



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
НАУЧНАЯ СТАНЦИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК В Г. БИШКЕКЕ (НС РАН)

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР -
ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ ПОЛИГОН (МНИЦ - ГП)

IX МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СТУДЕНТОВ



СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ
В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

МАТЕРИАЛЫ ДОКЛАДОВ

27 - 28 марта 2017 года
г. Бишкек



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

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР –
ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ ПОЛИГОН**

**IX МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СТУДЕНТОВ**

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ
В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ**

**Сборник материалов
IX Международной конференции молодых ученых и студентов**

**27-28 марта 2017 года
г. Бишкек**

УДК 001
ББК 30.6
С56

Ответственные редакторы: Забиякова О.Б., Матюков В.Е.

Редакционная коллегия: Имашев С.А., Лазарева Е.А., Саламатина Ю.М., Асеева А.Н.

С56 Современные техника и технологии в научных исследованиях: Сборник материалов IX Международной конференции молодых ученых и студентов. – Бишкек: НС РАН, 2017. – 426 с.

ISBN 978-9967-12-643-5

В данный сборник включены материалы IX Международной конференции молодых ученых и студентов «Современные техника и технологии в научных исследованиях», которая была проведена ФГБУН Научной станцией РАН и Международным научно-исследовательским центром – геодинамическим полигоном в г. Бишкеке. В сборнике представлены работы молодых ученых и студентов из Кыргызстана, Узбекистана, Казахстана, Таджикистана, России, Украины и других стран, 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

С 1401030000-17
ISBN 978-9967-12-643-5

©ФГБУН Научная станция РАН в г. Бишкеке

©Международный научно-исследовательский
центр - геодинамический полигон в г. Бишкеке

© Коллектив авторов, 2017

ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ, ГЕОЭКОЛОГИЯ И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 550.348.436

АНАЛИЗ ЦИКЛИЧНОСТИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В РАЙОНЕ ВОДОХРАНИЛИЩА ANALYSIS OF CYCLICITY OF EARTHQUAKES IN THE RESERVOIR AREA

Айдаров Ф.А., Шозиёв Ш.П.
shokarim@mail.ru

Московский Государственный Университет, г. Москва, Россия

***Аннотация.** Анализ закономерностей и физической природы изменений во времени природного сейсмического режима, разработки надежных методики прогноза времени и силы землетрясений во многом связаны с анализом цикличности землетрясений. С целью выявления периодических компонент землетрясений индуцированной природы был использован каталог землетрясений в районе Нурека (Таджикистан).*

***Ключевые слова:** цикличность, Нурек, Таджикистан.*

Изучение закономерностей и физической природы изменений во времени природного сейсмического режима, разработки надежных методики прогноза времени и силы землетрясений, входил в программу изучения академика Г.А. Гамбурцев. Периодичность (цикличность) также были задачей изучения сейсмичности, и такая задача изучалась участниками Комплексной Сейсмологической Экспедицией на сеймопрогностическом полигоне Гарма (КСЭ) [1,2]. По данным этой экспедиции, например, изучен воздействие земных приливов на сейсмичность Гармского района, т.е. суточная периодичность [3]. Эти мысли и дела выдающегося ученого остаются актуальными и сегодня, так как дело прогноза землетрясений находится в сложной ситуации и во многом связано с эндогенными процессами и циклами на нашей планете.

Изменение сейсмической активности (цикличность) является следствием проявления энергетического и динамического режима Солнечной системы. Согласно работе [4 Кузнецов, 1992] между ритмами приливных волн и сейсмичности в недрах Земли наблюдается тесная связь, что было выявлено в XX веке А. Перре, так называемый закон Перре. Низкочастотные составляющие скорости вращения Земли, тектонические движения, эндогенные и экзогенные процессы, также как амплитудные вариации чандлеровского колебания полюса, которые имеют сложный нерегулярный характер, существенно усложняют идентификацию и исследование возбуждающих их факторов [5].

С целью выявления периодических компонент землетрясений индуцированной природы на территории Нурекского района (Таджикистан) было использован каталог землетрясений периода инструментальных наблюдений 1955-2015 гг. В район наших исследований расположена одна из высочайших плотин мира высотой 300 м.

На (рис.1.) вертикальными линиями (более 11000 событий) даны последовательность событий с энергетическим классом $K > 7$. Ограничения на выборке по глубине эпицентров не возлагаются (максимальная глубина 40км).

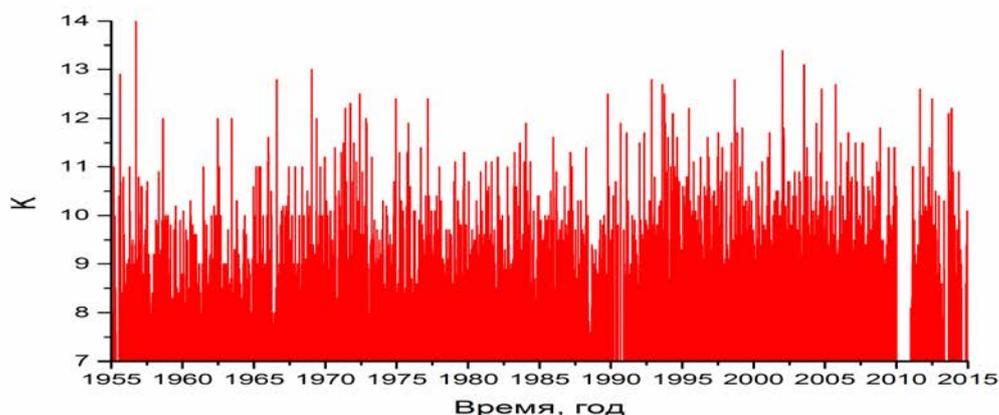


Рисунок 1 – Поток сейсмических событий. Вертикальными линиями даны последовательность событий с энергетическим классом $K > 7$.

Оценка гармонической составляющей потока землетрясений по каталогу Нурекского района, была произведена по методике, разработанной А.А. Любушиным [6,7]. Авторское программное обеспечение размещено в открытом доступе на сайте А.А. Любушина (http://old.ifz.ru/scient_directions/data_monitoring/soft.htm; и <http://alexeylyubushin.narod.ru>). Последовательность землетрясений рассматривается как точечный процесс с интенсивностью, изменяющейся во времени по закону: $\lambda(t) = \mu(1 + \alpha \cos(\omega t + \phi))$. В случае $\alpha = 0$ процесс является пуассоновским, при $\alpha > 0$ на него накладывается гармоническая составляющая с частотой ω . Используемая программа позволяет оценить амплитуды гармоник α для различных частот, диапазон, которого задается пользователем. Тем самым процедура является аналогом спектрального анализа применительно к точечным процессам.

Несмотря на общность динамики изменений и самоподобия сейсмического режима сейсмогенных районов, при анализе выявляются (наблюдаются) общепланетарные и собственные(характерные) периоды. В работе [8] при анализе регионального каталога [9] были выделены периоды 0.12, 0.25, 0.44, 0.9, 1.4, 2.7, 5.46, 8, 11 и 29.6 года в спектре колебаний интенсивности потока сейсмических событий (рис.2.).

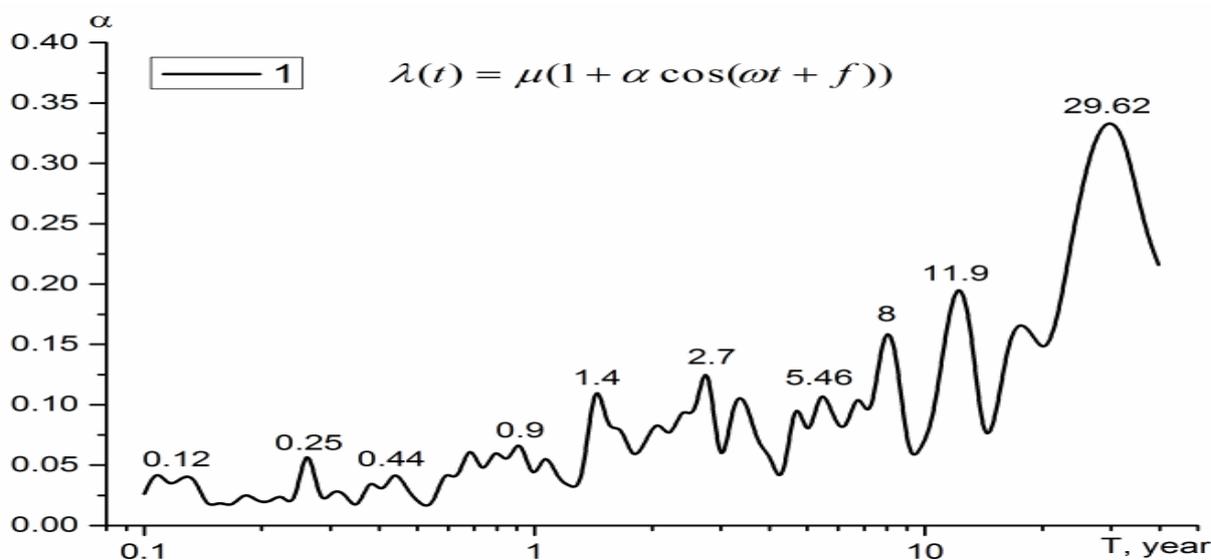


Рисунок 2 – Спектр потока землетрясений (по данным каталога Таджикистана), цифрами обозначены величины периодов спектральных пиков [8].

Аналогично этим периодам были получены периодичности при анализе каталога Нурекского района. Ранее авторы [10] при анализе землетрясений с 1855 по 1980 гг. на

территории Сан-Франциско было выявлено периодичность в пределе 25 лет, который ни наблюдается в районе Нурекского водохранилища. Скорее всего, такой период эквивалентен 29.6 периоду, выявленному по региональным данным. Возможно, они также связаны с тектоническими движениями [10,11].

В группе климатических циклов длительностью около 20 лет можно выделить: а) 25-летние, связанные с повторяемостью смен зональной и меридиональной циркуляций; б) 22-летние с большой амплитудой, но локализованные в ограниченных районах и даже со своими обертонами, которые не охватывают всю территорию; в) 19-летние периоды большой магнитудой - приливного типа. г) 11 летние и 22-летние циклы, связанные с активностью Солнца и вариациями солнечных космических лучей; Существуют утверждения, что на границах действия указанных циклов наблюдаются неправильные колебания длительностью от 20 до 30 лет. Заслуживают внимание также периоды 14 летние циклы с их 7-летним обертоном, проявляющиеся в северной полосе Евразии и в полосе к югу от 50° широты, которые связаны с приливами [12, 13]. Если по данным регионального каталога наблюдаются периоды близкие этим циклам, то для района Нурека они не наблюдаются. Из этого следует, что при наведённой сейсмичности образуются собственные периодичности (см. рис.3.).

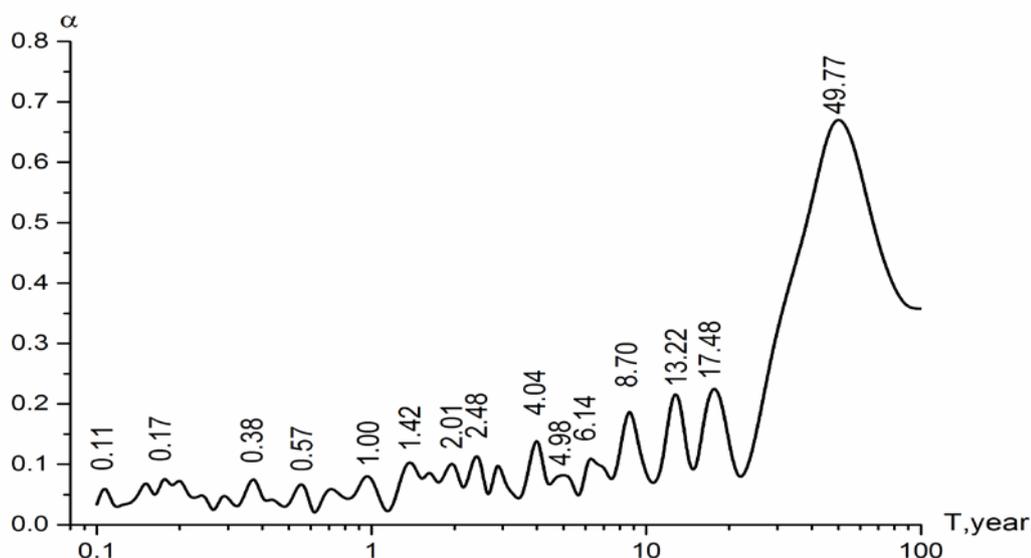


Рисунок 1 – Спектр потока землетрясений (по данным каталога Нурек), цифрами обозначены величины периодов.

В обоих случаях сеймотектоническая ситуация приводит к периодичности процессов в районе индуцированной сейсмичности(Нурек) и всего района. Ранее по глубине залегания асейсмической полосы Памиро-Гиндукуша были выделены некоторые периоды, согласующиеся с периодами из нашего анализа [11]. Изучение цикличности землетрясений, в дальнейшем даёт возможность проследивать динамику тектонических процессов. Различные ритмы обнаруживаются не только для наиболее сильных землетрясений, но и для всей сейсмичности.

Ранее в спектре потока землетрясений в районе водохранилищ Койна-Варна были выделены периоды 0.25, 0.5, 1, 2 и 3.5 год [14]. Периоды 1 и 2 год также наблюдаются для района Нурекского водохранилища (см. рис. 3). Также на этом рисунке четко выделялось период 49 лет. В пользу такого периода можно приводить работу Чинизубова А.В. Ранее этим автором при анализе коровых землетрясений всей Земли были выделена периоды 44-49 лет [15]. Интерпретация пик некоторых периодов остаются проблематичны, которые

требуют дальнейшего анализа.

Заключение. На основании выше показанных рисунков (см. рис 2 и 3) заметно, что амплитуды гармоник(α) для района Нурека 1,5 раза отличаются от амплитуды выявленных периодов по региональным данным, т.е. наведённая сейсмичность влияет на природу земных циклов. Иными словами, в интервале малых периодов инициируются дополнительные возмущения, а также некоторые подавляются наведенной сейсмичностью. Скорее всего, подавление некоторых циклов связано с объемом водохранилища (требующий анализ). Кроме наблюдаемых периодов по региональным данным, в районе водохранилища индуцируются собственные периодичности релаксации сейсмичность вокруг водохранилища. Выше приведенный анализ дают основания для существования собственной периодичности возбужденной сейсмичности в окрестности наведенной сейсмичности.

Литература

1. Гамбурцев А.Г., Кондорская Н.В., Олейник О.В., Французова В.И., Хромецкая Е.А., Юдахин Ф.Н. Ритмы в сейсмичности Земли // Физика Земли. 2004. № 5. С. 95-107.
2. Gamburtsev A.G., Kondorskaya N.V., Oleinik O.V., Khrometskaya E.A., Frantsuzova V.I., Yudakhin F.N. Seismicity rythms of the Earth // Izvestiya. Physics of the Solid Earth. 2004. № 5. Pp. 441–453.
3. Сидорин А.Я. Суточная периодичность сильных землетрясений Гармского полигона // Сейсмические приборы. 2008. Т. 44. № 3. С. 70–76.
4. Кузнецов В.В. Физика земных катастрофических явлений. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние. 1992. 95 с.
5. Трухин В.И. и др. Общая и экологическая геофизика. М.: Физматлит. 2006. 672 с.
6. Любушин А.А. Анализ данных систем геофизического и экологического мониторинга. М.: Наука. 2007. 228 с.
7. Любушин А.А., Писаренко В.Ф., Ружич В.В., Буддо В.Ю. Выделение периодичностей в сейсмическом режиме // Вулканология и сейсмология. 1998. № 1. С. 62–76.
8. Шозиёев Ш.П., Айдаров Ф.А. Анализ цикличности землетрясений Таджикистана. Доклад на Науч. конф. Молодых ученых и аспирантов ИФЗ РАН (Москва, 25-26 апреля 2016 г.).
9. Шозиёев Ш.П., Айдаров Ф.А., Смирнов В.Б. Оценка представительности данных сводного каталога землетрясений Таджикистана // Геофизические исследования. М.: ИФЗ РАН. 2016. Т. 17. № 2. С. 54-65.
10. Ellsworth W.L., Lindh A.G., Prescott W.H., Herd D.G. The 1906 San Francisco earthquake and the seismic cycle. In Earthquake Prediction, an International Review. M. Ewing Ser. 4, eds. D. Simpson and P. Richards. Washington, DC: American Geophysical Union. 1981. Pp. 126-140.
11. Маламуд А.С., Николаевский В.Н. Циклы землетрясений и тектонические волны. Душанбе: Дониш. 1989. 141 с.
12. Ритмичность природных явлений. Тезисы // Л.: Гидрометеоздат. 1971. 92 с.
13. Ривин Ю.Р. Циклы Земли и Солнца. Москва: Наука. 1989. 166 с.
14. Смирнов В.Б. и др. Прогностические аномалии наведенной сейсмичности в области водохранилищ Койна–Варна, Западная Индия // Физика земли. 2013. № 2. С. 94–109.
15. Чинизубов А.В. О характере изменения сейсмичности как основе её прогноза // Геология и геофизика. 1979. № 9. С. 122-129.

ГЕОЛОГИЯ КАЙНОЗОЯ И СЕЙСМИЧНОСТЬ СУУСАМЫРСКОЙ ВПАДИНЫ И ЕЁ ГОРНОГО ОБРАМЛЕНИЯ

CENOZOIC GEOLOGY AND SEISMICITY OF THE SUUSAMYR DEPRESSION AND MOUNTAIN FRAME

Байкулов С.К.

