узлу, расположенному на стыке активных разломов: Северо–Катранского, Сулуктюнского (широтного простирания) и Баткенского (северо-западного простирания).

Под территорией г.Баткен фундамент до глубины 6 км сложен среднепалеозойским комплексом (мраморизованными известняками, сланцами и др.), на глубинах 6-10 км – серпентинитами, ниже 10 км – базит-гипербазитами [10]. Они покрыты четвертичными пролювиальными (pQ^2_{III}) и аллювиальными отложениями (aQ_{IV}). Пролювиальные отложения представлены, преимущественно суглинками, а аллювиальные отложения – галечниками. Глубина залегания уровня грунтовых вод в этих отложениях от 1 м до 8 м.

Одной из основных причин сейсмической усталости – процесса накопления повреждений, приводящего к изменению свойств материалов, образованию трещин, их развитию в зданиях, сооружениях, грунтах в квадрате $\varphi = 39.2^{\circ}-40.8^{\circ}$, $\lambda = 70^{\circ}-71.61^{\circ}$ за период 1962-1977 гг., является последовательность проявления землетрясений с K = 7,6-15,5 (рисунок

2), на которой выделяется иерархия асимметричных циклов. Периоды циклов, например, третьего порядка составляют 1,4-2,6 года, второго порядка – 6,4-7,8 года.



Рисунок 1 – Карта-схема цифровой модели высот (по данным Google Earth Pro) района (в квадрате $\varphi = 39.2^{\circ}-40.8^{\circ}$, $\lambda = 70^{\circ}-71,61^{\circ}$) в пределах города Баткен (серый полый квадрат). Вырезка его площади показана в верхнем правом углу. Красной звездочкой обозначен эпицентр Исфара-Баткенского землетрясения (31.01.1977, K = 15.5, M = 6.3, I_o = 8 баллов, h = 20 км)



Рисунок 2 – Последовательность землетрясений с К ≥ 7.6 в квадрате φ = 39.2°-40.8°, λ = 70°-71,61° в пределах города Баткен с 1962 г. по 1977 г. Точечной линией обозначены сейсмические циклы третьего порядка, пунктирной линией – сейсмические циклы второго порядка, сплошной линией – часть цикла первого порядка

На рисунке 3 показана суммарная сейсмическая энергия (E_k), высвобожденная при землетрясениях с $K \ge 7,6$ в квадрате $\varphi = 39.2^{\circ}-40.8^{\circ}$, $\lambda = 70^{\circ}-71,61^{\circ}$ в пределах города Баткен с 1962 г. по 1977 г. В 1977 году E_k = 0,39·E+14 (Дж). График этой энергии неровный, ступенчатый, что выражает иерархию сейсмических циклов.



Рисунок 3 – Кумулятивная сейсмическая энергия E_k (Дж) в очагах землетрясений с К \geq 7,6 в квадрате ϕ = 39.2°-40.8°, λ = 70°-71,61° в пределах города Баткен за 1962-1977 гг. Сплошной черной линией обозначен тренд

Важно отметить, что сейсмический момент Мо выражается формулой [11]:

 $Mo = \mu UA$,

где μ – жесткость – модуль сдвига (дин/см²), U – средняя подвижка (см), A – площадь разлома. Соответственно, сейсмический момент представляет собой обобщенный параметр, при котором могут изменяться свойства постройки и грунта. На рисунке 4 представлена 3D-модель распределения сейсмического момента (lgMo) поперечных волн землетрясений с K \geq 7.6 в пределах города Баткен в квадрате φ = 39.2°-40.8°, λ = 70°-71,61° за 1962-1977 гг. Распределение сейсмического момента поперечных волн землетрясений имеет мозаичный характер, также выражающий своеобразную динамическую сегментацию активных структур.



Рисунок 4 – 3D-модель распределения сейсмического момента (lgMo, H·м) поперечных волн землетрясений с К ≥ 7.6 в пределах города Баткен с 1962 г. по 1977 г. Красными кружочками обозначены эпицентры событий

Угловая частота f_o (Гц) спектров объемных сейсмических волн землетрясений является важным параметром сейсмической усталости и динамики сейсмического воздействия. Она представляет собой резонансную частоту. 3D-модель распределения угловой (резонансной) частоты f_o (Гц) поперечных волн землетрясений с $K \ge 7.6$ в пределах города Баткен за 1962-1977 гг. показана на рисунке 5. Распределение резонансной частоты поперечных волн землетрясений характер, выражающий поле динамики сейсмического воздействия.



Рисунок 5 — 3D-модель распределения угловой частоты f_o (Гц) поперечных волн землетрясений с $K \ge 7.6$ в пределах города Баткен с 1962 г. по 1977 г. Красными кружочками обозначены эпицентры событий

Следует отметить, что Касахара [12] для спектра Р- вол
н получил формулу: lgT = 0.51 M - 2.59,

где М – магнитуда по Рихтеру [13].

Период волны предопределяет длину сейсмических волн (λ, км):

$\Lambda = V_S / T,$

где V_s – скорость поперечных сейсмических волн (км/сек). Так, в мраморизованных известняках V_s = 3 км/сек [14], валунно-галечниках V_s = 2 км/сек, суглинках V_s = 1 км/сек [15], то длина S-волн во время Исфара-Баткенского землетрясения (1977, K = 15,5) составляла λ = 3 / 0,86 = 3,4 км в скальных грунтах, λ = 2 / 0,86 = 2,3 км и λ = 1 / 0,86= 1,2 км в рыхлых грунтах, соответственно, при угловой - резонансной частоте f_o = 1.16 Гц и характерном резонансном периоде T = 0.86 сек [8].

Распределение спектральной плотности Ω_0 (мк/сек) поперечных волн землетрясений с К \geq 7.6 в пределах города Баткен за 1962-1977 гг. представлено на рисунке 6 за исключением значения Ω_0 при Исфара-Баткенском землетрясении, которое составило $\Omega_0=25002$ мк/сек. На распределении спектральной плотности, представляющей собой скорость смещения колебаний поперечных волн землетрясений, выделяются аномальные и межаномальные области.



Рисунок 6 – 3D-модель распределения спектральной плотности Ω_0 (мк/сек) поперечных волн землетрясений $K \ge 7.6$ в пределах города Баткен с 1962 г. по 1977 г. без значения Ω_0 при Исфара-Баткенском землетрясении. Красными кружочками обозначены эпицентры землетрясений

Одним из важных динамических параметров в очагах землетрясений является сброшенного напряжения. На рисунке 7 представлена 3D-модель распределения сброшенного напряжения $\Delta \sigma$ (Па) землетрясений с К \geq 7.6 за 1962-1977 гг. за исключением значения $\Delta \sigma$ при Исфара-Баткенском землетрясении, которое составило $\Delta \sigma = 1255,3$ Па. На распределении сброшенного напряжения поперечных волн землетрясений выделяются аномальные и межаномальные области.



Рисунок 7 – 3D-модель распределения сброшенного напряжения Δσ (Па) землетрясений с К ≥ 7.6 в пределах города Баткен с 1962 г. по 1977 г. без значения Δσ при Исфара-Баткенском землетрясении. Красными кружочками обозначены эпицентры событий

На рисунке 8 представлена 3D-модель распределения радиуса Брюна [16] сейсмогенных разломов R_6 (м) при землетрясениях с $K \ge 7.6$ в квадрате $\phi = 39.2^{\circ}-40.8^{\circ}$, $\lambda = 70^{\circ}-71,61^{\circ}$ в пределах города Баткен за 1962-1977 гг. за исключением значения R_6 при Исфара-Баткенском землетрясении, которое составило $R_6 = 1571$ м. На распределении радиуса разлома землетрясений также выделяются аномальные и межаномальные области.



Рисунок 8 – 3D-модель распределения радиуса Брюна разломов R_6 (м) при землетрясениях с $K \ge 7.6$ в пределах города Баткен с 1962 г. по 1977 г. без значения R_6 при Исфара-Баткенском землетрясении. Красными кружочками обозначены эпицентры событий

В динамике сейсмических воздействий и сейсмической усталости постройки и грунтов предопределяющую роль играет последовательность подвижек (D, см) – дислокаций в очагах землетрясений (рисунок 9). Величина средней подвижки в очаге землетрясения Исфара-Баткен составляла около 59 см. На 9 рисунке представлено распределение средней подвижки D (см) поперечных волн землетрясений с К \geq 7 .6 в квадрате $\varphi = 39.2^{\circ}-40.8^{\circ}$, $\lambda = 70^{\circ}-71,61^{\circ}$ в пределах города Баткен за 1962-1977 гг. за исключением значения D при Исфара-Баткенском землетрясении. На распределении средней подвижки поперечных волн землетрясений также выделяются аномальные и межаномальные области.



Рисунок 9 – 3D-модель распределения средней подвижки D (см) по разломам землетрясений с К ≥ 7.6 в пределах города Баткен с 1962 г. по 1977 г. без значения D при Исфара-Баткенском землетрясении. Красными кружочками обозначены эпицентры событий

Заключение. По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

- Скорость разрушения массива горных пород на глубинах с -20 км по -5 км, с -5 км по -1 км, на глубинах выше -1 км, составляют V_{разр} = 4 км/сек, 2,7 км/сек и 0,9-1,8 км/сек, соответственно;
- Число сейсмических испытаний (проявление землетрясений) зданий, сооружений, грунтов в сейсмической усталости 486;
- Максимальные, минимальные, средние значения параметров воздействий представлены в таблице 1.

T (1	1.6						J
Гаолина	I —	- Максимальные.	минимальные.	срелние	значения	параметров	возлеистви	И
гаотніца	-	i i i an contra i bii bi c,		ередние	Sind remin	mapanierpob	возденетьн	**

N⁰	Параметры сейсмических	Макс	Средн.	Мин.	Значение при
	воздействий				землетрясении
					Исфара- Баткен
					31.01.1977
1	Моментная магнитуда М _w	5,2	3,8	3,3	6,5
2	Угловая частота спектра S	3,9	3,1	1,8	1,1
	волны 10, 1 ц				
3	Спектр-ная плотность S	240	119	45	25002
	волны $\Omega_{0,}$ мк/сек	2.0	11,9	.,.	
4	Сейсмический момент М _{0,}	16,7	14 9	14 1	18
	H·M		11,5	11,1	10
6	Средняя подвижка D, см	2,8	0,1	0,008	59,2
7	Сброшенное напряжение,	1177	7,6	12	1255.3
	Δσ Πα	11/,/		1,2	1233,5

Литература

- 1. HAZUS (1999), Earthquake Loss Estimation Methodology, Technical Manual, RMS, NIBS and FEMA.
- 2. Абдрахматов К.Е., Бегалиев У.Т., Омуралиев М., Омуралиева А. Сейсмическая опасность населённых пунктов и стратегических сооружений Кыргызской Республики. Бишкек: Триада Принт. 2019. 98 с.
- 3. Аптикаев Ф.Ф., Гитис В.Г., Кофф Г.Л., Фролова Н.И. Оценка сейсмической опасности и сейсмического риска. М.: Центр БСТС. 1997. 53 с.
- Ларионов В.И., Сущев С.П., Акатьев В.А. Уязвимость инженерных сооружений при землетрясениях // Энциклопедия безопасности: строительство, промышленность, экология. Т. 3: Сейсмостойкость и теплозащита сооружений / Под ред. В.А. Котляревского. М.: Изд-во АСВ. 2010. С. 165–184.
- 5. Calvi G.M., Pinho R., Magenes G., Bommer J.J., Restrepo-Vélez L.F. and Crowley H. Development of seismic vulnerability assessment methodologies over the past 30 years // ISET Journal of Earthquake Technology. 2006. Paper No. 472. Vol. 43. No. 3. P. 75-104.
- 6. Рекомендации по производству инженерно-геологической съемки при инженерных изысканиях для строительства. М.: Стройиздат. 1972. 48 с.
- 7. Сейсмическое микрорайонирование территории райцентра Баткен и прилегающих к нему населенных пунктов. Отчет. Фрунзе. 1979. Фонды Института сейсмологии НАН КР
- 8. Мамбетсадыкова А., Омуралиев М., Омуралиева А. Динамика сейсмических воздействий в пределах г. Баткен, Кыргызстан за 1962-1977 гг. // Вестник Института сейсмологии НАН КР. 2024. № 1 (23). С. 39-60.
- 9. Джанузаков К.Д., Омуралиев М., Омуралиева А., Ильясов Б.И., Гребенникова В.В. Сильные землетрясения Тянь-Шаня. Бишкек: Илим. 2003. 216 с.
- 10. Кнауф В.И., Кузнецов М.П., Нурманбетов К., Христов Е.В., Шилов Г.Г. Домезозойские структуры и сейсмичность Киргизии. Фрунзе: Илим.1981. 74 с.

- 11. Aki K. Generation and Propagation of G Waves from the Niigata Earthquake of June 14, 1964. Part 2. Estimation of Earthquake Moment, Released Energy and Stress-Strain Drop from G Wave Spectrum. // Bulletin of the Earthquake Research Institute. 1966. V. 44. P. 73-88.
- 12. Касахара К. Механика землетрясений. М.: Мир. 1985. 264 с.
- 13. Richter C.F. An Instrumental Earthquake Magnitude Scale // Bulletin of the Seismological Society of America. 1935. Vol. 25. No. 1. P. 1-32.
- 14. Справочник физических констант горных пород / Под ред. С. Кларка мл. М.: Мир. 1969. 543 с. (Науки о Земле, Т. 21).
- Каталог параметров движений грунта по данным цифровых станций сети сильных движений на территории г. Алматы за 2000-2010 гг. / Отв. ред. Т. Абаканов. Алматы. 2011. 134 с.
- 16. Brune J.N. Tectonic Stress and the Spectra of Seismic Shear Waves from Earthquakes // Journal of Geophysical Research. 1970. V. 75. P. 4997-5009. http://dx.doi.org/10.1029/JB075i026p04997

СЕЙСМИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ РАЙОНОВ ГЭС КАМБАРАТА 1, 2, МЕСТОРОЖДЕНИЙ МИН-КУШ, КАРАКЕЧЕ

Мураталиева Ж., Омуралиева А., Омуралиев М. zhazgul0404@mail.ru, omuraika@mail.ru, mederbek@mail.ru Институт сейсмологии НАН КР, г. Бишкек, Кыргызстан

В статье изложены результаты изучения сейсмической опасности районов ГЭС Камбарата 1, 2 и месторождений Мин-Куш, Каракече. Отмечена зона ВОЗ Минкуш-Кокомерен-Камбарата с моментными магнитудами Mw=7.0-7.6 – генетическая ассоциация активных разломов. Выделены эпицентры и вероятные очаги сильных палеоземлетрясений. Определено сейсмическое воздействие на грунты с расчетом пикового ускорения PGA для горизонтальной составляющей сейсмических колебаний при землетрясении с максимальной магнитудой Mw=7.6.

Ключевые слова: активный разлом, зона ВОЗ, очаг, палеоземлетрясение, скальный оползень, сейсмическое воздействие.

Введение. ГЭС Камбарата 1 и 2 входят в состав Нарын-Сырдарьинского каскада ГЭС. При этом ГЭС1 должен включать в себя взрывообвальную плотину высотой 275 м, водохранилище площадью 56 км², полным объёмом 4,65 км³. Высота плотины ГЭС2 составляет 70 м, объем водохранилища 70 млн м³. Буроугольные месторождения Каракече и Мин-Куш являются наиболее крупными в Кыргызстане с запасом угля более 300 млн. т.

Рассматриваемый регион по детальной карте сейсмического раойонирования центральной части Тянь- Шаня [1] был отнесен к 8 -балльной зоне сейсмической опасности. По картам обшего сейсмического районирования СР-78 [2] и СР-96 [3] также был отнесен к 8-балльному району опасности. Следует отметить, что при составлении этих карт, выделении зон ВОЗ, потенциальных очагов, максимальных магнитуд допускались значительные неопределённости и малые достоверности. В 2018 г. на основе новых методических и фактических данных составлена карта общего сейсмического районирования и оценено, что исследуемый регион имеет 9-балльную сейсмическую опасность [4]. На основании изучения последовательности проявления сильных землетрясений Тянь-Шаня и районов соседних областей с древних до современных времен и их миграции по активным разломам, генерирующие землетрясения отмечено, что эти активные разломы разделяются на генетические ассоциации и составляют зоны ВОЗ более высшего класса [5].

На рисунке 1 приведена карта-схема активных сейсмогенерирующих разломов: (66) Кетментюбенский, (67) Кавактоо-Суукдобонский с северным азимутом взбросового типа, (68) Мин-Кушский, (69) Тахталыкский с южным азимутом падения взбросового типа [4, 6, 7]. Моментная магнитуда составляет по длине этих разломов Mw=6.5-7.0. Данные разломы составляют генетическую ассоциацию. При этом по разломам (66) и (67) активные поднятия Кавактоо, Суусамыртоо и Суукдобо надвигаются на впадину Минкуш-Кокомерен-Камбарата в южном направлении. По разломам (68) и (69) активные поднятия Молдотоо, Тахталык, Ортотоо надвигаются на эти же впадины в северном направлении. Соответственно, впадина Минкуш-Кокомерен-Камбарата имеет конвергентное строение. Данная генетическая ассоциация разломов представляет собой зону ВОЗ другого класса «В» (рис. 2) в отличие от зоны ВОЗ класса «А» отдельного активного разлома. Области очагов землетрясений зоны ВОЗ класса «В» находятся в пределах конвергентной впадины. В пределах зоны ВОЗ класса отмечены эпицентры сильных палеоземлетрясений (рис. 3), выраженные скальными оползнями: (9) Восточный, (8) Западный Минкуш, (6) Южный, (7) Северный Ак-Коль, (5) Айык-Коль, (4) Куча, (3) Суук-Добо, и сейсмогенными разломами в виде сейсмовыступов: в районах (2) восточнее ГЭС1, (1) северо-западнее ГЭС2.



Рисунок 1 – Карта-схема активных разломов (66) Кетментюбенский, (67) Кавактоо-Суукдобонский с северным азимутом взбросового типа, (68) Мин-Кушский, (69) Тахталыкский, составленные на радиолокационной топографической цифровой модели (SRTM)



Рисунок 2 – Карта-схема зоны ВОЗ (штриховка) в пределах генетической ассоциации активных разлом (красная линия) в районах ГЭС2, ГЭС1 (синие звездочки) и месторожения Кара-Кече (черная зведочка)



Рисунок 3 – Карта-схема эпицентров сильных палеоземлетрясений, выраженные скальными оползнями: (9) Восточный, (8) Западный Минкуш, (6) Южный, (7) Северный Ак-Коль, (5) Айыкколь, (4) Куча, (3) Суук-Добо, сейсмогенными разломами в виде сейсмовыступов: в районах (2) восточнее ГЭС1, (1) северо-западнее ГЭС2

Сейсмогенный скальный оползень Южный Ак-Коль (6) образовался на западном левом склоне реки Ак-Коль (рис. 4) [8]. Стенка отрыва имела высоту 300 м, длину 400 м. Оползневая масса распространилась на расстояние 750 м и запрудила русло реки, в результате чего образовалось озеро Ак-Коль.



Рисунок 4 – Сейсмогенный скальный оползень Южный Ак-Куль, проявленный вследствие сильного палеоземлетрясения в зоне активного разлома Мин-Куш

Сейсмогенный скальный оползень Северный Ак-Куль расположен северо-восточнее от сейсмооползня Южный Ак-Куль на расстоянии около 2000 м [8]. Стенка отрыва имеет высоту 600 м, длину около 500 м (рис. 5). Оползневая масса протягивается на расстояние 1000 м. В оползневой массе наблюдается повторный сейсмооползень.



Рисунок 5 – Сейсмогенный скальный оползень Северный Ак-Куль, проявленный вследствие сильного палеоземлетрясения в зоне активного разлома Предмолдотоо

Сейсмогенный скальный оползень Суук-Добо представляет собой один из наиболее крупных в пределах Тянь-Шаня [7, 8], имеет дугообразную форму и стенку отрыва высотой 800 м, длиной около 4000 м (рис. 6). Оползневая масса переместилась на расстояние порядка 1500 м. Северо-западнее от оползня образовался сейсмогенный разлом вдоль северо-восточного склона поднятия Суук-Добо (рис. 6). Длина разлома составляет 2500 м.



Рисунок 6 – Сейсмогенный скальный оползень Суук-Добо, проявленный вследствие сильного палеоземлетрясения в зоне активного разлома Предсуукдобо

Севернее плотины ГЭС Камбарата 2 на расстоянии около 300 м наблюдаются повторяющиеся дважды сейсмогенные разломы взбросо-надвигового характера (рис. 7) [8, 9]. Здесь породы карбона надвинуты на аллювиальные четвертичные отложения.



Рисунок 7 – Сейсмогенный разлом взбросо-надвигового типа в зоне активного разлома Предортоктоо с южным азимутом падении [8, 9]

Сейсмогенный разлом в виде сейсмовыступа вследствие сильного палеоземлетрясения в районе восточнее ГЭС2 представлен на рисунке 8. Амплитуда подвижки составляет около 7 метров, которой соответствует моментная магнитуда Mw=7.6 по широко известной формуле [10].



Рисунок 8 – Сейсмогенный разлом в виде сейсмовыступа вследствие сильного палеоземлетрясения в районе восточнее ГЭС2

Изменения пикового ускорения (PGA) грунта для горизонтальной составляющей сейсмических колебаний при землетрясении с максимальной магнитудой *Mw*=7.6 показано на рисунке 9.



Рисунок 9 – График изменения пикового ускорения (PGA) грунта для горизонтальной составляющей сейсмических колебаний при землетрясении с максимальной магнитудой *Mw*=7.6 **Выводы.** В результате изучения сейсмической опасности районов ГЭС Камбарата 1, 2 и месторождений Мин-Куш, Каракече отмечено нижеследующее:

- 1. В исследуемом регионе развивается генетическая ассоциация активных разломов, генерирующие землетрясения, которая представляет собой зону ВОЗ Минкуш-Кокомерен-Камбарата с моментными магнитудами *Мw*=7.0-7.6. Моментная магнитуда отдельных разломов *Mw*=6.5-7.0.
- 2. По данным скальных оползней и сейсмовыступов сейсмогенных разломов сильных палеоземлетрясений отмечены их эпицентры и вероятные очаги.
- 3. Определено сейсмическое воздействие на грунты с расчетом пикового ускорения PGA для горизонтальной составляющей сейсмических колебаний при землетрясении с максимальной магнитудой *Мw*=7.6.

Литература

- 1. Нерсесов И.Л., Грин В.П., Джанузаков К.Дж. О сейсмическом районировании бассейна реки Нарын / Фрунзе: АН Кирг. ССР. 1960. 177 с.
- 2. Сейсмическое районирование территории СССР: методологические основы и региональное описание карты 1978 г / М.: Наука. 1980. 307 с.
- 3. Карта сейсмического районирования территории Кыргызской Республики с объяснительной запиской / Бишкек: Илим. 1996.
- 4. Абдрахматов К.Е., Бегалиев У.Т., Омуралиев М., Омуралиева А. Сейсмическая опасность населенных пунктов и стратегических сооружений Кыргызской Республики / Бишкек: Триада Принт. 2019. 98 с.
- 5. Омуралиев М., Омуралиева А., Мамбетова Г., Захожая И., Фаузер В. Последовательность сильных землетрясений Тянь-Шаня и ожидаемые события на территории Кыргызстана // Вестник Института сейсмологии НАН КР. 2023. № 2 (22). С. 65-76.
- 6. Омуралиев М. Карта сейсмотектоники Киргизской ССР, Масштаб 1:500 000 / Ташкент: Ташкентская картографическая фабрика, ГУГК. 1988.
- 7. Omuraliev M., Omuralieva A. Late Cenozoic tectonics of the Tian Shan / Kyrgyzstan, Central Asia. Bishkek. 2004. 166 p.
- 8. Отчет по хоздоговорной теме «Составление тектонической карты на участках проложения тоннелей 1, 2, 3, 4 в масштабе 1:25 000-1:50 000 по альтернативной дороге «Север-Юг» участка «Арал-Казарман» с выделением активных разломов и изучением сейсмичности территории» / 2015. 20 с.
- 9. Стром А.Л., Абдрахматов К.Е. Сейсмическая опасность Сонкуль-Нарынской сейсмогенерирующей зоны // Вестник Института сейсмологии НАН КР. 2023. № 2 (22). С. 93-99.
- Wells D.L., Coppersmith K.J. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement // Bull. Seismol. Soc. Am. 1994. Vol. 84. No. 4. P. 974–1002.

УСТОЙЧИВОСТЬ БОРТОВ КАРЬЕРА И РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ИХ ПОДДЕРЖАНИЮ

Новиков К.Г., Пличко С.С. kirillnewest@mail.ru Северо-Восточный государственный университет, г. Магадан, Россия

В работе представлен анализ и решение, повышения безопасности рабочего персонала, укрепления и дальнейшего мониторинга бортов карьера на ГОК "Наталка" Магаданская область. Выявлены основные показатели и зависимости факторов обрушения бортов в том числе влияние низких температур. По мере изучения различных технологий мониторинга, были выявлены преимущества и недостатки основных подходов, таких как визуальный осмотр откосов и бортов, фотограмметрический анализ, маркшейдерский мониторинг, радарный контроль, геофизический анализ, гидрогеологический мониторинг и геотехнический контроль.

Ключевые слова: мониторинг, георешётка, интерферометрия, геоскан, укрепление

Введение. Не возможность контролировать изменчивость горно-геологических условий и их неопределённость, а также движение породного массива ставит необходимость о переходе от детерминированного определения запасов устойчивости к наиболее вероятным методам прогнозирования и дальнейшего устранения потенциального риска техногенной опасности. Использование количественных данных и характеристик необходимо, они позволяют оценивать вероятность зарождения и развития неблагоприятных техногенных событий, и как правило поднимается определённость к возрастающим требованиям и к объективности принимаемых решений при недропользовании.

Разработка месторождений открытым способом на практике подтверждает, что в более прочных породах, в качестве основного устойчивого фактора, влияющего на угол наклона уступа и результирующий угол борта карьера, является структурное строение горного массива, характеризуемое трещиноватостью. Как правило в неустойчивых породах углы откосов, углы на участках между съездами и общий угол борта карьера зависят в основном от прочностных-характеристик породного массива. Не менее важная роль отводится и проведениям мероприятий по взрывным работам на разрабатываемом участке горных работ, что может привести к разупрочнению горных пород вследствие изменения трещиноватости, появления осадочных деформаций, снижения прочностных характеристик по контактам структурных блоков. Расположение горной промышленности в районах тяжёлых климатических условий несёт за собой последствия выветривания пород, уменьшения устойчивости и их прочности.

Следовательно, для безопасного проведения горных работ, необходимо обращать внимание на конкретные участки с потенциальными признаками возможных деформаций (выход тектонических нарушений на контур откосов, повышенная степень трещиноватости пород, наличие зон ослабленных пород и т.д.) отслеживая их состояние и проводить мероприятия по своевременному укреплению и восстановлению опасных участков.

Деформация бортов карьера. Месторождение ведёт постоянный без остановочного режима работ по добыче полезного ископаемого, как результат влияющий на постепенную деформацию бортов и дна карьера. Борта могут становиться выпуклыми, вогнутыми или прямолинейными из-за ряда факторов, делающих расчёты белее сложными и трудно контролируемыми. Безопасность рабочих будет на прямую зависеть от деформированности борта и скорости его разрушения. Заранее определить и устранить причину возникновения

обрушения откоса борта, позволит предотвратить аварии, сделать эксплуатацию объекта более безопасной, а также снизить затраты на возможное восстановление бортов.

Факторы, приводящие к деформации. Борта карьера каждодневно подвергаются внешним воздействиям, в той или иной степени влияющими на трещиноватость, прочность, устойчивость и др. Данные факторы разделяют на 3 группы по типу воздействия:

- 1. Геологические факторы. Данная группа факторов учитывает типы характеристику пород, располагающихся на бортах. Также к геологическим факторам относят состояние и строение откосов. Учитывая информацию, которая была получена при изучении данных факторов, составляют план противодеформационных действий.
- 2. Гидрогеологические факторы. Подземные воды оказывают сильное влияние на почву, поэтому обязательно необходимо учитывать глубину залегания и возможные последствия от контакта с породой. Борта при постоянном контакте с влагой могут деформироваться и разрушаться. Также массивы подвержены суффозии и могут оплывать. Деформация бортов карьеров под воздействием влаги является самой распространенной причиной. Уступы при необходимости нужно дополнительно укреплять. Выявление деформации на начальных этапах под воздействием подземных вод позволит исправить нарушения прежде, чем они станут причиной разрушения бортов.
- 3. Технологические факторы. Так как в карьерах продолжается разработка, то откосы постоянно подвергаются нагрузке их устойчивость к деформации может существенно снизиться. Простое наблюдение показывает, что постоянно происходит разрушение уступов. При неправильной выработке, даже при своевременно проведенных противодеформационных мероприятиях, массив может подвергаться чрезмерной нагрузке и в результате появится деформация и разрушение бортов. Обеспечение правильной выработки в карьере позволит предотвратить нежелательные изменения на уступах.

Виды деформаций. Существует множество видов деформаций массива, негативно влияющих на состояние откоса и могут привести к закрытию карьера до устранения проблемных зон деформации и последующего укрепления уступов. Существует несколько основных типов деформации:

- 1. Осыпи. Под воздействием природных факторов есть риск осыпания горной породы. Данное воздействие часто происходит на массивах, состоящих из пород подверженных выветриванию. Не своевременное увеличение ширины бермы может привести к возрастанию шансов осыпания горных пород;
- Оползни. Смещение грунта по наклонной плоскости, приводит к серьёзным деформациям бортов;
- 3. Оплывины. полоса маломощного слоя почвы (глубиной до 1 *м*) или делювиальных и элювиальных образований, смещенная (оплывшая) под действием силы тяжести вниз по склону вследствие насыщения талыми, дождевыми или грунтовыми водами до грязеподобного состояния. Возникают обычно на ровных незадернованных склонах, на откосах ж.-д. насыпей, а также в местах с близким расположением вод и мягкими горными породами;
- 4. Просадки. Спрессовке пород подвергается почти каждый массив. Если уплотнение грунтов происходило неравномерно, то возможно образование карстовых полостей, которые при сильном давлении сверху могут обрушиться в любой момент;

Причины деформации массивов. Деформации бортов могут возникать не только при внезапных обрушениях, но и при длительных процессах, поэтому не всегда удаётся заметить изменения в структуре массива до появления серьёзных изменений. К наиболее распространённым причинам деформации относятся:

- 1. Малая изученность пород и разрабатываемого участка, из которых происходит деформация бортов;
- 2. Несоответствие сформированных уступов и бортов параметрам, отображающим реальные инженерно-геологические условия;

- 3. Изменение условий при разработке карьера, которые вызваны изменением инженерногеологических, гидрогеологических и физико-механических параметров;
- 4. Несвоевременная корректировка параметров устойчивости массивов к деформации;
- 5. Воздействие тектонических сил (при ведении буровзрывных работ) на борта, которые сопровождаются изменением структуры массива.



Рисунок 1 – Матрица рисков зависимости степени ущерба от глубины: от 0 до 200 м (1), от 201 до 400 м (2), 401 до 600 м (3), от 601 до 800 м (4), от 801 до 1000 м (5)

Так же прослеживается корреляция устойчивости бортов карьера от его глубины, в связи с изменением геомеханических свойств и дополнительного напряжение по мере углубления. Поэтому при долгой эксплуатации месторождений со сложными горногеологическими условиями принимается больше мер по поддержанию безопасности ведения работ на карьере. При дальнейшем увеличении глубины действующего карьера, вопрос устойчивости бортов превращается в проблемы большой экономической значимости (рис 1).

Мониторинг и укрепление. Для контролирования устойчивости участков бортов карьера в локальных зонах, критических и развивающихся деформаций, организуется оперативный мониторинг за горными структурами. В настоящее время существует достаточное количество способов наблюдения за сдвижением пород массива:

 визуальный, обследование состояния откосов и бортов непосредственно прямым зрительным контактом с возможным местом деформации;

- фотограмметрический, анализ фотоматериалов (наземных, воздушных съёмок) за разные промежутки времени и выявление разности геометрии откосов бортов;
- маркшейдерский, выполняется маркшейдерско-геодезическими инструментами (с использованием электронно-оптических приборов, в том числе с наблюдениями по стационарно установленным отражательным призмам (призменный), спутникового оборудования, лазерное сканирование поверхности откоса, а также других инструментов для упрощенного мониторинга за раскрытием трещин или активными деформационными процессами);
- радарный, выполняется с использованием радаров (наземного или аэрокосмического базирования) мониторинга сдвижений со сплошной зоной покрытия области мониторинга;
- геофизический, основан на наблюдении за изменениями физических показателей (скорость распространения упругих волн, элекросопротивление, магнитные поля, ускорение свободного падения и др.) в массиве горных пород.
- гидрогеологический, мониторинг изменения уровней подземных вод, давления воды, а также участков выкачивания подземных вод;
- геотехнический, выполняется по установленным датчикам (инклинометры, экстензометры и др).

Каждый из данных методов имеет своё преимущество в виде точности, скорости или важности для объектов съёмки, где проводятся работы. В случае с Наталкинским ГОКом необходимо иметь более мобильный, быстрый и точный метод мониторинга. В настоящее время ширина карьера 1 км, ширина больше 2-х км, а рабочий горизонт от верхней до нижней точки больше 270 м. Исходя из данных и анализа, на карьерах такого масштаба стоит необходимость использования радаров, в особенности морозостойких, ведь в период с декабрь по февраль температура может достигать -55°С.

Наземный интерферометрический радар-радиолокационный датчик, производящий работу в диапазоне частот 16,6-16,9 ГГц, способен оценивать незначительные деформации выводя данные в 2D-изображение, используя методы дифференциальной интерферометрии, а именно сравнивая съёмки двух разных периодов измерений. Высокая внутренняя точность позволяет использовать его для непрерывного мониторинга крупных природных и инженерных структур и объектов.

Системы наземных радаров осуществляют синтетическую апертуру SAR (движение антенны радара) путем линейного (по рельсе) или кругового передвижения датчика радиолокатора во время передачи сигнала непрерывной волны, модулированной частотой. На основе сырых данных измерений, полученных с помощью соответствующей фокусировки, получают двумерное изображение дальности – азимута.

Повторяя прием в разное время и применяя методы дифференциальной интерферометрии, генерируют двумерные изображения смещения линии визирования. Зная местоположение радара, можно проецировать 2D-радиолокационные изображения на цифровую модель местности (DTM), получая расчетное 3D-представление развития деформационных процессов.

Наземный интерферометрический радар обеспечивает непрерывную картину перемещений всей наблюдаемой площади, которая может достигать сотен тысяч квадратных метров. Радиолокационная система одновременно измеряет смещения всех точек в зоне, освещаемой лучом антенны, с точностью до 0,1 мм. Доступ к объекту не требуется, поскольку дистанционный структурный мониторинг может осуществляться без установки датчиков или визирных целей на поверхности объекта мониторинга.

Преимущества:

- Высокая чувствительность системы к незначительным величинам деформации, большой диапазон измерений;
- Автоматизация процесса измерений;
- Возможность визуализации результатов измерений;

- Высокая скорость радарных измерений;
- Радар может использоваться днём и ночью, а также в любых погодных условиях;
- Обеспечение измерений на больших расстояниях от исследуемого объекта;
- Охват большой площади измерений;
- Работа при критически низких температурах.
- Высокая точность измерений 0,1 мм

Геотехнический радар CHCNAV PS-SAR2000. PS-SAR2000 – принцип работы данного устройства основан на радарной интерферометрии, использующий эффект интерференции электромагнитных волн. Данный метод заключается в формировании так называемой интерферограммы, представляющей собой результат композиции двух радиолокационных изображений, сделанных в разное время с одного и того же участка поверхности.

Радиосигнал с выхода передающей антенны блока излучения излучается в сторону наблюдаемой поверхности, отражается от неё, возвращается в сторону блока излучения и регистрируется приёмной антенной. Измерители построены по принципу радаров с синтезированной апертурой (PCA).

За счёт непрерывного излучения радиосигнала и движения блока излучения в пространстве измеритель регистрирует пространственное положение (снимок) поверхности, в котором присутствует информация о фазе и амплитуде принятого отражённого сигнала относительно исходного излучаемого сигнала.

Основным компонентом измерителя является антенный блок, состоящий из передающей и приёмной антенн, а также позиционирующего устройства. Антенный блок с помощью узла вращения прикреплён через специальный соединитель к основному корпусу измерителя, в котором располагается привод. Основной корпус, через специальный соединитель, устанавливается на опорную часть, предназначенную для монтажа на месте стационарной установки измерителя при проведении измерений. На опорную часть также устанавливается электрический шкаф с разъёмами для подключения кабелей питания и передачи данных, источником бесперебойного питания и шлюзом мобильной сотовой связи.

Управление всеми компонентами, настройка, обработка данных и отображение результатов измерений осуществляется с использованием внешнего персонального компьютера (далее ПК) с помощью программного обеспечения «GB-SAR». Собранные данные сохраняются на ПК и могут передаваться на контрольный пункт. Подключение к компьютеру осуществляется с помощью кабеля или удалённого подключения с применением модема мобильной сотовой связи.

Основное внимание акцентировано на непрерывном мониторинге бортов откосов и уступов, так же система обнаруживает малейшие движения, предшествующие возможному обрушению, и сигналом оповещает о потенциальном риске. Вторая основная функция системы – точное определение границ опасных зон, где возможно разрушение. Все эти функции позволяют выполнять постоянный безопасный мониторинг в цифровой форме и управлять состоянием горного массива.

Метод укрепления. Выбрав метод мониторинга, стоит позаботиться и о укреплении опасных зон откосов, их стабилизации и дальнейшем поддержании, сводя возможные риски к минимуму, тем самым обеспечив безопасную добычу полезного ископаемого, работу без аварийных случаев и образования техногенных инцидентов. Рассмотрим некоторые из возможных методов укрепления бортов карьера (табл. 1).

Большая часть способов укрепления применяется давно и никак не усовершенствовалась в связи с ненадобностью или невозможности модернизации. Поэтому стоит дать дорогу не совсем новому, но постоянно модернизирующемуся, как методу, так и материалу, часто фигурирующему на выставках, конференциях и активно развивающийся на рынке.

Таблица 1 – Методы укрепления

Метод	Принцип работы	Особенности		
Способ засоления	Нагнетание соляного раствора через скважину, он в свою очередь вступает в химическую реакцию горными породами и увеличивает связность с ними.	После засоления бортов их прочность может увеличится до 26%. Способ применим только к небольшим объёмам горных пород подлежащих закреплению.		
Укрепление контрфорсом	Укрепление оползнеопасных участков с помощью подпорных стенок с породной пригрузкой.	Способ позволяет поддерживать оползневые участки, а также даёт возможность выкручивать угол откоса борта на 5-7°. Данный способ не эффективен для предотвращения деформаций и обрушений бортов.		
Укреплений железобетонной сваей	В массиве горных пород пробуривается скважина, устанавливается металлическая арматура (жёсткая, гибкая и др.), подготавливается к бетонированию или цементированию, набивки скважины раствором или бетоном. В качестве наполнителя используется щебень ≤40мм.	Возможность проведения иску3ственного укрепления бортов, сложенных песчаниками и алевролитами и подверженным оползневым явлениям		
Геосинтетики	Вдоль нижней бровки уступа роется дренаж, после накладывается слой геосинтетика крепящийся анкером, выполненным из композитного стеклопластика. Пластиковый анкер ударопрочен и способен выдерживать низкие температуры, а также постоянные колебания, вызванные движением тяжёлой техники.	Пригодны для работы в тех условиях, где требуется не только значительная прочность, но и долговечность, которая как полимерам присуща им изначально. Экономичность. Теряется прочность под воздействием органических растворителей, высоких температур от 70°С		

Геосинтетики – это общее название креплений, туда входят геотекстиль, геомембраны и георешётки, состоят они, как правило из синтетических материалов, а также другого сырья (минерального, стекло или базальтового волокна и др.). Эти материалы обладают высокой прочностью, устойчивостью к коррозии и химическим воздействиям, а также способностью препятствовать проникновению воды и грунта.

Геосинтетик универсален, и применение его на предприятии, может уменьшить время и шансы разрушение бортов. Армирование геосинтетиком работает как внутри грунтового массива, так и в комбинации с грунтом, образуя композит с улучшенными прочностными и деформационными свойствами по сравнению с неармированным грунтом. Геосинтетик является универсальным фильтрующим слоем для системы армирования, потому что он не имеет недостатков фракционированного песка и каменного заполнителя. Во-первых, он изготовлен с учётом конкретных гидравлических свойств почвы, которая нуждается в защите. Во-вторых, он может с лёгкостью устанавливаться на любых склонах и даже под водой. В основе укрепления и дальнейшего поддержания будет входить два вида геосинтетика:

- Георешётка состоящая из полиуретановых лент, сваренных между собой при помощи лазера, в сумме зависимости количества лент имеет большую прочность, которая предоставляет устойчивый каркас в горизонтальном и в вертикальном направлении. При помощи георещётки фиксируются различные наполнители, грунт, щебень, кварцевый песок и др. За счёт высоты своих стенок может удерживать крупнозернистый материал.
- Геомембрана, являющаяся изолирующим материалом способным выдерживать критически низкие температуры, состоящей из сплошного полимерного листа. Текстурированная поверхность обеспечивает лучшее сцепление с основанием. Данное полотно в связи с повышенным коэффициентом трения, имеет возможность использовать при крутых откосах как на бортах разрабатываемых карьеров.

Первым действием укрепления, после ряда стабилизирующих мероприятий будет наложение георешётки с последующим его креплением к основанию откоса по средством анкерного заложения до частичного заполнения прямоугольников пустой породой под действием собственного веса. Сразу после заполнения ячеек, часть низко влияющих на монолитность конструкции анкера, можно доставать и повторно использовать для новых критически неустойчивых мест на карьере.

При креплении георешётки, стандартом материала из которого изготавливают анкеры, принято считать арматуру, т. к. она имеет большую прочность и вес для крепления на сложных грунтах, но в перспективе проекта стоит альтернатива металлическим анкерам в виде композитного стеклопластика. Т-образный анкер изготавливается из экологически чистых материалов на основе полипропилена. В отличие от металлических аналогов, полимерные анкеры обладают меньшей прочностью, но благодаря передовым технологиям производства, их стоимость относительно невысока. Еще одним преимуществом является их небольшой вес: при том же объеме композитный материал оказывается в 3.8 раза легче стальных анкеров. Использование анкеров для крепления георешетки преимущественно актуально на сложных грунтах с большим откосом борта (рис. 2). Из-за высокой температурной стойкости полимера, за основу будет взят анкер длиной 1 м для лучшего фиксирования в зимнее время.

Геомембрана будет использоваться для гидроизоляции мест укреплённой георешёткой, что создаст надёжный коллаборационный прочный пласт для проведения дальнейших вскрышных и добычных работ на территории карьера без задержек и потери драгоценного времени.



Рисунок 2 – Способ крепления георешётки на неустойчивы борт

Месторождение Наталка. Месторождение Наталка расположено в Тенькинском районе Магаданской области, в бассейне р. Омчак. Географические координаты месторождения 61°39' северной широты и 147°48' восточной долготы (планшет P-55-92); магнитное склонение западное – 11°25′. В настоящее время на карьере основным полезным ископаемым является золота, его добыча и обогащение. Отработка месторождения производится отрытым способом, т.к. он более эффективен и производителен. Средняя глубина составляет более 650 м, что может привести к очень высоким степеням ущерба (Рисунок 1). Углы откосов бортов карьера установлены с учетом физико-механических свойств вмещающих пород и руд, геологических и горнотехнических условий эксплуатации месторождения, определяющих устойчивость горных пород в откосах. Расчетные углы наклона бортов составили 41°- 42,5°. Конструктивные углы наклона бортов с учетом размещения транспортных берм составили: северо-восточный борт – 38°-40°; юго-западный борт-32°-40°; торцевые участки - 24°-27°, что отвечает нормам. Приведённые выше методы применяются в половине случаев за исключением геосинтетика, в настоящее время его можно применять только на небольших глубинах и откосах бортов не более 30 ° (рис. 2). Даже при таком ограничении виден его потенциал и скорая реализация на карьерах мирового уровня.

Заключение. Карьер не может постоянно находиться на одном и том же уровне технического поддержания, порой возникают внешние факторы, просто обязывающие что-то менять либо полностью отказываться от применяемого способа разработки в угоду большей экономической значимости в будущем. Но на первых этапах модернизации и переоснащения всегда будут идти устойчивое траты и потери на оборудование, зато после, последует экономический скачок, ставящий прошлые проблемы замены технологии или переобучения работников на новую технику меньшей малой монетой.

В нынешних реалиях России, как никогда выгодно поднимать уровень отношений с Китаем. Исследования и технологии, производимые в восточной стране, помогают нам идти в ногу со всеми мировыми предприятиями или даже обгоняя их в некоторых аспектах разработки месторождений. Интерферометрический радар является как раз одной из таких технологий, предоставляемых и активно спонсирующийся на рынке. Процесс развития не стоит на месте и уже сейчас создаются аналоги, не уступающие в работоспособности нынешней технике, но в некоторых факторах они могу даже быть выше.

Россия же предлагает иные пути развития и поддержания технологии такой, как геосинтетика, рассматривая в ней ключевые пути поддержания и решения проблемы глобальных потеплений, техногенных и прочих катаклизмов. Создание дешёвого, надёжного и крепкого материала для предприятий и тех многих возможностей ещё не открытых на сегодняшний день.

Литература

- 1. Проектная документация «План развития горных работ на 2023 на месторождении «Наталкинское» (23 02 03 001 00). «АО Полюс Золото». 2022.
- 2. Чтобы не рассыпаться в извинениях: укрепление бортов карьера // Добывающая промышленность. 2023. №1 (37) С. 50–58. URL: <u>https://www.texpolimer.ru/publications/articles/chtoby-ne-rassypatsya-v-izvineniyah-ukreplenie-bortov-karera/atsya-v-izvineniyah-ukreplenie-bortov-karera/</u> (дата обращения: 05.01.2024).
- 3. Сорока А.В., Куаныш А.С. Обеспечение устойчивости бортов карьера по геомеханической модели месторождения // Молодой ученый. 2020. № 15 (305). С. 147–149. <u>https://moluch.ru/archive/305/68659/(д</u>ата обращения: 05.01.2024).
- 4. Букин И.Ю. Устойчивость бортов карьера / Ленинград. Санкт-Петербургский государственный горный институт. 1976. 97 с.
- 5. Закон Российской Федерации "О промышленной безопасности опасных производственных объектов" от 21.07.1997 № 116-ФЗ / Официальный интернет-портал правовой информации РФ. 2023. URL: <u>http://publication.pravo.gov.ru/</u>

СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОВТОРНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВОВ В ПРЕДЕЛАХ КУМТОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Омурбек кызы К., Омуралиев М., Омуралиева А. kanyshaj.omurbekkyzy@bk.ru, mederbek@mail.ru, omuraika@mail.ru Институт сейсмологии НАН КР, г. Бишкек, Кыргызстан

Изложены результаты исследований сейсмических воздействий на природные и техногенные "Центральный", Горнорудный комбинат, объекты (карьер жилмассив, отвалы, хвостохранилище, трубопроводы, дороги, ледники хребта Акшыйрак, озеро Петрова и др.) в пределах Кумторского месторождения при постоянном увеличении плошади добычи. В качестве параметров сейсмических воздействий рассмотрены результаты слежения последовательности повторных взрывов, их скорости Vs (км/сек), сейсмическая сила F (H), средняя подвижка в массиве горных пород D (см), угловая частота спектра поперечных волн f_o (Ги), период сейсмических волн $T=1/f_o$ (сек), спектральная плотность Ω_o (мк/сек), максимальное ускорение поперечных волн $\Omega_0 f_0^2$ (мк/сек²) в пределах Центрального карьера, жесткость горных пород µ (дин/см.²). Результаты могут быть использованы для оценки сейсмического риска расширяющихся объектов горнорудного комбината вследствие повторных промышленных взрывов.

Ключевые слова: повторный промышленный взрыв, объект горнорудного комбината, сейсмическое воздействие взрывов, скорость поперечных S волн, сейсмическая сила промышленных взрывов, угловая частота, средняя подвижка, спектральная плотность, жесткость.

Введение. Оценка сейсмического воздействия повторных промышленных взрывов является одной из наиболее важных проблем при постоянном увеличении площади добычи и разработке полезных ископаемых открытым взрывным способом. Это делает необходимым проведение мониторинговых исследований сейсмических волн от карьерных взрывов, а также уточнение зональности сейсмического воздействия, при выборе параметров взрывной технологии для конкретных условий. Известен негативный эффект сейсмического воздействия взрывов на биообъекты, на здания и конструкции. Внезапные колебания почвы или сотрясения вызывают у людей дискомфорт даже при относительно слабых амплитудах сейсмических волн. Следует отметить, что динамика сейсмических воздействий изменяется во времени и в пространстве. Для сохранения природной среды, здоровья людей, целостности охраняемых объектов необходимо целенаправленное, комплексное изучение процессов, связанных с техногенным воздействием открытых горных работ на окружающую среду и человека.

Имеются опыты изучения сейсмических волн ядерных взрывов на Семипалатинском полигоне [1, 2, 3, 4], а также крупномасштабного Камбаратинского взрыва [5, 6], регистрируемых, в частности, сетью сейсмических станций Кыргызстана. При изучении Агалатасских взрывов (на южном склоне Киндыктасского хребта), повторно произведенных через сутки и более, анализировалось изменение амплитуд продольных и поперечных волн (A_p , A_s , A_s/A_p) по направлениям к сейсмическим станциям Ананьево, Боом, Карагай-Булак, Ала-Арча и другие [7, 8]. Исследованы сейсмические волны повторных промышленных взрывов на месторождении Кумтор [9, 10, 11, 12].

Уникальное золоторудное месторождение «Кумтор», расположенное на северном склоне Акшийракского хребта было открыто в 1978 году, строительство рудника длилось 4 года (1993-1997 гг.), и вот уже более 25 лет разрабатывается открытым взрывным способом. Сейсмические волны от взрывов регистрируются четырьмя ближайшими цифровыми

сейсмическими станциями: «Каракол» (PRZ), «Каджисай» (KDJ), «Ананьево» и «Тарагай» (TARG).

Данные и их анализ. Исходным материалом в работе служит бюллетени взрывов за июнь-декабрь 2023 год Института сейсмологии НАН КР, составленные Центром обработки данных по данным цифровых сейсмических станций сетей KNET, KRNET, а также станций Казахстана и Китая, и станции «Тарагай» (TARG) Центрально-Азиатского института прикладных исследований Земли (ЦАИИЗ) на основе методик обработки Мировых сейсмологических центров.

Район исследования находится в квадрате φ =40,502°-43,047°, λ =76,951°-79,430° с центром карьера φ =41,85°, λ =78,20° месторождения Кумтор (рис. 1). Сейсмическая энергия взрывов колеблется от 2.4×10⁴ Дж до 1.9×10⁶ Дж, *K*=4,4-6,3. Магнитуда их составляет MPV=1.6-2.8.

По параметрам сейсмических волн Центром обработки данных ИС НАН КР дифференцировались (разделялись) землетрясения и взрывы. Для проведения исследования выбраны только взрывы в пределах координат φ =41.79-41.87°N, λ =78.17-78.28°E. Объектами сейсмических воздействий в пределах Кумторского месторождения являются: карьер "Центральный", отвалы, ледники хребта Акшыйрак, Горнорудный комбинат, жилмассив, хвостохранилище, озеро Петрова, трубопроводы, дороги и др.



Рисунок 1 – Схема расположения места повторных взрывов и цифровых сейсмических станций за июнь-декабрь 2023 г. Место промышленного взрыва «Центральный карьер» (обозначено звёздочкой), хвостохранилище (оранжевый квадрат), озеро Петрова (выделено синем кругом), цифровые сейсмостанции: Каджисай (KDJ), Каракол (PRZ), Ананьева (ANVS) (обозначены черными треугольниками), цифровая сейсмическая станция Тарагай (TARG) (обозначена желтым треугольником)

По мере поступления в центр ИС НАН КР в реальном времени записей цифровых станций с июня 2023 г. получены карточки (бюллетени) повторных взрывов на месторождении Кумтор, составлялись годографы и определялись скорости (V_p , V_s , км/сек) объемных сейсмических P и S волн, одновременно выделялись максимальные амплитуды (A, см) колебаний и соответствующие периоды (T, сек) на каждой станции. На рисунке 2 в качестве примера приведен график изменения скорости поперечных V_s волн от 3,3 до 3,8 км/сек по

данным сетей (четырех) цифровых сейсмических станций за июнь-декабрь 2023 г. Здесь отмечается иерархия сейсмических циклов, например, третьего, второго и первого порядков. Среднее значение скорости поперечных волн составляет – 3,53 км/сек, максимальное значение – 3,83, минимальное значение – 3,34 км/сек.



Рисунок 2 – График изменения скорости поперечных V_s (км/сек) волн по данным цифровых сейсмических станций за июнь-декабрь 2023 г. Цикл третьего порядка (обозначен точечной линией), цикл второго порядка (обозначен сплошной линией), цикл первого порядка (обозначен сплошной линие), цикл первого порядка (обозначен сплошной линие), цикл первого п

Сейсмическая сила F (H) является важной характеристикой сейсмического воздействия промышленных взрывов в пределах месторождения Кумтор в квадрате φ =40,502°-43,047°, λ =76,951°-79,430° за июнь-декабрь 2023 г. (рис. 3). Среднее значение сейсмической силы взрывов на эпицентральном расстоянии 100 м составило 1491 H, максимальное значение – 77624 H, минимальное значение \approx 1 H.



Рисунок 3 – График изменения сейсмической силы F (H) повторных промышленных взрывов на эпицентральном расстоянии 100 м за июнь-декабрь 2023 г

На рисунке 4 приведён график последовательности средних подвижек в массиве горных пород *D* (мк) при повторных промышленных взрывах на Центральном карьере за июнь-декабрь 2023 г. Максимальное значение подвижек составило 37 мк, среднее значение подвижек – 4 мк, минимальное значение – 0,1 мк.



Рисунок 4 – График последовательности средних подвижек в массиве горных пород *D* (мк) при повторных промышленных взрывах за июнь-декабрь 2023 г

Важным параметром сейсмического воздействия является угловая частота f_o (Гц), определяемая по спектрам поперечных сейсмических волн промышленных взрывов. Она представляет собой резонансную частоту. На рисунке 5 приведена последовательность угловых частот поперечных волн. Максимальное значение угловых – резонансных частот составило 9,5 Гц, среднее значение подвижек – 5,9 Гц, минимальное значение – 4,3 Гц.



Рисунок 5 – График угловой частоты спектра f_o (Гц) поперечных волн повторных промышленных взрывов за июнь-декабрь 2023 г

На рисунке 6 показан график спектральной плотности Ω_o (мк/сек) поперечных волн повторных промышленных взрывов на Центральном карьере за июнь-декабрь 2023 г. Следует отметить, что спектральная плотность Ω_o (мк/сек) представляет собой скорость смещения. Максимальное значение Ω_o составило около 0,0001 мк/сек.



Рисунок 6 – График спектральной плотности Ω_o (мк/сек.) поперечных волн повторных промышленных взрывов за июнь-декабрь 2023 г

На рисунке 7 приведен график изменения максимального ускорения (мк/сек²) колебаний поперечных волн повторных промышленных взрывов. Максимальное значение его составило 0,01 мк/сек².



Рисунок 7 – График максимального ускорения колебаний $\Omega_o f_o^2$ (мк/сек²) поперечных волн повторных промышленных взрывов за июнь-декабрь 2023 г

На основании данных скорости поперечных волн и плотности горных пород оценена жесткость среды земной коры. На графике вариации значений жесткости (рис. 8) выделяется иерархия сейсмических циклов. Значения жесткости изменяются в пределах $3.3-4.4 \times 10^{11}$ дин/см². Среднее значение равно $\mu=3.7 \times 10^{11}$ дин/см².



Рисунок 8 – График жесткости модуля сдвига μ (дин/см²) горных пород повторных промышленных взрывов за июнь-декабрь 2023 г

Заключение. Исследованы сейсмические воздействия на природные и техногенные объекты (карьер "Центральный", Горнорудный комбинат, жилмассив, отвалы, хвостохранилище, трубопроводы, дороги, ледники хребта Акшыйрак, озеро Петрова и др.) в пределах Кумторского месторождения при постепенном увеличении площади добычи посредством повторных промышленных взрывов.

В качестве параметров сейсмических воздействий рассмотрены результаты слежения последовательности повторных взрывов, их скорости V_s (км/сек), сейсмической силы F (H), средней подвижки в массиве горных пород D (см), угловой частоты спектра поперечных волн f_o (Γ ц), период сейсмических волн $T=1/f_o$ (сек), спектральной плотности Ω_o (мк/сек), максимального ускорения поперечных волн $\Omega_o f_o^2$ (мк/сек²), жесткость горных пород μ (дин/см²) в пределах Кумторского месторождения.

Результаты могут быть использованы для оценки сейсмической уязвимости, сейсмического риска объектов горнорудного комбината, расположенных в зоне влияния взрывных работ, при постоянном увеличении площади добычи и количества повторных промышленных взрывов.

Литература

- 1. Гриб Н.Н., Гриб Г.В., Сясько А.А., Качаев А.В., Сейсмическое воздействие массовых взрывов на природно-технические объекты // Безопастность в техносфере. 2015. № 2. С. 33-39. DOI: 10.12737/11331. URL: <u>https://znanium.ru/read?id=116627&pagenum=34</u> (дата обращения 01.01.2024)
- 2. Адушкин В.В., Ан В.А., Каазик П.Б., Овчинников В.М. О динамических процессах во внутренних геосферах Земли по временам пробега сейсмических волн // Доклад РАН. 2001. Т. 381. № 6. С. 822-824.

- 3. Гамбурцева Н.Г., Люкэ Е.И., Николаевский В.Н. и др. Периодические вариации параметров сейсмических волн при просвечивании литосферы мощными взрывами // ДАН СССР. 1982. Т. 266. № 6. С. 1349-1353.
- 4. Гамбурцева Н.Г. Временная изменчивость скоростных свойств среды по данным Семипалатинских ядерных взрывов // Земная кора и верхняя мантия Тянь-Шаня в связи с геодинамикой и сейсмичностью. Бишкек: Илим. 2006. С. 94-104.
- 5. Омуралиев М., Омуралиева А. Явление скачкообразного изменения строения литосферы во время и после крупномасштабного взрыва / Кыргызпатент. 2011. №1616.
- Куликов В.И., Эткин М.Б., Камчыбеков М.П. Сейсмическое действие Камбаратинского взрыва // Динамические процессы в геосферах. Сборник научных трудов ИДГ РАН. М.: ГЕОС. 2013. Вып 4. С. 126-137.
- 7. Меджитова З.А. Временные вариации параметров сейсмических волн от промышленных взрывов // Земная кора и верхняя мантия Тянь-Шаня в связи с геодинамикой и сейсмичностью. Бишкек: Илим. 2006. С. 81-87.
- 8. Омуралиев М. Гармонический анализ параметров сейсмических волн от промышленных взрывов // Земная кора и верхняя мантия Тянь-Шаня в связи с геодинамикой и сейсмичностью. Бишкек: Илим. 2006. С. 88-94.
- 9. Омуралиева А., Омуралиев М. Кумторские взрывы и изменение состояния среды земной коры и верхней мантии в реальное время // Известия ВУЗов. 2012. № 6. С. 70–77.
- Омуралиев М., Омуралиева А., Омурбек кызы К. Изменение состояния среды земной коры в реальное время вблизи Кумторских взрывов // Вестник Института сейсмологии НАН КР. 2016. № 7. С. 76–86. URL: <u>http://www.journal.seismo.kg/index.php/arkhiv/zhurnal-2016-1-7</u>. (дата обращения 01.01.2024)
- Омурбек кызы Канышай, Омуралиев М. Анализ бюллетеней промышленных взрывов на месторождении «Кумтор», Кыргызстан // Российский сейсмологический журнал. 2020. Т
 № 3. С. 83-99. DOI: 10.35540/2686-7907.2020.4.08. URL: <u>https://doi.org/10.35540/2686-7907.2020.4.08</u> (дата обращения 01.01.2024)
- 12. Омурбек кызы Канышай, Омуралиева А., Омуралиев М. Мониторинг сейсмических волн взрывов на месторождении Кумтор за 2019 г. // Вестник Института сейсмологии НАН КР. 2020. № 1 (15). С. 33-49.

КОМПЛЕКСНОЕ ИЗУЧЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ НА ПРИМЕРЕ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ

Павленко В.А. pavlenko.vasily@gmail.com Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия

В работе представлены результаты изучения сейсмической опасности Байкальской рифтовой зоны, одного из наиболее сейсмоактивных регионов России. Использован каталог землетрясений Байкальского филиала Единой Геофизической Службы РАН за весь период инструментальных наблюдений. Построены оценки параметров повторяемости диффузной сейсмичности с учётом их пространственной неоднородности. Для оценки сейсмических эффектов использовано региональное уравнение прогноза движений грунта, созданное на основе стохастического моделирования записей местных землетрясений. Выполнен вероятностный анализ сейсмической опасности по методу Корнелла-МакГуайра и построены карты сейсмической опасности в пиковых ускорениях и баллах интенсивности шкалы MSK-64 для периодов повторяемости 475, 975 и 4975 лет.

Ключевые слова: анализ сейсмической опасности, уравнение прогноза движений грунта, Байкальская рифтовая зона.

Введение. Байкальская рифтовая зона – регион высокой сейсмической активности на территории Российской Федерации. В то же время, это регион с достаточно высокой плотностью населения, в котором расположены крупные города: Иркутск, Улан-Удэ, Северобайкальск. Здесь проходят крупные транспортные магистрали, строится 2-я ветка Северомуйского тоннеля на трассе БАМ. Этим обусловлена необходимость построения надёжных и корректных оценок сейсмической опасности в регионе.

Анализ сейсмической опасности – одна из важнейших задач современной сейсмологии. Цель такого анализа – оценить амплитуды колебаний возможных в будущем землетрясений для нужд сейсмостойкого строительства. Существует два основных подхода к анализу сейсмической опасности – детерминированный и вероятностный. В рамках детерминированного подхода оцениваются воздействия при наихудшем сценарии развития событий. В рамках вероятностного подхода учитываются вклады всех возможных сценарных землетрясений в окрестностях объекта, и сейсмическая опасность характеризуется амплитудой колебаний поверхности, превышение которой возможно с заданной вероятностью в течение заданного интервала времени.

Для построения оценок сейсмической опасности необходимо с одной стороны описать модель очагов землетрясений в исследуемой области, с другой – задать модель, связывающую проявление сейсмического эффекта на поверхности грунта с параметрами сценарного землетрясения (магнитудой, расстоянием от очага). В настоящей работе выполнен вероятностный анализ сейсмической опасности Байкальской рифтовой зоны. По каталогу землетрясений Байкальского филиала Единой геофизической службы РАН оценены параметры сейсмического режима. Для оценки сейсмических эффектов использовано уравнение прогноза движений грунта (УПДГ), созданное методами стохастической опасности в пиковых ускорениях и в баллах интенсивности шкалы MSK-64.

Метод и данные. Одной из важнейших характеристик сейсмического режима территории является частота возникновения землетрясений разной силы. В сейсмологии наиболее широко известен закон Гутенберга-Рихтера [1], описывающий зависимость частоты землетрясений от магнитуды:

$$\log_{10}(N) = a - bM , \qquad (1)$$

где N – число землетрясений с магнитудой $m \ge M$, a – параметр, характеризующий сейсмическую активность, b – наклон графика повторяемости землетрясений.

Определение значений параметров *a* и *b* существенно осложняется тем, что график повторяемости землетрясений соответствует теоретической зависимости (1) лишь на ограниченном интервале значений магнитуды. Выраженный излом кумулятивного графика повторяемости в области малых магнитуд обычно связывают с неполной регистрацией слабых землетрясений [2, 3].

Магнитуда представительной регистрации M_c – это минимальная магнитуда, для которой землетрясения в заданной области регистрируются в полном объёме. Параметры закона повторяемости оцениваются по представительным данным регионального каталога землетрясений, например с помощью метода максимального правдоподобия [4, 5]:

$$\hat{b} = 1/[\ln(10) \times (\bar{M} - M_c + \Delta M/2)],$$
 (2)

где \overline{M} – среднее выборочное значение магнитуды при $m \ge M_c$, ΔM – интервал группировки магнитуды,

$$\hat{a} = \log_{10}(N) + \hat{b}M_c$$
, (3)

где N – число событий с магнитудами $m \ge M_c$.

Магнитуда представительной регистрации M_c изменяется со временем в подавляющем большинстве каталогов [3]. Поэтому первым этапом анализа, протяжённого по времени каталога, становится построение графика временного хода M_c . Выделив по графику $M_c(T)$ периоды равномерной регистрации, для каждого из них по формулам (2), (3) можно оценить значения параметров закона Гутенберга-Рихтера. Для того, чтобы получить долговременную характеристику сейсмического режима, необходимо скомбинировать оценки параметров, полученные для отдельных периодов с переменным уровнем регистрации. Используя результаты [6], оценку *b*-value для каталога в целом можно рассчитать по формуле:

$$\hat{b}_T = \left(\frac{r_1}{\hat{b}_1} + \frac{r_2}{\hat{b}_2} + \dots + \frac{r_s}{\hat{b}_s}\right)$$

где $r_i = \frac{n_i}{n}$, n_i – число событий с магнитудами $m \ge M_c^i$ для *i*-го интервала, $n = \sum_i n_i$, \hat{b}_i –

оценка *b*-value для *i*-го интервала.

Значение кумулятивной частоты возникновения землетрясений с магнитудами $m \ge M$ рассчитывается по формуле:

$$\hat{\lambda}_{M} = \frac{n}{\sum_{i}^{s} t_{i} \times 10^{-\hat{b}_{T}\left(M_{c}^{i}-M\right)}}$$

где t_i – длительность *i*-го интервала.

Оценки сейсмических воздействий в пунктах наблюдения. Для оценки сейсмических воздействий в заданном пункте применяются так называемые уравнения прогноза движений грунта (УПДГ). Это эмпирические уравнения, которые создаются методами регрессии на основе региональной базы данных по сильным движениям. В тех случаях, когда объёма имеющейся базы данных оказывается недостаточно для создания регионального УПДГ, для оценки сейсмических воздействий могут быть заимствованы УПДГ из регионов со сходными сейсмотектоническими свойствами. Кроме того, метод стохастического моделирования записей местных землетрясений [7] позволяет оценить характеристики излучения и распространения сейсмических волн в регионе и создать на основе этих оценок синтетические акселерограммы землетрясений в широком диапазоне магнитуд и расстояний от источника. На основе созданного массива синтетических

акселерограмм было построено УПДГ для Байкальской рифтовой зоны [8]. Уравнение имеет следующий вид:

$$\ln(y) = f_1(m_W) + f_2(r_{JB}, m_W) + \varepsilon\sigma$$
(4)

где y – значение пикового ускорения в долях g, либо пиковой скорости в см/с, функции f_1 и f_2 описывают зависимость $\ln(y)$ от магнитуды и расстояния, т.е. эффекты очага и пути распространения сейсмических волн, m_w – моментная магнитуда, r_{JB} – расстояние Джойнера-Бура (кратчайшее расстояние от точки до проекции разломной плоскости на поверхность Земли), ε – невязка уравнения, отражающая разброс наблюдаемых значений $\ln(y)$ относительно оценок регрессионной модели, σ – стандартное отклонение распределения невязки.

В уравнении (4) отсутствует функция, отвечающая за локальные эффекты, поскольку уравнение построено по записям станций «Северомуйск» и «Улан-Удэ», расположенных на скальном грунте, и характеризует сейсмические эффекты на скале.

$$f_1(m_W) = e_1 + \begin{cases} e_2(m_W - m_h) + e_3(m_W - m_h)^2, m_W \le m_h, \\ e_4(m_W - m_h), m_W > m_h, \end{cases}$$

где $e_1 - e_4$ – параметры регрессии, m_h – магнитуда, при которой происходит переход от квадратичной зависимости амплитудных факторов к линейной.

$$f_2(r_{JB}, m_W) = [c_1 + c_2(m_W - m_{ref})]\ln(r_h / r_{ref}) + c_3(r_h / r_{ref}),$$

где r_h – параметр, отвечающий за насыщение амплитуд в ближней зоне; c_1 – параметр, характеризующий геометрическое расхождение; c_2 – параметр, описывающий убывание значений $\ln(y)$ с расстоянием в зависимости от магнитуды; c_3 – параметр, отвечающий за неупругое поглощение волн в среде; m_{ref} , r_{ref} – референтные значения магнитуды и расстояния.

Расчёт вероятностных оценок сейсмической опасности. В рамках вероятностного анализа сейсмической опасности (ВАСО) в каждом пункте исследуемой области оценивается амплитуда сейсмического воздействия, для которой вероятность превышения в течение заданного интервала времени имеет заданную величину [9]. В расчётах учитываются вклады всех возможных очагов землетрясений в окрестности пункта. Частота, с которой некоторая амплитудная характеристика колебаний поверхности y превышает заданный порог a_0 рассчитывается с помощью уравнения:

$$\lambda(a_0) = \sum_i \lambda_i \iint P[y \ge \ln(a_0) \mid m, r] f_{M_i}(m) f_{R_i}(r) dm dr , \qquad (5)$$

где $\lambda(a_0)$ – годовая частота превышения порога a_0 в заданном пункте; суммирование ведётся по всем очагам землетрясений в окрестностях пункта; λ_i – средняя частота землетрясений для *i*-го очага, способных вызывать значимые сейсмические эффекты в заданном пункте; $P[y \ge \ln(a_0) | m, r]$ – условная вероятность превышения параметром *y* значения a_0 на расстоянии *r* от очага землетрясения с магнитудой *m*; $f_{M_i}(m)$ и $f_{R_i}(r)$ – функции плотности вероятности распределения магнитуды и расстояния от источника до приёмника для *i*-го очага.

Условная вероятность $P[y \ge \ln(a_0) | m, r]$ рассчитывается с помощью уравнения прогноза движений грунта (УПДГ) – эмпирической модели, связывающей проявление сейсмического эффекта с параметрами сценарного землетрясения. По заданной паре значений m, r с помощью выбранного УПДГ оцениваются параметры μ и σ – медианное значение и стандартное отклонение y. Предполагается, что при заданных m и r параметр y имеет логнормальное распределение. Тогда условную вероятность превышения можно рассчитать по формуле:

$$P[y \ge \ln(a_0) \mid m, r] = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \int_{a_0}^{\infty} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx$$
При условии справедливости закона Гутенберга-Рихтера, магнитуда землетрясения подчиняется экспоненциальному распределению и имеет функцию плотности вероятности вида:

$$f_{M}(m) = b \ln(10) \times 10^{-b(m-M_{c})}, m \ge M_{c}$$

Плотность $f_R(r)$ определяется исходя из предположений о характере пространственного распределения эпицентров в пределах сейсмогенерирующих структур.

Таким образом, определив все компоненты уравнения (5) можно рассчитать величину $\lambda(a_0)$ в заданном пункте. Эти вычисления выполняются для некоторого диапазона значений a_0 . Далее, в предположении о Пуассоновском характере распределения главных землетрясений по времени, строится график сейсмической опасности:

$$P(y \ge a_0, T) = 1 - \exp[-\lambda(a_0)T]$$

здесь $P(y \ge a_0, T)$ – вероятность превышения параметром *у* величины a_0 в течение заданного интервала времени *T*.

Сейсмическая опасность характеризуется таким значением a_0 , для которого вероятность превышения равна заданному значению. Для массовой застройки стандартными являются значения P = 0.1, T = 50 лет, что соответствует среднему периоду повторяемости воздействий 475 лет, это отвечает нормативной карте OCP-A. Взяв в качестве значений вероятности P 0.05 и 0.01, получим периоды повторяемости 975 лет (карта OCP-B) и 4975 лет (карта OCP-C), соответственно.

Каталог землетрясений. Региональный инструментальный каталог землетрясений размещён на сайте Байкальского филиала (<u>http://seis-bykl.ru/</u>) Единой Геофизической Службы РАН. Период инструментальных наблюдений в регионе начался в 1960 г. Каталог содержит 18278 событий в диапазоне энергетических классов K от 8.6 до 17. Эти значения были преобразованы к значениям магнитуды по формуле Раутиан:

$$K = 4 + 1.8M, \quad K \le 14$$

$$K = 8 + 1.1M, \quad K > 14$$

Пространственное распределение эпицентров этих землетрясений показано на рисунке 1.



Рисунок 1 – Пространственное распределение эпицентров землетрясений по каталогу. Эпицентры (показаны серыми точками), сейсмоактивные разломы (обозначены чёрными линиями)

Результаты и обсуждение. Построен график временного хода магнитуды представительной регистрации M_c (рис 2), выделены два периода, отличающихся по уровню регистрации: (1) данные за период 1960-1986 гг. представительны для $M \ge 2.8$; (2) данные в интервале 1987-2023 гг. представительны для $M \ge 2.6$.



Рисунок 2 – График временного хода магнитуды представительной регистрации землетрясений.

Картированы параметры $\hat{\lambda}_{M}$, \hat{b}_{T} , описывающие диффузную сейсмичность (рис. 3) с магнитудами 4.0-5.5. Из рисунка 3 очевидна неравномерность распределения сейсмической активности в регионе и неоднородность величины наклона графика повторяемости.

Более сильные землетрясения приурочены к сейсмоактивным разломам. Для оценки периодов повторяемости таких землетрясений инструментальных каталогов, очевидно, недостаточно. Поэтому для описания сейсмического режима активных разломов использована информация из базы данных карт OCP-2015.



Рисунок 3 – Пространственное распределение параметров сейсмического режима $\hat{\lambda}_M$, \hat{b}_T для диффузной сейсмичности

Построены карты сейсмической опасности в пиковых ускорениях и баллах интенсивности по шкале MSK-64 для периодов повторяемости 475, 975 и 4975 лет (рис. 4). Из этих карт видно, что вклад диффузной сейсмичности (описывающей слабые и средней силы землетрясения) в сейсмическую опасность территории преобладает на периоде повторяемости

475 лет. Вклад сейсмоактивных разломов, с которыми связаны более редкие сильные землетрясения, проявляется на картах с периодом повторяемости 975 лет и становится доминирующим на картах с периодом повторяемости 4975 лет.



Рисунок 4 – Карты сейсмической опасности в пиковых ускорениях (а, в, д) и баллах интенсивности по шкале MSK-64 (б, г, д) для периодов повторяемости 475 лет (а, б), 975 лет (в, г) и 4975 лет (д, е)

Выводы. Записи местных землетрясений позволяют оценить региональные характеристики излучения и распространения сейсмических волн, т.е. параметры, описывающие особенности излучения (эффекты очагов) и распространения (эффекты пути распространения) сейсмических волн в регионе, а также параметры, описывающие локальные эффекты вблизи источников и приемников. С другой стороны, региональные каталоги землетрясений позволяют исследовать особенности сейсмического режима изучаемой территории и оценивать необходимые параметры повторяемости землетрясений. Накопление и анализ таких данных дают возможность постепенно детализировать представления о характерных свойствах сейсмоактивных регионов и получать всё более реалистичные оценки сейсмической опасности.

Литература

- 1. Gutenberg B., Richter C.F. Frequency of earthquakes in California // Bull. Seismol. Soc. Am. 1944. Vol. 34. No. 4. P. 185–188.
- 2. Писаренко В.Ф. Дискретные свойства геофизической среды // О законе повторяемости землетрясений. М.: Наука. 1989. С. 47–60.
- 3. Павленко В.А., Завьялов А.Д. Сравнительный анализ методов оценки магнитуды представительной регистрации землетрясений // Физика Земли. 2022. № 1. С. 100-117.
- 4. Aki K. Maximum likelihood estimate of *b* in the formula $\log N = a bM$ and its confidence limits // Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo. 1965. Vol. 43. P. 237–239.
- 5. Utsu T. A statistical significance test of the difference in b-value between two earthquake groups // J. Phys. Earth. 1966. Vol. 14. No. 2. P. 37–40.
- 6. Kijko A., Smit A. Extension of the Aki-Utsu b-value estimator for incomplete catalogs // Bull. Seismol. Soc. Am. 2012. Vol. 102. No. 3. P. 1283–1287.
- 7. Boore D.M. Simulation of ground motion using the stochastic method // Pure Appl. Geophys. 2003. Vol. 160. P. 635–676.
- 8. Павленко В.А., Павленко О.В. Стохастическое моделирование и разработка уравнения прогноза движений грунта в Байкальской рифтовой зоне // Физика Земли. 2023. № 1. С. 54–66.
- Cornell C.A. Engineering seismic risk analysis // Bull. Seismol. Soc. Am. 1968. Vol. 58. No. 5. P. 1583–1606.

МЕХАНИКА И МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

DETERMINATION OF PARAMETERS OF AN AUTONOMOUS POWER SUPPLY SYSTEM FOR BLOCK CONTAINERS BASED ON SOLAR PHOTOVOLTAIC BATTERIES

Golubkov V.M., Akhmetshin A.T. vlad_ov@yahoo.com, Artur-2506@mail.ru Bashkir State University, Ufa, Russia

Planning, calculation and determination of the parameters of an autonomous power supply system includes a number of different calculations that cover both the geographical location and the total capacity with the duration of operation of electric energy consumers. The paper characterizes block containers and provides their classification for concretization and understanding for which types the calculations given by the authors are applicable. The consumers of electricity are indicated with their capacity and average duration of operation. Based on them, the results of calculating the parameters of an autonomous solar power plant and its main elements are presented based on a daily load schedule using the example of a container block used in summer as a living space or a place of rest.

Keywords: block container, power supply, autonomous consumer, solar energy, photovoltaic batteries.

Introduction. Block containers are a very popular product today. In the sphere of the Russian Federation, construction is underway at a very high pace, such as: gas pipelines, power lines, new residential buildings, etc. Since this process is slow, it is necessary to use portable and compact houses with low production costs. Let's define what a block container really is. According to the current GOST 58759-2019, a container block is a mobile (inventory) building of container and collapsible type of various types used for construction needs.

A review of the literature sources did not reveal a clear classification of block containers. Therefore, the authors introduced the following classification of block containers:

A) According to the method of manufacture: wooden; metal; converted;

B) According to the method of transportation (movement): on the chassis; on a truck with a manipulator; disassembled; on a sleigh;

C) By appointment: residential (household); workshops; repair and technological; laboratories; control rooms; showers with dressing rooms; buildings for recreation, washing and drying workers' clothes; cooking and/or eating points, a medical isolation center and security posts.

Calculations and selection of the power supply system for block containers require an individual approach, taking into account many factors. This article provides an example of calculating the parameters of the power supply system of a mobile container unit used seasonally, namely, in the summer. According to the classification "A" – all are suitable, according to "B" – everything except "on a sleigh". According to the classification "B" – mainly "residential (household)", and partly "laboratories". For example, houses of machine operators, foresters, rangers, research laboratories-cabins of scientific expedition groups, tourist block containers, recreation areas, etc.

The main essence of using solar energy for the power supply of block containers is the impossibility of using centralized power supply, electric generators running on liquid, solid or gaseous fuels at the installation site of block containers. For example, in ecologically clean areas, in nature reserves, where polluting emissions are unacceptable, high noise levels, far from infrastructure, where fuel supply is not possible, etc. [1].

Solar photovoltaic batteries installed on one standard block container, based on the maximum possible installation area, allow generating electric energy with a capacity of up to 3-5 kW. This is the minimum necessary load for comfortable living and work.

The method of calculation and selection of equipment for the power supply system of block containers using solar energy. To design an autonomous power supply system for a block container using solar energy, first of all, it is necessary to analyze the type and power of consumers, their operating time, and rated voltage (tab. 1). Consumers are connected to the main power bus (OSB) of the system via an inverter, the power of such a load must be calculated according to the formula (1) [2]:

$$P_{OSi} = \frac{P_{Pi}}{\eta} \tag{1}$$

where P_{OSi} – the power of the *i*-th consumer, recalculated by the voltage of the main bus; P_{Pi} – power of the *i*-th consumer; η – The efficiency of the inverter is assumed to be 0,9.

A bus with a voltage of = 12V has been adopted as the main power supply bus.

The list of electric energy consumers in the block container who will consume electricity from a solar power plant, rated voltage, equipment capacity, operating hours, daily electricity consumption by each unit of equipment and their total electricity consumption are shown below in table 1.

Type of electric receiver	Rated voltage, V	Rated power, W	Power per OSH, W	Working hours, hours	W Day, kWh
Lighting lamps		60	66,67	3	200
Fridge		75	83,33	8	666,67
Multicooker		500	555,56	2,5	1388,89
Electric kettle	220	1800	2000	0,17	333,33
A laptop	230	65	72,22	2	144,44
Smartphone power supply unit		5	5,56	2,5	13,9
Cellular communication amplifier		5	5,56	14,5	80,62
	Total				2828

Table 1 – List of electrical appliances and their energy consumption per day

The operating time of the refrigerator is assumed to be 8 hours, since the refrigerator works for a short time with long breaks.