Sultan_baikulov@mail.ru

Институт сейсмологии НАН КР, г. Бишкек, Кыргызстан

Аннотация. В статье изложен материал о стратификации кайнозойских отложений Суусамырской впадины. Рассмотрены оценки сейсмической опасности исследуемой территории в различные временные периоды составления карты сейсмического районирования Кыргызской Республики.

Ключевые слова: кайнозойские, палеоген-неогеновые, четвертичные отложения, палеосейсмодислокации, сейсмичность.

Суусамырская впадина – высокогорная внутригорная депрессия, расположенная в Северном Тянь-Шане Кыргызстана. Она имеет вид почти субширотно-вытянутого треугольного клина, ограниченного Таласским и Кыргызским хребтами - с севера и северо-запада, Суусамырским хребтом - с юга, и Джумгол-Тоо – с востока и юго-востока (рис.1). Наибольшая ширина впадины - до 30 км, приурочена к месту слияния рек Суусамыр, Арамсуу и Западный Каракол, длина её достигает более 150 км. Впадина представляет собой волнистую равнину, заполненную преимущественно крупнообломочными и песчано-глинистыми аллювиально-пролювиальными отложениями неоген-четвертичного возраста. Местами здесь встречаются отдельные останцы с относительной высотой до 500 - 700 м в виде гряд и округлых платообразных поверхностей. Абсолютная высота дна депрессии колеблется от 2000 м – в центральной части, до 3200 м – в предгорьях. Климат на Суусамыре резко континентальный. Средняя температура января -20° - -21° С (иногда зимой она понижается до -40° - -45° С), июля $+13^{\circ}$ - $+14^{\circ}$ С; осадков выпадает 350-370 мм в год. Реки впадины (Суусамыр, Западный Каракол и их притоки) относятся к бассейну р. Нарын. Питание их ледниковое, снеговое, родниковое и дождевое. Главное богатство впадины – её прекрасные альпийские и субальпийские луга и лугостепи, которые до недавнего времени использовались для выпаса многочисленного скота из Таласского и Чуйского районов Кыргызстана и Джамбульской области Казахстана (рис. 2). В центральной части депрессии встречаются подтопленные участки – заболоченные поймы.

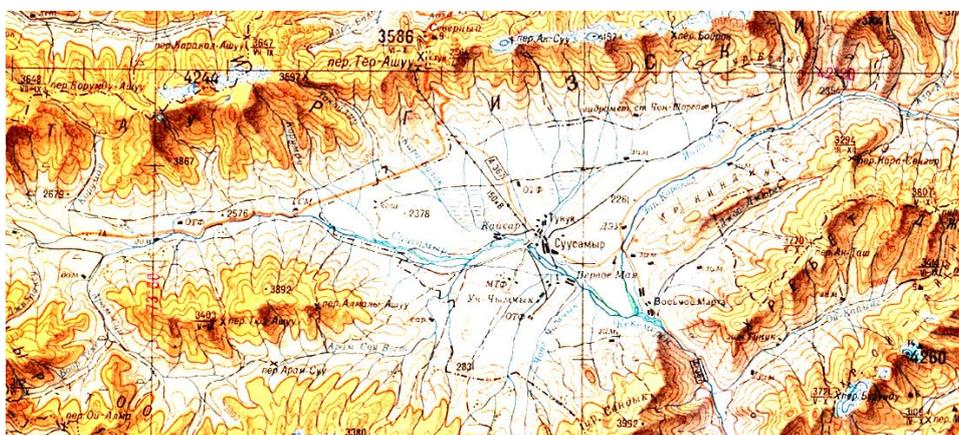


Рисунок 1 – Физическая карта Суусамырской впадины и её горного обрамления (вырезка из карты масштаба 1:500 000).

По Суусамырской впадине проходит одна из основных автодорог страны – Бишкек-Ош. Вдоль неё на склонах хребтов встречаются лавиноопасные участки, с которых на автостраду временами «сходят» многотысячные кубометры снега, которые перекрывают и разрушают полотно дороги, а также зачастую являются причиной автомобильных катастроф со смертельным исходом (рис.3).



Рисунок 2 – Панорама Суусамырской впадины (Сайт «Silk-Road Adventures»).

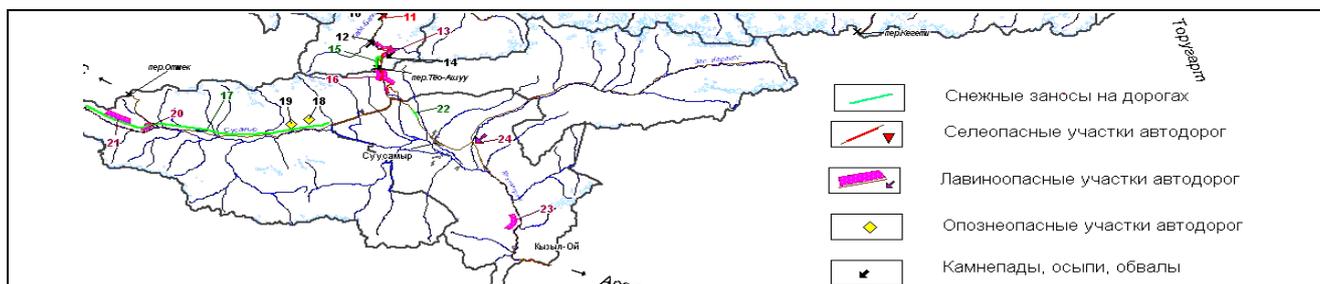


Рисунок 3 – Карта-схема распространения опасных процессов на территории Суусамырской впадины [1].

Суусамырская депрессия квалифицируется как сложная грабен-синклиналь, ограниченная с севера и юга, соответственно, Каракольским и Суекским разломами вертикального заложения [2, 3] (рис.4). Киндыктаской горст-антиклиналью мегасинклиналь делится на две части: Предкиргизский и Предсуусамырский прогибы с глубиной залегания домезозойского консолидированного фундамента ниже нулевого уровня. Прогибы, в свою очередь, содержат ряд морфоструктур III порядка, оконтуренных разломами [4, 5]. Фундамент впадины сложен породами каледонской эры тектогенеза, покров образован континентальными кайнозойскими накоплениями (палеогеновые, неогеновые и четвертичные породы), которые дислоцированы новейшими движениями конформно с подстилающим пенепленом. Наибольшая мощность кайнозойского покрова, достигающая более 1600 м, приурочена к нескольким небольшим прогибам, образующих цепочку северо-восточного направления от устья р. Корумды до среднего течения р. Ирису.

В.С. Буртман и его коллеги [6] палеоген-неогеновую толщу Суусамырской впадины разделили на две свиты: курумдинскую ($P_3 - N_1$) и ириджарскую ($N_2 - Q_1$) с тремя подсвитами. Однако, такие названия стратиграфических подразделений не нашли широкого применения среди геологов. Позднее А.Х. Ибрагимов и А.Т. Турдукулов [7] в разрезе данных отложений выделили так же две свиты: 1- «красноцветную конгломерато-

глинистую» олигоцен-миоценового возраста; 2 - «песчано-галечниковую» плиоцен-раннечетвертичную.

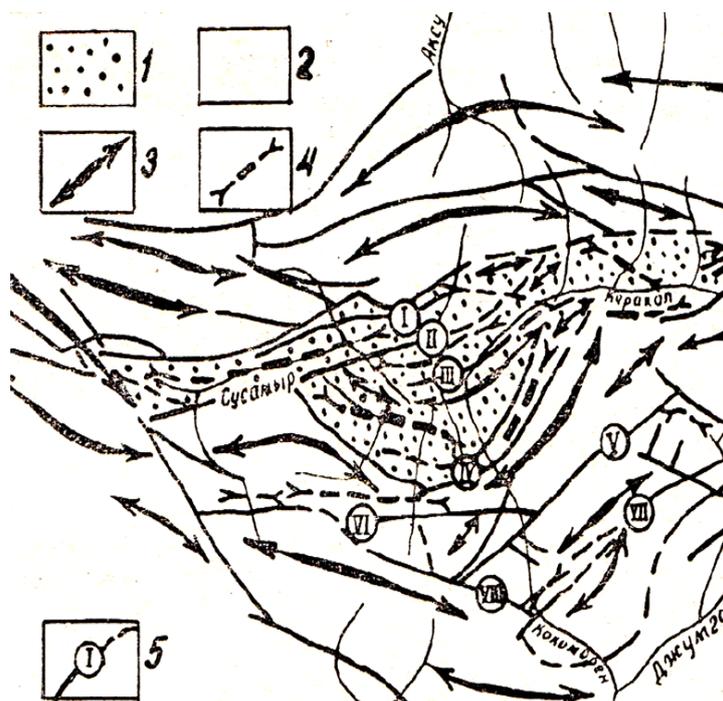


Рисунок 4 – Схема новейших структурных форм Суусамырской впадины [3].

1 - Суусамырская мегасинклиналь, 2 – мегантиклинали горного обрамления, 3 - оси горст-антиклинальных структур, 4 – оси грабен-синклинальных структур, 5 – разломы:

I - Каракольский, II - Айгырджальский, III – Киндыкский, IV - Суекский, V – Ойгаингский, VI – Кичи-Бообекский, VII - Сарысуйский, VIII – Чонсуйский.

О.К.Чедия, А.К.Трофимов, Н.Ф.Удалов [5] кайнозойские накопления впадины стратифицировали на две толщи: нижнюю – «красноцветную» (палеоген-миоценовую), соответствующую киргизской красноцветной свите Чуйской впадины, и верхнюю – «палевою» плиоценового возраста, сопоставляемую с иридjarской свитой. При этом, ими было оговорено, что нижние горизонты нижней тощи, «вероятно, соответствуют коктурпакской свите палеоцен-эоценового возраста».

И. Садыбакасов [8] на территории впадины в разрезе палеоген-неогеновых отложений выделил киргизскую свиту ($P_3 - N_1$), миоценовые породы, соответствующие нижнеиридjarской подсвите, плиоценовые накопления – среднеиридjarской подсвите, и шарпылдакскую свиту ($N_2^3 - Q_1$) – верхнеиридjarской подсвите.

В XXV томе Геологии СССР, посвященном геологическому описанию территории Киргизской ССР [9], разрез кайнозойской толщи впадины отнесен к «кочкорскому типу разрезов» палеоген-неогеновых отложений Северо-Восточной Киргизии, который стратифицирован на коктурпакскую (P_{2-3}), кокомеренскую ($P_3^3 - N_1^1$), суусамырскую ($N_1 - N_2$) и шарпылдакскую ($N_2^3 - Q_1$) свиты. Однако, на изданной Геологической карте Киргизской ССР (масштаб 1:500 000; 1980г.) кайнозой на Суусамырской площади представлен киргизской свитой ($P_3 - N_1$), нерасчлененной миоцен-плиоценовой толщей (N_{1-2}) и шарпылдакской свитой ($N_2^3 - Q_1$). Данная схема разреза кайнозойских накоплений была принята нами при работе на Суусамырской территории [10] (рис. 5, 6).

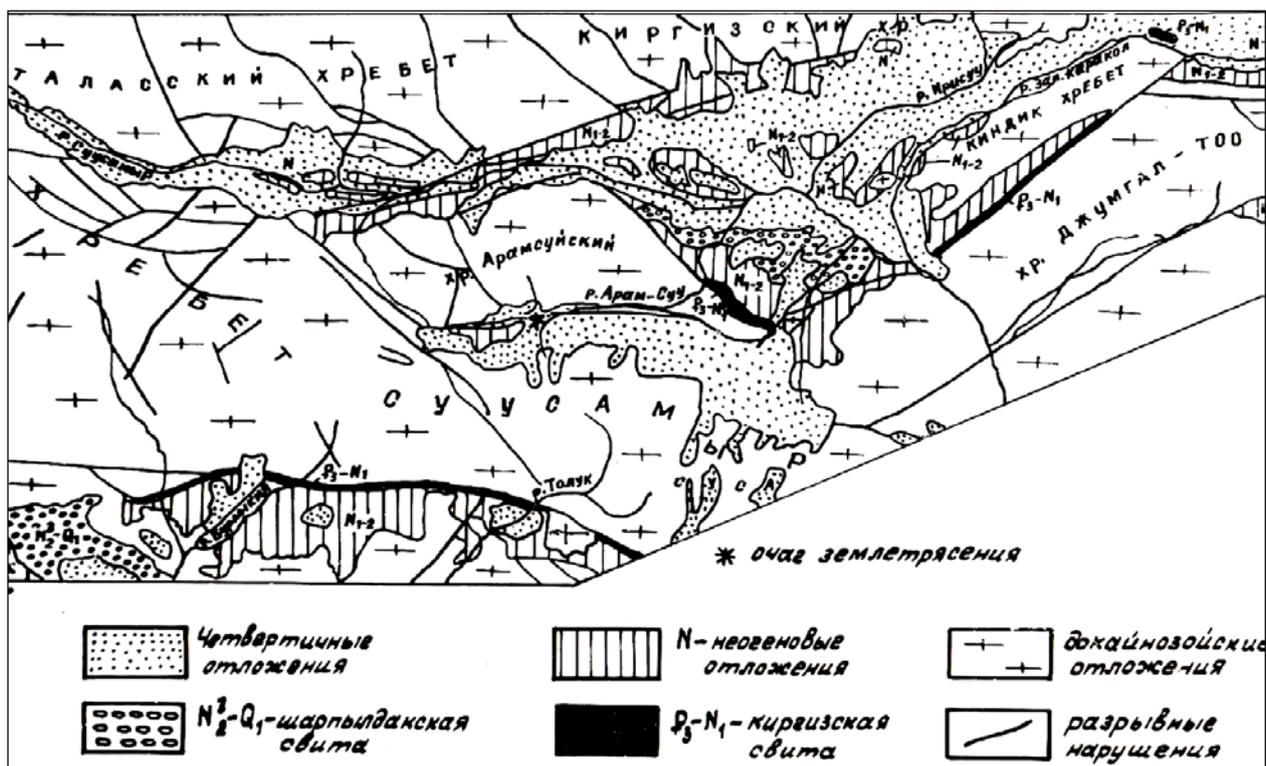


Рисунок 5 – Карта-схема палеоген-неогеновых отложений на территории Суусамырской впадины и прилегающих районов.

Киргизская свита ($P_3 - N_1$ кг) распространена, главным образом, в южной части впадины. Наиболее полный разрез свиты наблюдается в долинах рек Арамсуу (восточный) и Курумды. Общая мощность свиты до 110 м (рис. 6). В её нижней части присутствует горизонт известковистых комковатых конгломератов (25 м), на который согласно налегает толща красных глин. Местами в разрезе свиты встречаются прослои мергелей и огипсованных алевролитов.

Незначительные по мощности выходы свиты прослеживаются на левом борту долины р. Джоуджурек (северный склон хребта Джумгол-Тоо) – крупнозернистые песчаники красного цвета, почти горизонтального залегания. В районе сочленения впадины с хребтом горизонт свиты «упирается» в Джоуджурекский разломом.

Красноцветные породы обнажаются и во врезе автомобильной дороги на правом борту р. Западный Каракол – переслаивающиеся горизонты песчаников (до 3 м), галечников (0,1- 0,15 м) и алевролитов (до 0,15 м) с пятнами, окрашенными в зеленовато-бурый цвет. Породы залегают под углом 35-40° и падают на юго-восток. На южных склонах хребта Суусамыр-Тоо (Кетмень-Тюбинская впадина) красноцветные отложения (до 300 м) встречаются в долинах рек Тусту-Суу, Бурлыкя и Бельалды при выходах их из палеозойских каньонов (вдоль разлома) [11]. Сложены они переслаивающимися гравелитами, песчаниками и брекчиями.

Нерасчлененные миоцен-плиоценовые отложения (N_{1-2}) имеют более широкое распространение и тяготеют также к южной окраине впадины (рис.5). Это озерно-континентальные образования, состоящие из переслаивающихся конгломератов, гравелитов, песчаников, глин и мергелей; мощность от 700 м до 1000 м. Залегают они согласно на породах киргизской свиты, местами (хребет Киндык, долина р. Чаиш) ложатся непосредственно на палеозойские массивы.

В разрезе данного стратиграфического подразделения выделяются 3 толщи, различающиеся литологическим составом и окраской пород.

Нижняя толща (225-300 м) – серые переслаивающиеся конгломераты и гравелиты, очень крепкие; ближе к кровле разреза присутствуют прослои (от 0,3 до 1,2 м) полимиктовых

песчаников и запесоченных мергелей с остатками палеоостракод. К востоку от долины р. Арамсуу отложения толщи замещаются карбонатными образованиями, а в западной части впадины – срезаются разломом. При геологической съёмке масштаба 1:200 000 [12] в районе нижнего течения р. Суусамыр отложения данной толщи были включены в состав киргизской свиты, что привело к завышению мощности последней.