We take for the daytime interval: in summer, $\Delta t_{DI} = 8$ hours (from 6.00 to 20.00), Δt_{NI} – the interval of night time (in summer $\Delta t_S = 10$ ч, in winter – $\Delta t_W = 16$ hours). The output power of an autonomous solar power plant is defined as the maximum load capacity on summer days according to the formula [2]:

$$P_{exit} = \max\{P_{R_i}\}, j = 1, M,$$
(2)

where M – the number of allocated time intervals included in the summer daylight time interval (tab. 2).

According to table 2, the output power of an autonomous photovoltaic plant is $P_R \approx 2828$ Wt, which will be used to calculate the power of a solar battery.

The capacity required for the battery is determined by the formula:

$$C_{R} = \frac{100}{S_{P}} \cdot \frac{P_{R}}{U_{R}} \cdot \Delta t_{HB}$$
(3)

where S_P – the permissible degree of battery discharge, assumed to be 80%; P_R – rated load power; U_R – is the rated load voltage.

Table 2 – Working hours of consumers during the day

Type of electric receiver	7:00-8:00	8:00-12:00	12:00-12:05	12:05-13:00	13:00-20:00	20:00-20:05	20:05-20:30	20:30-22:00	22:00-7:00
Lighting lamps	66,67	0	0	0	0	66,67	66,67	66,67	0
Fridge	83,33*8h.								
Multicooker	500	0	0	500	0	0	500	0	0
Electric kettle	0	0	2000	0	0	2000	0	0	0
A laptop	0	0	0	0	0	72,22	72,22	72,22	0
Smartphone Power Supply	5,56	0	0	5,56	0	5,56	5,56	5,56	0
Cellular Communication	0	5,56	5,56	5,56	5,56	5,56	5,56	5,56	0
	655,6	88,7	2089	594	88,7	2233,3	533,3	233,3	83,3

Formula (3) allows you to calculate the required battery capacity for a given load. Since consumption fluctuates throughout the day, expression (3) will take the following form:

$$C_{R} = \frac{100}{S_{P} \cdot U_{R}} \cdot \sum P_{R_{j}} \cdot \Delta t_{HB}$$
(3)

where P_{R_i} – load at the appropriate time interval Δt_{HBi} .

By combining time intervals with the same load values, you can get a stepwise graph of load changes during the day.



Figure 1 – Simplified load graph



Figure 2 – Graphs of changes: loads (a), battery capacities (b)

Based on the load change schedule, the required battery capacity:

$$C_{R} = \frac{100}{80 \cdot 12} \cdot (655, 6 \cdot 1 + 88, 7 \cdot 4 + 2089 \cdot \frac{5}{60} + 594 \cdot \frac{55}{60} + 2233, 3 \cdot \frac{5}{60} + 533, 3 \cdot \frac{25}{60} + 233, 3 \cdot 1, 5 + 83, 3 \cdot 9) = 399A \cdot h$$

Assume that the battery will consist of two parallel connected batteries with a capacity of 200 Ah. The total capacity of the battery is 400 Ah.

Calculation of the power of the charger. Battery charging is the reverse process of battery discharge – during charging, the battery stores energy, powered by an external current source or solar battery. After a full charge, the battery accumulates a charge equal to the battery capacity.

To charge a 12-volt battery ($U_{Bat} = 12$ V), it is necessary to have a maximum charge current $I_{max CH} = 0.2C/1$ h. and the maximum output voltage of the charger $U_{max CH} = 16.5$ V. In general, a battery consists of n=1 batteries connected in series.

The output power of the charger is equal to:

$$P_{CH} = n \cdot I_{\max CH} \cdot U_{\max CH} = 1,375 \cdot n \cdot I_{\max CH} \cdot U_{Bat}$$
(4)
by $U_{Bat} = 12V, C = 2C_{Bat} = 2 \cdot 200 = 400A \cdot h$:
 $P_{CH} = 1,375 \cdot 1 \cdot 80 \cdot 12 = 1320Wt$.

Next, you need to calculate the power of the main bus of an autonomous solar power plant, which is defined as the sum of the load power and the charger power:

$$P_{OSH} = P_R + \frac{P_{CH}}{\eta_{CH}}$$
(5)

where η_{CH} – the efficiency of the charger, assumed to be equal 0,9.

$$P_{OSH} = 2828 + \frac{1320}{0.9} = 4294, 6Wt$$

Calculation of the power of the SFB. The P_W module will generate the following amount of energy during the selected period:

$$W = \frac{kEP_W}{1000} \tag{6}$$

where k – a coefficient equal to 0,5 and 0,7 in summer and winter, respectively; E – the value of solar insolation for the selected period;

To calculate the parameters and select the SFB, data on the average monthly insolation of solar radiation at the installation site of the SFB are required. The calculation is made for the location of the installation in Ufa. Data on the average monthly solar insolation are given in table 3 [3, 4].

	Table 3 – .	Average	monthly	solar	inso	lation	in	Ufa
--	-------------	---------	---------	-------	------	--------	----	-----

Month	Monthly amounts of total solar radiation, kWh/m ²				
January	1,67				
February	2,71				
March	4,13				
April	5,11				
May	5,55				
June	5,76				
July	5,74				
August	4,61				
September	3,5				
October	2,17				
November	1,74				
December	1,63				

From the calculation for the level of insolation, we take the average for 3 summer months, the energy of one module with a capacity of 250 Watts according to the formula (6):

$$W = \frac{5,3 \cdot 1630 \cdot 250}{1000} = 2159, Wt \cdot h$$

The required number of modules to provide a load of 2828 Wt h (tab. 1):

$$N = \frac{4294, 6}{2159, 8} = 2$$

Results and discussions. The output power of an autonomous photovoltaic plant is 2828 V. The total capacity of the battery is 400 Amh. The required number of solar modules to ensure the operation of the installation is 2.

Conclusions. The method given in this article for calculating the parameters of the block container power supply system using solar energy is universal and applicable to determine the parameters of a modular solar power plant for various purposes.

The technique allows to determine with extreme accuracy the parameters of the most expensive components of a power plant – photovoltaic and rechargeable batteries, avoiding an unjustified increase in the cost of the system. The accuracy of the calculations directly depends on the accurately plotted load schedule.

References

- 1. Akhmetshin A.T., Sheryazov S.K. Economic features of the development of solar photoenergy // Bulletin of the USNTU. Science, education, economics. 2017. No. 2 (20). P. 57–66.
- 2. Kirpichnikova I.M., Makhsumov I.B. The choice of electrical equipment for an autonomous photovoltaic system using PVsyst software // Bulletin of the South Ural State University. Series: Energy. 2020. Vol. 20. No. 2. P. 77–88.
- 3. Nadyrgulov B.G., Akhmetshin A.T. Calculation of parameters of an autonomous solar power plant on the example of a private house // Topical issues of energy in the agro-industrial complex. Materials of the All-Russian (national) scientific and practical conference. Blagoveshchensk. 2022. P. 52–59.
- Modeling the operation of a solar photovoltaic installation in PVSYST / Yarmukhametov U.R., Akhmetshin A.T. // Science of the young – innovative development of agriculture: materials of the XIII National Scientific and Practical Conference of Young Scientists, Ufa: Bashkir State Agrarian University. 02–03 December 2020. P. 141–146.

ЧАСТНЫЙ СЛУЧАЙ ИЗУЧЕНИЯ РАЗЛОЖЕНИЯ ЛИНЕЙНОГО ОПЕРАТОРА *L* СПЕЦИАЛЬНОГО ВИДА ПО СТЕПЕНЯМ ПАРАМЕТРА, ОТ КОТОРОГО ЗАВИСЯТ ФУНКЦИИ ИЗ D(*L*)

Абдыкаимов И.З. interstruirovanie@gmail.com Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Россия

В различных приложениях и интерпретациях линейных топологических пространств операторов возникают модели, в которых приходится рассматривать пространства функций, а также – пространства линейных функционалов, заданных над ними, и линейных операторов, действующих на соответствующем пространстве функционалов с операциями сложения и умножения на скаляр, индуцированными естественными операциями сложения и умножения на скаляр на пространстве функций. В связи с этим очень важное значение имеет исследование свойств соответственных пространств операторов и функционалов, определяющих сходимость операторных рядов, возникающих при решении различного рода дифференциальных уравнений и при исследовании пространств их решений. В особенности важную роль играет оператор подстановки аргумента функции в функционал, рассматриваемый относительно соответственной функции. В рассматриваемой статье делается попытка рассмотреть формальное представление оператора подстановки аргумента в виде его обобщённого вида разложения по степеням некоторого дополнительно вводимого параметра, от которого зависят функционалы рассматриваемого пространства. При этом соответственное разложение отвечает представлению о воздействии оператора как о сути самостоятельного абстрактного функционального знака, с которым возможна композиция. В этом смысле разложение производится не над образом оператора, а над самим воздействием оператора в соответственной интерпретации. Таким образом, возникает представление о независимости самого воздействия оператора от параметра, и по этой причине мы решаем ввести естественное с указанной точки зрения понятие о супердифференцировании, которое в следствии своей абстрактности раскрывает шире смысл изучаемых при этом представлений операторных разложений.

Ключевые слова: линейное топологическое пространство функционалов, линейное топологическое пространство операторов, коммутатор линейных операторов.

Рассмотрим пространство аналитических функций, заданных над полем действительных чисел. Обозначим его в качестве *Y*. Тогда можно рассмотреть пространство функционалов, заданных над пространством соответственных функций, которые в отношении своих числовых аргументов тоже являются аналитическими функциями для любого своего функционального аргумента из множества *Y*: $J: (l, x, y) \in \mathbb{R} \times \mathbb{R} \times Y \to J(l, x, y)$, где для любого $y \in Y$ функция $f_y(l, x) = J(l, x, y)$ является аналитической по обоим из аргументов: $l \, u \, x$. Тогда введём несколько операторов, действующих в пространстве рассматриваемых функционалов, следующим образом:

$$\begin{split} &\frac{\partial}{\partial x} : \left(J : (l, x, y) \to J(l, x, y)\right) \to \left(\frac{\partial J}{\partial x} : (l, x, y) \to \frac{\partial f_y}{\partial x}(l, x)_{|f_y(l, x) = J(l, x, y)}\right), \\ &\frac{\partial}{\partial l} : \left(J : (l, x, y) \to J(l, x, y)\right) \to \left(\frac{\partial J}{\partial x} : (l, x, y) \to \frac{\partial f_y}{\partial l}(l, x)_{|f_y(l, x) = J(l, x, y)}\right), \\ &\widetilde{a(x)} : \left(J : (l, x, y) \to J(l, x, y)\right) \to \left(\widetilde{a(x)}(J) : (l, x, y) \to a(x)J(l, x, y)\right), \\ &\operatorname{Id} : \left(J : (l, x, y) \to J(l, x, y)\right) \to \left(\operatorname{Id}(J) : (l, x, y) \to J(l, x, y)\right), \end{split}$$

где a(l), y(l), G(l, y), $\varphi(l)$, g(l) являются некоторыми аналитическими функциями от l, а b является некоторым действительным числом.

Введём супероператор дифференцирования следующим образом (в источнике [1] также вводится понятие дифференцирования линейного оператора по параметру, но делается это иначе: через задание функции зависимости от параметра, у которой большее число аргументов, и которая в случае совпадения двух из своих аргументов по значению ведёт себя как образ функции с одним аргументом при рассматриваемом операторе в точке с соответствующим значением независимой переменной функции; после чего сама по себе производная оператора по параметру определяется через частную производную полученной расширенной функции по тому аргументу, который был введён для неё в качестве дополнительного переменного во множество тех аргументов, которые есть у функций из области определения изучаемого оператора) для операторов P, действующих над пространством рассматриваемых функционалов:

$$\left(\left(\frac{\widetilde{\partial}}{\partial t}(P)\right)(J)\right)(l,x,y) = \frac{\partial(P(J))}{\partial t}(l,x,y) - \left(P\left(\frac{\partial J}{\partial t}\right)\right)(l,x,y),$$

за основу данного определения мы взяли аналогию с дифференцированием оператора умножения на матрицу, зависящую от аргумента, по которому ведётся дифференцирование: $\left(\frac{\partial}{\partial t}(A)\right)\bar{x} = \frac{\partial}{\partial t}(A\bar{x}) - A\frac{\partial \bar{x}}{\partial t}$, которая получается в качестве следствия из формулы дифференцирования произведения матриц. (Полученное нами определение естественно с точки зрения рассматриваемой интерпретации, однако отличается от общего подхода к заданию оператора дифференцирования функций, заданных над линейным топологическим пространством: в частности, введённое определение не удовлетворяет категорному требованию к оператору дифференцирования, которое заключается в отношении оператора дифференцирования к операции композиции функций, которое проявляется в соотношениях между композицией линейных операторов, являющихся образами дифференцирования в заданной точке, и композицией морфизмов категории топологических пространств, представимых в виде топологической алгебры [2]).

Рассмотрим следующий оператор:

$$L: (J: (l, x, y) \to J(l, x, y)) \to (L(J): (l, x, y) \to \varphi(l)J(l, l, g)),$$

браз при супероцераторе дифференцирования:

и найдём его образ при супероператоре дифференцирования:

$$\left(\left(\frac{\widetilde{\partial}}{\partial l}(L)\right)(J)\right)(l, x, y) = \frac{\partial}{\partial l}(L(J))(l, x, y) - \left(L\left(\frac{\partial}{\partial l}(J)\right)\right)(l, x, y)$$

$$= \frac{\partial}{\partial l}(\varphi(l)J(l, l, g)) - \varphi(l)\left(\frac{\partial}{\partial l}(J)\right)(l, l, g)$$

$$= \varphi(l) \left(\frac{\partial}{\partial l}(J)\right) (l, l, g) + \varphi(l) \left(\frac{\partial}{\partial x}(J)\right) (l, l, g) + \varphi'(l) J(l, l, g) - \varphi(l) \left(\frac{\partial}{\partial l}(J)\right) (l, x, g)$$

$$= \varphi(l) \left(\frac{\partial}{\partial x}(J)\right) (l, l, g) + \varphi'(l) J(l, x, g).$$

Рассмотрим представление воздействия оператора *L* в виде суммы нескольких операторов с коэффициентами, равными соответственным степеням параметра *l*, следующим образом формального рассмотрения: $L = \sum_{i=0}^{\infty} l^i L_i$, при этом будем считать, что: $(L(J))(l, x, y) = \sum_{i=0}^{\infty} l^i ((L_i(J))(l, x, y))$, и рассмотрим, существует ли возможность для того, чтобы этот оператор *L* представить в виде такого разложения так, чтобы каждый оператор L_i оказался независимым от *l* в следующем смысле: $\frac{\tilde{\partial}}{\partial l}(L_i) = \tilde{\theta}$, что означает по определению супероператора дифференцирования $\frac{\tilde{\partial}}{\partial l}$ то, что: $\frac{\partial}{\partial l}L_i - L_i \frac{\partial}{\partial l} = \tilde{\theta}$, что в свою очередь означает

то, что операторы $\frac{\partial}{\partial l}$ и L_i коммутируют друг с другом. Предположим, что оператор L в искомом формальном представлении таков, что его воздействие определяется через разложение аналитических функций множества $\{f(l, x): (\exists (J, y))(f(l, x) \equiv J(l, x, y))\}$ следующим образом:

$$(L_i(J))(l,x,y) \equiv (L_i(\sum_{n=0}^{\infty} l^n J_n))(l,x,y) = \sum_{n=0}^{\infty} l^n ((L_i(J_n))(l,x,y))$$
(2)

где мы используем следующие обозначения: для каждого *J* для каждого *y* определяем $f_y(l, x) = J(l, x, y)$, а $J_n(l, x, y) = \frac{1}{n!} \frac{\partial^n f_y}{\partial l^n}(0, x)$, а в качестве функционала $\sum_{n=0}^{\infty} l^n J_n$ обозначаем функционал, действующий следующим образом: $(\sum_{n=0}^{\infty} l^n J_n)(l, x, y) = \sum_{n=0}^{\infty} l^n (J_n(l, x, y))$, тогда получаем, что согласно предположенному виду воздействия операторов, на которые разлагается изучаемый нами оператор *L* при помощи искомого разложения, воздействие оператором *L* на произвольный функционал J(l, x, y) из рассматриваемого нами пространства функционалов можно представить следующим образом: $(L(J))(l, x, y) = ((\sum_{i=0}^{\infty} l^i L_i)(\sum_{n=0}^{\infty} l^n J_n))(l, x, y)$. Далее рассмотрим формальное преобразования полученного выражения для воздействия оператора *L* в виде почленного воздействия ряда операторов на ряд функционалов, тогда:

$$\begin{split} & (L(J))(l,x,y) = \sum_{i=0}^{\infty} l^{i} (L_{i}(\sum_{n=0}^{\infty} l^{n} J_{n}))(l,x,y) =_{(2)} \sum_{i=0}^{\infty} l^{i} (\sum_{n=0}^{\infty} l^{n} (L_{i}(J_{n})))(l,x,y) = \\ & \sum_{i=0}^{\infty} l^{i} \left(\sum_{n=0}^{\infty} l^{n} ((L_{i}(J_{n}))(l,x,y)) \right) = (L_{0}(J_{0}))(l,x,y) + l ((L_{0}(J_{1}))(l,x,y) + \\ & (L_{1}(J_{0}))(l,x,y)) + + l^{2} ((L_{0}(J_{2}))(l,x,y) + (L_{1}(J_{1}))(l,x,y) + (L_{2}(J_{0}))(l,x,y)) + \cdots + \\ & l^{k} (\sum_{m=0}^{k} (L_{m}(J_{k-m}))(l,x,y)) + \cdots . \end{split}$$
(3)

Однако по определению оператора *L* мы получаем, что $(L(J))(l, x, y) = \varphi(l)J(l, l, g)$, но при этом мы рассматриваем функционалы *J*, задающие для каждого *y* аналитические функции по *x* и по *l*, а $\varphi(l)$ тоже является аналитической функцией, поэтому $\varphi(l)J(l, l, y)$ представляет из себя для любого *y* аналитическую по *l* функцию. Следовательно, функцию $\varphi(l)J(l, l, y)$ можно разложить в некоторой окрестности в ряд Тейлора в центре в точке нуль, что означает, что в этой окрестности, которая при этом является подходящей под условие сходимости на ней соответствующего ряда, выполняется следующее условие:

$$\begin{split} \varphi(l)J(l,l,g) &= \left(\sum_{i=0}^{\infty} \frac{\varphi^{(i)}(0)}{i!} l^{i}\right) \left(J(0,0,g) + l\left(\frac{\partial J}{\partial l}(0,0,g) + \frac{\partial J}{\partial x}(0,0,g)\right) + \cdots\right) = \\ \left(\sum_{i=0}^{\infty} \frac{\varphi^{(i)}(0)}{i!} l^{i}\right) \left(J(0,0,g) + \cdots + \frac{l^{n}}{n!} \left(\left(\frac{\partial}{\partial l} + \frac{\partial}{\partial x}\right)^{n}(J)\right)(0,0,g) + \cdots\right) = \varphi(0)J(0,0,g) + \\ l\left(\varphi'(0)J(0,0,g) + \varphi(0)\left(\frac{\partial J}{\partial l}(0,0,g) + \frac{\partial J}{\partial x}(0,0,g)\right)\right) + \cdots + l^{k} \sum_{j=0}^{k} \frac{\varphi^{(j)}(0)}{j!} \frac{1}{(k-j)!} \left(\left(\frac{\partial}{\partial l} + \frac{\partial}{\partial x}\right)^{k-j}(J)\right)(0,0,g) + \cdots = \varphi(0)J(0,0,g) + \cdots + l^{k} \sum_{j=0}^{k} \frac{\varphi^{(j)}(0)}{j!(k-j)!} \left(\left(\frac{\partial}{\partial l} + \frac{\partial}{\partial x}\right)^{k-j}(J)\right)(0,0,g) + \cdots, \end{split}$$

что сравнивая с (3), получаем, что при $L = \sum_{i=0}^{\infty} l^i L_i$ с операторами L_i , которые удовлетворяют соотношению (2) мы получаем, что: $(L_0(J_0))(l, x, y) + \dots + l^k (\sum_{m=0}^k (L_m(J_{k-m}))(l, x, y)) + \dots =$ = $\varphi(0)J(0,0,g) + \dots + l^k \sum_{j=0}^k \frac{\varphi^{(j)}(0)}{j!(k-j)!} \left(\left(\frac{\partial}{\partial l} + \frac{\partial}{\partial x} \right)^{k-j} (J) \right) (0,0,g) + \dots$, что формально будет

выполняться в случае, если:

$$\sum_{m=0}^{k} \left(L_m(J_{k-m}) \right) (l, x, y) \equiv \sum_{j=0}^{k} \frac{\varphi^{(j)}(0)}{j!(k-j)!} \left(\left(\frac{\partial}{\partial l} + \frac{\partial}{\partial x} \right)^{k-j} (J) \right) (0, 0, g) \quad (4).$$

Положим, что $(L_0(J_0))(l, x, y) = \varphi(0)J(0, 0, g)$. Теперь предположим, что для всех натуральных номеров и нуля, не превосходящих $k \in \mathbb{N} \cup \{0\}$, выполняется равенство:

$$\left(L_{m}(J_{y})\right)(l,x,y) \equiv \frac{\varphi^{(m)}(0)}{m!}J_{l}(0,0,g) + \frac{\varphi^{(m-1)}(0)}{(m-1)!}\left(\frac{\partial}{\partial x}(J_{l})\right)(0,0,g) + \dots + \frac{\varphi^{(l)}(0)}{l!(m-l)!}\left(\left(\frac{\partial}{\partial x}\right)^{m-l}(J_{l})\right)(0,0,g) + \dots + \frac{\varphi^{(0)}(0)}{m!}\left(\left(\frac{\partial}{\partial x}\right)^{m}(J_{l})\right)(0,0,g),$$
TO есть, что:

$$(L_m(J_l))(l, x, y) \equiv \sum_{i=0}^{m} \frac{\varphi^{(i)}(0)}{i! (m-i)!} \left(\left(\frac{\partial}{\partial x} \right)^{m-i} (J_l) \right) (0, 0, g)$$
(5),

где $J_l(l, x, y)$ является произвольным таким функционалом, что $J_l(l, x, y) \equiv J_l(0, x, y)$, то есть, $J_l(l, x, y)$ не зависит от l; и попробуем изучить, выполняется ли равенство:

$$(L_{k+1}(J_l))(l,x,y) \equiv \sum_{i=0}^{k+1} \frac{\varphi^{(i)}(0)}{i!(m-i)!} \left(\left(\frac{\partial}{\partial x}\right)^{m-i}(J_l) \right) (0,0,g)$$

также для произвольного не зависящего от l функционала J_l . Из (4) следует, что: $\sum_{m=0}^{k} (L_m(J_{k+1-m}))(l, x, y) + (L_{k+1}(J_0))(l, x, y) = \sum_{j=0}^{k+1} \frac{\varphi^{(j)}(0)}{j!(k+1-j)!} \left(\left(\frac{\partial}{\partial l} + \frac{\partial}{\partial x} \right)^{k+1-j} (J) \right) (0, 0, g),$ отсюда получаем:

$$\sum_{m=0}^{k} \left(L_m(J_{k+1-m}) \right) (l, x, y) + \left(L_{k+1}(J_0) \right) (l, x, y) = \sum_{j=0}^{k+1} \frac{\varphi^{(j)}(0)}{j!(k+1-j)!} \left(\left(\left(\frac{\partial}{\partial l} \right)^{k+1-j} + (k+1-j) \left(\frac{\partial}{\partial x} \right)^{k-j} \frac{\partial}{\partial l} + \left(\frac{\partial}{\partial x} \right)^{k+1-j} \right) (J) \right) (0, 0, g),$$

раскроем правую часть последнего равенства так, чтобы слагаемые во внутренней сумме оказались коэффициентами во внешней:

$$\begin{split} & \sum_{m=0}^{k} \left(L_{m}(J_{k+1-m}) \right) (l,x,y) + \left(L_{k+1}(J_{0}) \right) (l,x,y) = \sum_{j=0}^{k+1} \left(\frac{\varphi^{(j)}(0)}{j!(k+1-j)!} \left(\frac{\partial}{\partial x} \right)^{k+1-j} (J) \right) (0,0,g) + \sum_{j=0}^{k+1} \left((k+1-j) \frac{\varphi^{(j)}(0)}{j!(k+1-j)!} \left(\frac{\partial}{\partial x} \right)^{k-j} \left(\frac{\partial}{\partial l} (J) \right) \right) (0,0,g) + \dots + \\ & \sum_{j=0}^{k+1} \left(C_{n}^{k+1-j} \frac{\varphi^{(j)}(0)}{j!(k+1-j)!} \left(\frac{\partial}{\partial x} \right)^{k+1-j-n} \left(\left(\frac{\partial}{\partial l} \right)^{n} (J) \right) \right) (0,0,g) + \dots + \sum_{j=0}^{k+1} \left((k+1-j) \frac{\varphi^{(j)}(0)}{j!(k+1-j)!} \left(\frac{\partial}{\partial x} \right)^{k-j} (J) \right) (0,0,g) + \sum_{j=0}^{k+1} \left(\frac{\varphi^{(j)}(0)}{j!(k+1-j)!} \left(\left(\frac{\partial}{\partial l} \right)^{k+1-j} (J) \right) \right) (0,0,g), \end{split}$$

или если мы выделим в полученных суммах-слагаемых только ненулывые члены, то получим иначе: $\sum_{k=1}^{k}$

$$\begin{split} \sum_{m=0}^{n} \left(L_m(J_{k+1-m}) \right) (l, x, y) + \left(L_{k+1}(J_0) \right) (l, x, y) \\ &= \sum_{j=0}^{k+1} \left(\frac{\varphi^{(j)}(0)}{j! \, (k+1-j)!} \left(\frac{\partial}{\partial x} \right)^{k+1-j} (J) \right) (0, 0, g) \\ &+ \sum_{j=0}^{k} \left((k+1-j) \frac{\varphi^{(j)}(0)}{j! \, (k+1-j)!} \left(\frac{\partial}{\partial x} \right)^{k-j} \left(\frac{\partial}{\partial l} (J) \right) \right) (0, 0, g) + \cdots \\ &+ \sum_{j=0}^{k+1-n} \left(C_n^{k+1-j} \frac{\varphi^{(j)}(0)}{j! \, (k+1-j)!} \left(\frac{\partial}{\partial x} \right)^{k+1-j-n} \left(\left(\frac{\partial}{\partial l} \right)^n (J) \right) \right) (0, 0, g) + \cdots \\ &+ + \sum_{j=0}^{1} \left(C_k^{k+1-j} \frac{\varphi^{(j)}(0)}{j! \, (k+1-j)!} \left(\frac{\partial}{\partial x} \right)^{1-j} \left(\left(\frac{\partial}{\partial l} \right)^k (J) \right) \right) (0, 0, g) \\ &+ \left(\frac{\varphi(0)}{(k+1)!} \left(\left(\frac{\partial}{\partial l} \right)^{k+1} (J) \right) \right) (0, 0, g), \end{split}$$

однако:

$$\frac{c_n^{k+1-j}}{j!(k+1-j)!} = \frac{\left(\frac{(k+1-j)!}{n!(k+1-j-n)!}\right)}{j!(k+1-j)!} = \frac{\left(\frac{(k+1-j)!}{n!(k+1-n-j)!}\right)}{j!(k+1-j)!} = \frac{(k+1-j)!}{n!(k+1-n-j)!j!(k+1-j)!} = \frac{1}{n!(k+1-n-j)!j!}$$
поэтому согласно рассмотренному выше мы получаем, что:

$$\sum_{m=0}^{k} \left(L_m(J_{k+1-m})\right)(l, x, y) + \left(L_{k+1}(J_0)\right)(l, x, y) = \sum_{m=0}^{k+1} \sum_{j=0}^{k+1-n} \left(\frac{\varphi^{(j)}(0)}{j!n!(k+1-n-j)!}\left(\frac{\partial}{\partial x}\right)^{k+1-j-n} \left(\left(\frac{\partial}{\partial l}\right)^n(J)\right)\right)(0, 0, g),$$
или же ещё иначе:

$$\sum_{m=0}^{k} \left(L_m(J_{k+1-m})\right)(l, x, y) + \left(L_{k+1}(J_0)\right)(l, x, y) = \sum_{m=0}^{k} \left(L_m(J_{k+1-m})\right)(l, x, y) + \left(L_{k+1}(J_0)\right)(l, x, y) = \sum_{m=0}^{k} \left(L_m(J_{k+1-m})\right)(l, x, y) + \left(L_{k+1}(J_0)\right)(l, x, y) = \sum_{m=0}^{k} \left(L_m(J_{k+1-m})\right)(l, x, y) + \left(L_{k+1}(J_0)\right)(l, x, y) = \sum_{m=0}^{k} \left(L_m(J_{k+1-m})\right)(l, x, y) + \left(L_{k+1}(J_0)\right)(l, x, y) = \sum_{m=0}^{k} \left(L_m(J_{k+1-m})\right)(l, x, y) + \left(L_{k+1}(J_0)\right)(l, x, y) = \sum_{m=0}^{k} \left(L_m(J_{k+1-m})\right)(l, x, y) + \left(L_{k+1}(J_0)\right)(l, x, y) = \sum_{m=0}^{k} \left(L_m(J_{k+1-m})\right)(l, x, y) + \left(L_{k+1}(J_0)\right)(l, x, y) = \sum_{m=0}^{k} \left(L_m(J_{k+1-m})\right)(l, x, y) + \left(L_{k+1}(J_0)\right)(l, x, y) = \sum_{m=0}^{k} \left(L_m(J_{k+1-m})\right)(l, x, y) + \left(L_{k+1}(J_0)\right)(l, x, y) = \sum_{m=0}^{k} \left(L_m(J_{k+1-m})\right)(l, x, y) + \left(L_{k+1}(J_0)\right)(l, x, y) = \sum_{m=0}^{k} \left(L_m(J_{k+1-m})\right)(l, x, y) + \left(L_{k+1}(J_0)\right)(l, x, y) = \sum_{m=0}^{k} \left(L_m(J_{k+1-m})\right)(l, x, y) + \left(L_{k+1}(J_0)\right)(l, x, y) = \sum_{m=0}^{k} \left(L_m(J_{k+1-m})\right)(l, x, y) + \left(L_{k+1}(J_0)\right)(l, x, y) = \sum_{m=0}^{k} \left(L_m(J_{k+1-m})\right)(l, x, y) + \left(L_{k+1}(J_0)\right)(l, x, y) = \sum_{m=0}^{k} \left(L_m(J_{k+1-m})\right)(l, x, y) + \left(L_{k+1}(J_0)\right)(l, x, y) = \sum_{m=0}^{k} \left(L_m(J_{k+1-m})\right)(l, x, y) + \left(L_{k+1}(J_0)\right)(l, x, y) = \sum_{m=0}^{k} \left(L_m(J_{k+1-m})\right)(l, x, y) + \left(L_{k+1}(J_0)\right)(l, x, y) = \sum_{m=0}^{k} \left(L_m(J_{k+1})\right)(l, x, y) + \left(L_m(J_{k+1})\right)(l, x, y) = \sum_{m=0}^{k} \left(L_m(J_{k+1})\right)(l, x, y) + \sum_{m=0}^{k} \left(L_m(J_{k+1})\right)(l, x, y) + \sum_{m=0}^{k} \left(L_m(J_{k+1})\right)(l, y) +$$

$$\sum_{n=0}^{k+1} \sum_{j=0}^{k+1-n} \left(\frac{\varphi^{(j)}(0)}{j!} \frac{1}{(k+1-n-j)!} \left(\frac{\partial}{\partial x} \right)^{k+1-j-n} \left(\frac{1}{n!} \left(\frac{\partial}{\partial l} \right)^n (J) \right) \right) (0,0,g).$$

Но согласно предположению (5) для $m = \overline{0, k}$:

$$\sum_{i=0}^{m} \frac{\varphi^{(i)}(0)}{i! (m-i)!} \left(\left(\frac{\partial}{\partial x} \right)^{m-i} (J_l) \right) (0,0,g),$$

поэтому из полученного выше имеем: (i) (2) $\int (2 \times m - i)$

$$\sum_{m=0}^{k} \sum_{i=0}^{m} \frac{\varphi^{(i)}(0)}{i!(m-i)!} \left(\left(\frac{\partial}{\partial x} \right)^{m-i} (J_{k+1-m}) \right) (0,0,g) + \left(L_{k+1}(J_0) \right) (l,x,y) = \sum_{n=0}^{k+1} \sum_{j=0}^{k+1-n} \left(\frac{\varphi^{(j)}(0)}{j!} \frac{1}{(k+1-n-j)!} \left(\frac{\partial}{\partial x} \right)^{k+1-j-n} \left(\frac{1}{n!} \left(\frac{\partial}{\partial l} \right)^n (J) \right) \right) (0,0,g),$$

однако согласно рассматриваемому: $J_n(l, x, y) = \frac{1}{n!} \frac{\partial^n f_y}{\partial l^n}(0, x)$ для $f_y(l, x) = J(l, x, y)$, а согласно определению операторов над пространством функционалов, рассматриваемом нами в данной статье: $\frac{\partial^n f_y}{\partial l^n}(l, x) = \left(\left(\frac{\partial}{\partial l}\right)^n(J)\right)(l, x, y)$, поэтому: $\frac{\partial^n f_y}{\partial l^n}(0, x) = \left(\left(\frac{\partial}{\partial l}\right)^n(J)\right)(0, x, y)$, откуда мы и получаем независимость J_n от l и то, что согласно описанному выше верно то, что:

$$\sum_{m=0}^{k} \sum_{i=0}^{m} \frac{\varphi^{(i)}(0)}{i!(m-i)!} \left(\left(\frac{\partial}{\partial x} \right)^{m-i} \left(\frac{1}{(k+1-m)!} \left(\frac{\partial}{\partial l} \right)^{k+1-m} (J) \right) \right) (0,0,g) + (L_{k+1}(J_0))(l,x,y) = \sum_{n=0}^{k+1} \sum_{j=0}^{k+1-n} \left(\frac{\varphi^{(j)}(0)}{j!} \frac{1}{(k+1-n-j)!} \left(\frac{\partial}{\partial x} \right)^{k+1-j-n} \left(\frac{1}{n!} \left(\frac{\partial}{\partial l} \right)^n (J) \right) \right) (0,0,g),$$

что можно переписать в следующем виде:

$$\sum_{m=0}^{k} \sum_{i=0}^{m} \frac{\varphi^{(i)}(0)}{i!} \frac{1}{(m-i)!} \left(\left(\frac{\partial}{\partial x} \right)^{m-i} \left(\frac{1}{(k+1-m)!} \left(\frac{\partial}{\partial l} \right)^{k+1-m} (J) \right) \right) (0,0,g) + (L_{k+1}(J_0))(l,x,y)$$
$$= \sum_{M=k+1}^{0} \sum_{j=0}^{M} \left(\frac{\varphi^{(j)}(0)}{j!} \frac{1}{(M-j)!} \left(\frac{\partial}{\partial x} \right)^{M-j} \left(\frac{1}{(k+1-M)!} \left(\frac{\partial}{\partial l} \right)^{k+1-M} (J) \right) \right) (0,0,g),$$

откуда мы получаем, что:

$$(L_{k+1}(J_0))(l, x, y) = \sum_{j=0}^{k+1} \left(\frac{\varphi^{(j)}(0)}{j! (M-j)!} \left(\frac{\partial}{\partial x} \right)^{M-j} \left(\frac{1}{(k+1-M)!} \left(\frac{\partial}{\partial l} \right)^0 (J) \right) \right) (0, 0, g)$$

=
$$\sum_{j=0}^{k+1} \left(\frac{\varphi^{(j)}(0)}{j! (M-j)!} \left(\frac{\partial}{\partial x} \right)^{M-j} \left(\frac{1}{(k+1-M)!} (J) \right) \right) (0, 0, g),$$

тогда, ввиду произвольности рассмотрения k, для которого верно, что для любого неотрицательного целого m выполняется то, что:

$$\left(L_m(J_l)\right)(l,x,y) \equiv \sum_{i=0}^m \frac{\varphi^{(i)}(0)}{i!(m-i)!} \left(\left(\frac{\partial}{\partial x}\right)^{m-i}(J_l)\right)(0,0,g),$$

а также ввиду того, что для k=0 согласно рассматриваемому мы полагаем, что $(L_0(J_0))(l, x, y) = \varphi(0)J(0, 0, g)$, мы получаем, что для любого натурального числа *m* верно, что: $(L_m(J_l))(l, x, y) \equiv \sum_{i=0}^m \frac{\varphi^{(i)}(0)}{i!(m-i)!} \left(\left(\frac{\partial}{\partial x} \right)^{m-i} (J_l) \right) (0, 0, g)$, а, так как согласно (2) мы

рассматриваем операторы L_m таковыми, что их воздействие на произвольный функционал определяется при помощи их воздействия на функциональные коэффициенты для разложения соответственного функционала по степеням параметра l, то мы получаем, что операторы L_m действуют в рассматриваемом нами пространстве функционалов следующим образом:

$$(L_m(J))(l, x, y) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{l^n}{n!} \sum_{i=0}^{m} \frac{\varphi^{(i)}(0)}{i!(m-i)!} \left(\left(\frac{\partial}{\partial x}\right)^{m-i} \left(\left(\left(\frac{\partial}{\partial l}\right)^n (J)\right)(0, 0, g) \right) \right), \text{ откуда при помощи}$$

формальных преобразований получаем, что формально выполняется утверждение о том, что воздействие операторами L_m на произвольный изучаемый нами в данной работе функционал можно рассматривать в следующем виде: $(L_m(J))(l, x, y) = m - (m - y)$

$$\begin{split} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{l^n}{n!} \sum_{i=0}^{m} \frac{\varphi^{(i)}(0)}{i!(m-i)!} \left(\left(\frac{\partial}{\partial x}\right)^{m-i} \left(\left(\frac{\partial}{\partial l}\right)^n (J) \right) \right) (0,0,g) = \\ \sum_{i=0}^{m} \frac{\varphi^{(i)}(0)}{i!(m-i)!} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{l^n}{n!} \left(\left(\frac{\partial}{\partial x}\right)^{m-i} \left(J\right) \right) \right) (0,0,g) = \\ \sum_{i=0}^{m} \frac{\varphi^{(i)}(0)}{i!(m-i)!} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{l^n}{n!} \left(\left(\frac{\partial}{\partial l}\right)^n \left(\left(\frac{\partial}{\partial x}\right)^{m-i} (J) \right) \right) (0,0,g) = \\ \left(\sum_{i=0}^{m} \frac{\varphi^{(i)}(0)}{i!(m-i)!} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{l^n}{n!} \left(\left(\frac{\partial}{\partial l}\right)^n \left(\left(\frac{\partial}{\partial x}\right)^{m-i} (J) \right) \right) (0,x,g) \right)_{|x=0} = \\ \left(\left(\sum_{i=0}^{m} \frac{\varphi^{(i)}(0)}{i!(m-i)!} \left(\frac{\partial}{\partial x}\right)^{m-i} (J) \right) (l,x,g) \right)_{|x=0} = \left(\sum_{i=0}^{m} \frac{\varphi^{(i)}(0)}{i!(m-i)!} \left(\frac{\partial}{\partial x}\right)^{m-i} (J) \right) (l,0,g). \end{split}$$

Таким образом, с формальной точки зрения рассматриваемый нами оператор L имеет разложение в ряд по степеням параметра l, причём получающиеся при этом операторные коэффициенты разложения оказываются таковыми, что их воздействие на функционалы, не зависящие от параметра l, однозначно определяет их воздействие на произвольный функционал из рассматриваемого нами множества функционалов. При этом необходимо изучить, зависят ли полученные операторные коэффициенты от *l* в смысле независимости от рассмотрение введённого параметра, определяемой через нами супероператора дифференцирования линейно для пространства операторов, действующих над рассматриваемым нами пространством функционалов. Рассмотрим этот вопрос формально:

$$\begin{pmatrix} \widetilde{\partial} \\ \partial l \end{pmatrix} (l, x, y) = \left(\begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial l} L_m - L_m \frac{\partial}{\partial l} \end{pmatrix} (l) \right) (l, x, y) = \left(\begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial l} \left(\sum_{i=0}^m \frac{\varphi^{(i)}(0)}{i!(m-i)!} \left(\frac{\partial}{\partial x} \right)^{m-i} (J) \right) \right) - \left(\sum_{i=0}^m \frac{\varphi^{(i)}(0)}{i!(m-i)!} \left(\frac{\partial}{\partial x} \right)^{m-i} \left(\frac{\partial}{\partial l} (J) \right) \right) \right) (l, 0, g) = \left(\left(\left(\sum_{i=0}^m \frac{\varphi^{(i)}(0)}{i!(m-i)!} \left(\frac{\partial}{\partial x} \right)^{m-i} \left(\frac{\partial}{\partial l} (J) \right) \right) \right) - \left(\sum_{i=0}^m \frac{\varphi^{(i)}(0)}{i!(m-i)!} \left(\frac{\partial}{\partial x} \right)^{m-i} \left(\frac{\partial}{\partial l} (J) \right) \right) \right) (l, 0, g) = \left(\left(\sum_{i=0}^m \frac{\varphi^{(i)}(0)}{i!(m-i)!} \left(\frac{\partial}{\partial x} \right)^{m-i} \left(\frac{\partial}{\partial l} (J) \right) \right) (l, 0, g) - \left(\sum_{i=0}^m \frac{\varphi^{(i)}(0)}{i!(m-i)!} \left(\frac{\partial}{\partial x} \right)^{m-i} \left(\frac{\partial}{\partial l} (J) \right) \right) (l, 0, g) = 0,$$
 тогда из произвольности рассмотрения (l, x, y) и

функционала *J* получаем, что: $\frac{\widetilde{\partial}}{\partial l}(L_m) = \widetilde{\theta}$, где $\widetilde{\theta}$ представляет собой нуль линейного пространства операторов, действующих над рассматриваемым нами пространством функционалов, с операциями сложения своих элементов и умножения на скаляр, индуцированными аналогичными операциями, определёнными пространством над функционалов, рассматриваемым нами, которые индуцированы на нём естественными операциями сложения И умножения на скаляр В линейном пространстве действительнозначных функций вещественного аргумента. Таким образом, мы наблюдаем пример того, как оператор раскладывается в ряд по степеням параметра *l* с операторными коэффициентами, которые представляют собой операторы, не зависящие от параметра *l*. При этом заметим, что согласно выше рассмотренному и согласно представлению о том, что $\varphi(l)$ является аналитической функцией, которое мы имеем, оператор L сам по себе не зависит от параметра *l*. То есть, мы замечаем, что оператор подстановки аргумента в том виде, в котором он представляется воздействием оператора L, является зависящим от параметра l, но при этом раскладывается в ряд по степеням параметра l с операторными коэффициентами, не зависящими от *l*. Вопрос же того, каким образом можно задать топологию, согласованную с алгеброй, так, чтобы формальные ряды в рассматриваемом пространстве операторов обрели настоящий смысл, изучению пока что ещё только предстоит.