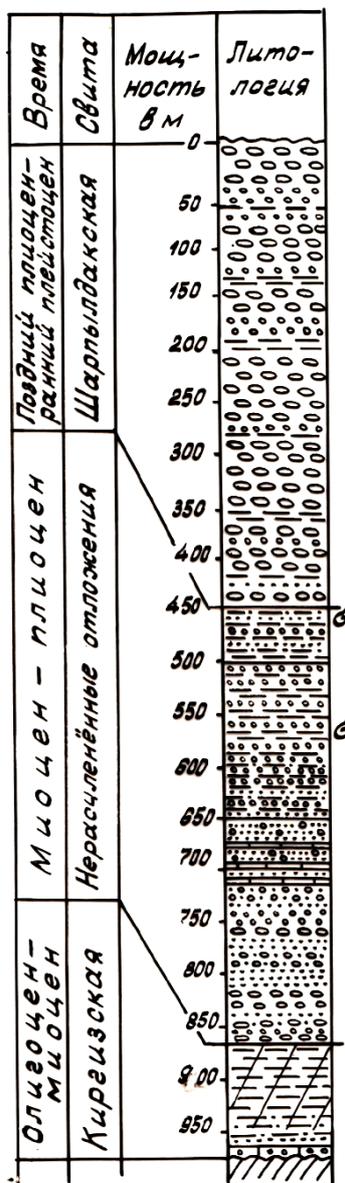


Рисунок 6 – Сводный разрез палеоген-неогеновых отложений Суусамырской впадины.

Средняя толща (200 - 400 м) – глины голубовато- и зеленовато-серые, загипсованные, с редкими прослоями песчаников и гравелитов. Присутствуют остатки палеорыб, многочисленных раковин пелеципод и гастропод (*Lymnaea sp.*, *Lymnaea gyranus sp.*, *Hydrobia sp.*, *Limnocythere aff. mirabilis kaufman*, *Limnocythere aff. placenica Suzen*) и остракод (*Candona sp.*) миоцен-плиоценового возраста [12]. На левобережье р. Суусамыр отложения толщи зажаты в блоке между двумя разломами северо-восточного простирания и имеют контур довольно длинной и широкой полосы.

Верхняя толща (150-200 м). Её отложения широко развиты в центральной части впадины – переслаивающиеся глины, суглинки, песчаники, гравелиты и конгломераты буровато-коричневого цвета, содержат раковины пелеципод и гастропод позднеплиоценового возраста. В долине р. Каракол в глинистых пропластках обнаружены

отпечатки палеорастений – *Ulmus longifolia* Ung. *Populus latior* A.Br., представителей плиоценовой флоры [12].

А.В.Леонов и его коллеги [2] нерасчлененные миоцен-плиоценовые отложения Суусамырской впадины описали как «свита озерных отложений» плиоцен-четвертичного возраста, которая формировалась в условиях замкнутого внутриконтинентального бассейна (озера). Опираясь на находки фауны и данные о существовании на территории Северного Тянь-Шаня в средне-позднемиоценовое время многочисленных озерных бассейнов [13], мы отнесли породы нижней и средней «толщ» к миоценовым образованиям.

В Кетмень-Тюбинской впадине, из нерасчлененной миоцен-плиоценовой толщи (кетменьтюбинская свита) выделен и изучен палинологический материал, состав которого подтвердил возраст данных накоплений [14]. В верхних горизонтах толщи В.А.Грищенко обнаружил остатки раковин *Limnaea robusta* Mart., *Planorbis youngi* Chi., *Radix ex auricularia* (L.), *Calba cf robusta* Mart., *Anodonta torrentis* Heyde, которые позволяют отнести вмещающие их породы к средне-позднеплиоценовым накоплениям [12].

Шарпылдакская свита ($N_2^3 - Q_1$ sch) венчает дислоцированные накопления третичного разреза и распространена, главным образом, в центральной части впадины, где представлена валунно-галечным материалом с суглинистым заполнителем; мощность до 200 м. Отложения свиты встречаются также в виде небольших площадок в урочище Айгырджал и в бассейне р. Арамсуу. И. Садыбакасов [8] определяет мощность шарпылдакской свиты в 600-650 м, отнеся к ней и верхнеириджарские породы.

В кайнозойской истории геологического развития Суусамырской впадины и её горного обрамления выделяются 4 этапа: палеоцен-эоценовый, олигоцен-миоценовый, плиоценовый и позднеплиоцен-четвертичный [13]. Данные интервалы времени разнятся интенсивностью тектонических движений, ландшафтно-климатическими условиями и фациально-литологическими особенностями формирования осадков. На фоне начавшихся дифференциальных движений в конце эоцена - начале олигоцена на исследуемой территории зарождается широтно-вытянутая депрессия, где отчетливо выражалась равнинно-руслевая зона [15]. В последующие этапы произошли существенные изменения физико-географической и ландшафтной обстановок, связанные с усилением и развитием тектонических движений. Дифференциальные движения обусловили большую контрастность поднятий и опусканий земной коры. В наиболее погруженной, центральной части, Суусамырской впадины в миоценовое – раннеплиоценовое время располагался водный бассейн, простирающийся от долины р. Утмёк - на западе, до хребта Киндик - на востоке. В нём формируются озерные накопления, перемежающиеся с дельтовыми наносами. [7, 15].

В четвертичное время знаки движений блоков на Суусамырской территории сменились на противоположные: опускавшаяся центральная площадь (например, Айгарджальская) начала подниматься, что обусловило ликвидацию озера и размыв шарпылдакских накоплений. Структуры, расположенные в северной и южной зоне впадины, стали опускаться и заполняться плейстоцен-голоценовыми отложениями [3, 5, 10].

Во время полевых исследований на территории Суусамырской впадины и прилегающих районов, сотрудниками Института сейсмологии НАН КР были выявлены и изучены многочисленные палеосейсмодислокации, указывающие на то, что данная территория в прошлом испытывала значительные сейсмодеструктивные проявления [10, 16, 17] (рис.7). Так, датировки образцов из сейсмоуступа в долине р.Токойлу (западный борт длины) позволили сделать вывод, что образование данной деформации происходило во временном интервале приблизительно 2600-1600 лет назад [18, 19].

Палеосейсмодислокации на территории Суусамырской впадины и её горного обрамления относятся к различным генетическим типам: обвалы, оползни, сейсморвы, сдвиговые смещения русел рек, промоины, уступы, пересекающие конуса выносов (рис. 7). Остаточные деформации большим числом приурочены к допалеозойским и неогеновым породам и выражены рвами и сейсмоуступами протяженностью до 2 км, обвалами со стенками отрыва в 600-800 м, завалами длиной до 2500 м (например, верховье р. Мустор). В

западной части впадины дислокации тяготеют к определенным участкам, как Чон-Курумды – Балыктысуйский, Утмекский, Байбичесу-Мусторский, Боортекесуйский и, по мнению исследователей, сейсмогенные нарушения на них могли образоваться при землетрясениях $M = 6-7$ ($I_0 =$ до 9 баллов) [10, 18, 19].

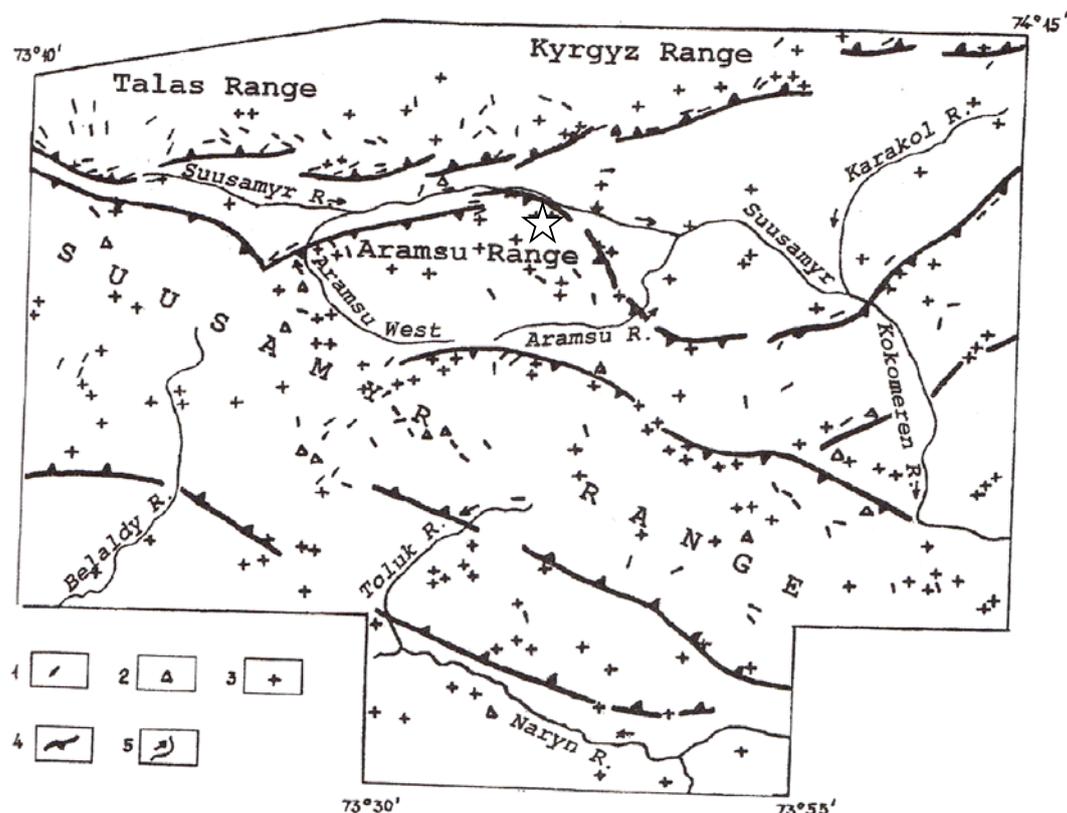


Рисунок 7 – Карта палеосейсмодислокаций Суусамырской впадины и её горного обрамления [18].

1 – сейсморвы, 2 – структуры типа «битой тарелки», 3 – обвалы и оползни, 4 – зоны неотектонических краевых разломов, 5 – главные реки; ☆ - эпицентр Суусамырского землетрясения.

Данные о палеосейсмической обстановке на территории Суусамырской впадины и её горного обрамления позволяют сделать вывод, что в историческую эпоху здесь продолжались те же процессы - поднятия окружающих горных сооружений и опускание во впадине, которые характеризовали тектоническое развитие данного региона в более ранние орогенические этапы.

На Карте сейсмического районирования Киргизии (масштаб 1: 2500000), изданной в 1979 году [20], Суусамырская территория входит в состав двух сейсмоактивных участков (Южно-Иссык-Кульская зона) с исходной балльностью 7 и 8. Однако, выявленные многочисленные данные об исторических и древних землетрясениях, произошедших в Суусамырском регионе позволили исследователям по новому судить о сейсмической опасности впадины [17, 18, 19], что подтвердилось произошедшим 19 августа 1992 г. сильным землетрясением с $K = 16-17$, $M = 7,3$, $I_0 = 9 - 10$ (рис.7). Эпицентр этого сейсмособытия приурочен к узлу пересечения Восточно-Арамсуйского разлома северо-западного простирания и предполагаемого под рыхлыми отложениями разлома (линеамента) субширотного простирания [21]. Суусамырское землетрясение 1992 г. характеризуется очень сильной афтершоковой активностью: за месяц их произошло более 470, из которых 138 относятся к 10 классу, 15 имели интенсивность в 4-6 баллов (данные из Каталога землетрясений Института сейсмологии НАН КР за 1992 г.). Область максимальных сотрясений достигла в ширину около 23 км и протяженность около 50 км [22]. В результате

этой катастрофы погибли люди, разрушены строения (ДЭУ-9, штаб животноводов), во многих сёлах дома из кирпича-самана и сырца пришли в негодность. На автотрассу Бишкек-Ош, начиная со 162 км, со склонов поднятия Чет-Курумды сошло несколько крупных оползней; во многих местах шоссе покрылось многочисленными крупными трещинами. В предгорной части образовался грабенообразный провал шириной до 30 м и протяженностью до 200 м. В горах случились массовые камнепады, обвалы, оползни, взрывообразные выбросы пород, фонтанирование воды, окрашенной в белый цвет (за счёт мельчайших перетёртых горных масс). Эхо от Суусамырского землетрясения охватило огромную территорию, включающую всю площадь Кыргызстана и прилегающие районы Узбекистана, Таджикистана и Казахстана (толчки чувствовались даже в таких городах, как Караганда и Павлодар) [21].

При составлении в 1995 г. новой Карты сейсмического районирования Кыргызской Республики (масштаб 1:1000 000) были учтены все исторические и современные катастрофические палео-сейсмопроявления, что позволило авторам выделить Суусамырскую площадь в 9-ти балльную зону с $M \leq 7,5$ [23]. На очередной Карте сейсмического районирования страны, изданной в 2012 г., где показаны более уточненные и вновь выделенные сейсмогенерирующие зоны, Суусамырская площадь (подзона 5а) включена в состав Джумгало-Терскейской зоны, на территории которой максимально возможная магнитуда ожидаемых землетрясений «не менее 7,5» [24].

Литература

1. Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики. Бишкек: МЧС КР. 2015. 711 с.
2. Леонов А.В., Литанишвили Л.Г., Недовизин А.А. Геологическое строение и полезные ископаемые листа К-43-65. Фрунзе: Фонды УГ КР. 1957 (отчет).
3. Чедия О.К. Морфоструктуры и новейший тектогенез Тянь-Шаня. Фрунзе. Илим. 1986. 314 с.
4. Лемзин И.Н., Чаримов Т.А. Новейшие складки покрова и разломы (на примере Тянь-Шаньского орогена) // Наука и новые технологии. Бишкек. 2010. № 2. С. 60-65.
5. Чедия О.К., Трофимов А.К., Удалов Н.Ф. Новейшая тектоника Суусамырской впадины и её обрамления // Материалы по новейшему этапу геологического развития Тянь-Шаня. Фрунзе: Илим. 1971. С. 83-94.
6. Буртман В.С., Каткова Н.С., Кордун Б.М. и др. Геологическая карта СССР, масштаб 1: 200 000. Лист К-43-ХIV. Объяснительная записка. М.: Госгеолтехиздат 1961.
7. Ибрагимов А.Х., Турдукулов А.Т. О третичных отложениях Суусамырской впадины // Материалы по литологии, геохимии и оруденению осадочных толщ Тянь-Шаня. Фрунзе: АН Кирг. ССР. 1963. С. 65-70.
8. Садыбакасов И. Неотектоника центральной части Тянь-Шаня. Фрунзе: Илим. 1972. 117 с.
9. Геология СССР. Киргизская ССР. Т. XXУ, кн. 1. М.: Недра. 1972. 280 с.
10. Абдрахматов К.Е., Чедия О.К., Лемзин И.Н., Фортуна А.Б. и др. Разработка количественных методов оценки сейсмической опасности территории Республики Кыргызстан на основе комплексного анализа геологических, геофизических и сейсмологических данных. Бишкек: фонды ИС НАН КР. 1992 (отчет).
11. Фортуна А.Б., Бобровский А.М., Корженков А.М. и др. Характер и особенности строения мезозойско-кайнозойских отложений на территории, прилегающей к центральной части Таласо-Ферганского разлома, Тянь-Шань // Наука и новые технологии. Бишкек. 2007. № 1-2. С. 112-116.
12. Помазков К.Д., Буров В.Г. Геологическая карта СССР, масштаб 1: 200 000. Лист К-43-ХУ. Объяснительная записка. М.: Госгеолтехиздат. 1960.
13. Григина О.М., Фортуна А.Б. Палеогеография Северного Тянь-Шаня в кайнозое. Фрунзе: Илим. 1981. 194 с.

14. Фортуна А.Б. Палинологическая характеристика неогеновых отложений в долине р. Камбарата (Кетмень-Тюбинская впадина) // Новые данные в биостратиграфии докембрия и палеозоя Кыргызстана. Бишкек: Илим. 1993. С. 150-153.
15. Турдукулов А.Т. Геология палеогена и неогена Северной Киргизии. Фрунзе: Илим. 1987. 263 с.
16. Омуралиев М., Чаримов Т. Сейсмодислокации и сейсмоопасность западной части Северной Киргизии // Известия АН Кирг. ССР. 1990. № 4. С. 83-88.
17. Чаримов Т.А. Каталог сейсмодислокаций Кыргызстана // Геолого-геофизические исследования Института сейсмологии НАН КР. Бишкек: АСКО. 2006. С. 137-171.
18. Корженков А.М. Сейсмология Тянь-Шаня (в пределах территории Кыргызстана и прилегающих районов). Бишкек: Илим. 2006. 289 с.
19. Корженков А.М., Бауман Д., Мамыров Э. и др. Об отклонениях дренажной сети, обусловленной современной тектоникой в Суусамырской впадине, Северный Тянь-Шань // Русское Географическое общество. 2003. Т. 135. Вып. 2. С. 49-61.
20. Карта сейсмического районирования Киргизии (масштаб 1:2 500 000). Фрунзе: Илим. 1979. 23 с.
21. Юдахин Ф.Н., Джанузаков К.Д., Ильясов Б. и др. Суусамырское землетрясение 19 августа 1992 г. Бишкек: Фонды ИС НАН КР. 1992 (отчет).
22. Mellors R.J., Vernon F.L., Pavlis G.L. et al. The Ms = 7,3 1992 Suusamyр, Kyrgyzstan earthquake: 1. Constraints on fault geometry and source parameters based on aftershocks and body wave modeling // Bull. Seism. Soc. Am. 1997. V. 87. Pp. 11-22.
23. Карта сейсмического районирования Кыргызской Республики (масштаб 1:1000 000). Бишкек: Илим. 1996. 25 с.
24. Карта сейсмического районирования территории Кыргызской Республики (масштаб 1: 100000). Бишкек: ИС НАН КР. 2012. 51 с.