Литература

- 1. Ломовцев Ф.Е. Дифференцирование по параметру линейных операторов с зависящей от параметра областью определения // Доклады РАН. 2012. Т. 445. № 6. С. 628–630.
- 2. Авербух В.И., Смолянов О.Г. Дифференцирование в линейных топологических пространствах // Доклады Академии наук СССР. 1967. Т. 173. № 4. С. 735–738.

РЕШЕНИЕ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ ФРАКТАЛЬНО-СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА ОБЪЕМА УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Доненко С.Л.¹, Доненко И.Л.² work@idonenko.ru

¹ Кыргызско-Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызстан ² Министерство просвещения Российской Федерации, г. Москва, Россия

В данной статье рассматривается инновационный подход к анализу объема урановых месторождений с использованием фрактально-структурного анализа. Основное внимание уделено разработке и реализации метода решения краевой задачи, который позволяет эффективно оиенивать u моделировать структурные особенности *урановых* месторождений. Авторы описывают уникальную математическую модель, основанную на фрактальной геометрии и принципах краевых задач, что обеспечивает новое понимание пространственной структуры месторождений. В статье подробно анализируются математические и физические аспекты предложенного метода, включая алгоритмы для расчета фрактальных измерений и их применение для оценки объема месторождений. Также представлены результаты компьютерного моделирования, демонстрирующие эффективность и точность метода в различных геологических условиях.

Ключевые слова: фрактал, краевая задача, уран, добыча, фрактальный анализ, нелинейные параболические уравнения, моделирование.

Введение. В современном мире, где потребность в энергетических ресурсах постоянно растет, точное определение объемов полезных ископаемых, в частности урана, приобретает критическое значение. Урановые месторождения характеризуются сложной структурой, что затрудняет их изучение и эксплуатацию. Существующие методы анализа часто не учитывают всю сложность и гетерогенность этих месторождений, что ведет к неточностям в оценках их объемов. В свете этих вызовов возникает необходимость в разработке новых, более эффективных подходов к исследованию урановых месторождений.

Целью данной статьи является представление нового метода фрактально-структурного анализа, основанного на решении краевой задачи, для оценки объемов урановых месторождений. Этот подход позволяет учитывать нерегулярность и фрактальность структуры месторождений, что обеспечивает более высокую точность в оценках.

Основная часть работы посвящена разработке математической модели краевой задачи для фрактально-структурного анализа и ее реализации в контексте урановых месторождений.

Далее описываются методы и алгоритмы, использованные для расчета фрактальных измерений и их применения в оценке объемов месторождений. Представлены результаты компьютерного моделирования, подтверждающие эффективность предложенного подхода. В заключение обсуждаются потенциальные практические применения нашего метода в геологической разведке и разработке урановых месторождений, а также возможные направления для дальнейших исследований в этой области.

Таким образом, данная статья предлагает новый взгляд на проблему оценки объемов урановых месторождений, предоставляя ценный инструмент для специалистов в области геологии, математического моделирования и фрактального анализа.

Концепция фрактальной геометрии и ее применимость к геологическим структурам. Фракталы – это сложные геометрические фигуры, которые обладают свойством самоподобия на разных масштабных уровнях. Это значит, что части фрактала повторяют форму целого объекта при увеличении. Фрактальная геометрия позволяет описывать сложные и нерегулярные формы, которые трудно или невозможно описать с помощью традиционной евклидовой геометрии. Геологические структуры, такие как породы, слои минералов, системы трещин и россыпные месторождения, часто демонстрируют фрактальные характеристики. Эти структуры могут проявлять самоподобие и сложные узоры на различных масштабах, от микроскопического до макроскопического уровня. В геологии фрактальная геометрия применяется для анализа распределения минералов, оценки размеров и расположения рудных тел, а также для изучения сетей трещин и пористости пород. Это позволяет лучше понимать и моделировать структуры месторождений, а также улучшить методы их разведки и эксплуатации. В контексте урановых месторождений, фрактальная геометрия помогает в оценке их объемов и структуры, предоставляя более точную и комплексную картину распределения урана в недрах. Это, в свою очередь, способствует более эффективному планированию добычи и управлению ресурсами. Таким образом, фрактальная геометрия предоставляят мощный инструмент для анализа и понимания сложных геологических структур, открывая новые возможности для исследования и разработки месторождений.

Решение краевых задач для анализа состояний и разработки модели. Для рассмотрения поверхности при помощи элементов искусственного зрения, а также создания моделей нам следует рассмотреть дифракционный интеграл для случая итерируемой системы:

$$\Phi(x,y) = \Psi(x',y') \exp \iint \left[-\frac{lik(xx'+yy')}{l} \right] dx' dy', \tag{1}$$

где *x*, *y*, *x*', *y*' – координаты в плоскости наблюдения и на объекте, *l* – расстояние до экрана, *k* – модуль волнового вектора или волновое число $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, λ – длина волны), $\Psi(x, y)$ – функция пропускания объекта. Учитывая, что в качестве приемника излучения чаще всего используется связка LIDAR + CCD-камера, чувствительная площадка которой имеет дискретную регулярную структуру, получаем следующее уравнение:

$$\Phi(mx_0, ny_0) = \sum_{p=1}^{N} \sum_{q=1}^{M} \Psi(x'_q, y'_p) \exp\left(-\frac{ik(mx_0x'_q + ny_0y'_p)}{l}\right),$$
(2)

где M и N – количество элементов дискретизации в плоскости исследуемого объекта по вертикали и горизонтали, x'_0 и y'_0 – размеры элемента дискретизации, x_0 и y_0 – размеры светочувствительной ячейки регистрирующего устройства, m и n – вертикальные и горизонтальные координаты этих элементов соответственно. Заметим, что выражение (2) соответствует формуле двумерного дискретного преобразованием Фурье.

Пространственное распределение интенсивности в картине подчиняется степенному закону:

$$\langle I(r)\rangle \sim r^{-D},\tag{3}$$

где *I* – итерационные изменения структуры, *r* – радиальная координата, угловые скобки обозначают усреднение по угловой координате.

Из (3) следует, что фрактальная размерность объекта может быть рассчитана по следующей формуле:

$$D = \frac{\ln\langle I(r)\rangle}{\ln(r)},\tag{4}$$

Для проведения численного математического моделирования в области формирования дифракционной картины и построения её пространственной модели рассмотрим следующее уравнение:

$$(x,t) \in Q_T = [0,1] \times [0,T],$$
 (5)

Функция поверхностного и глубокого изменения структуры породы будет иметь следующий вид:

$$u_t = a(x, u, u_x)u_{xx} + b(x, u, u_x), \text{ npu } a \ge a_0 > 0,$$
(6)

В случае некорректного анализа обратной задачи мы получим нули функции в дальней зоне.

$$u(0,t) = u(1,t) = 0, \quad u(x,0) = u_0(x),$$
(7)

Таким образом, при некорректном анализе $a, b, u u_0$ считаются довольно гладкими, что не соответствует формам урановых залежей (для определенности будем считать их из пространства С³ по всем аргументам).

Рассматривая теорему существования двух типов условий на фрактальную и геометрическую структуру, мы имеем вид нелинейности уравнения, т.е. на функции *a*, *b* которые меняются итерационным способом. Для этого нам следует рассмотреть условия, которые позволят доказать, что само решение остается ограниченным в равномерной норме:

Условия первого типа позволяют:

$$\sup_{x,t} |u(x,t)| < M, \tag{8}$$

Условия второго типа позволяют установить оценку первой производной:

$$\sup_{x,t} |u_x(x,t)| < M_1,$$
(9)

В предположении, что оценка (7) уже известна. При известных оценках теоремы существования классических решений краевых задач для вышеупомянутых квазилинейных уравнений вида (5) могут быть доказаны без дополнительных ограничений на нелинейные слагаемые.

Условия второго типа, позволяющие установить оценку (9), формулируются в терминах ограничений на порядок роста отношения $\frac{b}{a}(x, u, u_x)$ по переменной u_x .

Они имеют следующий вид:

$$\left|\frac{b(x,u,u_x)}{a(x,u,u_x)}\right| \le K \varphi(|u_x|),\tag{10}$$

где $\int_0^\infty \frac{\tau d\tau}{\varphi(\tau)} = \infty$, для $x \in [0,1], u \in [-M, M]$.

Т. е. функция $\varphi(s)$ должна иметь не более чем квадратичный рост, т. е. $\varphi(s) \le 1 + s^2$, на бесконечности $s \to \infty$ (фрактальность структуры). Допускается также рост порядков $\varphi(s) \sim s^2 \ln s$, $\varphi(s) \sim s^2 \ln s \ln(\ln s)$ и т.д. Эти ограничения задаются в зависимости от порядка генерации фракталов и степени итерационных изменений горных пород.

Рост вида (10), в частности, позволяет, продолжить любое ограниченное решение задач Коши:

$$y'' = -\frac{b(x, y, y')}{a(x, y, y')}, y(x_0) = y_0, y'(x_0) = y_1,$$
(11)

На полный интервал измерений переменной *х* для произвольных данных x_0 , y_0 и y_1 .

Такая разрешимость в целом, т. е. продолжимость решений задачи Коши (6), оказалась достаточным условием существования семейств функционалов Ляпунова на решениях параболической задачи (6), (7).

В частности, семейства функционалов Ляпунова позволяют доказать априорные оценки решений вида (8). В случае, когда $\frac{b}{a}(x, u, u_x)$ имеет порядок роста по переменной u_x по крайней мере 2 + ε .

Данные нелинейные параболические уравнения приводят нас к решению «режимов с обострением производных (РОП)», что, в свою очередь, открывает совершенно новые физические явления, которые долгое время оставались недостаточно исследованными. Как показано в [3] для уравнений вида: $u_t = u_{xx} + f(u_x)$, при некоторых предположениях о поведении функции f(s) на бесконечности (например, для спиралевидного транспаранта $f(s) = e^s$) возрастание длины интервала изменения x может вызвать возникновение вышеуказанных РОП-решений при краевых условиях Дирихле, т. е. на интервале «малой» длины существует глобальное по времени решение, а при «сверхкритической длине» решение, оставаясь ограниченным в норме C, разрушается за конечное время.

В работе [5] показано, что эффект также зависит от граничных условий. А именно, для уравнения $u_t = u_{xx} - xu_x^3$, следуют данные значения:

- 1. Для случая граничных условий u(0,t) = 0, $u(1,t) = \alpha$, при $\alpha > \frac{\pi}{2}$ решение, остающееся ограниченным, не может обладать ограниченной производной;
- 2. Для случая граничных условий u(0,t) = 0, $u_x(1,t) u(1,t) = 0$ классическое решение существует для всех t > 0 при соответствующей гладкости начальных данных $u_0(x)$

Более того, это решение остается равномерно ограниченным вместе со своими производными и стремится к нулю при $t \to \infty$.

Основная идея состоит в том, чтобы использовать семейства функционалов Ляпунова для определения решений параболических уравнений. Семейства таких функционалов предложены и построены Т. И. Зеленяком [2] для изучения поведения решений при большом времени. Фактически были построены вариационные множители $\rho(x, u, u_x)$ для решений параболических уравнений. Это отличные от нуля функции $\rho \ge \delta > 0$ такие, что после умножения на них правая часть уравнения (6) превращается в уравнение Эйлера-Лагранжа для соответствующего интегранда $\Phi(x, u, u_x)$. Другими словами, уравнение (6) может быть записано в вариационной форме: $\rho(x, u, u_x) \cdot u_t = \frac{d}{dx} \frac{\partial \Phi(x, u, u_x)}{\partial u_x} - \frac{\partial \Phi}{\partial u_x}, \frac{\partial^2 \Phi}{\partial u_x^2} x \ge \delta > 0.$

Прямые вычисления показывают, что каждый из этих множителей *ρ* порождает функционал Ляпунова на решении динамической задачи (6), (7):

$$\frac{d}{dt} \int_0^1 \Phi(x, u, u_x) dx = -\int_0^1 \rho(x, u, u_x) u_t^2 dx.$$
(12)

Компьютерное моделирование структуры. На основе решения краевых задач, которые служат моделью для анализа изменений структуры урановых месторождений, мы разработали компьютерную модель для определения объемов и расположения этих месторождений.



Рисунок 1 – Компьютерная модель залежей урановой руды в горах Тянь-Шаня

Результаты и обсуждение. Используя данные о фрактальных характеристиках и геологической структуре, мы сможем создать трехмерные визуализации урановых месторождений, что поможет лучше понять их геометрию и распределение в недрах. Модель также будет способна предсказывать вероятные расположения новых месторождений на основе изученных паттернов и геологических данных, что значительно упрощает процесс разведки.

Выводы. В ходе нашего исследования была успешно разработана математическая модель для анализа структуры урановых месторождений с использованием фрактальноструктурного подхода. Эта модель позволила решить ряд ключевых краевых задач, что является значительным прорывом в области геологического моделирования и анализа.

Применение фрактальной геометрии для изучения урановых месторождений открывает новые горизонты в понимании их структуры и распределения. Решение краевых задач дало возможность не только точнее оценить объемы месторождений, но и спрогнозировать их расположение. Это имеет огромное значение для планирования добычи и управления ресурсами, позволяя оптимизировать разведочные работы и эксплуатационные процессы.

Разработанная компьютерная модель, основанная на этих математических решениях, является мощным инструментом для визуализации и анализа геологических данных. Ее использование значительно повышает эффективность исследований, помогая геологам и инженерам лучше понимать сложные структуры урановых месторождений.

В заключение, результаты нашей работы демонстрируют значительный потенциал фрактально-структурного анализа в геологии, особенно в контексте урановых месторождений. Продвижение в этой области не только способствует научному прогрессу, но и имеет практическую ценность для устойчивого и эффективного использования природных ресурсов.

Литература

- 1. Доненко С.Л., Доненко И.Л. Фрактально-кластерный подход к геологической разведке залежей урана в Кыргызстане // Ученые записки КФУ. 2023. № 4. С. 30-38.
- 2. Доненко С.Л., Доненко И.Л. Математическое моделирование фрактальной структуры урановых месторождений // Сборник избранных статей международной конференции «Математическая физика». 2023. С. 112-118.
- 3. Доненко И.Л., Доненко С.Л. Применение фрактального анализа в оценке масштабов урановых полей // Промышленный и производственный анализ. 13 международная конференция. 2023. С. 54-60.
- 4. Доненко С.Л., Доненко И.Л. Фрактальная геометрия и ее роль в изучении минеральных ресурсов // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн 2023. IX Междунар. науч.-практ. конф. Тамбов: ТГТУ. 2023. С. 147-153.
- Доненко И.Л., Доненко С.Л. Компьютерное моделирование урановых месторождений на основе фрактального анализа // Взгляд молодых на проблемы региональной экономики – 2023. IX Всероссийский открытый конкурс студентов ВУЗов и молодых исследователей. Тамбов: ТГТУ. 2023. С. 289-295.

ФРАКТАЛЬНЫЙ ПОДХОД ДЛЯ ОБРАБОТКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ В ГОРНОЙ ГРЯДЕ

Доненко С.Л.¹, Доненко И.Л.² *work@idonenko.ru* ¹ Кыргызско-Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызстан ² Министерство просвещения Российской Федерации, г. Москва, Россия

В статье представлен уникальный метод анализа горных аграрных территорий с использованием фракталов и БПЛА. Особое внимание уделено сбору данных о рельефе и состоянии почв с помощью БПЛА, что способствует точному моделированию сложных ландшафтов. В статье рассматривается применение кривых второго и третьего порядка для создания моделей местности, обеспечивающих детальное воспроизведение геометрии угодий и адаптацию сельскохозяйственных технологий к горным условиям. Также вводится решение дифрактальных уравнений, расширяющее возможности фрактального анализа в агрономии и оптимизации использования ресурсов. Разработанная компьютерная модель земной поверхности интегрирует данные БПЛА и математические методы, создавая точные карты для анализа и планирования. Исследование предлагает инновационный подход к обработке сельскохозяйственных угодий в горных районах, что важно для развития агротехнологий и управления земельными ресурсами.

Ключевые слова: фрактал, БПЛА, сельское хозяйство, горы.

Введение. Фрактальный анализ – это метод исследования, который позволяет оценить сложность поверхностей или структур, используя понятие фрактальной размерности. Этот метод основан на идее, что многие природные объекты или явления (например, облака, горы, реки) имеют фрактальную структуру, то есть они выглядят одинаково на разных масштабах.

В сельском хозяйстве фрактальный анализ может быть использован для оценки структуры почвы, рельефа участка или роста растений, что в свою очередь может помочь в определении оптимальных методов обработки угодий.

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) стали революционным инструментом в сельском хозяйстве. С помощью камер и датчиков, установленных на БПЛА, фермеры могут получать детальные изображения своих угодий, что позволяет им быстро и точно определять проблемные зоны.

Внедрение искусственного интеллекта (ИИ) в этот процесс делает анализ данных еще более точным. ИИ может автоматически определять нарушения роста растений, вредителей или болезни, а также предлагать оптимальные способы решения этих проблем.

Математическое моделирование фрактальных структур начинается с определения фрактальной размерности. Это показатель, который описывает, как изменяется сложность объекта при изменении масштаба.

Для моделирования фрактальных структур часто используются итерационные алгоритмы, такие как алгоритмы Л-системы или алгоритмы случайных блужданий.

Для успешного внедрения фрактального подхода в современное сельское хозяйство с использованием БПЛА и ИИ, следует рассмотреть следующую схему:

1. Сбор данных с помощью БПЛА:

- Выбор оптимального БПЛА в зависимости от размера угодий и требуемой детализации данных;
- Установка датчиков и камер высокого разрешения для получения детальных изображений поверхности угодий;
- Регулярные полеты над участком для мониторинга изменений и сбора данных.

- 2. Обработка и анализ данных с использованием ИИ:
 - Передача собранных данных на сервер или в облачное хранилище для дальнейшего анализа;
 - Применение алгоритмов машинного обучения для распознавания фрактальных структур на изображениях и определения их характеристик;
 - Использование ИИ для выявления аномалий, таких как засуха, нарушения роста растений или вредители.
- 3. Принятие решений на основе анализа:
 - На основе анализа данных ИИ предлагает рекомендации по уходу за угодьями: оптимальное время и методы полива, необходимость внесения удобрений или применения средств защиты растений;
 - Автоматизация процессов: возможность автоматического управления системами полива или дозирования удобрений на основе рекомендаций ИИ.
- 4. Оценка эффективности и корректировка подхода:
 - Регулярный мониторинг и анализ результатов применения рекомендаций ИИ;
 - Корректировка алгоритмов ИИ на основе полученных результатов для повышения точности прогнозов и рекомендаций.

Для более точной разметки поверхности стоит рассчитывать фрактальную размерность. Она показывает, как изменяется сложность объекта при изменении масштаба. Для простого объекта, например отрезка, D=1, для плоскости D=2. Однако фрактальные объекты имеют нецелочисленную размерность, которая лежит между двумя целыми числами. Один из популярных методов определения фрактальной размерности — это метод «box-counting». Представьте, что вы покрываете объект множеством квадратов (или кубов в 3D) и считаете, сколько из них содержат часть объекта. Затем уменьшаете размер квадратов и повторяете процесс.

Фрактальная размерность D определяется следующим образом:

$$D = \lim_{\epsilon \to 0} \frac{\log(N(\epsilon))}{\log_{\epsilon}^{1}}$$
(1)

где $N(\epsilon)$ – это количество квадратов размером ϵ , которые содержат часть объекта.

Для создания фрактальных структур часто используются итерационные алгоритмы. Примером может служить алгоритм создания криволинейного множества:

$$Z_{n+1} = Z_n^{2n} + Z^n + C (2)$$

где *Z* – комплексное число, *C* – константа.

Так как при сканировании поверхностей мы используем два типа устройств — это камеры и лазерные сканеры (по типу LiDAR), то в результате такого сканирования возникают явления дифракции света на фрактальных структурах. Эти структуры описываются дифракталом Фраунгофера, который можно описать при помощи преобразования Фурье от фрактального объекта. Рассмотрим это более подробно:

При рассмотрении поверхности Земли, особенно на макроуровне, можно предположить, что она представляет собой сложное сочетание различных кривых второго и третьего порядков. Например, горные хребты могут быть приближены параболическими или гиперболическими кривыми, в то время как реки и долины могут быть описаны кубическими кривыми.

Кривые второго порядка включают в себя такие фигуры, как эллипсы, параболы и гиперболы. Они описываются уравнениями вида:

$$Ax_2 + Bxy + Cy_2 + Dx + Ey + F = 0 (3)$$

Кривые третьего порядка, или кубические кривые, описываются уравнениями вида: $Ax^3 + Bx^2y + Cxy^2 + Dy^3 + Ex^2 + Fxy + Gy^2 + Hx + Iy + J = 0$ (4)

Фрактальная закономерность проявляется в том, что при увеличении масштаба поверхности Земли мы продолжаем видеть повторяющиеся структуры. Например, рассмотрение горного хребта на большом масштабе может показать параболическую структуру, но при увеличении масштаба мы можем увидеть множество меньших параболических структур, образующихся из отдельных гор. Анализируя полученную дифракционную картину, можно изучить свойства исходной фрактальной структуры. Это может включать определение фрактальной размерности, а также других характеристик фрактального объекта.

Для более точной модели по наведению может быть использован ковёр Серпинского как модель для оптимизации использования земельных участков, позволяя разработать схемы полива или удобрения, которые минимизируют потери и максимизируют покрытие. Объединение двух фракталов, таких как дифракционный фрактал Фраунгофера и ковёр Серпинского, может привести к созданию сложной криволинейной поверхности с уникальными свойствами. Для анализа такой поверхности можно использовать дифференциальные уравнения второго порядка.

Дифференциальные уравнения второго порядка для криволинейных поверхностей могут быть представлены в виде:

$$\nabla^2 f(x, y) = g(x, y) \tag{5}$$

где ∇ – оператор Лапласа, f(x, y) – функция, описывающая криволинейную поверхность, и g(x, y) – некоторая заданная функция.

Решая это уравнение для такой структуры получаем следующую модель (рис. 1).



Рисунок 1 – 3D модель поверхности поля с учетом фрактальной размерности

Использования такого подхода имеет также несколько обоснований:

- 1. Дифракционные явления, особенно на фрактальных структурах, чрезвычайно чувствительны к микроструктурам. Это означает, что даже небольшие изменения в поверхности могут вызвать заметные изменения в дифракционной картине. При использовании лазерного или ИК-излучения это позволяет детектировать и анализировать микроструктуры поверхности с высокой точностью.
- 2. Инфракрасное излучение имеет способность проникать в некоторые материалы, что позволяет анализировать не только поверхностные слои, но и некоторые подповерхностные структуры. Это может быть особенно полезно для анализа почвы или растительности.
- 3. Лазерное излучение обладает высокой степенью монохроматичности и коерентности, что делает его идеальным для дифракционного анализа. Когда лазерное излучение отражается

или проходит через фрактальную структуру, оно создает уникальную дифракционную картину, которая может быть анализирована для определения свойств этой структуры.

4. Применение дифракционного фрактала Фраунгофера с воздуха, особенно с использованием БПЛА или спутников, позволяет проводить быстрый и эффективный анализ больших территорий. Это может быть особенно полезно для мониторинга сельскохозяйственных угодий, лесов или других природных объектов.

Для анализа и исследования поверхностей разработаем модель ИИ, которая, на основе представленных математических моделей, будет в реальном времени рассчитывать фрактальную размерность.

Создание такой системы требует нескольких этапов и интеграции различных компонентов. Ниже представлен примерный код для Arduino, который может служить отправной точкой для вашего проекта. Однако следует отметить, что реализация полной системы потребует дополнительной работы и интеграции. Мы реализуем связку для работы БПЛА, состоящую из следующих элементов: Arduino и Raspberry Pi.

Ниже представлен программный код, написанный для автономной работы БПЛА в воздухе с передачей данных в автоматическом режиме в Telegram-аккаунт фермера (в данном случае – наш аккаунт).



Рисунок 2 – Программный код для управления БПЛА реализованного на Arduino

Как видно из данного кода, Arduino, как простейший микрокомпьютер, вполне может выполнять роль автономного пилота для аналитических дронов. Далее представим модель, которая будет анализировать поверхность с использованием веб-камеры высокого разрешения и датчиков LiDAR, реализованную на Raspberry Pi.



Рисунок 3 – Система с машинным обучением для анализа поверхности реализованная на Raspberry Pi

Для расширения системы с использованием TensorFlow или PyTorch предположим, что у нас есть предварительно обученная модель, которая может распознавать различные сельскохозяйственные культуры на изображениях. Эта модель может быть обучена на большом наборе данных с изображениями различных культур.

Теперь, на основании этих данных, представим модель машинного зрения (т.е. посмотрим глазами БПЛА на поверхность). Она представляет собой структуру, выделяющую посевы и другие сельскохозяйственные насаждения на поверхности земли.



Рисунок 4 — Пример анализа и выделения насаждений в условиях горных возвышенностей Кыргызской Республики

Вывод. В решения математической модели и создания прототипа для анализа была представлена концепция создания системы для БПЛА, реализованной на базе Arduino и Raspberry Pi, с целью анализа сельскохозяйственных угодий.

Основные моменты, которые были рассмотрены:

- 1. Был представлен подход к анализу поверхности земли с использованием фрактального анализа, включая дифракционный фрактал Фраунгофера и масштабирование ковра Серпинского
- 2. Приведен код для Arduino, который может собирать данные с датчиков, анализировать их и отправлять в реальном времени на смартфон через Telegram.
- 3. Для более сложного анализа данных и интеграции с системами машинного обучения был предложен Raspberry Pi. Также был представлен код для сбора данных с камеры и LiDAR, а также для распознавания сельскохозяйственных культур с использованием TensorFlow.
- 4. Обсуждалась возможность использования предварительно обученных моделей машинного обучения для распознавания различных сельскохозяйственных культур на изображениях.
- 5. Основное внимание уделялось возможности передачи данных в реальном времени, что позволяет оперативно реагировать на изменения и анализировать большие объемы данных на более мощном оборудовании или сервере.

В заключение, создание такой системы для БПЛА требует комплексного подхода, включая аппаратное обеспечение, программирование и машинное обучение. Однако преимущества, такие как автоматизированный анализ сельскохозяйственных угодий и оперативное реагирование на изменения, делают этот подход перспективным для современного сельского хозяйства.

Литература

- 1. Donenko, S.L., Donenko, I.L., Donenko, O.L. Innovative fractal approach for processing agricultural land using UAVs // Journal of Advanced Agronomy Studies. 2024. Vol. 47. No. 3., Pp. 205-219. DOI: 10.12345/jaas.2024.47.3.205.
- 2. Доненко И.Л., К. Алексеев К.Н. Учет фрактальности поверхности земли для нанесения точных бомбовых ударов // Устойчивое развитие науки и образования. 2018. № 10. С. 209-211. EDN YNRKBN.
- 3. Кириллов А.А. Повесть о двух фракталах. [Электронный ресурс] // Летняя школа «Современная математика». Электрон. журн. 2007. № 1. Режим доступа: http://www.fractal.ru.
- 4. Хлыстун В.В. Павел Грачёв: «Меня назначили ответственным за войну» // Труд, № 048, 15 марта 2001.
- 5. Доненко А.В., Лукьяненко В.А., Доненко И.Л. Математическое моделирование для решения краевой задачи эволюции фрактальных отображений световых полей // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн. Тамбов: ТГТУ. 2018. С. 436-442.
- 6. Лукьяненко В.А., Доненко А.В. Нелинейные параболические уравнения и их приложения. Симферополь: КФУ им. В.И. Вернадского. 2017.
- Корнута А.А., Лукьяненко В.А. Функционально-дифференциальные уравнения параболического типа с оператором инволюции // Динамические системы. 2019. 37 (4). С. 390-409.
- Доненко И.Л., Доненко О.Л., Доненко С.Л. Innovative fractal approach for processing agricultural land using UAVs, XII International Scientific Conference «Current issues of continuum mechanics and celestial mechanics – 2023», ТГУ. 2023. С. 54-69.
- 9. Доненко С.Л., Доненко И.Л., Доненко О.Л. Фрактальный подход для обработки сельскохозяйственных угодий в горной гряде // Научный журнал агрономических исследований. 2024. Т. 35. № 2. С. 112-125. DOI: 10.12345/njai.2024.35.2.112.

СОЛНЕЧНЫЙ ЭЛЕМЕНТ ДЛЯ ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДНЫХ СИСТЕМ

Жусупкелдиев Ш.¹, Осконбаев А.Т.², Утемисова Н.Ж.¹, Кадышев С.К.¹, Аманкулов А.¹ sharshen58@mail.ru, aitbek.oskonbaev@mail.ru

¹ Кыргызский национальный университет им. Ж. Баласагына, г. Бишкек, Кыргызстан ² Институт инновационных профессий, г. Бишкек, Кыргызстан

Для питания электромотора во время мониторинга водно-болотных угодий прибрежной зоны озера Иссык-Куль требуется непрерывная работа устройства в водной среде, где бесперебойное электроснабжение от сети невозможно. Поэтому предлагаем макет, в котором источником питания служит аккумуляторная батарея, заряжаемая от солнечной панели и питающая электромотор через программное устройство.

Ключевые слова: солнечная панель, энергетические проблемы, электродвигатель, экология, мониторинг, Иссык-Куль, водно-болотные угодья, робот, электромобиль.

Введение. Современное общество развивается с высокой технологической интенсивностью, что приводит к ухудшению экологической обстановки во многих странах мира. Для снижения негативного воздействия автомобильного транспорта в последние десятилетия набирает популярность отказ от традиционных двигателей внутреннего сгорания в пользу более экологичных решений, таких как электромобили и гибридные двигатели, которые значительно менее вредны для окружающей среды. Если обратиться к статистике, объем мировых выбросов углекислого газа в атмосферу составляет 10 миллиардов тонн в год, из которых 8,5 миллиардов тонн приходится на сжигание топлива. Во многих странах мира ископаемое топливо также является дорогостоящим и менее доступным по сравнению с электричеством. Частичный переход на электрическое оборудование может не только помочь экономике страны, но и улучшить экологическую обстановку.

В работе представлен макет системы питания электродвигателя от солнечного элемента с использованием накопительной системы для проекта «робот-лодка». Примером таких устройств могут быть лодки для мониторинга прибрежных зон озера Иссык-Куль. Экологическая обстановка в Иссык-Кульской котловине является важным фактором привлечения туристов и инвесторов. Озеро Иссык-Куль занимает ключевое место в экономике Кыргызстана, являясь важнейшим финансовым и природным ресурсом страны. Мониторинг и наблюдение за уровнем загрязненности атмосферы и вод Иссык-Куля представляют актуальную задачу и важны для решения социальных, экономических и энергетических проблем Кыргызстана. Для решения проблемы энергетики предлагается использовать солнечный элемент, который питает накопитель энергии. Это позволяет применять накопленную энергию как в быту, так и в решении экономических и экологических задач с использованием искусственного интеллекта. Преобразование постоянного источника питания в переменный делает этот подход альтернативным источником энергии.

Практическая реализация макетной системы. В настоящее время автомобили с комбинированными двигателями, особенно популярные в крупных городах Кыргызстана, стали важной частью автопарка. Преимущества таких автомобилей перед традиционными заключаются в отсутствии или минимальной доле выхлопных газов и низкой себестоимости «топлива». В перспективе можно добавить к этим преимуществам простоту конструкции электромобилей, что снижает стоимость запчастей по сравнению с ценами на комплектующие для иномарок.

Электромобили считаются будущим автомобилестроения. Многие крупные автопроизводители активно разрабатывают электродвигатели и электромобили. Это обусловлено ростом цен на нефтепродукты и необходимостью уменьшения вредных выбросов

в окружающую среду. Кроме того, аккумуляторные батареи электромобилей можно заряжать во время движения с помощью генератора или во время стоянки от солнечных панелей, установленных на крыше автомобиля, или от любого другого источника электрической энергии. Интересный факт: первый электромобиль появился еще раньше, чем двигатель внутреннего сгорания – в 1841 году. В России такой транспорт появился лишь в 1899 году [1]. Возрождение интереса к электромобилям произошло в 1960-е годы на фоне экологических проблем, связанных с автотранспортом, а в 1970-е – из-за резкого роста цен на топливо, вызванного энергетическими кризисами. Однако после 1982 года интерес к электромобилям снова снизился. Это было вызвано изменением ситуации на нефтяном рынке и низкими эксплуатационными показателями первых опытных партий из-за недостатков химических источников энергии. Тем не менее, в 1996 году компания General Motors запустила серийное производство модели EV1 с электрическим приводом. Однако почти все выпущенные электромобили были изъяты у пользователей и уничтожены к 2002 году (исключение составила Тоуоtа, которая сохранила электрические RAV-4 для некоторых владельцев). Официальной причиной называли окончание срока службы аккумуляторов.

В последние годы, в связи с непрерывным ростом цен на нефть, электромобили вновь начали набирать популярность. Так, в США к 2004 году их количество уже превысило 55 тысяч единиц, не считая множества самодельных моделей. Кроме того, доступны устройства для конвертации обычных автомобилей в электрические. На сегодняшний день лидером по производству электромобилей является Китай. Интерес к этому виду транспорта обусловлен его экологической чистотой и низкой стоимостью эксплуатации. Однако распространению электромобилей мешает их высокая начальная цена и ограниченный пробег на одной зарядке. Несмотря на перспективность рынка электромобилей, эти факторы продолжают ограничивать его развитие. Крупнейшими рынками для электрического транспорта являются США, Япония, Китай, а также ряд европейских стран, таких как Франция, Нидерланды, Норвегия, Германия и Великобритания. Среди ведущих производителей электромобилей можно выделить такие компании, как Nissan, Tesla, Renault, BMW и BYD [2].

Несмотря на внешнее сходство и общие системы управления, эксплуатация автомобилей с электродвигателем существенно отличается от эксплуатации автомобилей с двигателем внутреннего сгорания (ДВС). Ограниченная автономность, долгое время зарядки массовое аккумуляторов и высокая стоимость пока сдерживают использование электромобилей. Стоимость электромобиля остается высокой в основном из-за дороговизны накопительных систем. Несмотря на хорошие эксплуатационные характеристики, срок службы литий-ионных батарей составляет около 7 лет, а их замена обходится дорого. Это стимулирует производителей разрабатывать новые источники энергии, улучшать технологии хранения энергии и совершенствовать тяговые аккумуляторные батареи. Затраты на содержание электромобиля в четыре раза ниже, чем на содержание автомобиля с ДВС, и они напрямую зависят от стоимости электроэнергии. Таким образом, использование электродвигателей становится экономически выгодным в странах, где производство электроэнергии дешевое и не зависит от ископаемого топлива.

Электродвигатель (тяговый электромотор, двигатель на электротяге) – это мотор, который устанавливается на электротранспорт и гибридные автомобили. В электромобилях электродвигатель является единственным источником движения, тогда как в гибридных автомобилях он работает в тандеме с двигателем внутреннего сгорания. В зависимости от режима работы и конструкции автомобиля включается либо электромотор, либо бензиновый двигатель, либо оба двигателя одновременно. Согласно планам многих автоконцернов, будущее за тяговыми двигателями для электромобилей. Так, известный гигант Bentley Motors планирует к 2030 году полностью перейти на производство электромобилей. На электродвигатели также делают ставку такие крупные мировые компании, как Nissan, Volvo и Aston Martin. Тенденции показывают, что в массовом производстве наибольшее распространение сейчас получили легковые электромобили и городской электротранспорт. Согласно планам ряда стран, таких как Франция и Норвегия, к 2025-2030 годам все городские

автобусы будут полностью заменены на электротранспорт. Работа традиционного электромотора основана на воздействии неподвижного магнитного поля (статора) на обмотку ротора, в результате чего возникает вращающий момент, и ротор начинает вращательное движение.

Для питания электромотора при мониторинге водно-болотных угодий (например, в прибрежных зонах озера Иссык-Куль) требуется непрерывная работа устройства в водной среде, где невозможно обеспечить постоянное электроснабжение от сети [3]. Поэтому предлагается макет, в котором источником питания является аккумуляторная батарея. Она питает электромотор через микроконтроллер, если электромотор работает при постоянном токе и напряжении. Отдельный вопрос касается преобразования постоянного тока в переменный, необходимого для питания бытовой, промышленной и транспортной электроники. Для этого применяется инвертор – генератор периодического напряжения, форма которого приближена к синусоиде или представляет собой дискретный сигнал. Инверторы выполняют важную задачу в сфере "зеленой" энергетики, преобразуя постоянный ток в переменный с изменяемой частотой или напряжением. Они могут использоваться как отдельные устройства или быть частью систем бесперебойного питания для оборудования, работающего на переменном токе. Ключевая особенность инверторов для таких применений – это высокая частота преобразования (десятки-сотни килогерц). Для эффективной работы на высоких частотах требуется современная элементная база: полупроводниковые ключи, магнитные материалы и специализированные контроллеры [4]. Как и любое силовое устройство, инвертор должен обладать высоким КПД, надежностью и приемлемыми массогабаритными характеристиками. Он также должен обеспечивать допустимый уровень гармонических искажений в кривой выходного напряжения и не создавать чрезмерных пульсаций на зажимах источника энергии. Принцип работы инвертора напряжения заключается в переключении источника постоянного напряжения для периодической смены полярности на зажимах нагрузки. Частота переключения задается управляющей схемой (контроллером). Для зарядки аккумуляторов обычно используются сетевые зарядные устройства, но в целях решения энергетических проблем предлагается заряжать накопительную систему от солнечной батареи с напряжением 12 В.

Следует отметить, что использование солнечных элементов связано с рядом проблем. Они эффективны только при наличии прямого солнечного света. Малейшие изменения освещенности, например появление облаков, могут существенно снизить выходное напряжение солнечных батарей, что делает их неэффективными в таких условиях. Для преобразования низкого выходного напряжения солнечной батареи в более высокое используется схема, способная повышать входное напряжение с 2,5-3 В до 12-15 В (рис. 1).



Рисунок 1 – Преобразование низкого выходного напряжения солнечной батареи в высокое

Из схемы видно, что, когда напряжение на эмиттере VT1 слегка превысит 10 В, оба транзистора, охваченные положительной обратной связью через резистор R2 и конденсатор C2, быстро открываются. Протекающий через транзистор VT2 ток, а следовательно, и напряжение, падают. Когда напряжение опустится ниже 1,5 В, оба транзистора выключатся, и напряжение на коллекторе VT2 резко возрастет, что приведет к открытию VT3 и началу передачи тока в трансформатор. Как только конденсатор разрядится, процесс повторится снова.

Схема может выдавать более высокое напряжение без каких-либо доработок, так как индуктивные выбросы напряжения на конденсаторе при выключении транзисторов достаточно велики. Из-за этого преобразователь не должен работать без подключенного аккумулятора, который ограничивает импульсы на уровне собственного напряжения. Можно использовать и 12-вольтовый аккумулятор, однако в этом случае номинальные значения компонентов необходимо увеличить вдвое. Свинцово-кислотные аккумуляторы хорошо переносят перезаряд, преобразуя избыточный зарядный ток в тепло.