УДК 553.98:551.73(575.1)

О ПОТЕНЦИАЛЕ ПРОДУКТИВНОСТИ И ДАЛЬНЕЙШЕМ НАПРАВЛЕНИИ ИЗУЧЕНИЯ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ПАЛЕОЗОЙСКОГО КОМПЛЕКСА УЗБЕКИСТАНА

ABOUT POTENTIAL PRODUCTIVITY AND FUTURE DIRECTION OF THE STUDY OF PETROLEUM PALEOZOIC COMPLEXES UZBEKISTAN

Батирова Н.У.

Nargiza311@mail.ru

Ташкентский Государственный Технический Университет, г.Ташкент, Узбекистан

*Научная статья посвящается
профессору геолого-минералогических наук
Асрору Аббасовичу Абидову*

***Аннотация.** Рассмотрена история изучения палеозойских образований с позиций их нефтегазоносности в регионах Узбекистана. При этом намечается тенденция внедрения в решение этой проблемы с позиций геодинамики, в том числе теории тектоники плит, что позволило по-новому оценить потенциал продуктивности этих образований и определить практическую направленность проводимых исследований.*

Ключевые слова: история изучения, нефтегазоносность, палеозойский комплекс, поиск, ресурсы углеводородов, новые скопления, стратиграфия, формирование залежей, геодинамика, обогащенные органикой месторождения.

В последние годы в связи с истощением ресурсов углеводородов в традиционных нефтегазоносных комплексах регионов Узбекистана все больше становится актуальным поиск новых скоплений нефти и газа в палеозойских отложениях. Поэтому обобщение накопленного опыта по изучению этих образований для определения дальнейших направлений исследования палеозойского комплекса Узбекистана является злободневной проблемой.

История изучения нефтегазоносности палеозойского комплекса Узбекистана и сопредельных территорий соседних республик начинается с 1931 г., когда на Зерафшанском хребте Г.С. Чикрызовым было обнаружено наличие жидкой нефти в песчано-сланцевой толще верхнего силура. С тех пор данная проблема в разные годы по разным регионам Узбекистана была рассмотрена в опубликованных и фондовых трудах различных исследователей. В 1934 г. академик И.М. Губкин писал, что в Средней Азии нефть имеется не только в мезозое и в кайнозое, но и в палеозое, и этот факт нужно учесть для более широкого подхода к поискам нефти в Средней Азии. А.Г. Бабаев и другие многочисленные исследователи сделали вывод о самостоятельности палеозойского цикла нефтегазообразования. Основной вывод А.Г. Бабаева заключается в том, что «региональное проявление признаков нефтеносности в палеозойских отложениях Средней Азии позволяет предполагать, что в палеозое нефтегазообразование происходило в крупных масштабах и притом, видимо, продолжалось длительное время...».

Начиная с 1972 года, попытку количественной оценки перспектив нефтегазоносности палеозойских отложений Узбекистана неоднократно предпринимались А.Х. Нугмановым, Х.Х. Авазходжаевым, А.Г. Бабаевым, А.В. Киршиным, С.Р. Рамазановым и др. на основе разных методов: геологической аналогии, объемно-генетическим и объемно-статистическим. Результаты оценок изменяются в широком диапазоне: от нескольких десятков до нескольких тысяч миллионов тонн УВ. Тем не менее, положительное значение таких работ нельзя игнорировать, ибо они доказывают необходимость дальнейшего изучения перспектив нефтегазоносности палеозойской части геологического разреза.

Анализируя проблему палеозойской нефти, следует обратить внимание и на вопросы её генезиса. Следует подчеркнуть, что существующие представления исследователей по данному вопросу можно разделить на три группы: органическую, неорганическую и микстгенетическую [3]. Наряду с этими представлениями также в литературе имеются взгляды, согласно которым скопления образуются путем смешивания УВ различного генезиса (органического, неорганического и микстгенетического), т.е. здесь речь идет о полигенезе УВ при формировании их местоскоплений.

В классической геологии нефти и газа придерживаются, в основном, вариантам органического и неорганического происхождения УВ. Но, наряду с этими двумя вариантами генезиса нефти и газа, имеются еще и другие варианты. Из них наиболее достоверным и близким к истине является вариант, связывающий генезис нефти и газа с концепцией тектоники плит, в том числе микстгенетическую [3]. Ученые, придерживающиеся этой концепции, процесс превращения органического вещества в нефть и газ связывают не только с традиционными осадочными бассейнами депрессионного типа, но и со структурами рифтогенного и субдукционного типа (В.Е. Хаин, 1998; О.Г. Сорохтин, 1984; В.П. Гаврилов, 1993-1998 и др.). При этом, согласно микстгенетической концепции, углеводороды из рассеянного органического вещества генерируются под воздействием глубинного теплопереноса, происходящего по определенным каналам – проницаемым субвертикальным зонам земной коры. Тем самым были выявлены новые источники нефти и газа для формирования их залежей не только в мезозойско-кайнозойских отложениях, но и в

палеозойском комплексе пород, т.е. в осадочных, осадочно-метаморфических и даже в изверженных породах.

Большой объем планомерных исследований по изучению палеозойских отложений Узбекистана выполнен коллективом геологов КГПЭ объединения «Ташкентгеология» под руководством и при непосредственном участии Х.У. Узакова. Начиная с 1960 г., ими собран и систематизирован керн из нескольких тысяч скважин, в том числе из сверхглубокой Мурунтауской скважины № 10. На основе этих исследований составлена серия региональных геологических и структурных карт, отражающих литолого-петрографический состав и особенности строения палеозойских пород закрытых территорий Узбекистана. В 1979 г. А.М. Акрамходжаев с соавторами опубликовали монографию, где были обобщены многолетние исследования, основанные на анализах имеющегося кернового материала по доюрским отложениям Восточного Устюрта с выделением петрогенетических их типов, различных фациально-палеогеографических и геохимических условий формирования осадков, и впервые для Устюрта (Каракалпакская часть) была разработана рабочая схема стратиграфии, произведена качественная оценка нефтегазопроизводящего потенциала доюрских отложений. На базе этих исследований были даны практические рекомендации по дальнейшему направлению геологоразведочных и научно-исследовательских работ по освоению палеозойского комплекса. Результатом этого стали работы Т.Л. Бабаджанова Ф.Х., Зуннунова Б.Б. и Таль-Вирского [5, 6, 11].

По Б.Б. Таль-Вирскому палеозойским образованиям Северного Устюрта соответствуют два преломляющих горизонта: верхний, отражает поверхность терригенно-карбонатные формации позднего палеозоя, а нижний, видимо, приурочен к протерозойско-раннепалеозойским глубокометаморфизованным формациям. Терригенно-карбонатные формации распространены почти на всей территории Северного Устюрта и слагают верхний ярус фундамента, сложенный отложениями, близкими к платформенным. Литологически это керитовый комплекс, глинистые карбонаты глубоких частей бассейна, шельфовые карбонаты, *органогенные постройки вплоть до барьерных рифов* (курсив авторов). В отличие от верхнего яруса нижний ярус палеозоя Северного Устюрта является гетерогенным и разбит серией наложенных диагональных структур типа узких грабен. Таким образом, этим исследователем в разрезе палеозоя Устюрта впервые были выделены отложения, близкие к платформенным ПСЭ.

В Ферганской впадине Б.Б. Таль-Вирский весь комплекс палеозойских пород относит к фундаменту и не выделяет между фундаментом и чехлом промежуточного комплекса. В отличие от этого в работе Шейх-заде Э.Р. и Атабаева Р.Х. отмечено, что на большей части Ферганской впадины в разрезе палеозоя, наряду с формациями фундамента, развиты и отложения промежуточного структурного этажа.

Однако, ПСЭ был выделен еще в 1986 г. в работе Т.Л. Бабаджанова, где палеозойские отложения Узбекистана и соседние территории Центральной части Средней Азии рассмотрены не только с точки зрения их глубинного строения и тектоники, но и с точки зрения перспектив нефтегазоносности. По представленным геолого-геофизическим материалам этим исследователем составлены карты рельефа поверхностей Мохоровичича, фундамента и ПСЭ. Последний как перспективный на нефть и газ литолого-стратиграфический комплекс им охарактеризован как связанный с интенсивной большой детальностью, т.е. установлены зоны его развития, мощности, стратиграфический диапазон, характер дислоцированности и т.д. В пределах Узбекистана отложения палеозойского ПСЭ выделены на территории Устюрта, Западного Узбекистана, Арала, Приаралья и Ферганской впадины. Достоверно установлено отсутствие ПСЭ в Центральных Кызылкумах (включая Султануиздаг) и в восточной части Центрально - Устюртского поднятия. Произведено также районирование территории развития ПСЭ по степени нефтегазоносности и даны конкретные рекомендации по направлению геолого-геофизических работ. Так, на Северном Устюрте в разрезе палеозойского ПСЭ наибольший интерес с точки зрения нефтегазоносности представляют два формационных комплекса позднего палеозоя: карбонатный (нижний и

средний карбон) и терригенно-туфогенный (верхний карбон – пермь). Первый может играть роль регионального резервуара, а второй – покрышки. В перво из них на площади Каракудук уже получены нефтепроявления, а на площадях Центр. Кушкаир, Акчалак и Карачалак – промышленные притоки газа (от 50 до 500 тыс.м³/сут). И в дальнейшем в карбонатном комплексе ПСЭ могут быть выявлены новые залежи нефти и газа. Поэтому используя комплекс геофизических методов нужно готовить новые объекты для поискового бурения. При этом наибольшее внимание Т.Л. Бабаджанов обращает на холмовидные поднятия, широко развитые в доюрском комплексе. Их он отождествляет с эрозионными останцами в доюрском рельефе, а говорить об их связи с рифовыми постройками считает преждевременным, хотя органогенные и органогенно-обломочные известняки преобладают в разрезе карбонатного комплекса Северного Устюрта. Для решения этого вопроса он рекомендует применение комплекса геофизических методов.

В Бухаро-Хивинском регионе отложения ПСЭ Т.Л. Бабаджанов рассматривает как важный резерв нефтегазопромысловых работ. Возможности выделения в них ловушек с хорошими коллекторскими свойствами представляются вполне благоприятными, что подтверждается вскрытием скважиной №3 Сев. Сюзьма высококавернозных известняков. Поэтому рекомендована программа проведения региональных сейсморазведочных работ ОГТ и частично КМПВ в сочетании с глубоким бурением. Т.Л. Бабаджановым рассмотрен также вопрос о влиянии гранитоидов на нефтегазонасность палеозойских отложений. Признавая их преимущественно негативную роль для формирования месторождений нефти и газа, тем не менее, он не исключает возможность формирования в них вторичных месторождений типа Оймаша в Южном Мангышлаке и Белый Тигр во Вьетнаме.

В 1981-1993 гг. структурно-литологические особенности домезозойских отложений закрытых территорий Западного Узбекистана изучались В.Н.Башаевым. На основе комплексной интерпретации сейсмических, гравиметрических, магнитометрических материалов и данных бурения, в разрезе палеозоя им выделена толща ПСЭ мощностью до 7-8 км, охватывающая стратиграфический диапазон от рифей-венда до пермо-триаса включительно. В разрезе ПСЭ В.Н.Башаев прогнозирует наличие карбонатной толщи нижнекарбонного возраста. Первоочередным участком для детального ее изучения сейсморазведкой МОВ-ОГТ и подготовки нефтегазоперспективных участков под параметрическое и поисковое бурение, он считает переходную зону между Бухарской и Чарджоуской ступенями.

Другая целенаправленная работа практического характера была выполнена в 1987 году в институте СредАзНИПИнефть. Коллективом авторов под руководством А.А. Абидова составлена «Программа проведения геолого-поисковых работ на палеозой в южной прибортовой зоне Ферганской межгорной впадины» [2]. Программой предусматривалось изучение нефтегазонасности палеозойских образований серией параметрических скважин по трем структурно-формационным комплексам:

- 1) средне-верхнекаменноугольные отложения (площади Сев. Риштан и Ханкыз);
- 2) пермские отложения (пл. Ходжаабат);
- 3) эрозионные выступы и возможные рифогенные ловушки средне-верхне- палеозойских отложений (пл. Шоркакыр, Вост. Аввал, Юж. Аламышик и Гурунч-мазар).

Бурение целенаправленных параметрических скважин на палеозойские образования, начавшееся согласно вышеизложенной программы, привело к открытию залежей нефти в палеозойских отложениях Южно-Аламышикского месторождения. В 1993 г. при испытании палеозойских отложений параметрической скважине №1 в интервале 1670-1644 м получен приток нефти дебитом 1,5 т/сут. В дальнейшем, в скважине № 781 при опробовании интервала 1654-1630 м получен приток газа дебитом до 140,0 тыс.куб м/сут., а в скв. № 782 – в интервале 1559-1533 м приток нефти дебитом до 30,0 т/сут.

Обращает на себя внимание то, что все эти рекомендованные А.А. Абидовым площади расположены в зоне Южно-Ферганского глубинного разлома.

Начиная с 1994 г. под руководством А.А.Абидова коллективом исследователей (Ф.Г.Долгополов, А.Е.Абетов и др.) было произведено обобщение всего накопленного геолого-геофизического материала по палеозойским образованиям Центральной Азии с позиций геодинамики, в том числе теории тектоники плит, что позволило картировать в основании осадочного чехла ряд палеорифтовых систем, одна из которых прослеживается в пределах Чарджоуской ступени и она в последующие годы стала объектом целенаправленного поиска скоплений углеводородов в палеозойском комплексе [4].

С позиций тектоники плит и с учетом положительной роли глубинных разломов проблема нефтегазоносности палеозойского комплекса Узбекистана была рассмотрена Б.Б. Ситдиковым [8-11].

В 2009 году коллективом исследователей опубликована монография по нефтегазовым перспективам доюрского комплекса пород Западного Узбекистана [1], где для проведения параметрического бурения с целью целенаправленного изучения доюрских образований выделены площади Сев. Мубарек, Караулбазар, Ташлы, Сев. Сюзьма и Южный Кульбешкак, на которых были получены положительные результаты при опробовании доюрских образований.

В 1995 году по инициативе Т.И. Убайходжаева и под руководством А.А. Абидова, в ИГиРНИГМе была завершена крупная тематическая работа по анализу и обобщению результатов ранее выполненных по этой проблеме исследований и обоснованию дальнейшего направления геологоразведочных и научно-исследовательских работ. В ней предложено рассматривать палеозойский комплекс Узбекистана (и особенно отложения промежуточного структурного этажа) в качестве самостоятельного высокоперспективного объекта на нефть и газ и приступить к систематическому его изучению. В этих целях, обобщая высказывания и рекомендации других исследователей, предложено составить комплексную программу дальнейших геологоразведочных и научно-исследовательских работ на нефть и газ и предварительно можно наметить, что в ней можно предусмотреть:

1. Для геофизических работ:

В пределах плато Устюрт:

- продолжение поисково-рекогносцировочных исследований методом ОГТ в районах Куаныш-Коскалинского вала, Барсакельмесского прогиба и других территорий Устюрта с целью выделения зон возможного размещения ловушек нефти и газа, прослеживания зон распространения палеозойских известняков и вероятной оценки нефтегазоносности ПСЭ;
- возобновление поисково-детальных работ ОГТ в пределах Восточно-Ассакеауданского и Кульбейского структурных носов.

В Западном Узбекистане:

- продолжение поисково-рекогносцировочных исследований и начаты поисково-детальные сейсморазведочные работ МОГТ по изучению доюрских комплексов на Бухарской ступени в Рометанском, Тузкойском прогибах и в районах Янгиказганского поднятия, а также в западной и центральной частях Чарджоуской ступени, Бешкентском прогибе и других районах.

В Ферганской впадине:

- усиление поисково-рекогносцировочных и поисково-детальных сейсморазведочных работ с целью выявления возможных ловушек нефти и газа и подготовки их к бурению. В первую очередь эти работы нужно проводить в южной и восточной прибортовых зонах Ферганы, где перспективные отложения ПСЭ залегают, во-первых, на доступных для современного бурения площадях и, во-вторых, вблизи Южно-Ферганского глубинного разлома.

В Приташкентском районе:

- усиление поисково-детальных сейсморазведочных работ и в первую очередь проведение их на участках Пахтинского, Западно-Янгиюльского, Пскентского и Ишанкурганского поднятий.

2. Для параметрического бурения:

На плато Устюрт – площади Сев. Аралык и Южный Арал.

В Западном Узбекистане – площади месторождений Газли и Кандым, Чандыр.

В Самаркандской впадине – Каттакурганский участок.

В Приташкентском районе – участок Пахтинского поднятия.

В Ферганской впадине -- участки месторождения Гузанского поднятия, Грунч-Мазар.

В заключение можно сделать следующие выводы:

1. Интерес специалистов к нефтегазоносности палеозойских отложений Узбекистана и возможности открытия в этих отложениях промышленных скоплений нефти и газа начался примерно 75-80 лет тому назад, когда в обнажениях палеозоя были выявлены первые нефтегазо- и битумопроявления.
2. О генетической природе палеозойских нефтегазо- и битумопроявлений высказаны разные точки зрения. Согласно одной из них нефтегазоносность палеозойских отложений связана с их собственными циклами нефтегазообразования. И поэтому в качестве потенциальных нефтегазоматеринских и нефтегазопроизводящих свит сторонники этой точки зрения выделяют обогащенные органикой отложения как раннего, так и позднего палеозоя. В противоположность этому сторонники другой точки зрения придерживаются глубинной гипотезы происхождения УВ и нефтегазопроявления и возможные месторождения связывают в основном с вертикальной их миграцией по крупным глубинным разломам, достигающим, как правило, мантию Земли. Авторам представляется наиболее достоверной и близкой к истине точка зрения, основанная на теории тектоники плит, на базе которой в последние годы узбекскими учеными разработана микстгенетическая концепция нефти и газа.
3. В настоящее время в ряде производственных и научно-исследовательских организациях Узбекистана начато изучение нефтегазоносности палеозойских пород целенаправленными работами. При этом решаются некоторые из вышеуказанных задач. В частности:
 - предпринимаются попытки определить разными методами потенциал продуктивности возможных нефтегазоносных комплексов, а также зональный и локальный прогноз их нефтегазоносности;
 - выявляются первоочередные объекты для поисковых работ и уточняются направления дальнейших исследований.

Литература

1. Абдуллаев Г.С., Бабаджанов Т.Л., Эйдельмант Н.К. и др. Особенности строения и нефтегазовые перспективы доюрского комплекса пород Бухаро-Хивинского региона (Западный Узбекистан). Ташкент. 2009.
2. Абидов А.А. К методике картирования нефтегазоперспективных объектов палеозоя Ферганской межгорной впадины // ЭИ ВНИИОЭНГ. Нефтегазовая геол. и геофиз.(сер.) М. 1987. № 6. С. 1-3.
3. Абидов А.А. Генезис нефти и газа и методика поисков их местоскоплений. Ташкент: Фан. 2010. 258 с.
4. Абидов А.А. Современные основы прогноза и поисков нефти и газа. Ташкент: Фан. 2012. 814 с.
5. Бабаджанов Т.Л. Глубинное геологическое строение и перспективы нефтегазоносности Центральной части Средней Азии. Ташкент: Фан. 1986. 64 с.

6. Зуннунов Ф.Х. Литосфера Средней Азии по сейсмологическим данным. Ташкент: Фан. 1985. 108 с.
7. Ситдииков Б.Б. Изучение перспектив нефтегазоносности палеозойских пород Узбекистана – одно из важных направлений фундаментальной науки // Нефтегазоносная геология и вопросы прироста запасов углеводородов в Узбекистане. Ташкент. 1996. С. 179-183.
8. Ситдииков Б.Б. О нефтегазоносном “айсберге” в недрах Узбекистана и необходимости целенаправленного изучения его нижней, палеозойской части // Узб. журн. нефти и газа. 1998. № 2. С. 7-8.
9. Ситдииков Б.Б. О нефтегазоперспективных объектах в палеозойском комплексе пород Бухаро-Хивинского региона и необходимости их изучения целенаправленными поисковыми работами // Узб. журн. нефти и газа. 2011. № 4.
10. Ситдииков Б.Б. Палеозой Ферганской впадины – важный резервный объект нефтегазопроисковых работ в Узбекистане // Узб. журн. нефти и газа. 2007. № 3. С.11-14.
11. Таль-Вирский Б.Б. Геофизические поля и тектоника Средней Азии. М.: Недра. 1982. 271 с.
12. Хаин В.Е. Нефтегазоносность и тектоника // Геология нефти и газа. 1998. № 10. С. 57.

УДК 551.3

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ЭКЗОГЕННО-ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В БАССЕЙНЕ РЕКИ ЯХСУ И СВЯЗАННЫЕ С НИМИ ГЕОРИСКИ

SOME FEATURES OF EXOGENOUS GEODYNAMIC PROCESSES EVOLUTION IN YAKHSU BASIN AND RELATED GEORISK

Валиев Ш.Ф., Одинаев Ш.А.

Valiev_Sh@mail.ru, Sharif.Geolog@mail.ru

Таджикский национальный университет, г. Душанбе, Таджикистан

***Аннотация.** В областях, поднятых за неоген-четвертичное время на высоту не выше 3000 м, преобладает достаточно хорошо развитый постгенетический седиментационный рельеф, характеризующийся локальным развитием обвалов и оползней. Исследуемая территория по степени проявления оползневых и обвальных явлений относится к высшей категории опасности.*

***Ключевые слова:** экзогенно-геодинамические процессы, геориск, обвалы, осыпи, подземные воды, генезис, атмосферные осадки, овраги, инженерно-геологические процессы, сейсмичность, эрозия, крутизна склона, деформация.*

Бассейн реки Яхсу находится в восточной части гидрогеологического района Южной части Таджикской депрессии. Он представляет собой артезианский бассейн. На этой территории подземные воды приурочены ко всем литолого-стратиграфическим комплексам. По типу циркуляции выделяются пластово-трещинные воды коренных пород палеогенового возраста, а также поровые воды четвертичных отложений. В формировании и развитии оползней существенную роль играют атмосферные осадки и подземные воды.

В верхней приводораздельной части склонов, как правило, наблюдаются относительно пологие участки склонов с крутизной не более 10-15°. Такие участки способствуют накоплению влаги за счет атмосферных осадков в виде дождя и таяния снега, представляя собой водосбор.

Повсеместно на горных склонах, там, где развиты осыпи, особенно каменно-щебнистые с суглинистым заполнителем, в период обильного выпадения осадков в виде ливневых дождей и снеготаяния, проходят селевые потоки [1]. Причем не только по руслам саев, оврагов и других понижений, а прямо по поверхности склонов. Эта картина наблюдается вдоль автодорог, на горных склонах. За короткое время, иногда исчисляемое минутами, автодороги оказываются полностью заваленными селевым материалом.

Природные факторы, среди которых выделяются геоморфологические, геологические, климатические, приводят к проявлениям эрозии.

Особую роль играет крутизна склонов. При уклонах поверхности менее 0,05 овражная эрозия в естественных условиях практически не развивается, а при уклоне 0,05-0,10 возникают неглубокие овраги. Наиболее благоприятны для овражной эрозии – площади с уклонами более 0,10, к которым приурочены все земли, плотно покрытые оврагами [1].

Уклоны поверхности в сочетании с другими неблагоприятными факторами определяют интенсивность ирригационных эрозий. Ирригационные факторы зачастую определяют развитие эрозионных процессов в орошаемых районах.

Основной причиной эрозии является: а) негативная хозяйственная деятельность человека, заключающаяся в несоблюдении техники полива, превышении поливных норм; б) необоснованное размещение водосборно-сбросной и коллекторно-дренажной сети и недоведения концевых сбросов до уровня местного базиса эрозии.

При оценке инженерно-геологических условий территории исследуются закономерности её геологического строения, гидрогеологические условия, состав и свойства горных пород, особенности формирования и развития экзогенных геологических процессов и явлений.

В геологическом строении исследуемой территории принимают участие горные породы различного генезиса, состава и возраста – от докембрийских до современных. Они развиваются в условиях очень сложной тектонической обстановки и высокой сейсмичности [2].

Таджикская депрессия характеризуется наличием мощного чехла четвертичных образований различного генезиса, состава, мощности, среди которых фрагментарно встречаются скальные и полускальные породы [2]. Под действием агентов денудации они составляют основной материал для образования осыпей, камнепадов, обвалов, селей и т.п.

Оползни, обвалы, камнепады, происходящие в скальных и полускальных породах, как правило, приурочены к зонам крупных тектонических нарушений, по которым происходят интенсивные перемещения в новейшее время [3].

Породы соленосной формации по прочностным характеристикам являются типичными представителями полускальных пород. Однако присутствие поверхностных и подземных вод вызывает вымывание солей и гипса и, как следствие, появление карстово-суффозионных явлений. В долине р. Яхсу расположен крупный куполообразный соленосный массив – возвышенность Ходжа – Мумин, с абсолютной отметкой 1334,2 м. Превышение её над долиной составляет 700-800 м. Поверхность возвышенности изобилует карстовыми формами рельефа.

Инженерно-геологические условия Яхсуйской долины сложны и разнообразны. Значительные площади здесь занимают лессовые породы, обладающие просадочными свойствами и дающие при увлажнении деформации до 3 м. На отдельных участках развиты засоленные мелкоземистые породы или грунты пльвунного характера, а предгорные районы часто сложены гипсоносными и соленосными карстующимися породами. Высокая селевая активность, размыв берегов на р. Пяндж и Яхсу, особенно в паводковое время, суффозионно-карстовые явления на орошаемых землях в пределах высоких террас, а также высокая сейсмичность усложняют инженерно-геологическую обстановку.

На исследуемой территории несвязанные крупнообломочные породы формируют верхнетретичные и современные террасы, которые обнажаются в цоколях более древних террас, а в северо-восточной части депрессии слагают более древние террасовые

образования и конусы выноса [3]. В областях развития этих пород наблюдаются осыпи, обвалы, движения конусов выноса и перегораживание русел рек.

Связанные глинистые лессовые породы характеризуются рыхлым сложением, слабой сцементированностью, часто отсутствием слоистости, наличием микропор, низкой влажностью и высокими просадочными свойствами. Они формируют разновозрастные террасы различного генезиса.

Широкое проявление оползней в Таджикской депрессии связано с породами илякского комплекса. Породы этого комплекса представлены лессами и лессовидными породами значительной мощности (до 100 и более м), палевого и светлепалевого цвета, с большим содержанием гипсово-карбонатных стяжений (конкреций). При избыточном увлажнении атмосферными осадками это способствуют возникновению оползней. Также развиты оползни, характеризующиеся сначала медленным смещением пород, а затем стремительным. Огромные массы мелкоземистых пород смещаются при этом на значительные расстояния.

Верхнетретичные отложения лессовидного облика слагают самые низкие предгорные ступени, характеризуются высокой пористостью, низкой влажностью и высокими просадочными свойствами. В них преобладают процессы оврагообразования, карстово-суффозионные и просадочные явления.

Скальные породы дают основной материал для образования осыпей, обвалов, оползней, селей [3]. Главными причинами, создающими условия для формирования и развития оползне-обвальных явлений в скальных массивах, являются новейшая тектоническая деятельность и сейсмические явления. Образование обвалов и оползней определяется совокупностью вертикальных движений и процессов глубинной эрозии.

С точки зрения новейшей тектоники вся территории Таджикистана, поднятая выше уровня моря, в той или иной мере потенциально подготовлена к проявлению обвалов и оползней.

Только на основании статистических данных можно сделать вывод, что в областях, поднятых за неоген-четвертичное время на высоту не выше 3000 м, преобладает достаточно хорошо развитый постгенетический седиментационный рельеф, характеризующийся локальным развитием обвалов и оползней. Поэтому по степени проявления оползневых и обвальных явлений можно отнести исследуемую территорию к высшей категории опасности.

Адырные и приадырные земли, составляющие большую территорию в исследуемом регионе, в своем естественном природном состоянии имеют высокий коэффициент устойчивости (более 3). Это объясняется относительно незначительной величиной природной влажности грунтов покровных отложений.

В таблице 1 приводится разработанная авторами оценка и типизация георисков экзогенного характера для исследуемой территории.

Таблица 1 – Оценка георисков экзогенного характера

Степень опасности	Критерии			Баллы
	виды процессов	особенности проявления	негативные последствия	
Практически отсутствует	Все процессы стабилизированы	Пораженность территории $\leq 5\%$, активизации процессов не ожидается	Практически отсутствуют	1
Умеренная	Плоскостной смыв, линейная и русловая (речная) эрозия, подтопление, заболачивание, аккумуляция	Пораженность территории в основном 5-20 %, происходит техногенная активизация процессов	Усложнение условий строительства, ухудшение несущей способности грунтов и условий использования	3
		Пораженность		4

	осадков	территории 20-30 %, происходит техногенная активизация процессов	сельхозугодий	
Сильная	Карст, суффозия, просадки, абразия и др.	Высокая пораженность территории (карст, суффозия, просадки свыше 20-30%), иногда с катастрофическими последствиями	Деформация зданий и сооружений, вывод из строя сельскохозяйственных земель	7
Очень сильная	Сели, оползни, обвалы объемом ≥ 1 млн.м ³	Высокая катастрофичность, внезапность и скорость проявления процессов	Разрушение зданий и сооружений, гибель людей и сельхозугодий	10

В результате техногенеза (горнопромышленной деятельности, строительства и эксплуатации горнотехнических сооружений и т.п.) в промышленно развитых регионах страны сформировались особые техногенные формы ландшафта [4]. При подверженности техногенными нагрузкам более 95 % территории Таджикистана [5], терриконы, отвалы, хвостохранилища к настоящему времени превратились в элементы ландшафта.

Характер и интенсивность воздействия горнопромышленной деятельности на геологическую среду зависят, прежде всего, от особенностей их функционирования. В связи с тем, что воздействия объектов часто накладываются друг на друга, интегрируя, они создают определенные трудности при выделении и типизации техногенных воздействий [5]. Поэтому считается целесообразной типизация техногенного воздействия на геологическую среду по природе и характеру влияния.

Первым и наиболее распространенным видом влияния инженерно-хозяйственной деятельности на геологическую среду является физико-механическое воздействие. Оно выражается в механическом разрушении пород, деформации рельефа, геодинамических процессах и явлениях. При таком воздействии могут происходить уплотнение или разуплотнение массивов, разрушение грунтов, изменение рельефа, перепланировка рельефа (терриконы, породные отвалы, обогатительные котлованы-пруды, зумпфы).

Основным фактором физико-механического воздействия является искусственное вибрационное действие, создаваемое механизмами при взрывных работах, проходке горных выработок, строительстве дорог, коллекторов, геологоразведочных и добычных работах.

Морфологическим выражением физико-механического воздействия на геологическую среду являются провалы на дневной поверхности, сдвигение, активизация геодинамических процессов: оползней, селей, обвалов, эрозии.

В связи с широким распространением физико-механического воздействия горнопромышленной деятельности на геологическую среду Таджикистана следует остановиться на особом виде нарушения геологической среды на примере лессовых псевдокарстов [6].

Лессовые породы занимают в Яхсуйской долине обширные площади.

По литологическому составу лессы относятся к пылеватым супесям, реже – к легким пылеватым суглинкам с абсолютным преобладанием фракции 0.05-0.01 мм (60-65 %). Мелкопылеватых частиц (0.01-0.005 мм) содержится всего 15-20 %, а глинистая фракция (0.005 мм) составляет 2-7 %, иногда до 11 % [6].

Лессы образуют обширную часть ландшафтов в низко- и среднегорных районах, представляют собой сильнопросадочные породы. С ними связан основной сельскохозяйственный земельный фонд страны. В районах их распространения развиты крупные агломерации и главные объекты народного хозяйства. Основным фактором образования псевдокарстов является водно-механическое воздействие на лессы, при котором

они вымываются и образуются огромные карстоподобные, часто оврагообразные формы рельефа [6]. При таком нарушении лессовые поля становятся непригодными для хозяйственного использования. Техногенная причина образования псевдокарста кроется в инженерно-хозяйственной деятельности, а именно в ненормированном поливе, аварийности дренажных систем, чрезмерном распахивании, техногенном захвате лессовых полей. Следует ожидать, что в условиях активной инженерно-хозяйственной деятельности в регионах интенсивность формирования лессового псевдокарста будет только возрастать.

В качестве другого вида техногенного воздействия на геологическую среду можно выделить химическое или физико-химическое влияние, которое выражается в следующем:

- изменении химического состава поверхностных вод при рудничном, туннельном водоотведении;
- нарушении химического состава подземных вод при буровых работах, непрофессиональном тампонаже, заражении растворами, жидкими отходами;
- загрязнении воздуха газо-пылевыми выбросами при взрывных работах, вентилировании выработок;
- нарушении химического состава почвогрунтов, грунтов из-за попадания газообразных, жидких и твердых горнопромышленных, строительных отходов.

Под воздействием оросительных мелиораций активизируются оползневые процессы. В результате на склонах возвышенностей, пересекаемых каналами, на бортах рек и оврагов, на террасированных склонах формируются оползни ирригационного происхождения.

Выводы.

- На исследуемой территории подземные воды приурочены ко всем литолого-стратиграфическим комплексам, присутствие этих вод вызывает вымывание солей и гипса, как следствие, проявление карстово-суффозионных явлений;
- В областях, поднятых за неоген-четвертичное время преобладает достаточно хорошо развитый постгенетический, седиментационный рельеф, характеризующийся локальным развитием обвалов и оползней;
- По степени проявления оползневых и обвальных явлений исследуемой территории можно отнести к высшей категории опасности;
- При инженерно-хозяйственной деятельности происходит уплотнение или разуплотнение массивов.

Литература

1. Сквалецкий Е.Н. Оползневые явления в районах ирригационного строительства Таджикистана // Гидрогеология и инженерная геология аридной зоны. Душанбе: Дониш. 1968. 376 с.
2. Преснухин В.И. Инженерно-геологические параметры горных пород Таджикистана. Душанбе: Дониш. 1989. 312 с.
3. Преснухин В.И. Закономерности распространения и развития, типизация и механизм образования оползней Таджикистана // Материалы научн.-техн. совещ. по вопросам методики изучения и прогноза селей обвалов и оползней. Душанбе. 1970. С. 76-84.
4. Валиев Ш.Ф. Инженерно-хозяйственная трансформация кровли литосферы Таджикистана. Душанбе: Таджикский национальный университет. 2014. 219 с.
5. Абдурахимов С.Я. Инновационно-геоэкологические проблемы природно-техногенного разнообразия Таджикистана. Худжанд: Нури маърифат. 2014. 432 с.
6. Лаврусевич А.А. Лессовый псевдокарст в условиях техногенеза. Автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. М. 2013. 44 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДУБЛЕТОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ**RESULTS OF DETERMINATION OF EARTHQUAKE DUPLICATES****Воронцова Е.В.**

vorontsova@gdirc.ru

Научная станция Российской академии наук, г. Бишкек, Кыргызстан

Аннотация. Приведены результаты определения дублетов землетрясений за период с 1 января 1995 г. по настоящее время среди 1757 событий из каталога NEIC с $M \geq 5.0$ и эпицентральной дистанцией до 3000 км от станции Эркинсай-2 (EKS2) сети KNET.