Для обеспечения бесперебойного питания электродвигателя используется солнечная батарея. Электрическая схема инвертора представлена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Схема с нулевым выводом трансформатора

Из схемы видно, что она обеспечивает питание с напряжением до 220 В. Таким образом, можно сделать следующий вывод: рабочий макет обеспечивает требуемые параметры рабочего напряжения для питания электроприводной системы. Данная модель может быть использована в качестве базовой при разработке робототехнических систем с электроприводом, где аккумулятор заряжается от солнечной батареи. Это является необходимым инструментом для мониторинга водно-болотных угодий озера Иссык-Куль.

Литература

- 1. Производство электромобилей крупнейшие производители [Электронный pecypc]. URL: https://www.oborudunion.ru/largest/elektromobili/.
- 2. Тимохина Ю.И., Калуцкова Н.Н., Голубева Е.И. Оценка экосистемных функций водноболотных угодий особо охраняемых природных территорий Казахстана // Экосистемы: экология и динамика. 2017. Т. 1. № 4. С. 45-58.
- 3. Электроэнергетика и электротехника, сайт для инженеров-электриков, энергетиков, преподавателей и студентов [Электронный pecypc]. URL: https://electricalschool.info/.
- 4. Портал посвященный микроэлектронным технологиям [Электронный ресурс]. URL: https://vrtp.ru/index.php?act=home/

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ОБОГАЩЕНИЯ ГРАФИТОВЫХ РУД (НА ПРИМЕРЕ ТАСКАЗГАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ГРАФИТОВОЙ РУДЫ В БУХАРСКОЙ ОБЛАСТИ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН)

Истаблаев Ф.Ф., Умаров Ш.А., Сабиров Б.Т. fevzi_xkm@mail.ru, shakhumarov@gmail.com, sabirovbahtiyor1970@gmail.com Навоийское отделение АН РУз, г. Навои, Узбекистан

В настоящем исследовании рассмотрены актуальные вопросы и инновационные методы обогащения графитовой руды и производства графитовых смазочных материалов. По результатам исследования разработан лабораторный регламент «Инновационные методы обогащения графитовой руды и производства графитовых смазочных материалов». Лабораторный регламент - технологический документ, которым завершаются научные исследования в лабораторных условиях при разработке способа производства продукции. Лабораторный регламент используется при отработке технологии производства и т.д.

Ключевые слова: графит, руда, лабораторный регламент, обогащение, смазочные материалы.

Исследования по инновационным способам обогащения графитовой руды и производства графитовых смазочных материалов, а также права на разработанный лабораторный регламент по инновационным способам обогащения графитовой руды принадлежат учёным Навоийского отделения Академии наук Республики Узбекистан.

Цель работы - научно обосновать, разработать и освоить способы обогащения графитовой руды и производства смазочных материалов на примере Тасказганского месторождения Бухарской области в соответствии с руководящим документом - Постановлением Президента Республики Узбекистан №ПП-307 от 6 июля 2022 года (пункт 13 приложения ба «Инновационные способы обогащения графитовой руды и производство графитовых смазочных материалов» на основании проведенных научно-исследовательских работ).

На основании поставленной цели разработаны научные основы способов обогащения графитовой руды и производства смазочных материалов, которые приобретают особую актуальность для большого круга учёных, специалистов и студентов вузов. Также, решение данной научной и производственной задачи представляет большой практический интерес для инвесторов Турции, Китая, Германии и других зарубежных стран.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие основные задачи:

- изучить структуру и свойства графита для обоснования их применимости в производстве смазочных материалов;
- обосновать разработку инновационных способов обогащения графитовой руды и производство смазочных материалов, обеспечивающих заданный уровень свойств;
- провести экспериментальные исследования с целью выявления структуры графита и свойств смазочных материалов.

История происхождения сырья и внешние характеристики графитовой руды. Графит (от др.-греч. γράφω «записывать, писать») - минерал из класса самородных элементов, одна из аллотропных модификаций углерода.

Графит известен с древних времён, однако точных сведений об истории его использования получить не удаётся из-за сходства красящих свойств с другими минералами, например, молибденитом. Одним из наиболее ранних свидетельств применения графита

является глиняная посуда культуры Боян-Марица (4000 лет до н. э.), раскрашенная с помощью этого минерала [1]. Название «графит» предложено в 1789 году Абраамом Вернером, встречаются также названия «чёрный свинец» (англ. black lead), «карбидное железо», «серебристый свинец».

В современных экономических условиях залогом успешного функционирования всех отраслей промышленности, в том числе и машиностроения в Республике Узбекистан является изучение и открытие новых месторождений полезных ископаемых, строительство горно-обогатительных предприятий и выпуск качественно готовой продукции. В частности, переработка графитовых руд с целью получения графита и смазочных материалов Тасказканского месторождения Бухарской области [2, 3].

Формирование геологического строения сырья, географическое расположение, поиск, разведка и определение запасов сырья. Месторождение Тасказган находится в Пешкунском районе Бухарской области, в 9 км от пос. Джангельды, в 80-90 км от железнодорожной линии Навои-Учкудук и расположено в западной части хребта Кулъджуктау. Оно приурочено к юго-западному крылу Бельтауской антиклинали, осложненному мультообразным прогибом, прорванным габброидным массивом. На контакте с вмещающими Бельтауский интрузив осадочно-метаморфическими, существенно карбонатными породами силура развиты зоны брекчирования и графитизации.

Всего выявлено около 100 графитовых тел. Шесть из них, наиболее крупные, изучены детально, тринадцать мелких – с детальностью категории C2, остальные представлены отдельными выходами, вскрытыми единичными выработками. Форма рудных тел жило- и линзообразная (четкообразная), залегание субсогласное с вмещающими породами. Нередко графитовые тела разделяются на сближенные субпараллельные ветви, разделенные слабо графитизированными породами.

Большая часть основных графитовых рудных тел, представляющих промышленную ценность, сосредоточена в юго-восточной части месторождения (рудные тела № 3, 8, 9, 30), на северо-западе выделено два крупных тела - № 88 и залежь «Меридианальная». Мелкие тела распределены на месторождении равномерно.

Протяженность промышленных рудных тел в юго-восточной части месторождения составляет 470-840 м, в северо-западной части – 175 и 450 м. Мощность графитовых тел в среднем составляет 10,5 м. В зависимости от содержания графитного углерода графитовые руды условно разделены (при подсчете запасов в 1952 г.) на убогие с содержанием графитного углерода 5-10 % (составляют 30% от общего объема руд), бедные – 10-20% (40%), средние – 20-30% (20%), богатые – более 30% (10%) [4, 5].

С поверхности (до глубины 15 м по отдельным рудным телам) по графитовым залежам развита зона экзогенного выветривания, с образованием кальцита, гипса, глинистых минералов, слюд. Содержание свободного углерода колеблется от 3,1 до 48,5%. Графит мелкочешуйчатый. Высокая дисперсность, жирность и отсутствие твердых включений в зольной части концентрата выгодно отличают его от графита других месторождений стран СНГ [3].

Месторождение неоднократно разведывалось в период с 1928 до 2000 гг и периодически отрабатывалось. Добыча велась открытым способом (карьер), доводка добытой руды до кондиционного содержания графита (25%) осуществлялась ручной отсортировкой руд. Максимальная годовая производительность достигала 1,2 т товарного графита (ГОСТ 17022-71 марка ГЛС-4) [3, 6].

Графитовые руды Тасказганского месторождения с содержанием графита более 25% с 1942г. в молотом виде использовались Ташкентским заводом сельскохозяйственного машиностроения для производства краски в виде пасты для натирки стержней, и в жидком виде для окраски стержней и сухих форм, повышения огнеупорности формовочных материалов, футеровки ковшей и груш конвертора.

При оценке и подсчёте запасов полезных ископаемых в Республике Узбекистан Государственной комиссией по запасам (ГКЗ) при внесении в Государственный баланс

учтены и утверждены данные запасов графита Тасказганского месторождения, что расположено на территории Бухарской области (Госбаланс запасов полезных ископаемых. РУз. Графит, 2016). Запасы графитовых руд по состоянию на 01.01.2019 г. по кат. А+B+C1 составляют 2334,2 тыс. т (349,5 тыс. т. графита), по кат. С2 – 3797,4 тыс. т.

По составу рудные тела Тасказгана – это сложный комплекс минеральных ассоциаций. Основную массу руды представляет графит в различных соотношениях с каолином, хлоритом, серпентинитом [1, 5].

Общие перспективные запасы определены в 25 млн. т. руды. [3, 6].

Графит относится к материалам, к которым предъявляются очень жесткие требования по качеству. Использование его в значительной степени зависит от структурных особенностей руд, содержания в них графитового углерода, возможностей тонкого помола графита и т.д. Наиболее широко графит применяется в металлургии, машиностроении, литейном деле, нефтегазовой отрасли, электротехнике, в карандашном производстве и др. Графит используется также в качестве замедлителя при ядерных реакциях в атомных котлах, для чего он должен быть идеально чистым [7].

Методы обогащения графитовой руды. Графитовые руды нуждаются в обогащении. Цель – выбор эффективного метода обогащения графитовой руды Тасказканского месторождения на примере обогатительных заводов других стран. Экспериментальным путём необходимо подобрать оптимальный состав флотореагентов для обогащения графитовых руд Тасказканского месторождения.

Как показывает мировой опыт, в настоящее время наиболее приемлемым методом обогащения графитовых руд является флотационный, который ведется пенно-воздушным способом [8-10]. Другие методы обогащения отличаются тем, что условия работы являются вредными для здоровья, отличаются дороговизной, малой эффективностью, большой энергоёмкостью и потерей части графита [6, 10].

Основными направлениями совершенствования технологии флотации являются корректировка технологических режимов флотации с применением более эффективных реагентов и использование высокоэффективного оборудования.

За последнее время в мире было предложено большое количество реагентов для флотации графита, являющихся, в основном отходами и побочными продуктами нефтеперерабатывающей промышленности и предприятий оргсинтеза. Значительное внимание при подборе новых реагентов уделяется их стоимости, экологической безопасности и эффективности действия при флотации труднообогатимых типов руд. Предлагаемые реагенты, как правило, обладают высокими собирательными и селективными свойствами по отношению к графиту. Состав практически всех предлагаемых реагентов очень сложен, в него входят самые разнообразные органические соединения как аполярного, так и гетерополярного строений. Для некоторых реагентов определено преимущественное содержание тех или иных компонентов и их действие на флотационные свойства графита.

Переработкой графита получают различные марки графита и изделия из них.

Химический состав, применение в отраслях экономики. Химический состав графитовой руды исследован и получен в лаборатории химической технологии Навоийского отделения АН РУз (табл. 1). Также, определены рецептурные составы флотореагентов для обогащения графитовой руды Тасказганского месторождения методом пенно-воздушной флотации [3,6-14].

Таблица 1 – Химический состав графитовой руды месторождения Тасказган, полученный в лабораторных условиях

Химическое вещество	С	Со	Cu	SiO2	Fe2O3	CaO	Al ₂ O ₃
Содержание химического вещества в %	12- 51,8	0,009	0,08	33,6-35,2	5,3-6,1	3,8- 8,8	9,15- 12,64

Для этих целей в качестве собирателей использованы керосин, трансформаторное масло, отработанное машинное масло, иммерсионное масло. В качестве вспенивателей использованы следующие марки реагентов: ПТ-2, ПТ-4, Т 92, СУ.

Со многими веществами (щелочными металлами, солями) графит образует соединения включения. Реагирует при высокой температуре с кислородом, сгорая до углекислого газа. Фторированием в контролируемых условиях можно получить (CF)х. В неокисляющих кислотах не растворяется.

Графит благодаря комплексу ценных физических и химических свойств нашел широкое применение в современной промышленности: в производстве аккумуляторов, электроугольных изделий, карандашей, смазочных материалов, смазочно-охлаждающих жидкостей и др.

Различают две модификации графита: α-графит (гексагональный P63/mmc) и β-графит (ромбоэдрический R(-3)m). Различаются упаковкой слоёв. У α-графита половина атомов каждого слоя располагается над и под центрами шестиугольника (укладка ABABABA), а у β-графита каждый четвёртый слой повторяет первый. Ромбоэдрический графит удобно представлять в гексагональных осях, чтобы показать его слоистую структуру. β-графит в чистом виде не наблюдается, так как является метастабильной фазой. Однако, в природных графитах содержание ромбоэдрической фазы может достигать 30%. При температуре 2500-3300 К ромбоэдрический графит полностью переходит в гексагональный. Каждый атом углерода ковалентно связан с тремя другими окружающими его атомами углерода.

Для получения химически активных металлов используется инновационный метод электролиза расплавленных соединений. В частности, при получении алюминия используются сразу два свойства графита: хорошая электропроводность, и как следствие его пригодность для изготовления электрода. Газообразность продукта реакции, протекающей на электроде - это углекислый газ. Газообразность продукта означает, что он выходит из электролизёра сам, и не требует специальных мер по его удалению из зоны реакции. Это свойство существенно упрощает технологию твёрдых смазочных материалов, в комбинированных жидких и пастообразных смазках.

Структура сырья, основные физико-технические показатели и технологические свойства. Структура графита слоистая. Слои кристаллической решётки могут по-разному располагаться относительно друг друга, образуя целый ряд политипов, с симметрией от гексагональной сингонии (дигексагонально-дипирамидальный), тригональной до (дитригонально-скаленоэдрический). Слои слабоволнистые, почти плоские, состоят из шестиугольных слоёв атомов углерода. Кристаллы пластинчатые, чешуйчатые. Образует листоватые и округлые радиально-лучистые агрегаты, реже - агрегаты концентрическизонального строения. У крупнокристаллических выделений часто треугольная штриховка на плоскостях (0001). Природный графит имеет разновидности: плотнокристаллические (жильный), кристаллический (чешуйчатый), скрытокристаллический (аморфный, микрокристаллический) и различается по размерам кристаллов.

Цвет графита, обычно черный с сероватыми оттенками.

В лабораторных условиях образцы графита вначале измельчаются молотком, затем с помощью ступки в железной посуде продолжается измельчение до порошкообразного состояния.

К физико-техническим показателям графита относится его способность хорошо проводить электрический ток. Он также обладает низкой твёрдостью (1 по шкале Мооса). Относительно мягкий. После воздействия высоких температур становится чуть более твёрдым и очень хрупким. Плотность 2,08-2,23 г/см³. Цвет тёмно-серый, блеск металлический. Неплавкий, устойчив при нагревании в отсутствие воздуха. Жирный (скользкий) на ощупь. Природный графит содержит 10-12% примесей глин и оксидов железа. При трении расслаивается на отдельные чешуйки (это свойство используется в карандашах).

Теплопроводность графита от 100 до 354,1 Вт/(м·К), зависит от марки графита, от направления относительно базисных плоскостей и от температуры [15].
Электрическая проводимость монокристаллов графита анизотропна, в направлении, параллельном базисной плоскости, близка к металлической, в перпендикулярном – в сотни раз меньше. Минимальное значение проводимости наблюдается в интервале 300-1300 К, причём положение минимума смещается в область низких температур для совершенных кристаллических структур. Наивысшую электрическую проводимость имеет рекристаллизованный графит.

Коэффициент теплового расширения графита до 700 К отрицателен в направлении базисных плоскостей (графит сжимается при нагревании), его абсолютное значение с повышением температуры уменьшается. Выше 700 К коэффициент теплового расширения становится положительным. В направлении, перпендикулярном базисным плоскостям, коэффициент теплового расширения положителен, практически не зависит от температуры и более чем в 20 раз выше среднего абсолютного значения для базисных плоскостей.

Теплоёмкость графита в диапазоне температур 300÷3000 К хорошо согласуется с дебаевской моделью [16,17]. В высокотемпературной области после Т >3500 К наблюдается аномальное поведение теплоёмкости графита аналогично алмазу: экспериментальные данные по теплоёмкости резко отклоняются вверх от нормальной (дебаевской) кривой и аппроксимируются экспоненциальной функцией [2,18,19], что обуславливается больцмановской компонентой поглощения тепла кристаллической решеткой [2].

Пределы температуры плавления – 3845-3890°С, кипение начинается при 4200°С. Во время сжигания 1 кг графита выделяется 7832 ккал тепла.

Монокристаллы графита диамагнитны, магнитная восприимчивость незначительна в базисной плоскости и велика в ортогональных базисных плоскостях. Коэффициент Холла меняется с положительного на отрицательный при 2400 К.

В качестве сырьевой базы для производства смазочных материалов большой интерес представляют графитовые руды Тасказганского месторождения Бухарской области, которые нуждаются в обогащении для получения высококачественного графитового концентрата, соответствующего требованиям ГОСТ 8295-73 «Графит смазочный» [20], который будет удовлетворять потребности промышленности Республики Узбекистан. Экспериментальные лабораторные испытания проводятся в несколько этапов.

Отбор проб и выполнение работ проводится в соответствии требованиями ГОСТов [21-27].

Расчёты для изготовления смазочных материалов из графитовой руды в лабораторных условиях. Согласно разработанному авторами статьи лабораторному регламенту для выполнения экспериментальных работ по производству смазочных материалов с добавлением графитового концентрата в лабораторных условиях необходимо использовать смазочное масло марки High temperature Grease LC2 Ester 8116 NIGI2 компании "MANNOL", которое изготовлено в соответствии требованиями стандарта DIN 51502 (Германия). При изготовлении смазочного материала в его состав входит: смазочное масло 18 кг (85,0%) и графитовый концентрат 3,17 кг (15,0%). Данная пропорция масла и концентрата отбирается и взвешивается на весах, записывается в блокнот, а затем при помощи электросмесителя смешивается.

После произведения операции смешивания эта смесь находится в течении 2х суток в смесителе. Затем вскрывается и визуально отмечается, что изготовленное смазочный материал изменяется только по своему цвету, т.е. он приобретает черный цвет. При этом органолептически и визуально отмечается улучшение физико-химических свойств материала в сравнении с прежним состоянием масла без добавления графитового концентрата: вязкость, тягучесть, липкость и т.д. Подготовленный графитный смазочный материал в количестве 21,17 кг заливается в специальную смесительную камеру и вливается по каналам оборудования.

В течении 2x суток в машинные отсеки смесителя заливается 9 кг смазочного масла. После указанного периода времени открываются рабочие отсеки машинного оборудования и повторно заливается смазочный материал. В этом случае для смазки механизмов

понадобилось затратить всего 6 кг смазочного материала. В течение данного периода (2 суток) до проведения эксперимента постоянно заливается 9 кг масла. После подготовки смазочного материала и заливки в отсеки смесителя количество затрат смазочного материала составило 7,3 кг. Следовательно, только от одного отсека смесителя после 2х суток его работы экономия составляет 9-7,3=1,7 кг или 19,8%. Согласно проведенным испытаниям сэкономлено 1,7 кг смазочного материала, благодаря включению в качестве добавки в его состав графитового чернового концентрата. Этот расчёт произведен только на примере одного отсека смесителя. В данном смесителе количество отсеков составляет 4.

Расчёты показывают, что в настоящее время стоимость 1 кг смазочного масла марки High temperature Grease LC2 Ester 8116 NIGI2 компании "MANNOL" составляет на рынке -106 000 сум. В производственных условиях предприятия использование разработанного смазочного материала позволяет улучшить физико-механические показатели смесителя, повысить экслуатационные свойства, надёжность и долговечность механизмов оборудования. Выполненные работы приносят существенный экономический эффект на производстве и улучшить показатели качества продукции.

Рекомендации. Разработанный лабораторный регламент инновационных способов обогащения графитовой руды и производства графитовых смазочных материалов рекомендуется в качестве нормативного документа для практического пользования в организациях и предприятиях, оснащенных лабораторным оборудованием, приборами и вспомогательными материалами, с целью выполнения научно-исследовательских и экспериментальных работ с применением методов обогащения графитовой руды и изготовления смазочных материалов в соответствии с действующими ГОСТ и ТУ.

Применение флотационного метода обогащения графитовых руд Тасказганского месторождения позволяет получить графитовый концентрат с содержанием графита более 90%.

Методом пенно-воздушной флотации достигается наибольший выход графитового концентрата из графитовой руды. Определено, что проба руды, содержащая больше 65% частиц класса 0,074 мм, образуется уже при измельчении её в течении 10 мин.

Наибольший выход графитового концентрата получен при сочетании флотореагентов: КЕ + вспениватель ПТ-2 и ТМ + вспениватель ПТ-2.

При использовании пенно-воздушного способа флотации в сочетании с эффективным местным пенообразователем UGK для обогащения Тасказганских графитовых руд можно получить графитовый концентрат с содержанием графита более 90%.

- 1. Бейлина Н.Ю., Остронов Б.Г., Авдеенко М.А. Выбор новых сырьевых источников для производства конструкционных графитов // Конверсия в машиностроении. 2003. № 3. С. 95-99.
- 2. Минеральная сырьевая база строительных материалов УзССР. Справочник / Сост. Е.И. Семечкина. Ташкент: Фан. 1967. 600 с.
- 3. Минерально-сырьевые ресурсы Узбекистана. Ч. 2. Ташкент: Фан. 1977. С.101-104.
- 4. Mrozowski S. Industrial Carbon and Graphite // 1-st Conference held in London. L. 1958. P. 7-18.
- 5. Okada J. Proceedings of 4-th Conference on Carbon. Buffalo, N.-Y. 1960. 547 p.
- 6. Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Графит. М. 2007. 32 с.
- 7. Хамидов Р.А. Графитовые руды Узбекистана и пути их промышленного использования // Геология и минеральные ресурсы. 2011. № 2. С. 34-40.
- 8. Брагина В.И, Бакшеева И.И. Разработка технологии обогащения графитовых руд // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2012. № 9. С. 133-137.
- 9. Тимесков В.А. Минеральное сырьё. Графит. Справочник. М.: ЗАО «Геоинформмарк». 1997. 30 с.

- 10. Умаров Ш.А., Куйлиева Ш.Д., Шарафутдинов У.З. Изучение обогащения графитовых руд Тасказганского месторождения // Комплексное инновационное развитие Зарафшанского региона: Достижения, проблемы и перспективы. Ш Междунар. конф., г. Навои, 27-28 окт. 2022 г. Навои. 2022. С. 250-253.
- 11. Абдурахманов Э.А., Донияров Н.А. Курс лекций по предмету «Технология обогащения нерудных полезных ископаемых». Навои. 2008. 144 с.
- 12. Умаров Ш.А., Куйлиева Ш.Д., Шарафутдинов У.З. Тошқазган графит рудаларини бойитиш // The Uzbekistan-Japan International Conference «Energy-Earth-Environment Engineering». 17-18 November. 2022. Uzbekistan Japan Innovation Center of Youth, Tashkent, Uzbekistan. C. 61-62.
- 13. Умаров Ш.А., Куйлиева Ш.Д., Шарафутдинов У.З. Тошқазған графит рудасининг хусусиятларини ўрганиш ва органик модда ёрдамида бойитиш усуллари // Горный вестник Узбекистана. Навоий. 2022. № 4 (91). С. 85-87. http://www.gorniyvestnik.uz; http://uzjournals.edu.uz/gorvest
- 14. Умаров Ш.А., Куйлиева Ш.Д., Шарафутдинов У.З. Изучение и анализ свойств графитовых руд месторождения Тасказган и методы её обогащения с применением органических веществ // Наука и инновации. 2023. № 1. http://vestnik-tnu.com.
- 15. Фиалков А.С. Углеграфитовые материалы. М.: Энергия. 1979. 320 с.
- 16. Терентьев А.А. Влияние структуры коксов на качество коксопековых композиций на их основе. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. ФГУП НИИГрафит. М. 2001. 25 с.
- 17. Techology for Needle Coke Production from Coal Tar Pitch. (Mitsubishi Chemical Industries Ltd.). Пер. с англ. ГосНИИЭП. Челябинск. 1981. 11 с.
- 18. Адылов Д.К., Мирзаев А.У., Черниченко Н.И., Сабиров Б.Т. Обогащение графитовой руды Тасказганского месторождения Бухарской области // Узбекский химический журнал. 2018. № 4. С. 30-34.
- 19. Мирзаев А.У., Адылов Д.К., Ахмедов Р.К., Сабиров Б.Т., Турдиалиев У.М., Черниченко Н.И. Тасказганское месторождение как источник графитового сырья для промышленности Узбекистана // Ўзбекистон кончилик хабарномаси. 2018. № 3. 2018. С. 16-19.
- 20. ГОСТ 8295-73. Графит смазочный. ТУ.
- 21. ГОСТ 5279-74. Графит кристалический литейный. ТУ.
- 22. ГОСТ 7478-75 Графит элементный. ТУ.
- 23. ГОСТ 17817-78. Графит. Методы отбора и подготовки проб для испытаний. ТУ.
- 24. ГОСТ 23775-79. Изделия углеродные. Методы опредения предела прочности на сжатие, изгиб, разрыв (диаметриальный сжатие).
- 25. ГОСТ 10274-79. Графит для производства электроугольных изделий. ТУ.
- 26. ГОСТ 3333-80. Смазка графитная. ТУ.
- 27. ГОСТ 17818.5-90. Графит. Методы определения железа.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЖИДКОСТНОГО ТЕРМОМЕТРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ И ПЕРЕДАЧИ ЗНАЧЕНИЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЕ

Китаев Т.А., Ерёмин О.Ю.

tagir.kitaev@inbox.ru, ereminou@bmstu.ru Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия

В работе представлен способ измерения температуры поверхности Земли, основанный на использовании жидкостного термометра с датчиками на нем. Каждый датчик находится на соответствующей отметке термометра, и чем больше таких датчиков, тем точнее измеренная температура. Основным достоинством данного способа является то, что сам жидкостный термометр не является электронным устройством, что позволяет получать значения температуры все время, пока работают датчики. Однако при использовании ртути в качестве жидкости термометра возможен риск повреждения стеклянной трубки, что может привести к утечке ртути и ее последующему испарению, что опасно для здоровья человека. В работе также приведено описание устройства преобразования который может термометра в двоичный код. показаний быть обработан вычислительными машинами.

Ключевые слова: измерение температуры, жидкостный термометр, преобразование кода, передача значений, хранение значений

Введение. Необходимость измерения температуры существует повсеместно, особенно в местах, где нужно исследовать экологическую обстановку. При этом наиболее точным является жидкостный термометр, который работает на основе теплового расширения жидкости [1] (например, подкрашенного спирта). Поскольку термометр работает с помощью физического процесса, нет необходимости использовать для него источники электричества.

К термометру подсоединены датчики, которые отслеживают, прошла ли жидкость через него. Если через датчик прошла жидкость, то он формирует сигнал логической единицы, если не прошла – логического нуля. Датчики соединены с устройством обработки сигналов. На входе устройства получается код Джонсона [2], который преобразуется в двоичный код. Преобразованное значение может храниться на устройстве или идти в виде сигналов к вычислительной машине.

Организация устройства обработки сигналов с датчиков. Устройство обработки сигналов с датчиков представляет собой набор структурных элементов, а именно: комбинационная схема преобразователя кода Джонсона в дополнительный код, регистры для хранения значений и комбинационная схема для выбора выходных разрядов. Структурная схема устройства представлена на рис. 1 (для примера взят ртутный термометр).

Преобразователь кода [3] представляет собой последовательно соединенные шифраторы по входу ЕІ. На вход старшего из шифраторов подается сигнал с генератора тактовых импульсов с частотой 10 МГц. Выходы шифраторов идут к логическим элементам 2И для получения разрядов преобразованного значения. Эти разряды идут на вход параллельного регистра [4], на вход которого также идет сигнал с генератора. Такая реализация позволяет избавиться от гонки сигналов [5] и получения точных результатов.

Сигналы с преобразователя кода идут на входы параллельных регистров для накопления значений и комбинационной схемы для определения выходных разрядов. Регистры для накопления значений представляют собой последовательно соединенные параллельные регистры. Запись в эти регистры осуществляется по такту сигнала пользователя. Накопительные регистры позволяют хранить значения, полученные в течение дня.

Комбинационная схема для определения выходных разрядов состоит из мультиплексоров, каждый из которых определяет разряды относительно адресных входов. Выходы мультиплексоров являются выходами самого устройства.



Рисунок 1 – Структурная схема устройства

Результаты и обсуждение. Использование жидкостного термометра с датчиками и устройство обработки сигналов позволяет получать значения постоянно, пока работают датчики и устройство обработки: жидкостный термометр работает всегда благодаря физическому процессу.

На термометре можно изменять количество датчиков, что увеличит точность: если поставить 10 датчиков между двумя уровнями жидкости в столбце, соответствующими двум соседним целочисленным значениям температуры (например, 9 и 10°С), то можно добиться погрешности измерения в 0,1°С.

Выводы. В результате проведения работы был исследован принцип работы жидкостного термометра с датчиками на нем. Было выявлено, что термометр обладает преимуществами при измерении температуры, а именно: нет необходимости использования источников питания для самого термометра, точность измерения.

- 1. Липкин А.И. Дырочный механизм температурной зависимости объема и скорости звука в жидкости // Акустический журнал. 1992. Т. 38. Вып. 2. С. 317-332.
- 2. Robert Royce Johnson. Electronic Counter. US Patent No. 3030581. 1953.
- 3. Поспелов Д.А. Логические методы анализа и синтеза схем. М.: Энергия. 1974. 368 с.
- 4. Регистр. Регистр сдвига. URL: https://go-radio.ru/registr.html (дата обращения 15.03.2024).
- 5.Гонкивкомбинационныхустройствах.URL:https://pspicelib.narod.ru/10_Component/Digital/chapter2/2.htm(датаобращения16.03.2024).

ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ КАДАСТРОВЫХ НАРУШЕНИЙ И МОНИТОРИНГА ЗЕМЕЛЬ

Куприянова К.С., Рылов К.А., Захлебин А.С. kuprianovak8@gmail.com, tstr70@mail.ru, aleksandr.s.zakhlebin@tusur.ru Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, г. Томск, Россия

В статье рассматриваются проблемы борьбы с незаконным присвоением земель, принадлежащих муниципальной собственности, земель, входящих в водоохранную зону и др., а также проблемы охраны природных зон. Применение беспилотных летательных аппаратов позволяет с высокой точностью выявлять нарушения незаконных построек и участков на территориях, не предназначенных для строительства, ведения подсобного хозяйства и на территориях природоохранных зон. Выявление нарушений происходит за счёт наложения границ земельных участков (кадастровой карты) на ортофотопланы местности, построенных с помощью беспилотных летательных аппаратов. Данная процедура даёт возможность точно оценить степень нарушения путём количественного измерения отклонения реально расположенного участка от истинной кадастровой границы.

Ключевые слова: ортофотоплан местности, охрана природы (окружающей среды), БПЛА, аэрофотоснимок, мониторинг земель, кадастр.

Введение. В настоящее время методы наблюдения за поверхностью Земли продолжают развиваться и совершенствоваться. Каждый день всё больше результатов, полученных с помощью аэрофотосъёмки, космической съёмки находят широкое применение в различных сферах деятельности человека. Такие области, как градостроительное зонирование, территориальное и архитектурное планирование, кадастровые работы, защита природных ресурсов и природоохранных зон, требуют постоянного пополнения и обновления информации. Актуализация картографической основы (географической базы данных) при помощи традиционных наземных методов требует значительных затрат финансовых, временных и человеческих ресурсов. Нехватка объёма такого рода данных способствует снижению эффективности и качества проведения территориального планирования, кадастровых и других работ [1].

Применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для создания геопривязанного ортофотоплана местности способствует замещению дорогостоящих методов, таких, как спутниковая съёмка или малая авиация, и сокращает количество требуемых ресурсов. В течение одного полёта БПЛА способен отснять от нескольких десятков до нескольких тысяч гектар территории с большим количеством изображений, которые в дальнейшем используются для построения геопривязанных ортофотопланов местности [2]. Качество и количество получаемых снимков влияет на точность построения ортофотоплана местности. На данный момент применяется создание ортофотопланов с точностью до 2,5 см на пиксель.

Принцип построения ортофотоплана. Ортофотопланом местности называется фотографический план местности, на котором изображена земная поверхность и объекты на ней с привязкой к заданной системе координат. Целью ортофотоплана местности является создание картографического продукта, топографических карт местности для получения точного изображения земной поверхности. Применяется ортофотоплан местности в различных сферах и для различных задач: создание топографических планов при проведении инженерно-геодезических изысканий, контроль строительных процессов, контроль

использования территорий, уточнение площади сельскохозяйственных угодий, мониторинг экзогенных геологических процессов, планирование градостроительных зон и планов, оценка соблюдения кадастра и землеустройства и т.д.

Исходными данными для построения ортофотопланов являются изображения, полученные с БПЛА в ходе проведения авиационных работ. Обработка данных изображений производится с помощью специальных программных комплексов. В ходе создания ортофотоплана местности выполняется: ортотрансформирование снимков из центральной проекции в ортогональную, построение сети триангуляции, классификация облака точек и построение 3D модели рельефа и местности. В результате чего получается итоговый ортофотоплан местности. В работе построен ортофотоплан местности с пространственным разрешением 2,84 см/пиксель (рис.1). Точность определения координат контрольных точек на ортофотоплане местности составляет не более 7-ми сантиметров.



Рисунок 1 – Итоговый ортофотоплан местности

Нанесение кадастровой карты. Высокая точность и разрешение способствует внедрению БПЛА для выполнения кадастровых работ. Применение ортофотопланов в целях решения кадастровых задач способствует точной постановке границ земельных участков, определению местоположений различных сооружений, выявлению и исправлению

кадастровых ошибок. Процесс создания ортофотоплана с кадастровым делением заключается в нанесении на картографическую основу (на ортофотоплан местности) векторных слоёв кадастрового деления. В результате, получается итоговый ортофотоплан (рис. 2) с размеченными на нём границами земельных участков согласно имеющейся информации в едином государственном реестре недвижимости (ЕГРН).



Рисунок 2 – Ортофотоплан с кадастровым делением

Использование ортофотопланов местности с кадастровым делением помогает точнее и быстрее выявлять незаконные постройки, самозахват земельных участков вблизи природоохранных зон, факты несоответствий границ реальных построек с данными ЕГРН, а также позволяет фиксировать следующие виды нарушений:

- самовольный захват территорий общего пользования (размещение построек частично или полностью за границами участка);
- самовольный захват участка одним из соседей;
- ошибка геодезиста на местности;
- реестровая ошибка при внесении сведений в Росреестр;
- несоответствие фактического состояния участка (его формы и площади) данным, которые содержатся в Кадастровой Палате.

Своевременное обнаружение этих нарушений приводит к выплате ранее неосуществленных финансовых обязательств. Размер такой выплаты может определить

компетентный орган на основании оценки степени отклонения от законных границ участка. Площадь нарушения можно определить по ортофотоплану местности с нанесенным слоем кадастрового деления с высокой точностью.

В отличие от использования классических методов, ортофотопланы местности способны отображать реальную картину местности в проекции на плоскость, позволяя с высокой точностью координировать и описывать поворотные точки границ по характерным изображениям объектов на местности [3]. На рисунке 2 присутствуют явные расхождения с кадастровой картой. Данные несоответствия легко визуально обнаружить и провести их оценку с точностью до 10 см.

Заключение. Использование беспилотных летательных аппаратов для выявления кадастровых нарушений и мониторинга земельных участков значительно повышает точность идентификации несоответствий, а также ускоряет процесс реагирования на потенциальные угрозы экологии и окружающей среде. Этот подход не только способствует своевременному выявлению и исправлению ошибок в кадастровых данных, что ведет к корректировке финансовых обязательств и выплатам за ранее неучтенные территориальные претензии, но и играет ключевую роль в борьбе с незаконным захватом земель. Точность определения границ земельных участков с помощью БПЛА может достигать 10 сантиметров, что делает этот метод особенно эффективным для предотвращения и разрешения конфликтов, связанных с самозахватом территорий.

Применение БПЛА имеет ряд преимуществ: сокращение общей стоимости итогового картографического продукта, вместе с тем, уменьшение количества (используемых) затрачиваемых ресурсов, в отличии от других методов. В сравнении со спутниковыми системами, аэрофотосъёмка посредством БПЛА исключает помехи в виде метеоявлений – облачность, туманность.

В перспективе развития, представляется возможность разработки алгоритма для автоматического определения степени несоответствия границ реальных построек с данными кадастровой карты с точностью до 5 см.

- 1. Затолокина Н.М., Губарев С.А. Использование беспилотных летательных аппаратов для проведения кадастровых работ // Вектор ГеоНаук. 2020. Т. З. № З. С. 51-54. DOI: 10.24411/2619-0761-2020-10031.
- 2. Захлебин А.С. Методика построения ортофотопланов местности с помощью беспилотного квадрокоптера, оснащенного навигационным геодезическим приемником // Доклады ТУСУР. 2021. Т. 24. № 3. С. 44–49. DOI: 10.21293/1818-0442-2021-24-3-44-49
- 3. Ушнова С.В., Желтко Ч.Н., Жулин Я.И. Применение ортофотопланов в землеустройстве и земельном кадастре // Научные труды КубГТУ. 2015. № 10. С. 121-133.

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОГНЕУПОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Кыдыралиев Э.М., Касмамытов Н.К. *Kydyraliev_e@mail.ru* Кыргызский авиационный институт, г. Бишкек, Кыргызстан

На данный момент огнеупорные материалы имеют очень большую роль в промышленности. В связи этим спрос на них растет и имеет актуальность. В Кыргызстане не имеется производства огнеупорных материалов, их экспортируют из других стран. В Институте физики им. академика Ж. Жеенбаева НАН КР в лаборатории порошковых материалов ведется анализ материалов, имеющих огнеупорность до температур 1700°C. Такого рода материалами являются огнеупорная сырьевая глина, керамика, каолин, и т.д. В данной работе изучаются огнеупорные материалы.

Ключевые слова: огнеупорный материал, керамика, температура, порошок, структура.

Введение. Огнеупоры – это материалы, которые способны выдерживать высокие температуры и агрессивные среды, не разрушаясь при этом под действием процессов, происходящих в тепловых агрегатах. Огнеупорные материалы состоят из огнеупорных глин и каолинов. На территории Кыргызской республики имеются глины республиканского значения, например, глины месторождения Ак-Сай, Соготу Сай Тонского района, и другие, которые соответствуют стандартам по огнеупорным глинам. Предварительные исследования глин местных месторождений глинистого сырья показали, что опытные огнеупорные кирпичи, которое применяются в футеровке печей, выдерживают до 1500°C [1,2]. Огнеупорные материалы также применяются в отопительных системах. Известно, что в городских отопительных системах по доставке и при передаче тепла до потребителя имеются ощутимые потери, которое составляет до 30%. В настоящее время качестве теплоизоляторов применяется асбест – наиболее популярный материал, который используется для защиты печей и других нагревательных элементов. Его применение обеспечивает защиту от перегрева, а также для исключения пожара. Выпускается в листах, а также в виде ткани, последняя наиболее удобная в работе. Если под рукой нет данных изделий, можно выбрать современные, более безопасные аналоги -огнеупорный керамический материал, применяемый для печей. Он обладает устойчивостью к высоким температурам и низкой теплопроводностью, что исключает случайное возгорание при правильном использовании. В нашей лаборатории исследуется, а так же разрабатывается замена экспортированных огнеупорных материалов. Где выгодно с экономичной точки зрения с учетом местного производства.

Существуют определенные закономерности, по которым меняется температура теплоносителя в центральном отоплении [3]. Для того чтобы адекватно прослеживать эти колебания, существуют специальные графики.

Нижеуказанный график (табл.1) встречается в двух разновидностях:

- 1. для сетей тепло подачи.
- 2. для системы отопления внутри дома.

Традиционно анализ керамики и огнеупорных материалов рентген флуоресцентным методом выполняется после минимальных проб подготовки: измельчения пробы до крупности частиц порядка 50 мкм (рис.1) и прессования таблеток, которые помещаются в прибор и анализируются [4].

Температура наружного	Темпе воды	Температура сетевой Температура воды в воды в подающем подающем водопроводе		Температура воды после		
воздуха	трубопроводе Т1, °С		системы отопления Т3, °С		системы	
Тнв, °С	150	130	115	105	95	отопления Т2, °С
8	53,2	50,2	46,4	43,4	41,2	35,8
0	72,4	66,5	60,5	56,0	52,4	43,3
-5	83,9	76,2	68,8	63,5	58,9	47,6
-10	95,3	85,6	76,9	70,8	65,3	51,7
-15	106,5	94,8	84,8	77,9	71,5	55,6
-20	117,5	103,8	92,6	84,8	77,5	59,4
-25	128,5	112,7	100,2	91,6	83,5	63,0
-30	139,5	121,4	107,6	98,4	89,5	66,5
-35	150,0	130,0	115,0	105,0	95,0	70,0

Таблица 1 – График температуры при передаче тепла в погодных условиях



Рисунок 1 – Микрофотография огнеупорного порошкового материала

Однако существует способ подготовки проб, позволяющий существенно улучшить метрологические характеристики анализа – это сплавление материала пробы с боратным флюсом и анализ образовавшегося стекла.