Ключевые слова: сейсмический каталог, волновые формы, дублеты землетрясений.

Одной из задач лаборатории комплексных исследований Научной станции РАН является изучение сейсмоэлектрических эффектов. Построение и уточнение физических моделей, наблюдаемых косейсмических эффектов, подразумевает вычисление передаточной функции обнаруженных сигналов, как характеристического параметра геосреды. Для решения ряда вопросов, связанных с оценкой устойчивости сейсмоэлектрического эффекта в зависимости от различных внешних факторов (состояния геосреды, геомагнитной активности и т.д), было принято решение изучить пары землетрясений (дублеты) с максимально идентичными волновыми формами и сравнить для них наблюдаемые косейсмические эффекты.

За период с 1 января 1995 г. по настоящее время из каталога NEIC были выбраны 1757 землетрясений с $M \geq 5.0$ и эпицентральной дистанцией до 3000 км от станции Эркинсай-2 (EKS2) сети KNET. После оценки качества сейсмических записей пригодными для анализа были признаны 1502 события. В результате из них 133 пары землетрясений (149 различных) имеют корреляцию волновых форм более 0.8. Статистика по расхождению различных параметров для найденных дублетов приведена в табл. 1.

Таблица 1 – Расхождение значений гипоцентрального расстояния, времени в очаге, глубины и магнитуды для землетрясений-дублетов

Значение/параметр	Расстояние	Время	Глубина	Магнитуда
минимальное	0.45 км	0.0269 сут (38.69 мин)	0 км	0
среднее	7.15 км	77.38 сут	4.83 км	0.2
максимальное	50.26 км	6267.4 сут (17.17 года)	54.3 км	1.7

Было отмечено, что для землетрясений-дублетов при сопоставлении волновых форм наблюдается различие во времени пробега сейсмических волн (рис.1). Оценка зависимости разницы времён вступления Р-волн Δt от разницы гипоцентрального расстояния ΔR (рис.2) показала, что зависимость между ними отсутствует, а различие, по-видимому, обусловлено погрешностью в определении параметров очага.

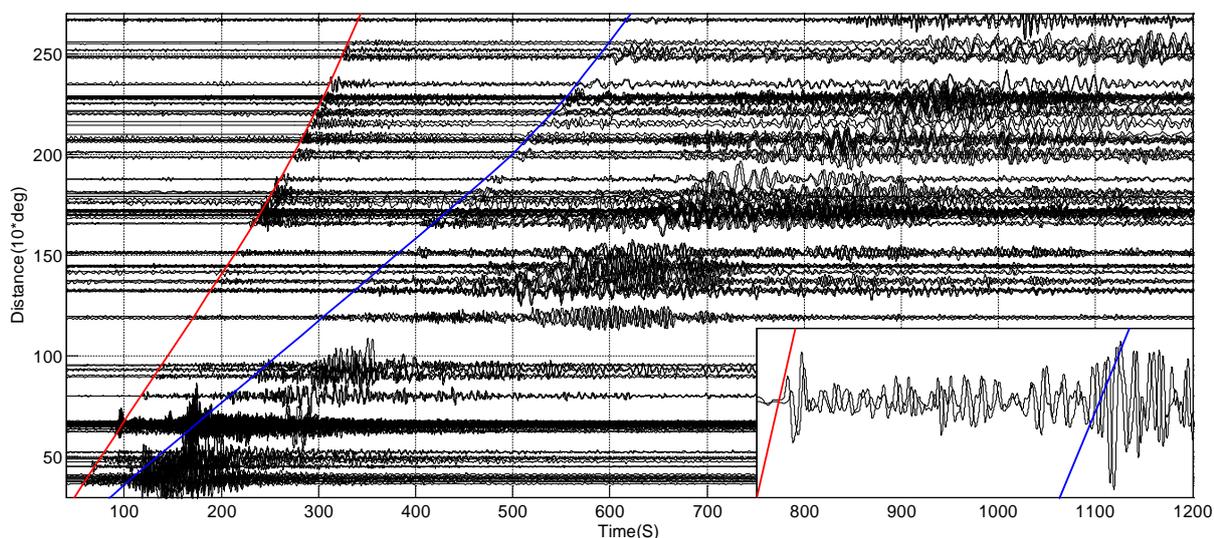


Рисунок 1 – Волновые формы землетрясений-дублетов для станции Эркинсай-2. Красная и синяя линии – времена вступлений Р и S волн соответственно (по таблицам В.Л.Н. Kennett, Seismological Tables: ak135, 2005).

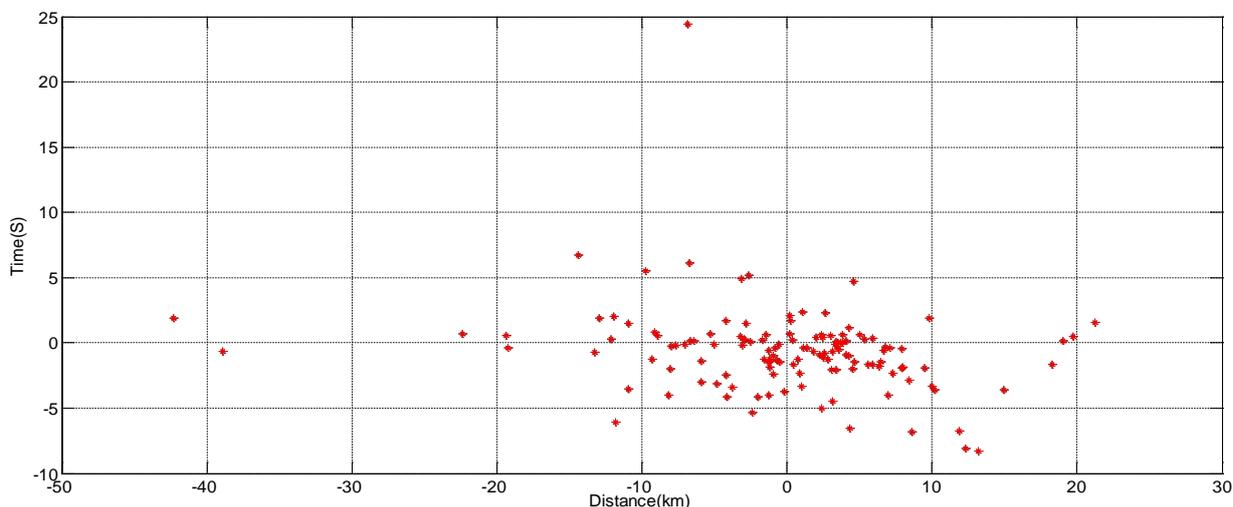


Рисунок 2 – Разница времён вступления Р-волн Δt от разницы гипоцентрального расстояния ΔR для землетрясений-дублетов.

За период 2012-2016 г.г. было выделено 20 пар дублетов (32 землетрясения), пригодных для дальнейшего анализа косейсмических эффектов. В том числе и часть Непальских землетрясений, произошедших в апреле-мае 2015 г., например, М 6.7, 27.7711 N, 86.0173 E, 26 апреля 2015 г. 07:09:10.67 UTC, глубина 22.91 км и М 7.3, 27.8087 N, 86.0655 E, 12 мая 2015 г. 07:05:19.73 UTC, глубина 15 км. Корреляция волновых форм для них составила 0.899 (рис.3), при этом корреляция в синхронных записях различных электромагнитных полей оказалась низкой – до 0.112 (рис.4). Данный пример показывает, что для исследования косейсмического эффекта необходимо более детально изучить пары землетрясений-дублетов.

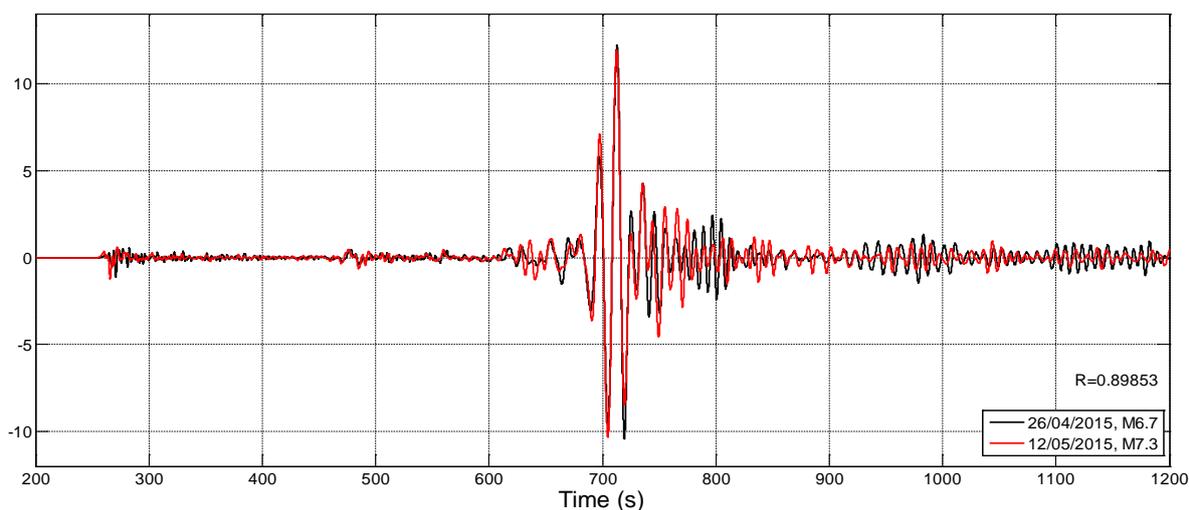


Рисунок 3 – Стандартизированные волновые формы для двух Непальских землетрясений-дублетов М6.7 26 апреля 2015г. и М7.3 12 мая 2015 г. на станции Эркинсай-2.

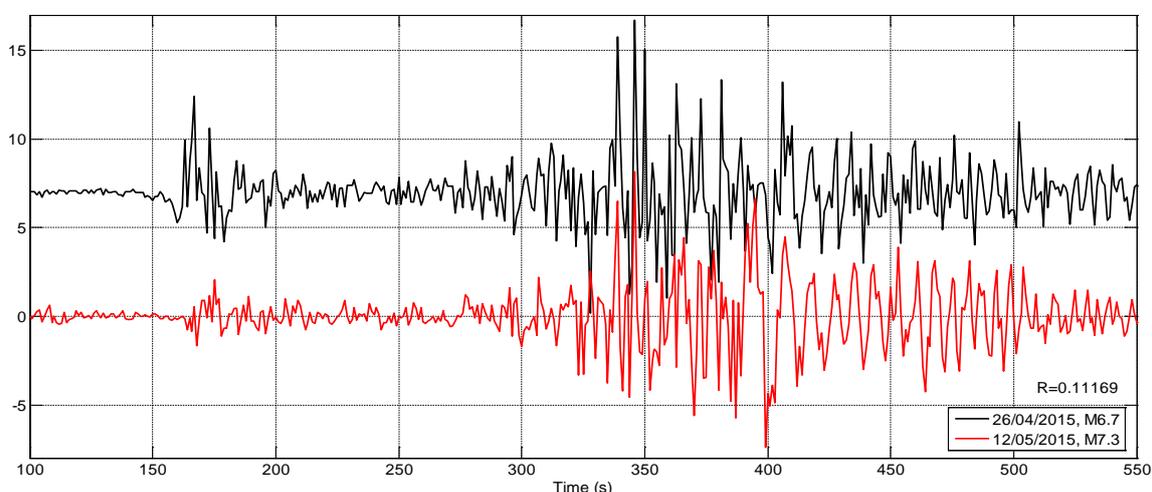


Рисунок 4 – Стандартизированные записи геомагнитного поля для двух Непальских землетрясений-дублетов М6.7 26 апреля 2015г. и М7.3 12 мая 2015 г. на станции Гулмарг.

Литература

1. Kennett B.L.N. Seismological Tables: AK135. Research School of Earth Sciences. The Australian National University. Canberra. 2005. 81 p.

УДК 553:872:575:30.

ДИНАМИКА ПРИВНОСА-ВЫНОСА КОМПОНЕНТОВ В ОКОЛОЖИЛЬНЫХ ИЗМЕНЕННЫХ МЕТАСОМАТИТАХ АМЕТИСТОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ СЕЛЬБУР (ЮЖНЫЙ ГИССАР)

DYNAMICS BRINGS COMPONENT-REMOVAL AROUND THE VEINS IN ALTERED METASOMATITES AMETHYST DEPOSIT SELBUR (SOUTH HISSAR)

Гарибмахмадова С.Н.

svetlana_gn82@mail.ru

Таджикский Национальный Университет, г. Душанбе. Таджикистан

Аннотация. В статье рассматривается динамика привноса-выноса компонентов в околожильноизмененных метасоматитах аметистового месторождения Сельбур Южного Гиссара. Приводится фактический материал степени проявления гидротермально-метасоматических процессов динамики привноса-выноса компонентов с целью достоверной качественной и количественной оценки процесса аметистообразования.

Ключевые слова: кварц–аметистовые жилы, месторождение Сельбур, метасоматические процессы, околожильные изменения, вмещающие породы.

Таджикистан, особенно его высокогорная часть – Памир (Бадахшан) с древнейших времён известен как регион добычи и использования драгоценных и поделочных камней. Традиционно здесь добывались такие камни как бадахшанский лаъл (благородная шпинель), рубин, бирюза, гранаты, турмалин, лазурит, горный хрусталь. Об этом свидетельствуют и название местностей, где велась добыча тех или иных камней – Кухи лал (гора лала), Ляджвардара (ущелье лазурита), Бирюзакан (месторождение бирюзы) и другие. О многих драгоценных камнях и их месторождениях данной территории достаточно подробные для своего времени сведения приведены в книге Аль-Бируни (972 – 1048) «Собрание сведений для познания драгоценностей изданная в 1048 году».

В пределах республики Таджикистан, в том числе на Южном Гиссаре, установлен ряд месторождений и проявлений аметиста, которые в разной форме разрабатываются и широко используются в ювелирной отрасли. Единственное детально разведанное и до недавнего времени разрабатываемое месторождение Сельбур, расположено на южном склоне Гиссарского хребта – южной окраинной зоне Южного Тянь-Шаня.

В геологическом строении района принимают участие палеозойские метаморфизованные карбонатно-терригенные, вулканогенные, а также мезо-кайнозойские осадочные образования. В районе широко представлены также интрузивные породы средне-верхне карбонового возраста.

Различные аспекты геологии, в том числе практическая разработка месторождения Сельбур, изучались рядом геологов – Горбатко В.Т., Климкиным А.В., Ёровым З.Ё., Коркуновым О., Комиссаровым Ю.Б., Шахматовым Н.А., Макарьянцем В.И., Морозовым С.А., Зевакиным Н.Н., Кривошековой Н.И., Хасановым А.Х., Оймамадовым И.С, Холовым А. и др.

Аметистовая минерализация месторождения Сельбур связана с плутоногенными [1] крутопадающими гидротермальными кварцевыми (с щётками горного хрусталя) и кварц-карбонатными жилами. Они приурочены к тектоническим зонам нарушения северо-восточного простирания и размещены весьма неравномерно, серийно в виде семи жильных зон.

По морфологии, минеральному составу и условиям залегания кварцево-аметистовые жилы можно разделить на две группы:

1. Простые плитообразные или линзовидные жильные тела, выполняющие секущие трещины скола, практически не содержащие кристаллов горного хрусталя и аметиста.
2. Сложные жильные тела и окварцованные зоны дробления, приуроченные к зонам разломов. В них сконцентрирована основная масса горного хрусталя и аметиста.

Показателем степени проявления гидротермально-метасоматических процессов является – динамика процесса привноса-выноса компонентов. Изучение данного процесса является одним из наиболее достоверных способов качественной и количественной оценки аметистообразования.

Поведение основных породообразующих элементов при гидротермальном изменении туфопесчаников рассмотрено на примере кварцево-аметистовой зоны «Центральная» (табл. 1). Южная часть жильной зоны, где было проведено опробование, представляет собой сложное по морфологии тело, сложенное кварцево-аметистовыми жилами и прожилками, карбонатами, серицит – каолинитовой породой.

Гидротермальные изменения в лежащем боку жильной зоны рассчитанной по атомно-объемному методу [2], сопровождаются незначительным выносом кремнезема, титана, двухвалентного железа и фосфора. Выносятся почти весь натрий. Туфопесчаники обогащаются при этом трехвалентным железом, кальцием и калием, незначительно повышается содержание алюминия и магния (табл. 2).

Таблица 1 - Расчет содержания абсолютного количества атомов элементов в стандартном геологическом объеме пород по атомно-объемному методу месторождения Сельбур (Центральная зона, южная часть)

Компоненты	Вес. %						Ni ^v					
	Результаты анализа			Приведенные к 100 %			1/84		2/84		4/84	
	1 / 84	2/ 84	4/84	1 / 84	2/ 84	4/84	катион	анион	катион	анион	катион	анион
SiO ₂	81,20	78,60	59,40	81,21	78,00	59,16	210,00	420,00	197,20	394,20	150,6	301,2
TiO ₂	0,52	0,47	1,00	0,52	0,47	1,00	1,01	2,02	0,89	1,78	1,92	3,84
Al ₂ O ₃	9,17	10,00	21,46	9,17	9,93	21,38	27,9	41,85	29,57	44,36	64,1	96,2
Fe ₂ O ₃	0,83	2,15	3,55	0,83	2,13	3,53	1,6	2,4	4,0	6,0	6,8	10,2
FeO	2,45	2,23	1,87	2,45	2,21	1,86	5,3	5,3	4,7	4,7	4,0	4,0
MnO	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,44	0,44	0,43	0,43	0,43	0,43
MgO	0,75	0,86	1,41	0,75	0,85	1,41	2,9	2,9	3,2	3,2	5,3	5,3
CaO	0,28	0,85	1,14	0,28	0,85	1,14	0,8	0,8	2,3	2,3	3,1	3,1
K ₂ O	1,70	2,40	5,5	1,70	2,38	5,48	5,6	2,8	7,7	3,85	17,8	3,9
Na ₂ O	0,75	0,10	0,20	0,75	0,10	0,20	3,8	1,9	0,5	0,25	0,99	0,49
P ₂ O ₅	0,10	0,08	0,18	0,10	0,08	0,18	0,22	5,5	0,17	0,43	0,38	0,95
CO ₂	0,17	0,08	0,13	0,17	0,08	0,13	0,6	1,22	0,28	0,56	0,45	0,90
H ₂ O	0,20	0,30	0,25	0,30	0,30	0,25	3,44	1,72	5,1	2,55	4,2	2,1
П.п.п	1,67	2,44	4,10	1,67	2,42	4,08	28,80	14,4	40,8	20,4	41,1	20,5
∑	99,99	100,00	100,39	100,0	100,0	100,0	292,41	503,23	296,74	485,01	301,17	458,11
d _y	2,58	2,52	2,54									

Примечание – обр. 1 / 84 – неизменный туфопесчаник; обр. 2/ 84 – слабо-измененный туфопесчаник; 4/84 – гидротермально-измененный туфопесчаник

Более интенсивные гидротермальные изменения наблюдается в туфопесчаниках, встречающиеся здесь в виде обломков и останцов. Вынос кремния здесь увеличивается до 28%, двухвалентного железа до 24% и натрия -73%. Происходит значительное обогащение породы трехвалентным железом, алюминием, кальцием, калием, магнием и фосфором.

Таблица 2 – Баланс вещества около лежащего бока кварцево-аметистовой зоны месторождения Сельбур (Центральная зона, Южная часть)

Элементы	Количества в 10 нм ³			Привнос–вынос на 10 нм ³			
	1/84	2/84	4/84	Абсолют. разность 2/84	в % к 1/84	Абсолют. разность 4/84	в % к 4/84
Si	210	197	151	- 13	- 6	- 59	-28
Ti	1,01	0, 89	1,92	- 0,12	-12	+91	+90
Al	28	29,6	64,1	+1,6	+6	+36,1	+129
Fe ⁺³	1,6	4,0	6,6	+2,4	+150	+5,2	+325
Fe ⁺²	5,3	4,7	4,0	- 0,6	- 11	- 1,3	- 24
Mn	0, 44	0, 43	0, 43	- 0, 01	- 2	- 0,1	- 2
Mg	2, 9	3, 2	5, 3	+ 0, 3	+ 10	+ 2, 3	+ 287
Ca	0, 8	2, 3	3, 1	+ 1, 5	+ 187	+ 2, 3	+ 287
K	5, 6	7, 7	17, 8	+ 2, 1	+ 37	+ 12, 2	+ 217
Na	3, 8	0, 5	1, 0	- 3, 3	- 86	- 2, 8	- 73
P	0, 22	0, 17	0, 38	- 0, 05	- 22	+ 0, 16	+ 72
S	0, 0	0, 0	0, 0	-	-	-	-
CO ₂	0, 6	0, 3	0, 5	- 0, 3	- 50	- 0, 1	- 16
ОН	3, 4	5, 1	4, 2	+ 1, 7	+ 50	+ 0, 8	+ 23
П.п.п	28, 8	40, 8	41, 1	+ 12, 0	+ 41	+ 12, 3	+ 42
H ₂ O	503	485	456	- 18	- 3	- 45	- 9
+Σ	-	-	-	+ 21, 6	+ 3	+ 72, 37	+ 9
-Σ	-	-	-	35, 38	- 4	- 108, 21	213
Σ	795,47	731, 63	759, 63	- 13, 73	- 1	- 35, 84	- 4

Несколько иной характер имеет поведение породообразующих элементов в туфопесчаниках всячего бока жильной зоны (табл. 3,4). В околожильном теле отмечается незначительный вынос кремния (11%) и натрия (4%). Из зоны гидротермальной переработки в всячем боку жильной зоны, выносятся лишь кремнезем (около 30%) и двухвалентное железо (6%). При этом туфопесчаники обогащаются кальцием, калием, алюминием, трехвалентным железом и др. элементами.

Таблица 3 – Расчет содержания абсолютного количества атомов элементов в стандартном геологическом объеме пород по атомно-объемному методу, месторождение Сельбур (Центральная зона, южная часть)

Компоненты	Вес. %						Ni ^v					
	Результаты анализа			Приведенные к 100 %			7 / 84		6/ 84		8/84	
	7/ 84	6/ 84	8/84	7 / 84	6/ 84	8/84	катион	анион	катион	анион	катион	анион
SiO ₂	80,60	72,20	56,70	80,40	72,31	56,54	206,30	412,60	184,10	368,20	143,30	286,60
TiO ₂	0,45	0,79	0,49	0,45	0,79	0,49	0,87	1,74	1,51	3,02	0,94	1,88
Al ₂ O ₃	9,58	13,33	19,58	9,56	13,35	19,52	28,9	43,4	40,1	60,2	58,3	87,5
Fe ₂ O ₃	2,03	2,78	2,10	2,02	2,78	2,09	3,9	5,9	5,3	8,0	4,0	6,0
FeO	1,44	1,58	1,37	1,44	1,58	1,37	3,1	3,1	3,4	3,4	2,9	2,9
MnO	0,02	0,02	0,0	0,02	0,02	0,0	0,04	0,04	0,04	0,04	0,0	0,0
MgO	0,79	1,14	1,79	0,79	1,14	1,79	3,0	3,0	4,2	4,2	6,8	6,8
CaO	0,71	0,85	2,59	0,71	0,85	2,58	2,0	2,0	2,3	2,3	7,0	7,0
K ₂ O	1,88	3,30	5,75	1,88	3,31	5,73	6,2	3,1	10,8	5,4	18,5	9,25
Na ₂ O	0,55	0,49	0,59	0,50	0,49	0,59	2,5	1,3	2,4	1,2	2,9	1,45
P ₂ O ₅	0,06	0,14	0,03	0,06	0,14	0,03	0,13	0,33	0,30	0,75	0,06	0,15
S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CO ₂	0,17	0,06	1,49	0,17	0,06	1,49	0,6	1,2	0,2	0,4	5,2	10,4
H ₂ O	0,10	0,30	0,30	0,10	0,30	0,30	1,7	0,85	5,1	2,55	5,08	2,54
П.п.п	1,90	2,87	7,50	1,90	2,88	7,48	32,5	16,25	48,9	24,45	126,52	63,26
∑	100,23	99,85	100,28	100,00	100,00	100,48	291,74	494,81	308,65	484,11	381,50	485,73
d _y	2,56	2,54	2,53									

Примечание: обр. 7 / 84 – неизменный туфопесчаник; обр. 6/ 84,8/84 – гидротермально – измененный туфопесчаник

Таблица 4 - Баланс вещества около лежащего бока кварцево-аметистовой зоны месторождения Сельбур (Центральная зона, южная часть)

Элементы	Количество атомов в 10 нм ³			Привнос-вынос на 10 нм ³			
	7/84	6/84	8/84	Абсолют. разность 6/84	в % к 7/84	Абсолют. разность 8/84	в % к 7/84
Si	206	184	143	-22	- 11	- 63	- 30
Ti	0, 87	1, 51	0, 94	+ 0, 64	+ 73	+ 0, 07	+ 8
Al	29	40	58	+ 11	+ 38	+ 29	+ 100
Fe ⁺³	3, 9	5, 3	4, 0	+ 1, 4	+ 36	+ 0, 1	+ 2
Fe ⁺²	3, 1	3, 4	2, 9	+ 0, 3	+ 9	- 0, 2	- 6
Mn	0, 04	0, 04	0, 0	0, 0	0, 0	ВЫНОС	
Mg	3, 0	4, 2	6, 8	+ 1, 2	+ 40	3, 8	+ 127
Ca	2, 0	2, 3	7, 0	+ 0, 3	+ 15	+ 5, 0	+ 250
K	6, 2	10, 8	18, 5	+ 4, 6	+ 74	+ 12, 3	+ 198
Na	2, 5	2, 4	2, 9	- 0, 1	- 4	+ 0, 4	+ 16
P	0, 13	0, 30	0, 06	+ 0, 17	+ 130	- 0, 07	- 54
S	-	-	-	-	-	-	-
CO ₂	0, 6	0, 2	5, 2	- 0, 4	- 67	+ 4, 6	+ 766
ОН	1, 7	5, 1	5, 1	+ 3, 4	+ 200	+ 3, 4	+ 200
П.п.п	32, 5	48, 9	126, 5	+ 16, 4	+ 50	+ 94	+ 289
O	495	484	486	- 11	- 2	- 9	- 2
+Σ	-	-	-	+ 39, 41	+ 5	+ 152, 7	+ 18
-Σ	-	-	-	33, 50	- 4	- 72, 2	- 9
Σ	786, 54	792, 65	866, 90	+ 6, 11	+ 1	+ 80	+ 10

Расчет баланса привноса - выноса компонентов показывает, что вынос кремнезема из боковых пород составляет 28-30%, железа до 24% [3,4]. Экстратированные из вмещающих пород ионы железа переоткладываются в жилах не только в виде соответствующих минералов гематита, анкерита, пирита, но и служат основными хромофорными элементами аметиста. В аметисте месторождения Сельбур отмечено повышенное (до 0,82%), по сравнению с бесцветным кварцем, содержание железа.

Выявлены особенности образования аметистовой минерализации месторождения Сельбур, которые имеют темную связь с заключительными стадиями метасоматических процессов. Размещение основных продуктивных аметистовых жил приходится на экзоконтактные зоны Южно-Гиссарского гранитоидного батолита на расстоянии 500-600 м среди пород с относительно более высоким содержанием железа. Все это может быть важными поисковыми критериями на этот вид камнесамоцветного сырья не только в рассматриваемом, но и в других регионах.

Литература

1. Смирнов В.И. Геология полезных ископаемых. М.: Недра. 1976. 300 с.
2. Казицын Ю.К., Рудник В.А. Руководство к расчёту баланса вещества и внутренней энергии при формировании метасоматических пород. М.: Недра. 1968. 364 с.
3. Гарибмахмадова С.Н. Особенности химизма туфопесчаников, вмещающих аметистовые жилы месторождения Сельбур // Материалы науч.-теорет. конф. ТНУ. Душанбе. 2010. С. 17-20.
4. Хасанов А.Х. Петрология и рудоносность метасоматических комплексов Центрального Таджикистана. Душанбе: Дониш. 1976. 251 с.

**ЖЕЛЕЗОРУДНЫЕ СКАРНЫ БАССЕЙНА РЕКИ КАФАНДАР НА ПРИМЕРЕ
УЧАСТКА ГЛАВНЫЙ КСЕНОЛИТ (ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ТАДЖИКИСТАН)**

**IRON-BEARING SKARNS IN BASIN OF KAFANDARA RIVER BY THE MAIM
XENOLITH AREA EXAMPLE (THE CENTRAL TAJIKISTAN)**

Давлатшоев Д.А., Ошурмамадов А.К.

d.d.a.89@mail.ru, vulcanite@bk.ru

Таджикский национальный университет, г. Душанбе, Таджикистан

***Аннотация.** На примере наиболее изученного участка Главный Ксенолит приводится описание скарново-магнетитового оруденения известковистой формации, характерной для всей группы рудопроявлений долины р. Кафандар (тектоника, минералогия, зональность, генетические особенности).*

***Ключевые слова:** скарн, магнетит, разрывная тектоника, река Кафандар.*

Крупное проявление магнетитовых руд скарновой формации в бассейне реки Кафандар (южный склон Гиссарского хребта) представлено группой участков в ее среднем течении. Самым значительным из них является участок Главный Ксенолит, на котором хорошо проявлены типовые минералогические признаки и генетические особенности, что делает его интересным для изучения данного типа рудообразования. Название Главный Ксенолит указывает прямо на его геологическую позицию – это ксенолит известняков силур-девонского возраста в кровле интрузивного тела диоритов-гранодиоритов среднекаменноугольного возраста. Известняки практически полностью замещены скарнами разной степени проработки с вкрапленностью магнетита разной интенсивности, вплоть до тел сплошного магнетита, содержащих лишь малую долю скарновых минералов. По своему составу и строению скарны относятся к классической известковой формации Коржинский [1].

Подобные скарны встречаются и в других рудопроявлениях района, как в бассейнах рек Кафандар (Давон, Казнок, Ишак-Майдан), Лойлякуль (Дальний, Медвежий, Перевальный, Спорный), Сумлук. Для большинства рудопроявлений характерно неоднократные проявления эндогенных процессов, разнообразие минеральных типов метасоматитов и руд. Однако количество скарнов изменчиво, хотя их геологическое положение остается прежним – контакт известняков и гранитоидов. Нами установлено, что продуктивные скарны тяготеют к гранодиоритовой фазе данного интрузивного комплекса, а с гранитовыми разновидностями скарны развиты слабее и не содержат значительной минерализации. Для других типов оруденения характерно присутствие мелких сульфидных тел позднего гидротермального этапа, частично наложенного на скарны. Известковые скарны сложены гранатами гроссуляр-андрадитового ряда, пироксенами диопсид-геденбергитового ряда, присутствуют эпидот, кварц, хлорит, магнетит, пирит, халькопирит и кальцит.

Рудопроявление Главный Ксенолит был открыт, как и остальные рудопроявления басс. р. Кафандар, в 1938-1941 гг. С. А. Шафрановым и В. Н. Гессе, которые отнесли его к скарновому типу, дали первую характеристику вещественного состава пород и руд и наметили последовательность послемагматического минералообразования. Дополнительные сведения о геологическом строении рудопроявления получены в те же годы А.В. Григорьевым и В.Н. Гессе при геологической съемке трапеции J-42-43. Мы, авторы статьи, участвуя в проведении поисково-оценочных работ на Главном Ксенолите, включая

детальное картирование и проходку поверхностных горных выработок с бороздовым опробованием, уточнили предыдущих исследователей и изучили зональность скарнов, от которой зависит распределение интенсивности магнетитового оруденения (рис. 1 и рис. 2).

В 2012-2016 годах авторами настоящей статьи получены новые данные, существенно дополняющие представления о генезисе рудопроявления.

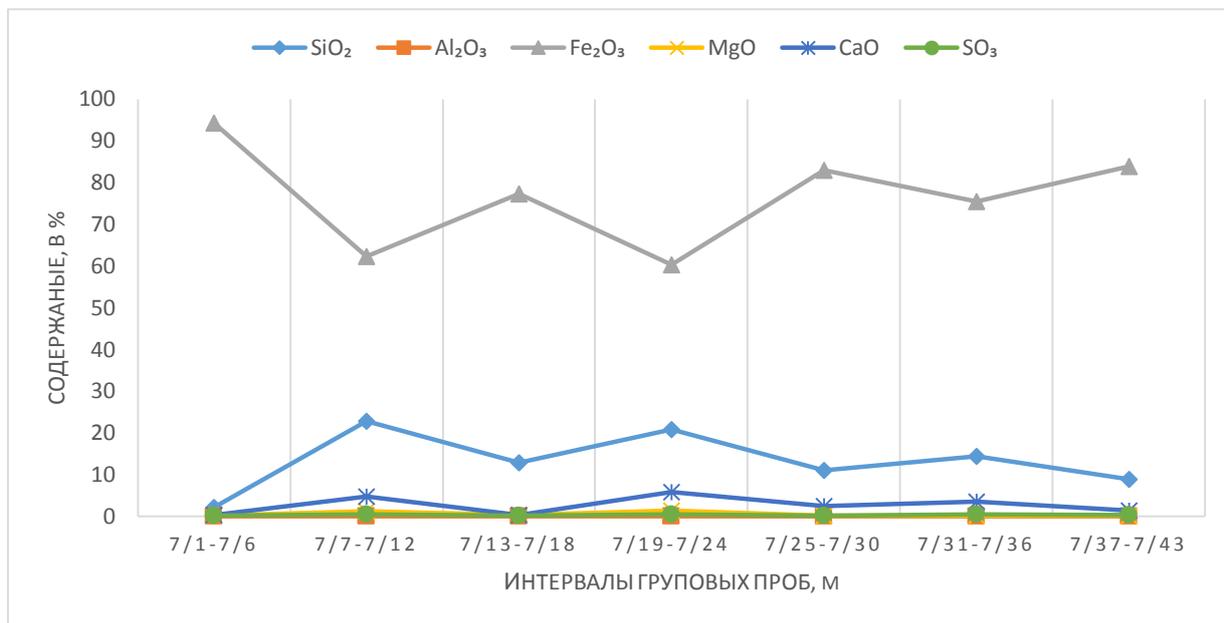


Рисунок 1 – Зональность по профилю «скарн → гранодиорит» для богатых руд.