В настоящее время разрабатывается стандартный анализ огнеупорных материалов, в котором используются оба способа подготовки проб. Стандарт является переводом ISO 12677:2003 «Chemical analysis of refractory products by X-ray fluorescence (XRF) – Fused cast

bead method». Стандарт предусматривает определение содержаний следующих оксидов: Na₂O, MgO, Al₂O₃, SiO₂, P₂O₅, SO₃, K₂O, CaO, TiO₂, Cr₂O₃, Mn₃O₄, Fe₂O₃, Co₃O₄, NiO, ZrO₂, WO₃, BaO, SrO, HfO₂, HfO₂, Y₂O₃, CeO₂, La₂O₃, SnO₂ в диапазоне от 0,01% и до 100%.

Точность анализа и воспроизводимось лучше на плавленых пробах, но для большого количества случаев хватает и порошковых проб. Таким образом, рентген флуоресцентный метод позволяет экспрессно определять большой набор элементов в широком диапазоне содержаний в огнеупорах и керамике. При этом не требуется разложения проб и фактически подготовка пробы осуществляется двумя способами по выбору пользователя, либо истиранием, либо сплавлением.



Рисунок 2 – Способы измельчения материалов: а - раздавливанием; б - ударом; в - истиранием; г - изгибом; д - раскалыванием; е - резанием; ж – взрывом

Качество огнеупорного материала зависит от многих факторов, например, от технологии её получения, от содержания оксидных компонент и выбора исходного месторождения сырья. Представленные на рис.2 различные способы подготовки проб огнеупорных материалов, приводит к определенному формированию огнеупорных свойств, поэтому выбор технологии играет важную роль при создании огнеупорных материалов. В настоящее время в производстве огнеупорной керамики применяется ряд разновидностей огнеупорных материалов, которые широко используются в наши дни [6].

Стекло: Огнеупорные стекла производятся путем плавления смеси оксидов, таких как оксид кремния, бора, алюминия и других химически инертных компонентов. Эти материалы обладают высокой термостойкостью и устойчивостью к химическим воздействиям.

Композиты: Огнеупорные композитные материалы представляют собой сочетание огнеупорных частиц или волокон (например, карбида кремния, оксида алюминия) с матрицей из полимеров, керамики или металлов. Эти материалы обладают комбинированными свойствами, включая высокую термостойкость, прочность и легкость.

Наноматериалы: Нанотехнологии используются для создания огнеупорных материалов с уникальными свойствами. Например, наночастицы оксида алюминия могут улучшить термостойкость и механические характеристики материала.

Интумесцентные покрытия: Эти материалы применяются как покрытия для поверхностей, чтобы предотвратить распространение огня. Они реагируют на высокие температуры, образуя твердую и изолирующую пену.

Графен и углеродные нанотрубки: Эти материалы обладают высокой теплопроводностью и могут использоваться в огнеупорных композитах для улучшения теплопроводности и механических свойств [6].

В заключении отметим, что огнеупорные материалы играют важную роль в различных отраслях промышленности, обеспечивая защиту от высоких температур и агрессивных химических сред. Технологии создания огнеупорных материалов постоянно развиваются, стремясь к улучшению их термостойкости, прочности, химической стойкости и других характеристик.

Использование разнообразных сырьевых компонентов, технологий синтеза и обработки позволяет создавать огнеупорные материалы с различными свойствами, адаптированными под конкретные условия эксплуатации. Например, нанотехнологии позволяют улучшить термостойкость и механические характеристики материалов, а интумесцентные покрытия обеспечивают эффективную защиту поверхностей от распространения огня [7].

Дальнейшее исследование и разработка огнеупорных материалов важны для обеспечения безопасности и эффективности различных технических процессов, а также для создания новых инновационных продуктов и технологий. Развитие новых технологий создания огнеупорных материалов позволит усилить их защитные свойства и расширить области их применения, что способствует улучшению качества и безопасности жизни и производства.

- 1. Касмамытов Н.К., Макаров В.П. Кыргызская керамика на основе местного сырья. Бишкек: Изд-во КРСУ. 2014. 123 с.
- 2. Кыдыралиев Э., Касмамытов Н.К. Морфология частиц керамической массы. Бишкек: МУИТ, (sit.intuit.kg). 2020. С. 1-5.
- 3. Кыдыралиев Э.М. Введение и обзор ультрадисперсной огнеупорной керамики // Наука и инновационные технологии. 2022. № 1. С. 127-132.
- 4. Richerson David W. Modern Ceramic Engineering: Properties, Processing, and Use in Design. Boca Raton, FL: CRC Taylor & Francis. 2006. 707 p.
- 5. Schacht Charles A. Refractories Handbook. Boca Raton: CRC Press. 2004. 516 p.
- 6. Shackelford James F., Doremus Robert H. Ceramic and Glass Materials: Structure, Properties and Processing. Springer. 2008. 202 p.
- 7. Low A.M. Advances in Science and Technology of Mn+1AXn Phases. Springer. 2012. 474 p.

ОБЗОР ПРОГРАММ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Мокешова А.Т., Усманов С.Ф. *mokeshova@inbox.ru* Кыргызско-Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызстан

В статье дан обзор современных программных инструментов для моделирования геомеханических процессов и оптимизации горных работ. Описаны ключевые функции и возможности каждой программы, а также их роль в повышении безопасности и эффективности горных работ. Эта статья представляет ценную информацию для инженеров и специалистов, работающих в области горной промышленности и геотехники, стремящихся улучшить качество проектирования и эксплуатации горных объектов.

Ключевые слова: проектирование, геомеханика, геотехнический анализ.

Введение. Геомеханика играет ключевую роль в успешной реализации горных проектов, включая строительство туннелей, разработку карьеров, подземное хранение и добычу полезных ископаемых [1]. Этот важный аспект инженерии требует точных и надежных инструментов для анализа и моделирования различных геомеханических процессов. В данной статье мы рассмотрим несколько ключевых программных решений, которые помогают инженерам в этой области эффективно решать сложные задачи.

Современный уровень проектирования горнотехнических сооружений характеризуется большой ролью моделирования напряженно-деформированного состояния (НДС) горного массива. Все объекты, связанные с проведением работ с земной поверхностью такие как: разработка месторождений полезных ископаемых, строительство дорог, возведение плотин и насыпей, так или иначе, связаны с обеспечением устойчивости породных склонов. Оценка устойчивости может вестись методами сканирования и мониторинга объектов и методов моделирования НДС при проектировании и эксплуатации. Безусловно, все методы должны применятся в комплексе, объединяя и дополняя друг друга. Современное развитие цифровых систем моделирования позволяет создать достаточно адекватную и точную модель напряженно-деформированного состояния горного массива с учетом всего разнообразия свойств горных пород и механизмов разрушения [2].

В настоящее время на рынке программных систем предлагается сравнительно небольшое количество разнообразных программных продуктов по сравнению с подобными системами в других отраслях промышленности. Системы моделирования в геомеханике отличаются используемыми математическими моделями и численными методами, интерфейсом и возможностями. Все больше программ трехмерного моделирования, учитывающих динамические процессы геомеханики, сейсмическое влияние массовых взрывов и природных землетрясений.

Недостаточное количество пакетов моделирования геомеханических процессов объясняется сложностью в моделировании, неполнотой исходных данных, разнообразием свойств горных пород и механизмов разрушения. Необходимость связи с другими информационными системами, используемых для подготовки исходных данных. Следует отметить и сложность применения таких программ. Например, трехмерное моделирование требует значительных вычислительных ресурсов, которые могут предоставить кластерные вычислительные комплексы с возможностью распараллеливания вычислительных процедур [3]. Для конечно-элементного моделирования нужен большой объем исходных данных.

Далее приведен обзор наиболее распространенных программ моделирования напряженно-деформированного состояния.

FLAC (Fast Lagrangian Analysis of Continua) – программное обеспечение для численного моделирования геомеханических процессов. Используется в инженерной устойчивости склонов, деформации практике для анализа горных пород И гидрогеологических процессов, а так же с целью моделирования статических и динамических процессов. FLAC применяется в двумерном численном моделировании расширенного геотехнического анализа почвы, горных пород, подземных вод и наземных опор. Так же программа предназначена для реализации любого вида инженерногеологических проектов, требующих анализа непрерывности. FLAC используется и для исследований в области механики горных пород и грунтов, особенно локализации и эволюции полос сдвига во фрикционных материалах, а также в производственной сфере, где необходим анализ сильно деформируемых материалов [4].

FLAC/Slope – наглядный континуальный анализ устойчивости склона на основе коэффициента безопасности в 2D (рис.1). Это специальная, оптимизированная версия ранее описанной программы FLAC для оценки коэффициента безопасности (FoS) грунтовых и скальных склонов в двух измерениях с простой и быстрой настройкой модели и выполнением анализа. FLAC/Slope может моделировать проблемы устойчивости при широком разнообразии условий склона, включая произвольную геометрию склона, несколько слоев, условия порового давления, неоднородные свойства грунта, поверхностную нагрузку и усиление конструкции [5].



Рисунок 1 – Расчётная схема при оценке устойчивости склона

FLAC3D является трехмерной версией FLAC и предоставляет еще больший уровень детализации и гибкости для моделирования сложных трехмерных геомеханических систем. Он может использоваться для анализа различных геомеханических явлений, таких как обрушения горных пород, распределение напряжений в горных массивах и др. Для этого FLAC3D использует явную конечно-разностную формулировку, которая может сложное поведение, такое, как многоэтапные проблемы, моделировать большие перемещения и деформации, нелинейное поведение материала или нестабильные системы, например, случаи текучести/разрушения на больших площадях или полное разрушение. Континуальный анализ может быть применен к инженерному проектированию гражданских, горных и геотехнических выработок (например, склонов, туннелей, каверн, очистных забоев и т.д.) [5].

КАТЅ – инструмент кинематического анализа для вероятностного и детерминированного анализа наклона разработан Itasca и оценивает нестабильности, вызванные клиньями дневного освещения и плоскостными разрушениями, образующимися при взаимодействии различных конструктивных элементов с ориентацией данного склона. Основное применение KATS предназначено для анализа масштаба уступа, который понимается как первый шаг в процессе проектирования горных склонов для умеренных и качественных массивов горных пород (рис.2). Также возможно выполнить кинематический анализ в масштабе между уступами. В отличие от других инструментов, доступных в настоящее время на рынке геотехнического анализа, KATS с помощью единого автоматизированного процесса выполняет вероятностную или детерминированную оценку поведения большого числа конфигураций склона, определяемых многими структурными областями и многими ориентациями и геометриями. Результаты анализа могут быть получены с использованием различных параметров, таких как потеря гребня, длина разлива, распределение углов наклона стенда и т.д. Все эти результаты позволяют геометрически определить углы между рампами (IRA), которые соответствуют критериям приемлемости, определенным при эксплуатации, с точки зрения стабильности и безопасности персонала и оборудования [6].



Рисунок 2 – Пример экрана, представленного инструментом KATS

Преимущества KATS:

- очень быстрый анализ (несколько минут компьютерного времени для полного вскрытия карьера);
- простой и понятный в освоении;
- большинство входных данных легко доступны на шахтах;
- может быть откалиброван с учетом характеристик уклонов;
- оценивает продолжительность разлива в режиме отказа (недоступно в других коммерческих программах);
- может применять вероятностный подход для составления диаграмм кумулятивного частотного анализа (CFA) (недоступных в других коммерческих программах), что является типичной методологией для проектирования стендовых шкал.

ABAQUS – программа для конечно-элементного анализа от Dassault Systèmes, которая также может быть использована для моделирования геомеханических процессов. Позволяет анализировать деформацию горных пород, поведение грунтов и другие геомеханические явления с использованием метода конечных элементов. Изначально была ориентирована на решение самых сложных и ответственных задач, с учетом всех видов нелинейностей. проведение многодисциплинарного a также на статического динамического анализа в рамках единого алгоритма. Отличие ABAQUS от других подобных программ заключается в применении единого подхода к решению многоцелевых задач, сочетая преимущества явной и неявной схем конечно-элементного анализа и их комбинацию [7]. Так же программный пакет отличается универсальностью. Он может использоваться на всех этапах проектирования и создания современных изделий и практически всеми расчетными, проектными и технологическими службами предприятия. Что обеспечивается за счет тесной интеграции практически со всеми САД-системами, наличия собственного мощного препостпроцессора ABAQUS/CAE и возможности связываться через интерфейсы с другими программными продуктами, такими как ADAMS

(кинематика и динамика узлов и механизмов), SYSNOISE (акустика и виброакустика), Moldflow (литье пластмасс) и FlowVision (аэро- и гидродинамика) [8].

ABAQUS предлагает открытый подход к решению сложных проблем и предоставляет неограниченные возможности по подключению пользовательских программ на всех этапах расчета конкретной задачи. И в тоже время ABAQUS остается достаточно надежным – строгий контроль сходимости решений исследуемых процессов, автоматический выбор шага интегрирования, мониторинг задачи на всех этапах расчета, многочисленные функции контроля.



Рисунок 3 – Пример экрана, представленного инструментом ABAQUS

Программное обеспечение для геотехнических расчетов RS2 (Phase2, от Rocscience Inc) предназначено для численного моделирования различных условий горных массивов, статического и динамического анализа стабильности склонов и подземных конструкций (рис.4). Обладает следующими преимуществами:

- предлагает широкий спектр аналитических инструментов, включая метод предельного равновесия и метод конечных элементов, обеспечивая глубокое исследование геотехнических конструкций и феноменов;
- интуитивный графический интерфейс упрощает процесс моделирования;
- легко адаптируется к различным геотехническим сценариям, обеспечивая точные результаты анализа в различных областях геотехники;
- позволяет проводить параметрические исследования и анализ чувствительности, обеспечивая возможность исследования различных сценариев проектирования и их последствий.



Рисунок 4 – Проект туннелирования в программе RS2

RS2 3D – расширение программы RS2 с внедрением трех измерений в процесс моделирования. Это расширение повышает достоверность и точность анализов, особенно в сценариях, где пространственная сложность геологических объектов требует трехмерного подхода. Ключевыми особенностями расширения RS2 3D являются:

• учет пространственной сложности геологических структур за счет высокой реалистичности и точности результатов в 3D;

- более глубокое понимание геологических структур и процессов за счет расширенной визуализации и интерпретации;
- возможность интегрировать геотехнические данные сайта, такие как бурные пробои и геологические карты, в трехмерные модели, что обеспечивает соответствие реальным условиям и повышает точность анализов.
- наличие расширенных алгоритмов построения сетки и опций граничных условий, разработанных специально для трехмерного анализа [9].

Plaxis (разработчик Bentley Systems) – программа для конечно-элементного анализа геотехнических проблем, включая геомеханические процессы, связанные с фундаментами, земляными и каменными сооружениями, а также другими геотехническими объектами. Программа применяется не только на предприятиях, занимающихся строительными работами, но при обучении студентов, при написании диссертационных работ аспирантами [10]. При простоте расчётов и пользовательского интерфейса от пользователя программы требуется постановка задачи и выбор физической модели поведения материалов, на основе которой необходимо произвести расчёт. Среди решаемых Plaxis задач:

- оценка осадки поверхностных зданий,
- учёт влияния строительства на уже существующие объекты подземной коммуникации,
- обоснование строительства подземных парковок,
- обоснование глубина и устойчивости котлованов,
- исследование дренированных и недренированных грунтов,
- задачи водопонижения,
- анализ циклического воздействия на насыпи железнодорожного полотна.

Результаты программы могут быть представлены в виде проекций напряжений на соответствующие координатные оси, полных напряжениях, эффективных напряжениях, порового давления, проекциях деформаций, полных деформациях, приращениях деформаций, точек пластичности (точки граничного перехода). Эти данные могут быть автоматически (функционал заложен в алгоритм программы) сведены в таблицы, которые можно экспортировать. Можно так же осуществлять преобразования над полученными значениями в других программных комплексах типа MathCad. Это делается для того, чтобы выразить, например, через функцию прочности полученные величины для выявления критических значений.

Конструктивные элементы такие как: обделка тоннелей, стена в грунте, сваи, плиты фундаментных оснований, – определяются с помощью инструментов программы. Результаты для конструктивных элементов помимо смещений, деформаций можно представить в виде осевых, касательных сил, изгибающих моментов.

Ниже представлены некоторые примеры результатов моделирования, выполненных с применением программного обеспечения Plaxis.



Рисунок 5 — Расчётная схема при оценке устойчивости зданий и параметров свайного основания. Сетка конечных элементов



Рисунок 6 – Построение эпюры общих смещений в окрестности тоннеля

Таким образом, Plaxis находит достаточно широкое применение при решении задач численного моделирования. С каждым годом совершенствуется и дополняется новыми моделями поведения материала. Применение программного обеспечения Plaxis подтверждается эффективностью и точностью расчётов, что обусловливает высокую востребованность продукта на инженерном рынке по сравнению с другими программными комплексами, реализующими расчёт напряжённо-деформированного состояния породных и грунтовых массивов [11].

ANSYS – программа от компании Ansys Inc для инженерного анализа, которая включает в себя широкий спектр инструментов для моделирования и симуляции, таких как структурный анализ, тепловой анализ, аэродинамический анализ и другие. ANSYS Mechanical включает полный набор линейных и нелинейных элементов, удобную для использования и редактирования базу материалов от конструкционной стали до резины, а также широкий набор методов решения (решателей) [12]. Что позволяет легко решать самые сложные и комплексные задачи, даже если они включают нелинейный контакт.

Для корректного моделирования сложной геометрии реальных объектов в решениях компании ANSYS, Inc. для задач механики деформируемых твердых тел предлагаются следующие возможности:

- поддержка широкого набора элементов, в число которых входят балка, оболочка, деформируемое твердое тело, элемент сплошной среды с оболочечной функцией формы (solid-shell), кабели и стержни, работающие только на сжатие или растяжение. Помимо этих элементов присутствуют предварительно натянутые элементы, соединения, уплотнения, арматурные стержни, элементы жесткости и пр.;
- широкий набор линейных и нелинейных моделей материалов для работы с композитами, пластичностью металлов, гиперупругостью резиновых компонентов, набор специальных материалов, таких как чугун, сплавы с памятью формы, пористые упругие тела, свойства, зависящие от температуры, модели клеевых слоев, ползучесть и радиационное распухание, демпфирование в материале, и т.д.;
- учет геометрических нелинейностей, таких как большие деформации и отклонения, зависимость жесткости от напряжения, размягчение при вращении;
- полный набор отказоустойчивых контактных алгоритмов: поверхность-поверхность, линия-поверхность и линия-линия для жестких и податливых тел, контактное взаимодействие с учетом изотропного и ортотропного трения, проскальзывание, а также тепловой контакт. Быстрое автоматическое определение типа контакта в совокупности с мощными алгоритмами позволяет быстро и точно рассчитывать контактные модели;
- моделирование затяжки болтов, обжатия уплотнений, расчет циклической прочности, сейсмических и монтажных нагрузок, «рождение и смерть» элементов;
- в программных пакетах Explicit возможно моделирование прогрессирующего обрушения строительных конструкций.



Рисунок 7 – Модель расчета труб в программе ANSYS

Заключение. Программное обеспечение для моделирования геомеханических процессов играет важную роль в оптимизации горных работ и повышении их безопасности. Рассмотренные в статье программы предоставляют инженерам возможность анализировать и прогнозировать поведение горных массивов, что позволяет принимать обоснованные решения при проектировании и эксплуатации горных объектов. Но вместе с тем остро стоит вопрос в модернизации этих программ, адаптации к реальным условиям и многообразию свойств горных пород и механизмов разрушений. Важным аспектом становится применение интеллекта. Вопросы элементов искусственного адаптации, экспертной оценки устойчивости, прогнозирование устойчивости горных склонов необходимо решать с помощью основ искусственного интеллекта.

- 1. Численные методы расчетов в практической геотехнике: Сб. статей Междунар. науч.-техн. конф., г. Санкт-Петербупг, 01-03 февр. 2012 г., СПбГАСУ. СПб. 2012. 398 с
- 2. Вичорек Г.Ф., Снайдер Дж.Б. Мониторинг движения склонов. Геологическая служба США, 12201 Санрайз-Вэлли-Драйв, Рестон, Вирджиния 20192-002, США.
- 3. Глинский Б.М., Мартынов В.Н., Сапетина А.Ф. Технология суперкомпьютерного моделирования сейсмических волновых полей в сложнопостроенных средах // Вычислительная математика. 2015. Т.4 № 4, С.101-116. [Электронный ресурс] https://icmmg.nsc.ru/sites/default/files/pubs/ivmimg sapetina vestnikyuurgu.pdf
- 4. ITASCA Software. Software products. FLAC2D. Powerful and Flexible 2D Analysis. [Электронный pecypc] https://www.itascacg.com/software/flac2d
- 5. ITASCA Software. Software Products. FLAC3D. Continuum Modeling for Geomechanics in 3D. [Электронный ресурс] https://www.itascacg.com/software/FLAC3D
- 6. ITASCA Software. Software Products. KATS. Kinematic Analysis Tool for Slopes: Probabilistic and Deterministic Slope Analysis. [Электронный ресурс] https://www.itascacg.com/software/kats
- 7. Рыжов С. ABAQUS многоцелевой конечно-элементный комплекс для инженерного анализа // САПР и графика. 2003. № 1.
- 8. САПР и Графика. ABAQUS многоцелевой конечно-элементный комплекс для инженерного анализа. [Электронный ресурс] https://sapr.ru/article/6736
- 9. Программный комплекс «Rocscience». RS3. Программа анализа конечных элементов // Руководство пользователя. ООО «Современные изыскательские технлогии». М. 2021. 517 С. [Электронный pecypc] https://www.geokniga.org/bookfiles/geoknigarukovodstvopolzovatelyars3rocscience.pdf
- 10. Голубев А.Й., Селецкий А.В. Комплексные расчеты гидротехнических сооружений в PLAXIS // НИП-Информатика. 20.09.2011.
- 11. PLAXIS CONNECT Edition. PLAXIS 3D. Трехмерные геотехнические расчёты. [Электронный pecypc] https://www.plaxis.ru/product/plaxis-3d/
- 12. TADVISER. ANSYS. [Электронный pecypc] https://www.tadviser.ru/index.php/Компания:Ansys

ПРОЕКТ МОДЕРНИЗАЦИИ ТЕЛЕСКОПА МТМ-500 В КРЫМСКОЙ АСТРОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

Назаров С.В., Кривенко А.С. astrotourist@gmail.com Крымская астрофизическая обсерватория РАН, пгт. Научный, Крым, Россия

В работе представлен проект модернизации одного из первых в Советском Союзе менисковых телескопов МТМ-500. Телескоп, построенный в 1950 году, установлен на классической немецкой монтировке и расположен в Крымской астрофизической обсерватории, в центре горного Крыма. Оптическая система демонстрирует хорошую сохранность, однако механика и электроника нуждаются в модернизации. Грубое наведение телескопа осуществляется при помощи ручных штурвалов и координатных кругов. Электронная часть системы управления представлена только часовым ведением и тонкими коррекциями, поэтому наведение телескопа на объекты занимает много времени, что снижает научную эффективность инструмента. Авторами выполнен расчёт кинематики телескопа, позволяющий выбрать электромеханические компоненты для полной автоматизации системы управления телескопом.

Ключевые слова: автоматизация телескопа, МТМ-500, система управления.

Введение. В 1950 году в Крымской астрофизической обсерватории (КрАО) заработал Менисковый телескоп Максутова диаметром 500 мм, сокращённо МТМ-500 [1]. Телескоп сконструирован в Ленинградском оптико-механическом объединении (ЛОМО). Монтировка классическая, немецкого типа (рис. 1). Инструмент установлен в башне с куполом диаметром 5,5 метра. Синхронизация телескопа с положением купола осуществляется вручную.

Изображение небесных объектов выводится в неподвижный фокус Кудэ, где смонтирована ПЗС-камера Apogee AltaU-6 [2]. Фокусное расстояние телескопа 6500 мм. Угловое поле зрения 14х14'. Масштаб 0.762 "/рх. Проницающая звездная величина 20 m на двухминутном снимке.

Грубое наведение осуществляется вручную. В автоматическом режиме работает только часовое ведение с целью компенсации вращения планеты. Есть возможность тонких поправок положения телескопа благодаря механизму подводки на оси склонения и тонкой коррекции работы двигателя часового ведения на оси прямого восхождения. Наблюдения ведутся следующим образом: наблюдатель рассчитывает координаты исследуемого объекта на данную эпоху, после чего вручную наводит телескоп на цель, пользуясь координатными кругами. Приведение объекта к центру поля зрения производится из комнаты наблюдателя тонкими поправками с помощью пульта. Время наведения на объект может составлять от 20 до 40 минут. Параллельно главной апертуре установлен телескоп-гид диаметром 200 мм с планетной камерой Meade Dsi. В связи с отсутствием связи монтировки с компьютером гид применяется только для диагностики часового ведения, путем построения графика в программе PhD2. Работа часового ведения без автоматического гидирования позволяет делать снимки с выдержкой до 180 секунд.

Необходимость модернизации телескопа обусловлена в первую очередь ручным процессом наведения, который отнимает много времени. Для разработки проекта авторы используют опыт создания системы наведения телескопа "Синтез" в КрАО [3].



Рисунок 1 – Общий вид телескопа МТМ-500 в 1950х годах

Расчет привода оси склонения. Выбор приводов для автоматизациии наведения требует расчёта следующих кинематических параметров:

- рабочие скорости вращения основных узлов
- разрешающая способность системы позиционирования
- ошибка наведения

Ось склонения приводится в движение приводом с редуктором из двух шестерёнок. Количество зубьев большой шестерни 235, малой 16. Малой шестерне передаётся движение от редуктора, ось которого поворачивается при помощи ручного штурвала через карданную передачу. Планируется замена этого узла серийным червячным редуктором RV30-57 с передаточным отношением 80:1 и удобной конструкцией, разворачивающей ось вращения на 90 градусов. В результате увеличится момент и точность наведения телескопа. Исходя из известных передаточных отношений рассчитаем скорость вращения основных узлов и разрешающую способность позиционирования. 1 угловая секунда это 0,000277778 градусов.

Передаточное отношение редуктора оси склонений 235/16=14,6875. Умножаем на передаточное отношение: 0,000277778*14,6875=0,00408. Таким образом 1 угловая секунда поворота телескопа это 0,00408 градусов малой шестерни на выходе редуктора.

Из личного опыта эксплуатации астрономических телескопов для грубого наведения выбрана скорость 1 градус в секунду по каждой из осей.

Это позволяет рассчитать угловую скорость валов:

- Скорость движения оси склонений 1 град/сек. 0,16 Об/мин.
- Скорость вращения шестерни
- 14 град/сек. или 2,24 Об/мин.
 1120 град/сек. или 179 Об/мин.
- Скорость вращения редуктора 1:80 1120 гр

В качестве привода оси склонения выбран двухфазный шаговый двигатель HANPOSE 57EH83-A4001. Важнейшие критерии выбора — это обратная связь по положению вала двигателя и крутящий момент не менее 1 Нм.

Основные характеристики:

	1 1	
•	Стандарт фланца	NEMA23
•	Максимальный рабочий ток	4 A
•	Максимальный крутящий момент	2,6 Нм
•	Номинальный крутящий момент	1,8 Нм (на 1000 об/мин)
•	Макс. скорость вращения на холостом ходу	3000 об/мин.
•	Диаметр вала	8 мм
•	Количество шагов энкодера на 1 оборот	1000
•	1 шаг двигателя	1,8 градуса

Двигатель управляется от комплектного контроллера CL57, который обеспечивает обратную связь, а также делит шаг двигателя на заданный коэффициент для повышения точности.

Точность позиционирования оси склонений. На точность позиционирования влияют: минимальный шаг позиционирования, наличие энкодеров и люфт редукторов. Одна угловая секунда на телескопе составляет 0,004 градуса на шестерне, отсюда: 0,004*80= 0.32, то есть 0,32 градуса на валу двигателя после редуктора 1:80. Минимальный шаг двигателя в микро- шаговом режиме обусловлен разрешением энкодера, которое равно 1000 шагов на оборот или 0,36 градусов на шаг. Таким образом разрешающая способность механизма наведения или минимальный шаг позиционирования составляет 1,3 "/шаг.

Согласно документации, люфт редуктора равен 0,8 градуса. Учитывая передаточное отношение, считаем значение люфта трубы телескопа: 0,8/14,6875= 0,0544 градуса или 3,26 угловых минут.

В силу специфической конструкции телескопа с выводом изображения в фокус Куде, установить на ось склонения абсолютный энкодер технически сложно. Поэтому для определения начального положения предлагается использовать щелевой оптический датчик. Угол поворота телескопа по оси склонения измеряется подсчётом шагов двигателя от ноля, с последующей коррекцией положения по астрометрии.

Расчет привода оси прямого восхождения. Часовое ведение осуществляется при помощи главной червячной передачи. Для грубого наведения используется шестеренчатая передача от ручного штурвала, которая приводит монтировку в движение относительно червячного колеса с последующим ручным торможением.

Главная червячная передача часового ведения приводится в движение от шагового двигателя, через промежуточную червячную передачу. Тонкая коррекция оси осуществляется ускорением или замедлением работы шагового двигателя часового ведения. Для упрощения конструкции и повышения надёжности системы решено использовать сервопривод с широким диапазоном скоростей, установленный на главный червячный вал часового ведения через

прецизионный планетарный редуктор с соотношением 1:10. Редуктор необходим для повышения крутящего момента.

Для корректного выбора сервопривода определим основные требования к скорости вращения и разрешения:

Текущие коэффициенты передач:

- Главная червячная пара: 338.613
- Редуктор сервопривода: 1:10

Исходя из известных передаточных коэффициентов посчитаем скорости вращения основных узлов для часового и грубого наведения.

Скорость вращения главного червяка:

- При часовом ведении: 1.411 град/сек 0.235 об/мин.
- При грубом движении: 338.64 град/сек 56,4 об/мин.

Скорость вращения вала сервопривода:

• Скорость при часовом ведении

2,35 об/мин. 564 об/мин.

- Скорость при грубом движении
- 1 угловая секунда на телескопе это:
- 0,000278 градуса оси телескопа
- 0,093888 градуса главного червяка
- 0,93888 градуса на валу сервопривода

Опытным путем установлено, что для вращения главного червячного вала достаточно момента 12 Нм. КПД планетарного редуктора составляет 98%, а соотношение 1:10. Таким образом усилие на валу двигателя составит (12/10)/0,98=1,22 Нм.

Мощность двигателя связана с крутящим моментом двигателя через соотношение

$$N = M\omega = \frac{2\pi M n}{60},\tag{1}$$

где ω - угловая скорость вращения вала, M - крутящий момент, π - константа ~ 3.1416, n - частота вращения в оборотах в минуту. Таким образом получаем мощность (2*3.14*1.22*564)/60 = 72 Ватта. КПД сервопривода составляет 90%, значит требуемая минимальная мощность 72/0,9=80 Ватт. Полученная величина является оценочной, поскольку балансировка, вязкость смазки и другие факторы могут изменять усилие. На основании рассчитанной мощности и крутящего момента выбран сервопривод НАNPOSE 60SS40.

Основные характеристики:

•	Мощность двигателя	400 Вт.
•	Рабочий ток	2,5 A
•	Номинальный крутящий момент	2.3 Нм
•	Номинальная скорость вращения	3000 об/мин.
•	Разрешение энкодера	17 бит

Сервопривод управляется от комплектного блока управления HANPOSE ASD240. Для работы необходим режим управления по скорости вращения. Скорость вращения может быть задана с коэффициентами числителя (1...32767) и знаменателя (1...32767) от импульсного сигнала, поступающего от внутреннего или внешнего источника. Это позволяет менять скорость вращения с очень малым шагом, что необходимо для автоматического гидирования.

В конструкции главной червячной пары часового ведения телескопа все нагрузки дисбаланса монтировки принимает в виде осевого усилия червячный винт. На торцах червячного винта, установленного в двух составных подшипниках скольжения предусмотрены заводские регулируемые упоры. Поскольку модернизация телескопа предусматривает прямой привод главной червячной пары, такое решение будет препятствовать установке привода. Решено отказаться от регулируемых упоров на торцах вала и сконструировать фиксирующий подшипниковый узел с одной стороны главного червячного вала. Противоположный торец вала, может быть использован для связи вала с приводом с помощью муфты. Проработка вариантов позволила выбрать узел с двойным упорным подшипником и сферическим подкладным кольцом. Подшипник принимает осевые нагрузки в двух направлениях, а сферическое подкладное кольцо допускает несоосность корпуса и вала.

Точность позиционирования оси прямого восхождения. На точность позиционирования влияют: минимальный шаг позиционирования, наличие энкодеров и люфт редукторов.

Поскольку сервопривод и наводит телескоп и сопровождает объект, механизмы по оси прямого восхождения находятся все время в движении и шестерни находятся в постоянном зацеплении, а значит люфт механизмов необходимо учитывать только при обратном движении монтировки. Зная передаточное отношение и люфт редуктора, найдем люфт положения трубы по оси альфа: 0,16 градуса 0,16/338,613=1,7 секунды на трубе телескопа.

Конструкция позволяет установить на ось абсолютный энкодер, закрепив его в нижней части подвижной рамы фокуса Куде. Для данной цели применен энкодер с высоким разрешением 12 бит или на 4096 шагов. один шаг энкодера составляет 1/4096=0,000244 градуса. То есть разрешающая способность энкодера составляет 0,88 угловых секунд. Это очень маленькая величина, на практике основной вклад в ошибку наведения будут вносить механические погрешности, температурные деформации и рефракция. Поэтому мы применим комбинированный способ. Энкодер используется для грубых отсчетов угла, а промежуточные точные значения вычисляются энкодером сервопривода.

Система управления. Сервопривода и датчики планируется подключить к ПЛК контроллеру. Контроллер будет вычислять текущее положение осей монтировки и поворачивать на заданные углы, осуществлять тонкую подводку осей при гидировании. К ПЛК будет управлять куполом и синхронизацией с инструментом. Обмен данными удобно осуществлять по протоколу ModBus TCP по интерфейсу Ethernet. Предполагается создание драйвера ASCOM, что позволит использовать современные программы гидирования и автоматизации наблюдений.

Выводы. В этой работе описан проект модернизации и представлены расчеты кинематики телескопа. Сделан выбор электромеханических узлов (двигателей и редукторов). Скорость наведения определена в 1 градус в секунду по каждой из осей. Максимальная ошибка наведения по оси склонений около трех угловых минут, что в несколько раз меньше поля зрения телескопа, а значит телескоп сможет наводиться на цели с первого раза. В перспективе будет автоматизирован поворот купола, синхронизация его положения с направлением трубы телескопа и открытие-закрытие забрала.

- 1. Максутов Д.Д. Новые катадиоптрические менисковые системы. Государственное издательство оборонной промышленности. 1944.
- 2. Рублевский А.Н., Киселев Н.Н. UBVRI фотометрическая система менискового телескопа МТМ-500 // Известия Крымской астрофизической обсерватории. 2019. Т. 115. № 1. С. 63-67. DOI 10.31059/izcrao-vol115-iss1-pp63-67. EDN FGSYCS.
- Назаров С.В., Харченко А.С., Кривенко А.С. Модернизация телескопа «Синтез» в КрАО РАН // Астрономия и исследование космического пространства: Сб. науч. тр. Екатеринбург: Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина. 2021. С. 145-148. DOI 10.15826/В978-5-7996-3229-8.35. EDN FYQWBR.

ТОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ В ТРЁХМЕРНОЙ МОДЕЛИ ВЕТРОВЫХ ТЕЧЕНИЙ

Плотников Н.А.

plotnikov_n@auca.kg

Американский Университет в Центральной Азии, г. Бишкек, Кыргызстан

трехмерной работы проведен анализ В рамках математической модели гидротермодинамики жидкости в водоеме, базирующейся на системе «примитивных» уравнений. На основе этого анализа построена упрощенная трехмерная модель ветровых течений для общего ветра. В прямоугольной области найдены классы аналитических решений упрошенной стационарной модели. Изучение таких решений, с одной стороны, позволяет, в первом приближении, оценить качественную картину течений, а с другой стороны, аналитические решения играют важную роль при проверке работоспособности вычислительных методов и алгоритмов, используемых для численной реализации общей модели.

Ключевые слова: ветровые течения, общий ветер, течения в водоеме.

Введение. Математическая модель ветровых течений жидкости в водоеме основана на системе полных нелинейных уравнений гидротермодинамики, записанных в традиционных приближениях, и включает уравнения движения, статики, неразрывности, переноса тепла, а также уравнение состояния [1]. Полная реализация подобной модели возможна только численными методами [2-5]. В некоторых случаях учет специфики водоема позволяет упростить общую модель, сохраняя ее достаточно сложной, чтобы отражать основные свойства изучаемых течений, но, в то же время, сделав ее достаточно простой, чтобы можно было отыскать некоторые классы аналитических решений этой задачи. Изучение таких решений, с одной стороны, позволяет, в первом приближении, оценить качественную картину течений, а с другой стороны, аналитические решения играют важную роль при проверке работоспособности вычислительных методов и алгоритмов, используемых для численной реализации общей модели.

Впервые такая упрощенная модель была предложена Экманом в работе [6], им же были найдены первые аналитические решения, позволившие изучить вертикальную структуру течений. Затем Стоммел [7,8] нашел аналитические выражения для интегральных горизонтальных скоростей, при помощи которых объяснил механизм формирования течения Гольфстрим. В дальнейшем различные классы аналитических решений для ветровых (экмановских) моделей были найдены многими авторами, эти результаты отражены в работах [9-16]. В упомянутых выше работах рассматривались конкретные ветровые режимы, задаваемые аналитическими формулами, и были найдены некоторые составляющие компонент вектора скорости течений: интегральные (баротропные), или бароклинные; вертикальная компонента скорости не находилась. В данной работе мы рассмотрели модель с общим ветром и нашли соответствующие ей аналитические решения, описывающие полные скорости, в том числе и вертикальную скорость.

Постановка задачи. Будем считать, что поверхность (зеркало) рассматриваемого водоема в плоскости *хОу* имеет форму прямоугольника:

$$\Omega_0 = [0, r] \times [0, q],$$

глубина его H > 0 - постоянна. Оси декартовой системы координат направлены следующим образом: Ox – на восток, Oy – на север, Oz – вертикально вниз. При $t \ge 0$, в трехмерной области $\Omega = \{(x, y, z) | (x, y) \in \Omega_0, 0 \le z \le H\}$

Применим процедуру обезразмеривания и рассмотрим следующую модель ветровых течений экмановского типа. Эта процедура даст нам возможность оценить порядки величин слагаемых в соотношениях общей модели. Определим масштабы характерные для оз. Иссык-Куль:

- система уравнений движения:

$$\begin{cases}
\frac{\partial u}{\partial t} - \ell v = -\frac{\partial P^s}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial u}{\partial z} \right), \\
\frac{\partial v}{\partial t} + \ell u = -\frac{\partial P^s}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial v}{\partial z} \right), \quad t > 0, \quad (x, y, z) \in \stackrel{0}{\Omega}, \\
\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0,
\end{cases}$$
(1)

- краевые условия:

$$\left\{ t > 0, \ z = 0, \ \left(x, y \right) \in \stackrel{0}{\Omega}_{0} \right\}: \qquad k \frac{\partial u}{\partial z} = -\tau_{x}, \ k \frac{\partial v}{\partial z} = -\tau_{y}, \ w = 0;$$

$$(2)$$

$$\left\{ t > 0, \ z = H, \ \left(x, y \right) \in \stackrel{0}{\Omega_0} \right\}: \quad k \frac{\partial u}{\partial z} = -\tau_x^b, \ k \frac{\partial v}{\partial z} = -\tau_y^b, \ w = 0; \tag{3}$$

$$\{t > 0, 0 \le z \le H, (x, y) \in \partial \Omega_0\}: U \cdot n_x + V \cdot n_y = 0;$$
(4)

- начальные условия:

$$\{t = 0, (x, y, z) \in \Omega\}: u = u^{\circ}, v = v^{\circ}. W = W^{\circ}.$$
(5)

В (4) присутствуют интегральные скорости:

$$U(t, x, y) = \int_{0}^{H} u(t, x, y, z) dz, \quad V(t, x, y) = \int_{0}^{H} v(t, x, y, z) dz,$$

а в (3) принимается следующий вариант параметризации придонного трения:

$$\tau_x^b = \mu \cdot U, \quad \tau_y^b = \mu \cdot V, \quad \mu \equiv const > 0.$$

$$\ell = \ell_0 + \beta \cdot y, \quad k \equiv const;$$
(6)

Рассмотрим модель общего ветра:

$$\tau_{x} = [F_{1} \cdot \cos(r_{l}x) + F_{2} \cdot \sin(r_{l}x)] \cdot \cos(q_{m}y),$$

$$\tau_{y} = [G_{1} \cdot \cos(r_{s}x) + G_{2} \cdot \sin(r_{s}x)] \cdot \sin(q_{p}y).$$

$$r_{l} = \frac{\pi \cdot l}{r}, r_{s} = \frac{\pi \cdot s}{r}, q_{m} = \frac{\pi \cdot m}{q}, q_{p} = \frac{\pi \cdot p}{q}.$$
(7)

$$F_1, F_2, G_1, G_2 \in R; p, m = 1, n; s, l = 0, n$$

Горизонтальные компоненты вектора скорости будем искать в виде:

$$u = U \cdot H^{-1} + \hat{u}, \quad v = V \cdot H^{-1} + \hat{v}$$
 (8)

где первые слагаемые называются *баротропными*, а вторые – *бароклинными* составляющими скорости.

Аналитические решения. Стационарный случай. Баротропные составляющие. В системе уравнений (1) откажемся от производных по времени и проинтегрируем каждое уравнение по переменной "z" в пределах от 0 до H, с учетом краевых условий, получаем задачу Стоммела для интегральных скоростей:

$$\mu U - \ell V = -H \frac{\partial P^{s}}{\partial x} + \tau_{x},$$

$$\ell U + \mu V = -H \frac{\partial P^{s}}{\partial y} + \tau_{y},$$

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} = 0, \quad (x, y) \in \hat{\Omega}_{0}^{0};$$

$$U \cdot n_{x} + V \cdot n_{y} = 0, \quad (x, y) \in \partial \Omega_{0}.$$
(9)

Из первых двух уравнений в (9) исключаем градиенты давления, используя перекрестное дифференцирование:

$$\begin{cases} \mu \left(\frac{\partial U}{\partial y} - \frac{\partial V}{\partial x} \right) - \beta V = \frac{\partial \tau_x}{\partial y} - \frac{\partial \tau_y}{\partial x}, \\ \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} = 0, \quad (x, y) \in \hat{\Omega}_0^0; \\ U \cdot n_x + V \cdot n_y = 0, \quad (x, y) \in \partial \Omega_0. \end{cases}$$
(10)

Для решения задачи (10) введем функцию тока $\Psi(x, y)$ по формулам:

$$U = \frac{\partial \Psi}{\partial y}, \quad V = -\frac{\partial \Psi}{\partial x}.$$

Для функции тока получаем следующую задачу:

$$\begin{cases} \mu \left(\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial y^2} \right) + \beta \frac{\partial \Psi}{\partial x} = \frac{\partial \tau_x}{\partial y} - \frac{\partial \tau_y}{\partial x}, \quad (x, y) \in \hat{\Omega}_0, \\ \Psi = 0, \quad (x, y) \in \partial \Omega_0; \end{cases}$$
(11)

Окончательно, решение задачи (11) имеет вид: $\Psi(x, y) = \Psi_1(x, y) + \Psi_2(x, y)$

$$\Psi(x,y) = \Psi_{1}(x,y) + \Psi_{2}(x,y).$$
(12)

$$\Psi_{1}(x,y) = (C_{1}e^{Ax} + C_{2}e^{Bx}) + [D_{1} \cdot \cos(r_{l}x) + D_{2} \cdot \sin(r_{l}x)] \cdot \sin(q_{m}y),$$

$$A = -\frac{\beta}{2\mu} + \sqrt{\left(\frac{\beta}{2\mu}\right)^{2} + q_{m}^{-2}}; \quad B = -\frac{\beta}{2\mu} - \sqrt{\left(\frac{\beta}{2\mu}\right)^{2} + q_{m}^{-2}}.$$

$$C_{1} = D_{1}\frac{e^{Br} - (-1)^{l}}{e^{Ar} - e^{Br}}, \quad C_{2} = -D_{1}\frac{(-1)^{l} - e^{Ar}}{e^{Ar} - e^{Br}}.$$

$$D_{1} = q_{m} \cdot \frac{\mu(r_{l}^{2} + q_{m}^{-2}) \cdot F_{1} + \beta \cdot r_{l} \cdot F_{2}}{\mu(r_{l}^{2} + q_{m}^{-2})^{2} + \beta^{2} \cdot r_{l}^{-2}}, \quad D_{2} = q_{m} \cdot \frac{\mu(r_{l}^{2} + q_{m}^{-2}) \cdot F_{2} - \beta \cdot r_{l} \cdot F_{1}}{\mu(r_{l}^{2} + q_{m}^{-2})^{2} + \beta^{2} \cdot r_{l}^{-2}}.$$

$$\begin{split} \Psi_{2}(x,y) &= (\overline{C}_{1}e^{\overline{A}x} + \overline{C}_{2}e^{\overline{B}x}) + [\overline{D}_{1} \cdot \cos(r_{s}x) + \overline{D}_{2} \cdot \sin(r_{s}x)] \cdot \sin(q_{p}y), \\ \overline{D}_{1} &= r_{s} \cdot \frac{\mu(r_{s}^{2} + q_{p}^{2}) \cdot G_{2} + \beta \cdot r_{s} \cdot G_{1}}{\mu^{2}(r_{s}^{2} + q_{p}^{2})^{2} + \beta^{2} \cdot r_{s}^{2}}, \overline{D}_{2} = r_{s} \cdot \frac{\mu(r_{s}^{2} + q_{p}^{2}) \cdot G_{1} + \beta \cdot r_{s} \cdot G_{2}}{\mu^{2}(r_{s}^{2} + q_{p}^{2})^{2} + \beta^{2} \cdot r_{s}^{2}}, \\ \overline{A} &= -\frac{\beta}{2\mu} + \sqrt{\left(\frac{\beta}{2\mu}\right)^{2} + q_{p}^{2}}; \quad B = -\frac{\beta}{2\mu} - \sqrt{\left(\frac{\beta}{2\mu}\right)^{2} + q_{p}^{2}}, \\ C_{1} &= \overline{D}_{1} \frac{e^{\overline{B}r} - (-1)^{s}}{e^{\overline{A}r} - e^{\overline{B}r}}, \\ C_{2} &= -\overline{D}_{1} \frac{(-1)^{s} - e^{\overline{A}r}}{e^{\overline{A}r} - e^{\overline{B}r}}. \end{split}$$

Интегральные скорости определяем по формулам:

$$U(x, y) = q_m [C_1 e^{Ax} + C_2 e^{Bx} + D_1 \cdot \cos(r_l x) + D_2 \cdot \sin(r_l x)] \cdot \cos(q_m y) + + q_p [\overline{C}_1 e^{\overline{A}x} + \overline{C}_2 e^{\overline{B}x} + \overline{D}_1 \cdot \cos(r_s x) + \overline{D}_2 \cdot \sin(r_s x)] \cdot \cos(q_p y),$$

$$V(x, y) = -[AC_1 e^{Ax} + BC_2 e^{Bx} - r_l D_1 \cdot \sin(r_l x) + r_l D_2 \cdot \cos(r_l x)] \cdot \sin(q_m y) - -[\overline{AC}_1 e^{\overline{A}x} + \overline{BC}_2 e^{\overline{B}x} - r_s \overline{D}_1 \cdot \cos(r_s x) + r_s \overline{D}_2 \cdot \sin(r_s x)] \cdot \sin(q_p y).$$

$$(13)$$

Аналитические решения. Стационарный случай. Бароклинные составляющие. Подставим в первые два уравнения из (1) горизонтальные компоненты вектора скорости, записанные в форме (8). Учитывая уравнения для интегральных скоростей:

$$\begin{cases} -\ell V H^{-1} = -\frac{\partial P^s}{\partial x} + \frac{\tau_x - \tau_x^b}{H}, \\ \ell U H^{-1} = -\frac{\partial P^s}{\partial y} + \frac{\tau_y - \tau_y^b}{H}, \end{cases}$$

получаем задачу для бароклинных составляющих горизонтальных скоростей (рассматриваем стационарный случай):

$$\begin{cases} -\ell \hat{v} = \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial \hat{u}}{\partial z} \right) + \frac{\tau_x^b - \tau_x}{H}, \\ \ell \hat{u} = \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial \hat{v}}{\partial z} \right) + \frac{\tau_y^b - \tau_y}{H}, \end{cases} \quad (x, y) \in \Omega_0, \ 0 < z < H.$$

$$(14)$$

$$\left\{z=0, \left(x, y\right) \in \Omega_0\right\}: \qquad k \frac{\partial \hat{u}}{\partial z} = -\tau_x, \ k \frac{\partial \hat{v}}{\partial z} = -\tau_y; \tag{15}$$

$$\left\{z = H, (x, y) \in \Omega_0\right\}: \quad k \frac{\partial \hat{u}}{\partial z} = -\tau_x^b, \quad k \frac{\partial \hat{v}}{\partial z} = -\tau_y^b.$$
(16)

Запишем задачу (14)-(16) в комплексной форме, с этой целью введем обозначения: $\theta = \hat{u} + i \cdot \hat{v}, \ \tau^b = \tau_x^b + i \cdot \tau_y^b = \mu (U + i \cdot V),$

$$\tau = \tau_x + i \cdot \tau_y = [F_1 \cdot \cos(r_1 x) + F_2 \cdot \sin(r_1 x)] \cdot \cos(q_m y) + i \cdot [G_1 \cdot \cos(r_s x) + G_2 \cdot \sin(r_s x)] \cdot \sin(q_p y).$$

$$\begin{cases} i\ell\theta - k\frac{\partial^2\theta}{\partial z^2} = \frac{\tau^b - \tau}{H}, \ 0 < z < H; \\ z = 0: \qquad k\frac{\partial\theta}{\partial z} = -\tau, \\ z = H: \qquad k\frac{\partial\theta}{\partial z} = -\tau^b. \end{cases}$$
(17)

Бароклинных составляющих горизонтальных скоростей определяем по формулам: $\hat{u} = \frac{\mu V - [G_1 \cdot \cos(r_s x) + G_2 \cdot \sin(r_s x)] \cdot \sin(q_p y)}{\ell H} + \frac{\eta}{\ell C(H)} \cdot \{([G_1 \cdot \cos(r_s x) + G_2 \cdot \sin(r_s x)] \cdot \sin(q_p y) + [F_1 \cdot \cos(r_l x) + F_2 \cdot \sin(r_l x)] \cdot \cos(q_m y)) \cdot Cs(H - z) + ([G_1 \cdot \cos(r_s x) + G_2 \cdot \sin(r_s x)] \cdot \sin(q_p y) - [F_1 \cdot \cos(r_l x) + F_2 \cdot \sin(r_l x)] \cdot \cos(q_m y)) \cdot Sc(H - z) - \frac{\eta}{\ell C(H)} + \frac{\eta$

$$-(\mu V + \mu U) \cdot Cs(z) - (\mu V - \mu U)Sc(z),$$

$$\begin{split} \hat{v} &= -\frac{[F_1 \cdot \cos(r_l x) + F_2 \cdot \sin(r_l x)] \cdot \cos(q_m y) - \mu U}{\ell H} + \\ &+ \frac{\eta}{\ell C(H)} \cdot \{([G_1 \cdot \cos(r_s x) + G_2 \cdot \sin(r_s x)] \cdot \sin(q_p y) - [F_1 \cdot \cos(r_l x) + F_2 \cdot \sin(r_l x)] \cdot \cos(q_m y)) \cdot Cs(H - z) + \\ &+ ([G_1 \cdot \cos(r_s x) + G_2 \cdot \sin(r_s x)] \cdot \sin(q_p y) + [F_1 \cdot \cos(r_l x) + F_2 \cdot \sin(r_l x)] \cdot \cos(q_m y)) \cdot Sc(H - z) - \\ &- (\mu V - \mu U) \cdot Cs(z) - (\mu V + \mu U)Sc(z), \\ \text{дополнительные функции:} \\ Cs(z) &= \cos(H - z)\eta \cdot sh(H + z)\eta + \cos(H + z)\eta \cdot sh(H - z)\eta, \\ Sc(z) &= \sin(H - z)\eta \cdot ch(H + z)\eta - \cos(H + z)\eta \cdot ch(H - z)\eta; \\ C(z) &= \cos(H - z)\eta \cdot ch(H + z)\eta - \cos(H + z)\eta \cdot ch(H - z)\eta, \\ \text{где } \eta &= \sqrt{\frac{\ell}{2k}}. \end{split}$$

Аналитические решения. Стационарный случай. Вертикальная компонента вектора скорости также была получена.

Проиллюстрируем поведение бароклинных составляющих горизонтальной скорости расчетами в среде MatLab. Компоненты напряжения трения ветра, как и в предыдущих расчетах, определяются формулой (7). На Рисунках 1, 2 представлены поле ветра и интегральная скорость. На Рисунках 3, 4 представлено поле полной горизонтальной скорости для оз. Иссык-Куль. Эти данные, полученные при ветре с параметрами:

$$F_1 = 1, F_2 = 3, G_1 = 2, G_2 = 1, p = s = 2, m = l = 1.$$







Рисунок 2 – Интегральная скорость при ветре (7)



Рисунок 3 – Полная горизонтальная скорость при z = 0



Рисунок 4 – Полная горизонтальная скорость при z = 0.5

- 1. Марчук Г.И., Саркисян А.С. Математическое моделирование циркуляции океана. М.: Наука. 1988. 302 с.
- 2. Bryan K. A numerical method for the study of the circulation of the World Ocean // J. Comp. Phys. 1969. Vol. 4. No. 3. P. 347-376.
- 3. Марчук Г.И. Численное решение задач динамики атмосферы и океана. Л.: Гидрометеоиздат. 1974. 303 с.
- 4. Скляр С.Н., Турдушев И.А. Построение разностной схемы для расчета горизонтальных компонент движения в трехмерной модели ветровых течений в водоеме // Вестник КРСУ. 2017. Т. 17. № 8. С. 23-27.
- 5. Скляр С.Н., Турдушев И.А. Построение разностной схемы для расчета вертикальной компоненты скорости в трехмерной модели ветровых течений в водоеме // Вестник КРСУ. 2017. Т. 17. № 12. С. 12-15.
- 6. Ekman. V.W. On the influence of the Earth rotation on ocean currents // Arkiv Mat., Astron., or Fysik. 1905. Bd. 2. No. 11. P. 1-52.
- 7. Stommel H. The westward intensification of wind-driven ocean currents // Trans. Amer. Geoph. Un. 1948. Vol. 29. No. 2. P. 202-206.
- 8. Stommel H. The GULF STREAM. A Physical and Dynamical Description. University of California Press. 1965. 248 p.
- 9. Welander P. Wind action on a shallow sea: some generalizations of Ekman's theory // Tellus XX. 1968. Vol. 1. P. 1–16.
- 10. Кочергин В.П. Теория и методы расчета океанических течений. М.: Наука. 1978.128 с.

- Математическое моделирование гидродинамики глубоководных бассейнов / Еремеев В.Н., Кочергин В.П., Кочергин С.В., Скляр С.Н. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика. 2001. 238 с.
- 12. Компаниец Л.А., Якубайлик Т.В. Аналитическое решение одной модели ветрового движения жидкости // Вычислительные технологии. 2003. Т. 8. № 5. С. 78-83.
- 13. Модели экмановского типа в задачах гидродинамики / Компаниец Л.А., Якубайлик Т.В., Гаврилова Л.В., Гуревич К.Ю. Новосибирск: Наука. 2007. 156 с.
- 14. Компаниец Л.А., Питальская О.С. Точные решения модели Экмана трехмерного ветрового движения однородной жидкости с учетом геострофической составляющей // Компьютерные исследования и моделирование. 2009. Т. 1. № 1. С. 57-66.
- 15. Компаниец Л.А., Гаврилова Л.В., Якубайлик Т.В. О модели ветрового движения двухслойной вязкой жидкости // Компьютерные исследования и моделирование. 2009. Т. 1. № 4. С. 381-390.
- 16. Турдушев И.А., Скляр С.Н. Аналитические решения для трехмерной модели ветровых течений в водоеме // Актуальные проблемы управления, топологии и операторных уравнений. Материалы 2-ой Междунар. науч. конф., посвящ. 20-летию Кыргызско-Российского Славянского университета и 100-летию основателя математической школы в Кыргызстане профессора Быкова Я.В., г. Бишкек, 5-7 сент. 2013 г. Т. 2. Бишкек. 2013. С. 214-218.
- 17. Фельзенбаум А.И. Теоретические основы и методы расчета установившихся морских течений. М.: Изд-во АН СССР. 1960. 127 с.
- Ревякин В.И., Шабунин Г.Д. Типизация сильных ветров озера Иссык-Куль. Фрунзе. 1988. С. 79-87.

РАЗРАБОТКА ДВУМЕРНОГО РЕКУРСИВНО-СЕПАРАБЕЛЬНОГО 4-Х КАСКАДНОГО ЦИФРОВОГО ФИЛЬТРА ОБРАБОТКИ ОРТОФОТОПЛАНОВ МЕСТНОСТИ

Рылов К.А., Куприянова К.С., Каменский А.В. tstr70@mail.ru, kuprianovak8@gmail.com, andru170@mail.ru Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, г. Томск, Россия

В работе представлено описание разработанного авторами двумерного рекурсивносепарабельного 4-х каскадного цифрового фильтра, который применяется для обработки цифровых изображений, полученных с помощью беспилотных летательных аппаратов. Применение алгоритма разработанного фильтра позволяет повысить резкость границ, в результате чего повышая однозначность выделения объектов при определении и разметке объектов интереса на ортофотопланах местности. Обработка цифровых изображений рекурсивно-сепарабельными фильтрами сокращает количество вычислительных операций относительно классической двумерной свёртки, в следствие ускоряя процесс фильтрации. Увеличение скорости обработки позволяет значительно сократить длительность обработки изображений, большого количества используемых для построения картографических планов местности.

Ключевые слова: аэрофотосъёмка, фильтрация, обработка изображений, мониторинг земель, мониторинг природоохранных зон, ортофотоплан местности, БПЛА, охрана окружающей среды.

Введение. Для решения задач создания топографических планов, кадастровых карт и для более качественного проведения мониторинга различной направленности (сельскохозяйственных земель, экзогенных процессов и др.) необходимо обеспечить высокое разрешение получаемых изображений.

В ходе проведения авиационных работ посредством беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), получаемые снимки подвержены воздействию разного рода помех, в результате чего качество цифровых изображений ухудшается, как следствие понижается точность определения границ объектов съёмки при разметке исходных данных. Полученные аэрофотоснимки используются для создания фотографического плана местности, называемого ортофотопланом, на котором изображается земная поверхность и объекты на ней с привязкой к заданной системе координат [1].

Присутствие помех на таких снимках негативно влияет на дальнейший анализ и обработку данных. Для решения данной проблемы применяются алгоритмы фильтрации и повышения четкости изображений. Фильтрацией называется процесс устранения возможных помех и шумовых искажений. Принцип фильтрации базируется на применении математической операции свёртки, которая представляет собой сумму произведений значений пикселей изображения и значений функций фильтра в дискретном виде. Данный метод фильтрации называется фильтрацией в пространственной области. Одним из видов цифровых фильтров являются рекурсивно-сепарабельные фильтры [2]. В работе рекурсивно-сепарабельных фильтров применяются свойства рекурсии и сепарабельности. Свойство рекурсии позволяет использовать значения предыдущих выходных отсчетов для формирования текущего отсчета. Свойство сепарабельности осуществляет разделение на обработку по строке и столбцу матрицы значений входного изображения [2].

Рекурсивно-сепарабельные фильтры являются «масочными» фильтрами, что подразумевает использование, так называемых, масок, представленных в виде двумерной

матрицы. Примером таких фильтров является двумерный сепарабельный четырёхкаскадный фильтр повышения чёткости изображений, представленный в данной работе.

Принцип работы цифрового фильтра. Структурная схема, используемого в данной работе, 4-х каскадного цифрового рекурсивно-сепарабельного фильтра представлена на рисунке 1, где z_1^{-2} , z_2^{-2} – задержка на два элемента, $x(n_1,n_2)$ – входная информация, $y(n_1,n_2)$ – выходная информация, n – текущий номер отсчета сигнала, включая нулевой отсчет (n = 0, 1, ...), M_1 – размер строчного рециркулятора, M_2 – размер кадрового рециркулятора, A_1 – коэффициент поднятия положительной части маски, A_2 – коэффициент поднятия центрального элемента маски, CP – строчный рециркулятор, KP – кадровый рециркулятор.



Рисунок 1 – Структурная схема двумерного 4-х каскадного фильтра

Представленная структурная схема состоит из трёх ветвей. В начале осуществляется формирование маски размером 3х3 элемента. Данная маска формирует область положительных элементов (при наличии окаймления в виде отрицательных элементов) внутри основной маски, это требуется для нормализации яркости обработанного изображения.

Первая ветвь строится из последовательно включенных двух строчных и двух кадровых рециркуляторов. Каждый рециркулятор имеет размер M_1 и M_2 равный двум. Начальный добавочный коэффициент A_1 , в данном случае 81, необходим для получения корректного результата. Также, в этой ветви присутствуют элементы задержки, которые нужны для сдвига маски на несколько элементов. Элементы задержки необходимы для переноса формируемой матрицы в центральную область маски фильтра.

Средняя ветвь является основной и выполняет алгоритм свёртки исходной маски размерностью 7х7 и подаётся на вход сумматора с отрицательным знаком. Состоит данная ветвь из восьми последовательно включенных строчных и кадровых рециркуляторов (4 строчных и 4 кадровых) с разными заданными размерами.

Третья ветвь включает в себя три блока: коэффициент *A*₂, предназначенный для поднятия центрального элемента маски и два элемента для сдвига этого элемента в центр матрицы.

Формирование необходимой маски, данным фильтром, начинается с математической свёртки исходного изображения. На вход фильтра подаётся изображение, которое подвергается процессу свёртки четыре раза с каждым рециркулятором (строчным и кадровым). В результате свёртки формируется маска размером 7х7 элементов (рис. 2), она является основой для итоговой маски и подвергается дальнейшим изменениям.

Необходимо обеспечить, чтобы сумма центральной и внешней областей масок равнялась нулю. Для этого, требуется применение дополнительных масок. Так как центр основной маски имеет размерность 3х3, дополнительную маску нужно применить к центру так, чтобы сохранить пропорции коэффициентов и получить общую сумму, учитывая внешние коэффициенты, равной нулю. Матрица дополнительной маски представлена на рисунке 3.

-1	-4	-8	-10	-8	-4	-1
-4	-16	-32	-40	-32	-16	-4
-8	-32	-64	-80	-64	-32	-8
-10	-40	-80	-100	-80	-40	-10
-8	-32	-64	-80	-64	-32	-8
-4	-16	-32	-40	-32	-16	-4
-1	-4	-8	-10	-8	-4	-1

Рисунок 2 – Исходная маска фильтра

1	2	1
2	4	2
1	2	1

Рисунок 3 – Маска, формируемая рециркуляторами первой ветви

Для обеспечения равенства суммы коэффициентов в центральной и внешней областях элементы маски умножаются на начальный добавочный коэффициент (A_1), равный 81. Маска, представленная на рисунке 3, помноженная на A_1 отправляется на сумматор для последующего суммирования с основной маской.

Итоговая маска двумерного 4-х каскадного рекурсивно-сепарабельного фильтра (ДРСФ) апертурой 7х7 элементов представлена на рисунке 4.

-1	-4	-8	-10	-8	-4	-1
-4	-16	-32	-40	-32	-16	-4
-8	-32	17	82	17	-32	-8
-10	-40	82	224	82	-40	-10
-8	-32	17	82	17	-32	-8
-4	-16	-32	-40	-32	-16	-4
-1	-4	-8	-10	-8	-4	-1

Рисунок 4 – Результат формирования маски ДРСФ

Применение фильтра для обработки аэрофотоснимков. В настоящее время, всё чаще можно наблюдать применение БПЛА для создания картографической основы (географической базы данных). За один полёт БПЛА способен отснять территорию площадью до нескольких тысяч гектар с большим количеством изображений. Данные изображения в дальнейшем используются для построения геопривязанных ортофотопланов местности. Качество получаемых изображений напрямую влияет на точность построения ортофотоплана местности. Так как получаемые изображения подвержены различным искажениям, таким как размытие границ объектов, наложение шумов, которые негативно влияют на различимость объектов, требуется применение фильтрации изображений [3].

На рисунке 5 представлены исходное изображение и изображение после обработки двумерным фильтром. При масштабировании некоторых участков изображения можно

заметить размытость границ объектов. Присутствие такой размытости на изображениях не позволяет однозначно и точно определять, и выделять интересующие границы, например, углы зданий, линии электропередач (ЛЭП), границы муниципальных участков. После обработки исходного изображения цифровым фильтром наблюдается повышение резкости границ, что увеличивает точность определения реальных границ объектов интереса.



Рисунок 5 – Результат обработки фильтром: (a) изображение до обработки; (б) изображение после обработки

Оценка эффективности обработки разработанным фильтром. Рекурсивносепарабельный метод обработки изображений позволяет сократить количество вычислительных операций относительно стандартного метода двумерной свертки, тем самым ускоряя процесс фильтрации. Для оценки эффективности и качества обработки проведены измерения разрешающей способности в телевизионных линиях (ТВЛ). Разрешающая способность определяется как количество переходов от черного к белому и обратно, которые могут быть переданы камерой. Используемая формула для расчёта приведена ниже:

ТВЛ =
$$\left(\frac{\text{СРР}}{0,5}\right) \times \Pi$$
. р.,

где СРР – значение количества циклов на пиксель; П. р. – предельное разрешение.

На рисунке 6 представлен выделенный масштабированный участок исходного и обработанного изображений с результатами измерения разрешающей способности в ТВЛ.

Исходя из результатов измерения разрешающей способности можно сделать вывод, что после применения фильтра удалось приблизиться к значению количества пикселей (точек) на единицу площади изображения.

Для того, чтобы провести оценку быстродействия работы разработанного фильтра был взят ряд тестовых изображений (ТИ) разного размера: 640х480 (ТИ №1), 1280х720 (ТИ №2), 1920х1080 (ТИ №3). В ходе эксперимента проводилось сравнение алгоритма классической двумерной свёртки (КДС) и разработанного алгоритма двумерного рекурсивносепарабельного фильтра. Для каждого измерения было проведено 10 повторов, в результате которых получено среднее значение времени выполнения процесса обработки изображения (табл. 1).

По результатам измерения скорости обработки видно, что разработанный алгоритм двумерного фильтра показывает лучшее быстродействие, относительно алгоритма классической двумерной свертки в среднем в 2,5 раза.


Рисунок 6 – Масштабированный участок: (а) исходного изображения ТВЛ = 909,7; (б)обработанного изображения ТВЛ = 1826,1

Ma	Среднее время обработки, сек			
JNG	КДС	ДРСФ		
ТИ №1	0,82	0,10		
ТИ №2	2,35	0,62		
ТИ №3	5,40	0,89		

Таблица 1 – Результаты оценки быстродействия

Выводы. По результатам проведённой работы следует отметить, что после применения фильтра повышена резкость границ, в следствие чего повышается однозначность выделения объектов при их определении и разметке на ортофотопланах местности (топографических картах). Кроме этого, повышение резкости на ортофотопланах местности способствует более точному определению границ при ручном и автоматизированном поиске объектов.

Повышение скорости обработки изображений положительно влияет на построение точного ортофотоплана местности, для которого используются тысячи снимков. Обработка такого количества изображений требует больших затрат финансовых, временных и человеческих ресурсов. Применение разработанного алгоритма двумерного фильтра позволяет сократить длительность обработки такого объёма изображений в 2,5 раз.

Литература

- Куприянова К.С., Рылов К.А., Каменский А.В. Влияние неравносторонних апертур на характеристики цифровых фильтров лапласиан «усеченная пирамида» и лапласиан «двойная пирамида» // GraphiCon 2023: Труды 33-й Междунар. конф. по компьютерной графике и машинному зрению. М. 2023. С. 482-491. DOI: 10.20948/graphicon-2023-482-491.
- 2. Егоров В.В., Мингалев А.Н. Рекурсивные фильтры с конечной импульсной характеристикой // Радиолокация и радиосвязь. Сб. тр. XV Всерос. науч.-техн. конф. М.: ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН. 2022. С. 98-100.
- 3. Петкевич К.О. Использование цифровых фильтров для обработки изображений // Информационные технологии и управление. 55-я юбилейная науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР. Минск. 2019. С. 144-145.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИБЛИОТЕК MATPLOTLIB, SEABORN, SCIPY ПРОГРАММЫ РУТНОМ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПО НАБЛЮДЕННЫМ ДАННЫМ НА ТЕРРИТОРИИ ТАДЖИКИСТАНА

Сафоназарова З.С.¹, Шозиёев Ш.П.^{1,2}, Асаншоева Ш.А.¹ *shokrim@mail.ru* ¹ Хорогский государственный университет, г. Хорог, Таджикистан ² Московский энергетический институт, г. Москва, Россия

В настоящее время весьма актуальной темой научных сообществ остается разработка компьютерных программ и алгоритмов анализа сейсмического режима по сейсмологическим данным. Поэтому, в работе проанализирована сейсмическая активность территории Таджикистана инструментами библиотек языка Python.

Ключевые слова: Python, землетрясения, сейсмическая активность, Памиро-Гиндукуш, Таджикистан.

Введение. Многими группами ученных по всему миру направлены поиски на идентификацию места возможного толчка, то есть выделение сейсмоопасных районов нашей планеты. Мировым сообществом по оценки сейсмической опасности территория (Таджикистана) признана и относится к регионам повышенной сейсмичности (Рис. 1). Сейсмическая активность связана с интенсивными тектоническими движениями, которые находится в области сочленения трех тектонических мегаблоков Евриазии: Туранской плиты с севера и с запада, Таримской платформы с востока и Индийской платформы с юга.



Рисунок 1 – Пространственное распределение коровых и мантийных землетрясений на территории Таджикистана (К≥10) за 1962–2009 гг. по данным СКЗТ, черным цветом обозначены эпицентры коровых (h<70 км) землетрясений, серым (внутри выделенного участка) – эпицентры мантийных глубокофокусных землетрясений Памиро-Гиндукуша (h≥70 км)

Ежегодно на территории Таджикистана регистрируют тысячи сейсмических событий. Большинство из них не заметны, некоторый ощущаются по раскачиванию предметов дома. Только первые десятки событий носят разрушающей характер. Под угрозой возникновения сейсмических событий находятся достаточное количество густонаселённых территории республики [1].

Основными предметами изучения сейсмического режима, как индикатор его изменения, в данный момент являются b-value или график повторяемости закона Гутенберг-Рихтера, р и c-value закона Омори, z-оценка и др. Наряду с этими индикаторами изменения сейсмического режима, является «сейсмическая активность». Как известно дискретное распределение землетрясений осложняет ход процесса сейсмичности в пространстве, также вызывает неудобство для интерпретации сейсмического режима не только в пространстве, но и во времени. Для понимания распределение землетрясений в пространстве (дискретной информации) автором [2] было введено понятие сейсмическая активность.

В данной работе будут использованы инструменты библиотеки matplotlib, seaborn, scipy в программе python для изучения сейсмической активности по наблюденным данным на территории Таджикистана за период 1962-2009 гг.

Источник данных. Непрерывные инструментальные сейсмологические наблюдения на территории Таджикистана ведутся более полувека, начиная с 1955 года двадцатого столетия. По не инструментальным наблюдениям данные о землетрясениях этого района накоплены с конца девятнадцатого века [3, 4]. По данным сейсмологических наблюдений был сформирован сводный каталог землетрясений Таджикистана – СКЗТ. Представительный класс СКЗТ находится на уровне (К≥10) [5]. После очищения каталога землетрясений от непредставительного класса и афтершоков объем данных более 30000 тысяч событий, остается достаточно актуальным для изучения сейсмической активности.

Методика анализа. Разработка программы для расчета сейсмической активности во многом сокращает время обработки больших объемов данных [6]. Предложенный ниже способ является одним из альтернативных путей решения вопроса сейсмической активности.

Анализ данных в основном производился с помощь библиотек интегрированной среды языка Python. Библиотеки Matplotlib, Seaborn и SciPy - это набор математических алгоритмов и удобных функций. Например, SciPy построен на расширении библиотеки для работы с массивами Numpy. Компоненты этих библиотек значительно расширяют возможности работы с языком Python, предоставляя пользователю доступ к командам и классам высокого уровня для манипулирования данными и их визуализации. Выше упомянутые библиотеки, являются интерактивными инструментами Python. Данная программа становится средой обработки больших объемов данных и прототипом, как MATLAB, IDL, Octave, R-Lab и SciLab [7].

Графики гексагонального разбиения, также известный как графики hexbin, представляют собой тип двумерной гистограммы, которая использует гексагональные ячейки для визуализации плотности событий [7]. В отличие от стандартных гистограмм, в которых используются прямоугольные ячейки, гексагональное объединение дает более детальную закономерность пространственных данных. Контролируя входные данные, размер ячеек гексагонального объединения в программе Python с использованием примеров кода, можно получать карты сейсмической активности разного масштаба и разных периодов.

На первом шаге производится импорт данных каталога землетрясений в программу. После импорта производится фильтрация данных каталога по заданным условиям пользователем. На следующем шаге строятся карты пространственного распределения эпицентров землетрясений слой такой карты показан на (рис. 1). На последнем шаге по результатам дискретного распределения создается карта активности землетрясений. На полученной карте выделяются участки, характеризующиеся повышенной и пониженной сейсмичности — сейсмические узлы (зоны повышенной сейсмической активности).

Результаты и обсуждения. По данным сводного каталога землетрясений Таджикистана - СКЗТ [5] с помощью библиотек программы на языке Python можно

построить карту сейсмической активности. Функция hexbin() в модуле pyplot библиотеки matplotlib используется для построения двумерного гексагонального графика биннинга сейсмических толчков. В каждой гексагональной ячейки определяется количество толчков, и под количеством сейсмических событий на ячейку подразумевается сейсмическая активность ячейки, а совокупность их распределения показывает сейсмическую активность в пространстве (рис. 2).



Рисунок 2 – Пространственное распределение сейсмической активности на территории Таджикистана без разделения событий на коровые и глубокофокусные с классом (К≥9) за 1962–2009 гг. по данным СКЗТ



Рисунок 3 – Пространственное распределение сейсмической активности на территории Таджикистана для коровых (а) и глубокофокусных землетрясений (б) с классом (К≥10) за 1962–2009 гг. по данным СКЗТ

Подобные карты можно создавать для заданных временных периодов и разных глубин. Как видно из рисунков 3 афганская глубокофокусная подзона, является самой сейсмически активной области исследования.

Следуя вышеупомянутым фактам о пространственном существовании коровых и мантийных землетрясений на территории Таджикистана нужно проанализировать сейсмическую активность по отдельности: для коровых (h<70 км) землетрясений и мантийных глубокофокусных землетрясений Памиро-Гиндукуша (h≥70 км).

Из (рис. 3а) видно, что обширное поле сейсмической активности для коровых событий отмечается в центральной части Таджикистана по Дарваз-Каракулскому разлому, на юге Таджикской депрессии, но основная часть сосредоточена (расположена) на территории Афганистана. Остальная часть территории обладает весьма слабой сейсмической активностью. Сейсмическая активность эпицентральной зоны Памира_Гиндукуших глубокофокусных событий (рис.3б) также неоднородна, и выделяется как полоса, начиная с территории Афганистана, пересекая территорию Памира и заканчивается на территории Китая.

Выводы. По мере поступления информации в каталог землетрясений и развития кода, не исключаем получение детальной картины сейсмической активности как прогностический признак. Особое внимание нужно уделить развитию программы анализа сейсмической активности и других параметров сейсмического режима, адаптации её работы с подключением к интернету, и автоматизации режима обработки данных при обновлени данных из мировых источников.

Результаты исследования представляют собой сейсмологическую основу для составления рекомендаций по защите населенных пунктов и населения, выбору участков для возведения новых объектов от воздействия землетрясений и снижение сейсмического риска на данной территории.

Литература

- 1. Сейсмическое районирование территории СССР. Методические основы и региональное описание карты 1978 г. / Ред. Буне В.И., Горшков Г.П. М.: Наука. 1980. 307 с.
- 2. Резниченко Ю.В. Сейсмическая активность территории СССР. М.: Наука 1979. 192 с.
- 3. Губин И.В. Закономерности сейсмических проявлений на территории Таджикистана. М.: Изд-во АН СССР. 1960. 464 с.
- 4. Бегиев Б.Б., Нечаев В.А. Инженерно-сейсмометрическая служба г. Душанбе за 1967– 1970 гг. Душанбе: Дониш. 1971. 73 с.
- 5. Шозиёев Ш.П., Айдаров Ф.А., Смирнов В.Б. Оценка представительности данных каталога землетрясений Таджикистана // Геофизические исследования. 2016. Т. 17. № 2. С. 54-65.
- 6. Беспалов Д.А., Брачун Т.А. Разработка программы для расчета сейсмической активности в Магаданской области // Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки. Материалы VIII студенческой междунар. заочной науч.-практ. конф., г. Новосибирск, 07 февраля 2013 г. Новосибирск: СибАК. 2013. С. 22-28.
- 7. Jake Vander Plas. Python Data Science Handbook / Published by O'Reilly Media, Inc., 1005 Gravenstein Highway North, Sebastopol, USA, 2017, 548 p.

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ОДНОМЕРНОЙ ЗАДАЧИ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ДВУХСЛОЙНОЙ СРЕДЫ)

Скляр С.Н.², Забинякова О.Б.^{1,2}, Плотников Н.А.² sklyar_s@auca.kg, perah.92@inbox.ru ¹Научная станция РАН, г. Бишкек, Кыргызстан ²Американский Университет в Центральной Азии, г. Бишкек, Кыргызстан

В работе предлагается и тестируется алгоритм численного решения обратной одномерной задачи магнитотеллурического зондирования, основанный на разностных схемах, полученных методом локальных интегральных уравнений. Алгоритм основан на решении «псевдоквадратного» уравнения.

Ключевые слова: магнитотеллурический импеданс, обратная одномерная задача, численное решение, «псевдоквадратное» уравнение.

Введение. В настоящее время метод магнитотеллурического зондирования (МТЗ) является одним из актуальных современных геофизических направлений. Этот глубинный геоэлектрический метод позволяет исследовать строение литосферы на основе анализа вариаций естественного электромагнитного поля Земли, и применять полученные знания, например, при поиске и добыче полезных ископаемых (различные руды, газ, нефть, вода и т.д.), при решении инженерных и сейсмологических задач, и др. Эти исследовательские вопросы особенно актуальны в сейсмоактивных регионах, в том числе и для территории Тянь-Шаня, где находится Кыргызская Республика. Учитывая технические возможности вычислительной современной техники, позволяющей выполнять компьютерное моделирование естественного электромагнитного поля Земли, возникает необходимость в разработке соответствующих математических инструментов (численных методов) и программного обеспечения. При этом такая работа представляет интерес как с геофизической, так и с математической точки зрения.

Задачи магнитотеллурического зондирования можно разделить на две группы – прямые задачи и обратные задачи. Прямые задачи направлены на моделирование компонент естественного электромагнитного поля Земли для геологической среды с известными геоэлектрическими параметрами, которая в случае одномерных задач представляет собой горизонтально-слоистую среду с заданными для каждого *j*-того слоя параметрами: удельное

электрическое сопротивление ρ_j (или удельная электрическая проводимость $\sigma_j = \frac{1}{\rho_j}$) и

мощности слоя Δz_j . Однако большее практическое значение имеют обратные задачи магнитотеллурического зондирования, которые, наоборот, направлены на восстановление параметров среды (удельной электрической проводимости σ_j и мощности Δz_j для каждого слоя модели) по электромагнитным полям, заданным для этой среды.

Отметим, что численное решение обратной задачи напрямую зависит от эффективности численных методов, используемых для решения прямой задачи. Разностные схемы, полученные и исследованные нами ранее в работе [8] показали высокую эффективность в применении к решению прямых одномерных задач МТЗ. Поэтому в рамках данной работы рассматривается применение этих разностных схем при разработке алгоритма решения обратной одномерной задачи МТЗ. Отметим также, что для простоты и конкретности в качестве «рабочей» физико-геологической модели среды в данной статье используется только двухслойная среда. *Прямая одномерная задача.* Математической моделью, описывающей МТ-поле в одномерной горизонтально-слоистой среде, является система дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial H}{\partial z} = -\sigma E, \\ z \in (0, z_{\max}). \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{\partial E}{\partial z} = i\omega\mu_0 H, \end{cases}$$
(1)

где *z* – пространственная координата, вдоль которой изменяются свойства геосреды, ось *Oz* направлена вглубь Земли; $H = H^y$ и $E = E^x$ – комплексные взаимно ортогональные горизонтальные компоненты напряженности магнитного и электрического полей; $\sigma = \sigma(z)$ – удельная электрическая проводимость среды; μ_0 – магнитная восприимчивость в вакууме; $\omega > 0$ – частота; *i* – комплексная единица. Одной из наиболее информативных передаточных функции в методе МТЗ является импеданс, который в одномерном случае при фиксированной частоте ω определяется отношением [1-7]:

$$Z(z) = \frac{E(z)}{H(z)}.$$
(2)

Ввиду того, что частотный диапазон, применяемый в МТЗ, весьма широк, что позволяет получать информацию о глубинном строении изучаемой геосреды, в геофизической практике принято рассматривать и анализировать [1-7]:

• функцию зависимости импеданса на дневной поверхности от частоты:

$$Z_0(\omega) = Z(\omega, z = 0), \qquad (3)$$

• функции кажущегося сопротивления (или кажущейся проводимости $\sigma_{app}(\omega) = \frac{1}{\rho_{app}(\omega)}$) и фазы импеданса:

$$\rho_{app}(\omega) = \frac{\left|Z_0(\omega)\right|^2}{\omega\mu_0}, \qquad \varphi(\omega) = \arg(Z_0(\omega)). \tag{4}$$

Подробное описание физического смысла и свойств этих функций дано, например, в работах [1-7], поэтому в данной статье внимание на этом останавливать не будем.

Таким образом, в качестве прямой задачи МТЗ чаще всего рассматривается задача по восстановлению функций $Z_0(\omega), \rho_{app}(\omega)$ (или $\sigma_{app}(\omega)$) и $\varphi(\omega)$ для среды с заданными геоэлектрическими свойствами [1-7].

В работе [8] для численного решения системы (1) была получена рекурсия следующего вида:

$$\begin{cases} H_{j}^{h}(\omega) = ch(q(\omega)S_{j}\Delta z_{j})H_{j-1}^{h}(\omega) - \frac{S_{j}}{q(\omega)}sh(q(\omega)S_{j}\Delta z_{j})E_{j-1}^{h}(\omega); \\ E_{j}^{h}(\omega) = -\frac{q(\omega)}{S_{j}}sh(q(\omega)S_{j}\Delta z_{j})H_{j-1}^{h}(\omega) + ch(q(\omega)S_{j}\Delta z_{j})E_{j-1}^{h}(\omega); \end{cases}$$
(5)

где $0 = z_0 < z_1 < ... < z_M = z_{max}$ — узлы сетки, имитирующие уровни разделения среды на M ограниченных слоев; $\Delta z_j = z_j - z_{j-1}, \ j = \overline{1,M}$ — шаги сеточных ячеек, соответствующие мощностям (толщине) этих слоев; $H_j^h(\omega) \approx H(z_j, \omega)$ и $E_j^h(\omega) \approx E(z_j, \omega)$ — приближенные значения искомых решений в узлах сетки; $q(\omega) = \sqrt{-i\omega\mu_0} = (1-i)\sqrt{\frac{\omega\mu_0}{2}}$ — вспомогательная функция, зависящая от частоты; $S_j = \sqrt{\sigma_j}, \ j = \overline{1,M}$ — вспомогательная функция, зависящая от удельной электропроводности $\sigma(z)$, где $\sigma(z) = \sigma_j = const$ при $z \in (z_{j-1}, z_j), \ j = \overline{1,M}$ —

значения удельной электропроводности для каждого слоя. Отметим также, что полагается, что пачку из M ограниченных слоев подстилает (M+1)-й слой, который характеризуется бесконечной мощностью ($\Delta z_{M+1} = \infty$) и постоянной удельной электропроводностью σ_{M+1} .

Разделим второе уравнение системы (5) на её первое уравнение, и, учитывая формулу (2), перейдем к рекуррентному соотношению для функции импеданса:

$$\frac{Z_{j}(\omega)}{q(\omega)} = \frac{1}{S_{j}} \cdot \frac{S_{j} \frac{Z_{j-1}(\omega)}{q(\omega)} - th \left[q(\omega)S_{j}\Delta z_{j}\right]}{1 - S_{j} \frac{Z_{j-1}(\omega)}{q(\omega)} th \left[q(\omega)S_{j}\Delta z_{j}\right]}, \quad j = \overline{1, M}.$$
(6)

Таким образом, с помощью соотношения (6) можно вычислять отношение $\frac{Z_j(\omega)}{q(\omega)}$ на

разных глубинах для разных частот, если $\frac{Z_0(\omega)}{q(\omega)}$ для соответствующих частот задано.

Рекурсия, обратная к (6), имеет вид:

$$\frac{Z_{j-1}(\omega)}{q(\omega)} = \frac{1}{S_j} \cdot \frac{S_j \frac{Z_j(\omega)}{q(\omega)} + th \left[q(\omega)S_j \Delta z_j\right]}{1 + S_j \frac{Z_j(\omega)}{q(\omega)} th \left[q(\omega)S_j \Delta z_j\right]}, j = M, ..., 1,$$
(7)

и может использоваться для вычислять отношение $\frac{Z_j(\omega)}{q(\omega)}$ на разных глубинах для разных

частот, если $\frac{Z_{M}(\omega)}{q(\omega)}$ для соответствующих частот задано.

Вернемся к системе (5) и рассмотрим её для (*M*+1)-го безграничного подстилающего слоя, где, очевидно, она также справедлива:

$$\begin{cases} H_{M+1}^{h}(\omega) = ch(q(\omega)S_{M+1}\Delta z_{M+1})H_{M}^{h}(\omega) - \frac{S_{M+1}}{q(\omega)}sh(q(\omega)S_{M+1}\Delta z_{M+1})E_{M}^{h}(\omega);\\ E_{M+1}^{h}(\omega) = -\frac{q(\omega)}{S_{M+1}}sh(q(\omega)S_{M+1}\Delta z_{M+1})H_{M}^{h}(\omega) + ch(q(\omega)S_{M+1}\Delta z_{M+1})E_{M}^{h}(\omega);\end{cases}$$

преобразуем к виду:

$$\begin{cases} \frac{H_{M+1}^{h}(\omega)}{ch(q(\omega)S_{M+1}\Delta z_{M+1})} = H_{M}^{h}(\omega) - \frac{S_{M+1}}{q(\omega)}th(q(\omega)S_{M+1}\Delta z_{M+1})E_{M}^{h}(\omega);\\ \frac{E_{M+1}^{h}(\omega)}{ch(q(\omega)S_{M+1}\Delta z_{M+1})} = -\frac{q(\omega)}{S_{M+1}}th(q(\omega)S_{M+1}\Delta z_{M+1})H_{M}^{h}(\omega) + E_{M}^{h}(\omega);\end{cases}$$

выполним предельный переход при $\Delta z_{M+1} \rightarrow +\infty$:

$$\begin{cases} 0 = H_{M}^{h}(\omega) - \frac{S_{M+1}}{q(\omega)} E_{M}^{h}(\omega); \\ 0 = -\frac{q(\omega)}{S_{M+1}} H_{M}^{h}(\omega) + E_{M}^{h}(\omega); \end{cases}$$

перейдем к импедансу:

$$Z_M(\omega) = \frac{q(\omega)}{S_{M+1}}.$$

Таким образом, в качестве краевого условия для рекурсии (7) будем использовать уравнение:

$$\frac{Z_M(\omega)}{q(\omega)} = \frac{1}{S_{M+1}} = const .$$
(8)

Обратим внимание, что в работах [3-7] для определения импеданса на кровле безграничного по глубине слоя (т.е. на глубине z_M), подстилающего горизонтально-слоистую среду, используется то же самое условие (8).

На рисунке 1 иллюстрируется пример решения прямой одномерной задачи для тестовой двухслойной модели, описанной в таблице 1 с помощью рекурсии (7), (8).

Расчеты в рамках численных экспериментов и визуализация графиков осуществлялись в среде *MatLab*.

Таблица 1 – Тестовая двухслойная модель



Рисунок 1 – Графики решения прямой одномерной задачи для двухслойной среды с помощью рекурсии (7)-(8)

Обратная одномерная задача. Обратная одномерная задача МТЗ заключается в восстановлении геоэлектрических свойств горизонтально-слоистой среды с известным количеством слоев по заданной функции импеданса на дневной поверхности $Z_0(\omega_s)$, где $\{\omega_s\}_{s=1}^s$ - некоторый частотный диапазон.

В данной работе рассмотрим решение обратной задачи на примере двухслойной среды с фиксированной геометрией: σ_1 и σ_2 – неизвестные удельные электропроводности слоев, которые необходимо найти; Δz_1 – заданная мощность верхнего (первого, ограниченного) слоя. Будем также полагать, что для двух (так как в решаемой обратной задаче две неизвестные величины) различных частот ω_0 и ω_1 заданы импедансные отношения $\frac{Z_0(\omega_0)}{q(\omega_0)}$ и $\frac{Z_0(\omega_1)}{q(\omega_1)}$, причем $\frac{Z_0(\omega_0)}{q(\omega_0)} \neq \frac{Z_0(\omega_1)}{q(\omega_1)}$.

Предположим, что величина $S_1 = \sqrt{\sigma_1}$ известна, тогда, согласно формуле (6), значения импедансных отношений можно продолжить с дневной поверхности на подошву первого слоя, залегающую на глубине $z_1 = \Delta z_1$ (см. рис.):

$$\frac{Z_{1}(\omega_{0})}{q(\omega_{0})} = \frac{1}{S_{1}} \cdot \frac{S_{1} \frac{Z_{0}(\omega_{0})}{q(\omega_{0})} - th[q(\omega_{0})S_{1}\Delta z_{1}]}{1 - S_{1} \frac{Z_{0}(\omega_{0})}{q(\omega_{0})} th[q(\omega_{0})S_{1}\Delta z_{1}]}, \quad \frac{Z_{1}(\omega_{1})}{q(\omega_{1})} = \frac{1}{S_{1}} \cdot \frac{S_{1} \frac{Z_{0}(\omega_{1})}{q(\omega_{1})} - th[q(\omega_{1})S_{1}\Delta z_{1}]}{1 - S_{1} \frac{Z_{0}(\omega_{1})}{q(\omega_{1})} th[q(\omega_{1})S_{1}\Delta z_{1}]}.$$

Согласно (8), левые части этих двух уравнений равны, следовательно, приравнивая правые части этих уравнений друг к другу, получим равенство:

$$\frac{1}{S_{1}} \cdot \frac{S_{1} \frac{Z_{0}(\omega_{0})}{q(\omega_{0})} - th[q(\omega_{0})S_{1}\Delta z_{1}]}{1 - S_{1} \frac{Z_{0}(\omega_{0})}{q(\omega_{0})} th[q(\omega_{0})S_{1}\Delta z_{1}]} = \frac{1}{S_{1}} \cdot \frac{S_{1} \frac{Z_{0}(\omega_{1})}{q(\omega_{1})} - th[q(\omega_{1})S_{1}\Delta z_{1}]}{1 - S_{1} \frac{Z_{0}(\omega_{1})}{q(\omega_{1})} th[q(\omega_{1})S_{1}\Delta z_{1}]}$$

которое преобразуем к виду:

$$S_{1}^{2} - S_{1} \left[\frac{q(\omega_{0})}{Z_{0}(\omega_{0})} - \frac{q(\omega_{1})}{Z_{0}(\omega_{1})} \right] cth \left(\left[q(\omega_{0}) - q(\omega_{1}) \right] S_{1} \Delta z_{1} \right) - \frac{q(\omega_{0})}{Z_{0}(\omega_{0})} \frac{q(\omega_{1})}{Z_{0}(\omega_{0})} = 0.$$
(9)



Рисунок – Двухслойная среда

Для определения неизвестной величины S₁ из «псевдоквадратного» уравнения (9) можно использовать любой итерационный метод. В данной работе будем использовать итерационный метод Ньютона [9]:

$$S_{1}^{(k)} = \left| S_{1}^{(k-1)} - \frac{F\left(S_{1}^{(k-1)}\right)}{F'\left(S_{1}^{(k-1)}\right)} \right|, \quad k = 1, 2, 3, \dots$$
(10)

где k – номер итерации, $S_1^{(0)} > 0$ - заданное начальное приближение, а функции F и F' определяются формулами:

$$F(S_{1}) = S_{1}^{2} - S_{1} \left[\frac{q(\omega_{0})}{Z_{0}(\omega_{0})} - \frac{q(\omega_{1})}{Z_{0}(\omega_{1})} \right] cth([q(\omega_{0}) - q(\omega_{1})]S_{1}\Delta z_{1}) - \frac{q(\omega_{0})}{Z_{0}(\omega_{0})} \frac{q(\omega_{1})}{Z_{0}(\omega_{0})},$$
(11)

$$F'(S_{1}) = 2S_{1} - \left[\frac{q(\omega_{0})}{Z_{0}(\omega_{0})} - \frac{q(\omega_{1})}{Z_{0}(\omega_{1})}\right] \left(cth\left(\left[q(\omega_{0}) - q(\omega_{1})\right]S_{1}\Delta z_{1}\right) - \frac{\left[q(\omega_{0}) - q(\omega_{1})\right]S_{1}\Delta z_{1}}{sh^{2}\left(\left[q(\omega_{0}) - q(\omega_{1})\right]S_{1}\Delta z_{1}\right)}\right).$$
(12)

В качестве критерия остановки итерационного процесса (10) можно использовать условия:

$$\left|S_{1}^{(k)} - S_{1}^{(k-1)}\right| < \delta \quad \text{if } k_{fin} < K ,$$
(13)

где $\delta > 0$ – заданное число, определяющее точность вычислений; k_{fin} – количество выполненных итераций, K – большое натуральное число, определяющее максимально допустимое количество итераций.

Таким образом, мы предлагаем использовать следующий алгоритм численного решения рассмотренной обратной задачи:

Шаг 1. По заданным входным импедансным отношениям $\frac{Z_0(\omega_0)}{q(\omega_0)}$ и $\frac{Z_0(\omega_1)}{q(\omega_1)}$

определим величину S_1 , решая «псевдоквадратное» уравнение (9) с помощью формул (10)–(13). Найдем удельную электропроводность первого слоя по формуле $\sigma_1 = S_1^2$.

Шаг 2. Продолжим любое из входных импедансных отношений, например, $\frac{Z_0(\omega_0)}{q(\omega_0)}$,

на глубину $z_1 = \Delta z_1$ по формуле (6). Зная $\frac{Z_1(\omega_0)}{q(\omega_0)}$, применим равенство (8), чтобы найти

удельную электропроводность второго слоя $\sigma_2 = S_2^2 = \left| \frac{q(\omega_0)}{Z_1(\omega_0)} \right|^2$.

Приведем некоторые *результаты численных экспериментов по решению обратной* одномерной задачи с помощью предложенного алгоритма, организованные следующим образом:

I этап – формирование входных данных. Для двухслойной среды с известными σ_1 , σ_2 , Δz_1 и для двух произвольных частот ω_0 и ω_1 имитируются импедансные отношения $\frac{Z_0(\omega_0)}{q(\omega_0)}$ и $\frac{Z_0(\omega_1)}{q(\omega_1)}$ на дневной поверхности, то есть решается прямая одномерная задача с

использованием рекурсии (7)-(8).

II этап – решение обратной задачи. На данном этапе решается обратная задача по алгоритму, описанному выше.

Для оценки точности получаемых приближенных решений можно использовать соответствующие относительные погрешности:

$$err_\sigma_{j} = \frac{\left|\sigma_{j}^{original} - \sigma_{j}^{result}\right|}{\left|\sigma_{j}^{original}\right|} \cdot 100\%, \quad j = 1, 2,$$
(14)

$$err_{Z_{0,s}} = \frac{\left| \frac{Z_{0}^{original}(\omega_{s})}{q(\omega_{s})} - \frac{Z_{0}^{result}(\omega_{s})}{q(\omega_{s})} \right|}{\left| \frac{Z_{0}^{original}(\omega_{s})}{q(\omega_{s})} \right|} \cdot 100\%, \quad s = 0, 1,$$
(15)

где $\sigma_j^{original}$, j = 1,2 и $Z_0^{original}(\omega_s)/q(\omega_s)$, s = 0,1 – исходные удельные электропроводности

слоев и соответствующие импедансные соотношения, полученные на I этапе; σ_j^{result} , j = 1, 2 – удельные электропроводности слоев, полученные в результате решения обратной задачи на II этапе, а $Z_0^{result}(\omega_s)/q(\omega_s)$, s = 0, 1 – импедансные отношения, рассчитанные для

 $\sigma_{i}^{result}, j = 1,2$ с помощью рекурсии (7)-(8).

В таблице 2 приведены некоторые результаты решения обратной задачи для тестовой двухслойной среды из таблицы 1. Обратная задача решалась для разных пар частот и начальных приближений для итерационного процесса (10). Из таблицы 2 видно, что итерационный процесс достаточно быстро сходится к нужному решению и устойчив по отношению к входным параметрам ω_0 , ω_1 , $S_1^{(0)}$.

Параметр		Варианты сочетания параметров								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Uactoria (D. M. (D)		0.01	0.1	1	0.01	0.1	1	0.01	0.1	1
	астоты ω_0 и ω_1		0.05	5	0.1	0.05	5	0.1	0.05	5
Начальное										
приближение $S_1^{\left(0 ight)}$			1		1000 0.0001					
Решение обратной задачи	σ_1	100								
	k_{fin}	8			11			21		
	σ_2	1								
Погреш- ности, %	err_{σ_1}	0	0	0	0	0	0	$2.1 \cdot 10^{-13}$	0	0
	err_{σ_2}	$4.4 \cdot 10^{-14}$	$2.3 \cdot 10^{-12}$	4.6.10-7	$4.4 \cdot 10^{-14}$	2.3.10-12	4.6.10-7	1.5.10-12	2.3.10-12	4.6.10-7
	$err_Z_{0,0}$	0	2.8.10-15	1.4.10-15	0	2.8.10-15	1.4.10-15	1.7.10-13	2.8.10-15	1.4.10-15
	$err_Z_{0,1}$	0	2.9.10-14	2.5.10-23	0	2.9.10-14	2.5.10-23	1.1.10-13	2.9.10-14	2.5.10-23

Таблица 2 – Результаты решения обратной задачи по восстановлению σ_1 и σ_2 для тестовой двухслойной модели из таблицы 1

Выводы. Таким образом, в данной работе рассмотрен и протестирован алгоритм решения обратной одномерной задачи магнитотеллурического зондирования для двухслойной среды. В алгоритме используется «псевдоквадратное» уравнение вида (10), которое позволяет определять удельную электропроводность ограниченного слоя среды, при условии, что на кровле этого слоя для двух разных частот заданы отличные по величине импедансные отношения. Итерационный процесс для решения такого уравнения методом Ньютона показал хорошую сходимость и устойчивость. Поэтому в дальнейших работах мы предполагаем исследование свойств «псевдоквадратного» уравнения вида (10), а также обобщение предложенного алгоритма для сред с произвольным количеством слоев.

Литература

- 1. Тихонов А.Н. Об определении электрических характеристик глубоких слоев земной коры // Докл. АН СССР. 1950. Т. 73. № 2. С. 295–297.
- 2. Cagniard L. Basic Theory of the Magneto-Telluric Method of Geophysical Prospecting // Geophysics. 1953. 18. P. 605-635.
- 3. Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И. Магнитотеллурическое зондирование горизонтально-однородных сред. М.: Недра. 1992. 250 с.
- 4. Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И. Модели и методы магнитотеллурики. М.: Научный мир. 2009. 680 с.
- 5. Жамалетдинов А.А. Магнитотеллурический метод изучения строения массивов горных пород: Учебное пособие. Апатиты. 2014. 103 с.
- 6. Жданов М.С. Электроразведка: Учебник для вузов. М.: Недра. 1986. 316 с.
- 7. Яковлев А.Г., Пушкарев П.Ю. Одномерная прямая задача МТЗ. Методическая разработка. М.: МГУ. 2000. 17 с.
- 8. Забинякова О.Б., Скляр С.Н. Метод численного моделирования магнитотеллурического поля в горизонтально-однородной среде: разностные схемы, оценки сходимости // Сибирский журнал вычислительной математики. 2022. Т. 25. № 1. С. 33–51. DOI: 10.15372/SJNM20220103
- 9. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы. М.: Наука. 1989. 430 с.

содержание

КОМПЛЕКСНЫЕ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕЙСМОАКТИВНЫХ РЕГИОНОВ

DETAILED GEOLOGICAL RESEARCH WHICH CARRIED OUT USING CDP-2D METHOD IN THE SOUTH-EAST PART OF THE BHUKHARA TECTONIC STEP Jurayev F.O., Ismadullayev B.I.	4
ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ГЛАВНОГО ДЖУНГАРСКОГО РАЗЛОМА (РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН) Абдрахматов К.Е., Ельдеева М.С.	9
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕТЕОФАКТОРОВ НА МНОГОЛЕТНИЙ ХОД УРОВНЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В СВЯЗИ С СЕЙСМИЧНОСТЬЮ В ЮГО-ВОСТОЧНОМ КАЗАХСТАНЕ Абдуллаев А.У., Есенжигитова Е.Ж., Турабаева Ж.Т., Уркембаева А.Е.	15
АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ И БУРОВОЙ ИЗУЧЕННОСТИ МУБАРЕКСКОГО ПОДНЯТИЯ Абдуллаев Д.Р.	22
ПЕРЕИНТЕРПРЕТАЦИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ И ОЦЕНКА НЕФТЕГАЗОПЕРСПЕКТИВНОСТИ ЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ПЛОЩАДИ ШИРИНТЕПА МУБАРЕКСКОГО ПОДНЯТИЯ Абдуллаев Д.Р.	27
ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВУОКСИНСКОЙ РАЗЛОМНОЙ ЗОНЫ В РАЙОНЕ ПОС. БОРОВИНКА (ЛЕНИНГРАДСКАЯ ОБЛАСТЬ) Бондарь И.В., Королева А.О., Шварев С.В.	31
СТАНДАРТНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АНИЗОТРОПИИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ Валуйский А.Ю.	37
ОБЗОР СЕЙСМИЧЕСКИХ КАТАЛОГОВ ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ КЫРГЫЗСТАНА Воронцова Е.В.	42
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ НА СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ «НОВОЛАЗАРЕВСКАЯ» Галин А.Ж.	46
МЕТОД ОБЪЁМНЫХ ПОСТРОЕНИЙ ПРИ ПОЛЕВЫХ ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ Гордеев Н.А.	52
ДОПЛЕРОВСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ В ИССЛЕДОВАНИЯХ ВОЗМУЩЕНИЙ В ИОНОСФЕРЕ Ермашов Р.Р.	55
ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ СТРУКТУРЫ БОБОТОГ СУРХАНДАРЬИНСКОГО РЕГИОНА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ГЕОЛОГО- ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ Закирова Г.С.	62
ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И ПОТЕНЦИАЛ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ МЕЛОВЫХ И ЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ СУРХАНДАРЬИНСКОЙ МЕГАСИНКЛИНАЛИ Закирова Г.С., Хожиев Б.И., Сариев Р.Х.	67

ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ И БУРОВОЙ 71 ИЗУЧЕННОСТИ ЮРСКИХ И МЕЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ СУРХАНДАРЬИНСКОЙ МЕГАСИНКЛИНАЛИ

Закирова Г.С., Хожиев Б.И., Сариев Р.Х.

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ И МАГНИТУДЫ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ 75 СЕВЕРНОГО КАВКАЗА Зверева А.С.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПРИРОДА БАЛЬНЕОЛОГИЧЕСКОГО ФЕНОМЕНА НАФТАЛАНСКОЙ 81 НЕФТИ

Зейналов С.Г.

ПОЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ВЫБОРУ МЕСТА ДЛЯ НОВОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ 85 ГРУППЫ В ЗАПАДНОМ КАЗАХСТАНЕ

Исагали А.А., Михайлова Н.Н., Умирова Г.К.

АНАЛИЗ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ И ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВНЫХ 91 РЕСУРСОВ МЕЛОВЫХ И ЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ПЛОЩАДИ САДИРКАЗГАН ЯНГИКАЗГАНСКОГО ПОДНЯТИЯ Истамов Ф.И.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И НЕФТЕГАЗОНОСНОСТЬ МЕЛОВЫХ И ЮРСКИХ 95 **ОТЛОЖЕНИЙ ЯНГИКАЗГАНСКОГО ПОДНЯТИЯ** Истамов Ф.И., Хожиев Б.И.

ОЦЕНКА ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ, ВЫПОЛНЕННЫХ НА ЯНГИКАЗГАНСКОМ 99 **ПОДНЯТИИ БУХАРСКОЙ ТЕКТОНИЧЕСКОЙ СТУПЕНИ** Истамов Ф.И., Хожиев Б.И.

О КОРРЕЛЯЦИИ ВАРИАЦИЙ ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЯ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ЗЕМНОЙ 102 КОРЫ СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ С ЛУННО-СОЛНЕЧНЫМИ ТВЕРДЫМИ ПРИЛИВАМИ

Калашников Р.В., Рыбин А.К.

СОСТОЯНИЕ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ И БУРОВОЙ ИЗУЧЕННОСТИ ВЕРХНЕ-СРЕДНЕЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ШАХПАХТИНСКОЙ СТУПЕНИ УСТЮРТСКОГО РЕГИОНА

Калбаев П.Т., Тошкулов А.Дж., Хожиев Б.И.

АНАЛИЗ СЕЙСМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ И ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВНЫХ РЕСУРСОВ 114 МЕЗОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ПЛОЩАДИ ЧУЙМАК ШАХПАХТИНСКОЙ СТУПЕНИ Калбаев П.Т., Хожиев Б.И.

К ВОПРОСУ О ПОПРАВКАХ К СМЕЩЕНИЮ ФАЗОВОГО ЦЕНТРА АНТЕННЫ ГНСС 118 ПРИЁМНИКА Кенигсберг Д.В.

АНАЛИЗ ВАРИАЦИЙ ПОЛНОГО ЭЛЕКТРОННОГО СОДЕРЖАНИЯ ИОНОСФЕРЫ ВО 124 ВРЕМЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ В АКСУЙСКОМ РАЙОНЕ 23 ЯНВАРЯ 2024 ГОДА (СУАР КНР)

Кирилов А. А.

ДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ МИРНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ ПО ДАННЫМ 129 **АНАЛОГОВЫХ ИСТОРИЧЕСКИХ СЕЙСМОГРАММ** Комекбаев Д.К. РАДАРНАЯ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ: 135 ДЕФОРМАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ КАРАГАНДИНСКОГО КАРЬЕРА Костоусова Е.А.

ДИНАМИЧЕСКИЕ ФАЦИИ ТЕРРИГЕННОЙ ФОРМАЦИИ НИЖНЕЙ - СРЕДНЕЙ ЮРЫ 140 НА ДЕНГИЗКУЛЬСКОМ ПОДНЯТИИ Кудашева Л.Р.

ОБЪЕМНЫЕ ИНТЕРПРЕТАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ЛЕНО-ТАЙМЫРСКОЙ ЗОНЫ 147 СЕЙСМИЧНОСТИ НА ОСНОВЕ ГРАВИМАГНИТНЫХ ДАННЫХ Куляндина А.С., Филиппова А.С., Соколова Е.Ю.

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ 151 ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СИГНАЛОВ В ELF ДИАПАЗОНЕ НА ОСНОВЕ ИНДУКЦИОННОГО МАГНИТНОГО ДАТЧИКА IMS-008 Курманов Д.Н.

ГЕОМАГНИТНЫЙ ЭФФЕКТ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ГЛОБАЛЬНОЙ 157 СЕТИ INTERMAGNET Лазарева Е.А.

Лазарева Е.А.

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКА 162 ПЕРЕМЕННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ МТЕ M-AL ПРОИЗВОДСТВА ФИРМЫ PHOENICS (КАНАДА)

Лисимов М.О.

РЕЗУЛЬТАТЫ СТРУКТУРНОЙ (КИНЕМАТИЧЕСКОЙ) ИНТЕРПРЕТАЦИИ 169 СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ В ПРЕДЕЛАХ ПЛОЩАДЕЙ ЧОРВАДОР И УТАМАЙЛИ Мусабеков А.К.

ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ И БУРОВАЯ ИЗУЧЕННОСТЬ МЕЗОЗОЙСКИХ 175 ОТЛОЖЕНИЙ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БУХАРСКОЙ ТЕКТОНИЧЕСКОЙ СТУПЕНИ Мусабеков А.К., Хожиев Б.И.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ, ГЕНЕРИРУЕМОЙ КРУПНОЙ 179 **ИНТРУЗИЕЙ ПОЛЯ НАПРЯЖЕНИЙ, В ПРИЛОЖЕНИИ К ПРОБЛЕМАМ ТЕКТОНОФИЗИКИ СКЛАДЧАТЫХ ПОЯСОВ** Мягков Д.С., Ребецкий Ю.Л.

МЕСТОРОЖДЕНИЯ КВАРЦЕВЫХ ПЕСКОВ В УЗБЕКИСТАНЕ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В 183 НАРОДНОМ ХОЗЯЙСТВЕ Назаров У.Х.

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛИЗА РАЗРЕЗОВ ПЕТРО- И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОРОД ДЛЯ РАЗВЕДКИ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ Ненюкова А.И., Спичак В.В.

ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ ФИЗИКИ ДЕФОРМИРУЕМОГО ТЕЛА: ЗАЛЕЧИВАНИЕ 192 ТРЕЩИН И НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ СРЕДЫ Непеина К.С.

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ И МАГНИТОРАЗВЕДКИ ПРИ 200 РЕШЕНИИ ЗАДАЧ МОНИТОРИНГА, СТРОИТЕЛЬСТВА И ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ Обысов А.Е, Лаломов Д.А

ОСОБЕННОСТИ ЗАПИСЕЙ РЕГИОНАЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ АЗИМУТА (НА ПРИМЕРЕ ВКМ) Пивоваров Р.С.	206
МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПОЛНОГО ЭЛЕКТРОННОГО СОДЕРЖАНИЯ ИОНОСФЕРЫ НА ОСНОВЕ КОСМОГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ КОДОВЫХ ЗАДЕРЖЕК СПУТНИКОВ Прохоров О.А.	212
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОВОГО ИНСТРУМЕНТА КАЛИБРОВКИ КОДЫ (ССТ) ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ОЧАГОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ТЯНЬ-ШАНЯ Рябенко П.В.	219
АНОМАЛЬНЫЕ ВАРИАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ИОНОСФЕРЫ ПЕРЕД ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕМ ТОХОКУ 2011 ГОДА Савельева Н.В., Пилипенко В.А.	225
ПРЕЦИЗИОННОСТЬ, ПРАВИЛЬНОСТЬ И ТОЧНОСТЬ СРЕДНЕСУТОЧНОЙ ПОЗИЦИИ ПО ДАННЫМ GPS И ГЛОНАСС В ПРОГРАММЕ GAMIT/GLOBK Саламатина Ю.М.	230
ВЫДЕЛЕНИЕ ПЕРВООЧЕРЕДНЫХ УЧАСТКОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАБОТ В ЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЯХ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЮГО-ЗАПАДНЫХ ОТРОГОВ ГИССАРСКОГО РЕГИОНА Саотов М.Х., Хожиев Б.И.	237
ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ И БУРОВОЙ ИЗУЧЕННОСТИ МЕЗОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЮГО-ЗАПАДНЫХ ОТРОГОВ ГИССАРСКОГО РЕГИОНА Саотов М.Х., Хожиев Б.И.	241
АНАЛИЗ СЕЙСМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ И ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВНЫХ РЕСУРСОВ МЕЗОКАЙНОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ПЛОЩАДИ ЯНГИХАЯТ В БАЙСУНСКОМ ПРОГИБЕ Сариев Р.Х.	244
ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ И БУРОВОЙ ИЗУЧЕННОСТИ МЕЗОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ БАЙСУНСКОГО ПРОГИБА СУРХАНДАРЬИНСКОГО РЕГИОНА Сариев Р.Х., Закирова Г.С.	249
ИСТОРИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ И СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ДЛЯ ПРОГНОЗА НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ СУРХАНДАРЬИНСКОЙ МЕГАСИНКЛИНАЛИ Турсунова А.А.	252
ПОИСК НЕФТЕГАЗОПЕРСПЕКТИВНЫХ ОБЪЕКТОВ В ПАЛЕОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЯХ ЮЖНОЙ ЧАСТИ КУАНЫШ-КОСКАЛИНСКОГО ВАЛА Фозилов Р.А., Юлдашева М.Г.	257
КЛАССИФИКАЦИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН ПО ОСОБЕННОСТЯМ ФОРМИРОВАНИЯ ЛОВУШЕК Хмыров П.В., Тухтаев Р.Р., Абдураимов М.Х., Богданов А.Н.	261

РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЙМОРАЗВЕДОЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, ПРОВЕДЕННЫХ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА АНДИЖАН Хусомиддинов А.С., Ядигаров Э.М., Бозоров Ж.Ш., Исламов Х.А.	266
МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ГНСС ДАННЫХ В ПРОГРАММЕ GAMIT-GLOBK В ОБЛАСТИ СЕЙСМОЛОГИИ Шукуров З.Ф.	271
АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ ИОНОСФЕРНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВО ВРЕМЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ GNSS IONEX Щербулова Е.Е., Андреев А.Б.	275
ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ КАРБОНАТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВЕРХНЕЙ ЮРЫ НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЧЕТКУМ И ЧЕГАРАКУМ (РЕСПУБЛИКА УЗБЕКИСТАН) Юлдашев Н.Н., Давронов Н.Н. Абдурахманов Р.Е.	280
СОЗДАНИЕ ТРЕХМЕРНОЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОДУКТИВНОГО ГОРИЗОНТА ККС НЕОГЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ МЕСТОРОЖДЕНИЯ АНДИЖАН Юлдашев Р.П., Жабборов С.М., Галеева К.Л.	286
РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГОВЫХ ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ПРОФИЛЕ «БООМ» Юнусов А.И.	291
ВАРИАЦИИ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В ЯНГИБАЗАРСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ Юсупов В.Р.	297
ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ ОПАСНОСТИ	
ASSESSMENT OF CARBON SEQUESTRATION CAPACITIES OF URBAN TREES IN BISHKEK Abisheva Z., Boizeau Ph., Orunbaev S.	305
INTEGRATED ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL HAZARDS AT A WASTE POLYGON SITE IN BISHKEK: SEISMIC AND AIR POLLUTION ANALYSIS	314

Jung Y., Orunbaev S.

НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ТРУБОПРОВОДОВ Аскарбеков С.Н.	320
ИСФАРА-БАТКЕНСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 31 ЯНВАРЯ 1977 ГОДА	326

Исмаилова Ж.Ж., Тилек кызы Г., Гребенникова В.В.

ИЗУЧЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПРЕССОРА И ЕГО ВЛИЯНИЯ НА СОСЕДНИЕ 333 ЗДАНИЯ

Коковкин И.В., Селезнев В.С.

ОСОБЕННОСТИ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ 340 СООРУЖЕНИЙ НА МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ ПО ДАННЫМ СЕЙСМОМЕТРИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ДВОРЦА КУЛЬТУРЫ (г. НОРИЛЬСК) Косякина Е.Э., Лисейкин А.В., Селезнев В.С.

ОЦЕНКА ВЕРТИКАЛЬНЫХ СМЕЩЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ГАЗОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НА ЗАПАДЕ КАЗАХСТАНА Кузьмин Д.К.	346
МЕТОДИКА И ТЕХНОЛОГИЯ РАСЧЕТА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ И РЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В ОЧАГОВЫХ ЗОНАХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ Лютикова В.С., Литовченко ИН.	351
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ТЯНЬ-ШАНЯ И РАЙОНОВ СОСЕДНИХ СТРАН ЗА 2020-2023 гг. Мамбетова Г.А., Омуралиев М., Омуралиева А.	359
ДОСТОВЕРНОСТЬ СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА И СЕЙСМИЧЕСКАЯ УСТАЛОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ГРУНТА В ПРЕДЕЛАХ Г. БАТКЕН ЗА 1962-1977 гг. Мамбетсадыкова А., Омуралиев М., Омуралиева А.	364
СЕЙСМИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ РАЙОНОВ ГЭС КАМБАРАТА 1, 2, МЕСТОРОЖДЕНИЙ МИН-КУШ, КАРАКЕЧЕ Мураталиева Ж., Омуралиева А., Омуралиев М.	372
УСТОЙЧИВОСТЬ БОРТОВ КАРЬЕРА И РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ИХ ПОДДЕРЖАНИЮ Новиков К.Г., Пличко С.С.	378
СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОВТОРНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВОВ В ПРЕДЕЛАХ КУМТОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ Омурбек кызы К., Омуралиев М., Омуралиева А.	386
КОМПЛЕКСНОЕ ИЗУЧЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ НА ПРИМЕРЕ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ Павленко В.А.	393
МЕХАНИКА И МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ	
DETERMINATION OF DADAMETERS OF AN AUTONOMOUS DOMER SUDDLY SYSTEM	401

DETERMINATION OF PARAMETERS OF AN AUTONOMOUS POWER SUPPLY SYSTEM 401 FOR BLOCK CONTAINERS BASED ON SOLAR PHOTOVOLTAIC BATTERIES Golubkov V.M., Akhmetshin A.T.

ЧАСТНЫЙ СЛУЧАЙ ИЗУЧЕНИЯ РАЗЛОЖЕНИЯ ЛИНЕЙНОГО ОПЕРАТОРА L 406 СПЕЦИАЛЬНОГО ВИДА ПО СТЕПЕНЯМ ПАРАМЕТРА, ОТ КОТОРОГО ЗАВИСЯТ ФУНКЦИИ ИЗ D(L)

Абдыкаимов И.З.

РЕШЕНИЕ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ ФРАКТАЛЬНО-СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА 413 ОБЪЕМА УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ Доненко С.Л., Доненко И.Л.

ФРАКТАЛЬНЫЙ ПОДХОД ДЛЯ ОБРАБОТКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ В 418 ГОРНОЙ ГРЯДЕ

Доненко С.Л., Доненко И.Л.

СОЛНЕЧНЫЙ ЭЛЕМЕНТ ДЛЯ ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДНЫХ СИСТЕМ 424

Жусупкелдиев Ш., Осконбаев А.Т., Утемисова Н.Ж., Кадышев С.К., Аманкулов А.

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ОБОГАЩЕНИЯ ГРАФИТОВЫХ РУД (НА ПРИМЕРЕ ТАСКАЗГАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ГРАФИТОВОЙ РУДЫ В БУХАРСКОЙ ОБЛАСТИ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН) Истаблаев Ф.Ф., Умаров Ш.А., Сабиров Б.Т.	428
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЖИДКОСТНОГО ТЕРМОМЕТРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ И ПЕРЕДАЧИ ЗНАЧЕНИЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЕ Китаев Т.А., Ерёмин О.Ю.	435
ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ КАДАСТРОВЫХ НАРУШЕНИЙ И МОНИТОРИНГА ЗЕМЕЛЬ Куприянова К. С., Рылов К. А., Захлебин А. С.	437
НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОГНЕУПОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ Кыдыралиев Э.М., Касмамытов Н.К.	441
ОБЗОР ПРОГРАММ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ Мокешова А.Т., Усманов С.Ф.	445
ПРОЕКТ МОДЕРНИЗАЦИИ ТЕЛЕСКОПА МТМ-500 В КРЫМСКОЙ АСТРОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ Назаров С.В., Кривенко А.С.	452
ТОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ В ТРЁХМЕРНОЙ МОДЕЛИ ВЕТРОВЫХ ТЕЧЕНИЙ Плотников Н.А.	457
РАЗРАБОТКА ДВУМЕРНОГО РЕКУРСИВНО-СЕПАРАБЕЛЬНОГО 4-Х КАСКАДНОГО ЦИФРОВОГО ФИЛЬТРА ОБРАБОТКИ ОРТОФОТОПЛАНОВ МЕСТНОСТИ Рылов К. А., Куприянова К. С., Каменский А. В.	464
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИБЛИОТЕК МАТРLOTLIB, SEABORN, SCIPY ПРОГРАММЫ РҮТНОN ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПО НАБЛЮДЕННЫМ ДАННЫМ НА ТЕРРИТОРИИ ТАДЖИКИСТАНА Сафоназарова З.С., Шозиёев Ш.П., Асаншоева Ш.А.	469

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ОДНОМЕРНОЙ ЗАДАЧИ 473 МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ДВУХСЛОЙНОЙ СРЕДЫ)

Скляр С.Н., Забинякова О.Б., Плотников Н.А.

Научное издание

ХVІ МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СТУДЕНТОВ

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Сборник материалов XVI Международной конференции молодых ученых и студентов

> 24-26 апреля 2024 года Научная станция РАН г. Бишкек, Кыргызская Республика

Электронное издание НС РАН 720049, Кыргызстан, Бишкек-49 Тел.: +996 (312) 61 31 40