В плане тектоники, массив биотит-роговообманковых диоритов-гранодиоритов, вмещающий Главный Ксенолит, приурочен к ядру Кафандарской антиклинали, вытянутой в западно-северозападном направлении (рис.3). Разрывная тектоника также является фактором, определяющим строение рудопроявления. Субширотный региональный Кафандарский разлом (проходит за пределами участка по правому борту долины р. Кафандар и тянется далеко в широтном направлении) контролирует размещение рудоматеринской интрузии средне-карбонных гранодиоритов, а тем самым и всей группы рудопроявлений района. Разломы II-III порядка, чаще субмеридиональные, обусловили блоковое строение вмещающих толщ и предопределили появление линейных зон наиболее интенсивного метасоматоза и оруденения.

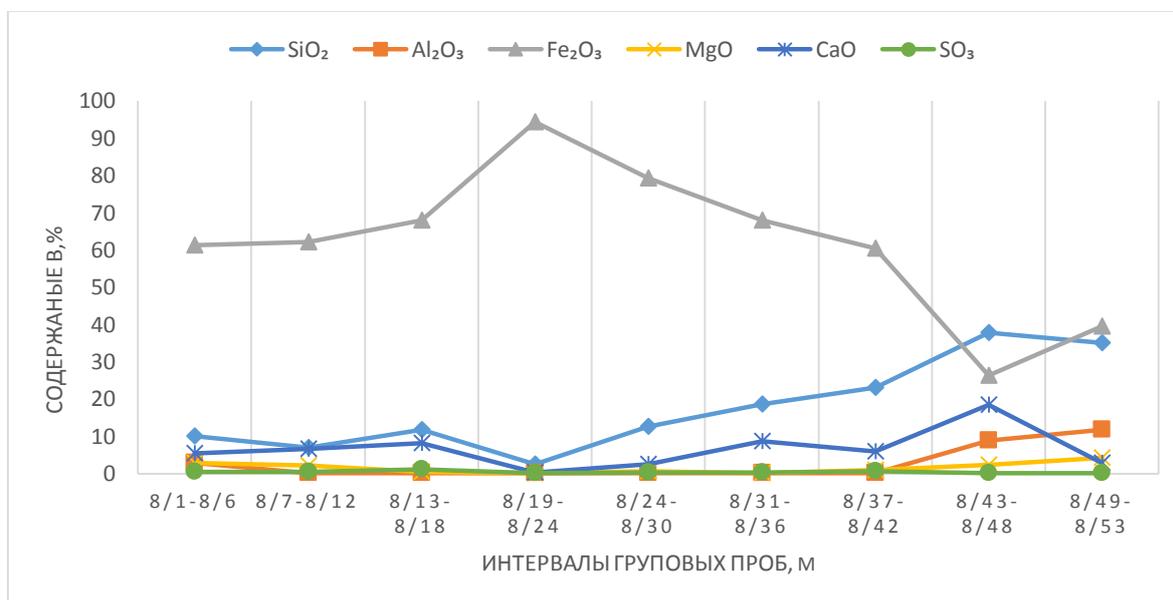


Рисунок 2 – Зональность по профилю «известняк → скарн» для богатых и бедных руд.

Среди околорудных метасоматитов рудопроявления Главный Ксенолит выделены известковые скарны диффузионно-биметасоматического и жильного типов, а также скарноиды разного состава [2]. Провести границу между отдельными типами метасоматитов довольно трудно из-за наложения продуктов различных стадий друг на друга. Диффузионно-биметасоматические скарны образованы на контактах интрузивных пород с мраморизованными известняками. В них хорошо выражена метасоматическая зональность: гранатовая, гранат-пироксеновая, пироксен-гранатовая, пироксеновая и магнетитовая руда с сульфидами. В единичных случаях экзоскарновая зона также содержит вкрапленность магнетита.

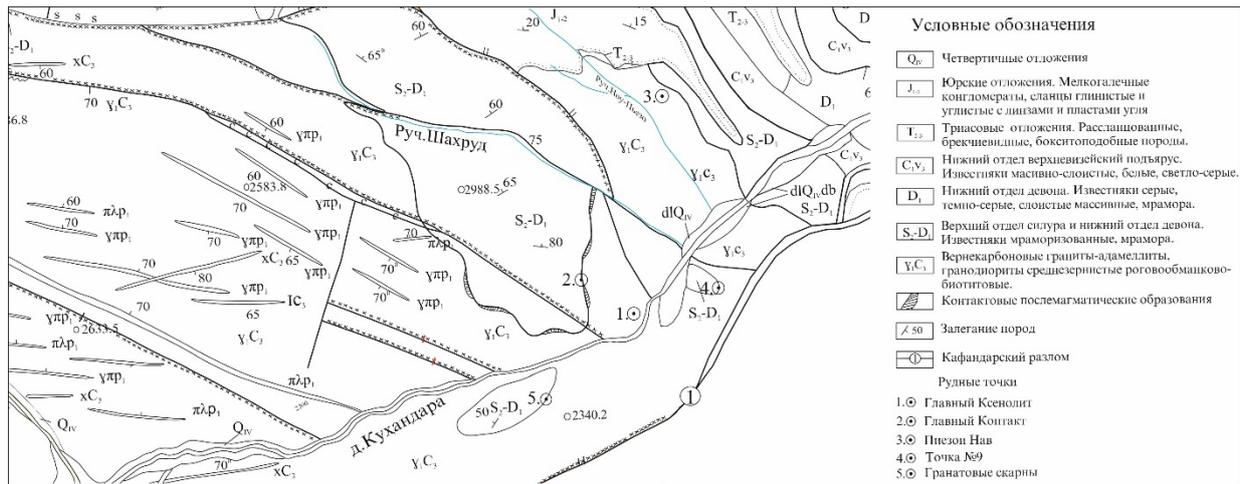


Рисунок 3 – Геологическая схема района – (по Е.А. Космынину 1971) с дополнениями авторов.

Образование диффузионных пироксен-гранатовых скарнов происходило не однократно, а в соответствии с многоразовыми инъекциями магмы и повторным поступлением растворов на фоне длительно развивающейся трещинной тектоники.

Через Главный Ксенолит, пересекая его по азимуту северо-запад 280-300°, проходит целая серия мелких, почти параллельных друг другу, разломов. Более поздние гидротермальные процессы использовали зону поперечных разломов как рудо-подводящий канал, образуя в скарнах тела сплошного магнетита и полиметаллическое оруденение. Последнее часто выходит за пределы скарновых зон и развивается в вышележащих мраморах. Особенно интенсивно полиметаллическое оруденение проявилось вдоль разлома, проходящего через Главный Ксенолит в направлении, согласном с простираем линзы известняков. Рудная залежь здесь представляет собой неправильной формы крутопадающее линзообразное тело, вытянутое в направлении северо-запад 290°, т.е. согласно с простираем разлома и ксенолита известняков. Рудопроявление Главный Ксенолит, представляющее собой ксенолит известняка среди биотит-роговообманковых гранодиоритов, приурочено к ядру кафандарской антиклинальной складки, вытянутой в западном-северо-западном направлении [3].

Из минералов железа, кроме магнетита, встречается гематит. Вероятнее всего, его образование представляет также отдельный этап оруденения, протекающий при более высокой активности кислорода, после образования магнетита. Этот вывод основан на том, что иногда гематитовое оруденение образует собственные рудопроявления за пределами скарновых зон. Это явление необходимо уточнить при дальнейших исследованиях. На участке Главный Ксенолит, как видно из нижеприведенной таблицы, выделяются три стадии формирования оруденения: скарновая, гидротермальная, гипергенная.

Таблица 1 – Стадии рудообразования на участке Главный Ксенолит

№ п/п	Стадия	Наименование минералов	Богатые магнетитовые руды	Скарны с вкрапленностью магнетита	Примечание
1	Скарновая	<u>Рудные</u> Магнетит Мартит Гематит Мушкетовит <u>Нерудные</u> Гранат I Гранат II Пироксен Кварц Карбонат Хлорит Эпидот	80-90 % 20 % 0,5 % 0,5 % 0-30 %	30-45 % 10 % 0,5 % 0,5 % 50-70 %	Гранат гроссуляр- андродитового ряда двух генераций, диопсид-геден- бергит, частично наложенные, продукт изменения гранат- пироксена
2	Гидротер- мальная	<u>Рудные</u> Пирит Халькопирит Сфалерит Галенит <u>Нерудные</u> Хлорит Эпидот Актинолит Кварц Карбонат	от 5-10% в первичных магнетитовых рудах и скарнах и до 70-80% в самостоятельных телах за пределами скарнов 20-80%		В брекчиях и прожилках в первичных рудах
3	Гипергенная	Лимонит Малахит Азурит (Ковелин) (Халькозин) (Борнит)		2-20% 0-0,5% 0-0,5% 0-0,5%	Окисление при выветривании Вторичное сульфидное обогащение

Из анализа данной таблицы можно сделать вывод, что богатые руды железа приурочены к скарнам, то есть они формируются в скарновую стадию, а в гидротермальную стадию собственно железные руды не возникают. В гипергенную стадию образуются вторичные минералы меди и железа, которые для железа не представляют промышленного значения.

Литература

1. Коржинский Д.С. Основы метасоматизма и метамагматизма. Избранные труды. М.: Наука. 1993. 239 с.
2. Никитин И.К. О скарнах Варзобского района и их рудоносности // Изв. Тадж. фил. АН СССР. 1943. № 2. С. 100-105.
3. Ошурмамадов А.К., Давлатшоев Д.А. О скарново-магнетитовых рудах проявления Кафандар (Южный Гиссар) // Материалы науч.-теорет. конф. профессорского-преподавательского состава и сотрудников ТНУ, посвященной «700-летию Мир Сайида Али Хамадони», «Году семьи» и международному десятилетию действия «Вода для жизни» 2005-2015 гг. Душанбе. 2015 С. 93.

ПРОБЛЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ГОРНЫХ УСЛОВИЯХ

PROBLEMS OF MAGNETOTELLURIC FIELD REGISTRATION IN THE MOUNTAIN AREA

Дзалба А.Л., Нелин В.О.

galelei@list.ru, nelin_vitaliy@mail.ru

Научная станция Российской академии наук, г. Бишкек, Кыргызстан

***Аннотация.** В настоящей работе выполнен анализ помех, оценено их влияние на регистрацию магнитотеллурического поля в горных условиях, а также рассмотрены методики обработки магнитотеллурических данных, позволяющие устранить часть помех.*

***Ключевые слова:** магнитотеллурический метод, методика обработки данных, помехи искусственного и естественного происхождения.*

Метод магнитотеллурического зондирования (МТЗ) основан на изучении естественного переменного электромагнитного поля Земли – магнитотеллурического поля (МТ-поля). Особенностью МТЗ по отношению к другим методам индукционного зондирования (частотного зондирования и метод зондирования становлением поля) является использование поля естественных источников (магнитотеллурических) полей космического происхождения [1, 2]. Происхождение магнитотеллурического поля связывают с воздействием на ионосферу Земли потока заряженных частиц (солнечный ветер), излучаемых Солнцем. Токовые вихри, возникающие в ионосфере, служат источниками электромагнитного поля, которое накладывается на постоянное магнитное поле Земли [3].

При изучении магнитотеллурического поля на площадях, линейные размеры которых очень малы по сравнению с расстоянием до вихревых токов в ионосфере, электромагнитную волну, падающая на земную поверхность, можно считать плоской. Преломившись на границе земля-воздух, волна уходит под прямым углом к земной поверхности. Вариации магнитотеллурического поля с периодами до 1000-2000 секунд проникают десятки и даже сотни километров в глубину (что дает возможность получение информации о распределении электропроводности в глубину). Поэтому метод магнитотеллурического зондирования является самым глубинным из геофизических методов. Наряду с тем, что МТЗ дает возможность изучать глубинное геологическое строение земной коры, при использовании этого метода возникает ряд преимуществ и недостатков. Рассмотрим их.

Преимущества метода МТЗ: мобильность, портативность, экологичность, отсутствие громоздкого генератора для возбуждения поля, возможность изучения глубинного строения, определение разломов и водоносных горизонтов.

Недостатки метода МТЗ: не всегда на рабочих записях МТ-поля присутствуют визуально качественные записи вариаций на различных частотах [4].

Вариации МТ-поля могут одновременно наблюдаться в точках, расположенных на расстояниях до нескольких тысяч километров друг от друга. При этом колебания магнитного поля главным образом связаны с характером тока в источнике и медленно меняются от точки к точке. Колебания электрического поля зависят как от тока в источнике, так и в значительной степени от геоэлектрического разреза. Это свойство магнитного поля используется в методике обработки *remote reference*, которая позволяет получать более качественные МТ-данные в условиях некоррелируемых промышленных помех.

При детектировании сигналов, несущих целевую для данного вида измерений информацию, в сумме с основным сигналом одновременно регистрируются и мешающие сигналы - шумы и помехи самой различной природы. Цель обработки данных состоит в получении из регистрируемых сигналов информации о структуре проводимости подстилающей среды в виде набора гладких функций, отражающих электрические свойства Земли [5].

Практически процесс обработки можно разделить на четыре этапа. Кратко рассмотрим каждый из них.

Первый этап обработки заключается в просмотре и отбраковке самих записей МТ-поля как во время регистрации, так и после нее. Если запись удовлетворительного качества (рисунок 1), то переходим к следующему этапу обработки. При плохом качестве записи в процессе обработки удаляются участки с выходом из динамического диапазона (“зашкал”) (рисунок 2), с наличием сильных импульсных и других помех (рисунок 3). Работы на этом этапе проводятся как в интерактивном, так и в автоматическом режимах.

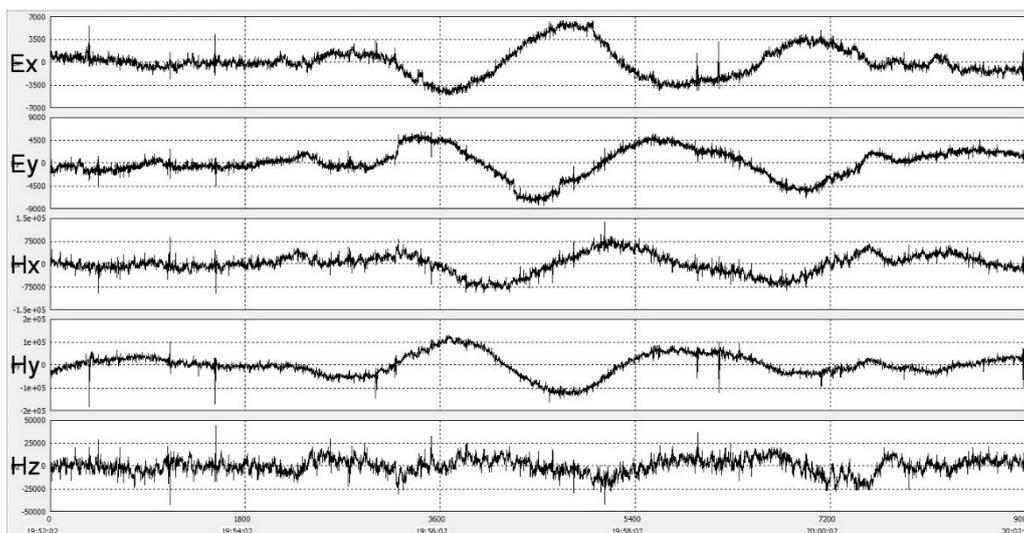


Рисунок 1 – Результат регистрации магнитотеллурического поля (2 электрические компоненты: E_x и E_y ; 3 магнитные компоненты: H_x , H_y , H_z). По оси абсцисс – временная шкала, по оси ординат – единицы АЦП.

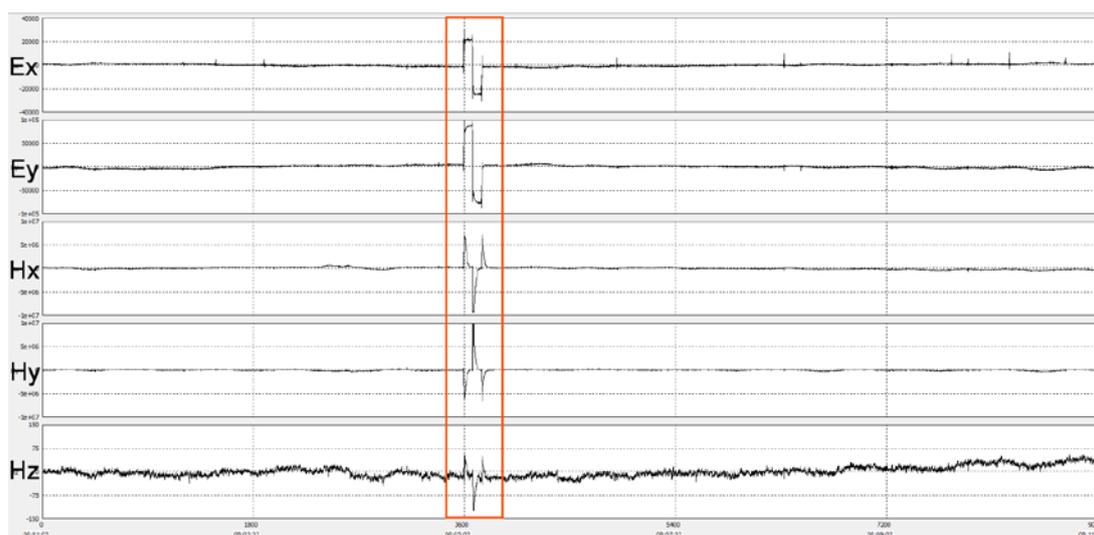


Рисунок 2 – Пример выхода из динамического диапазона (по всем каналам регистрации МТ-поля).

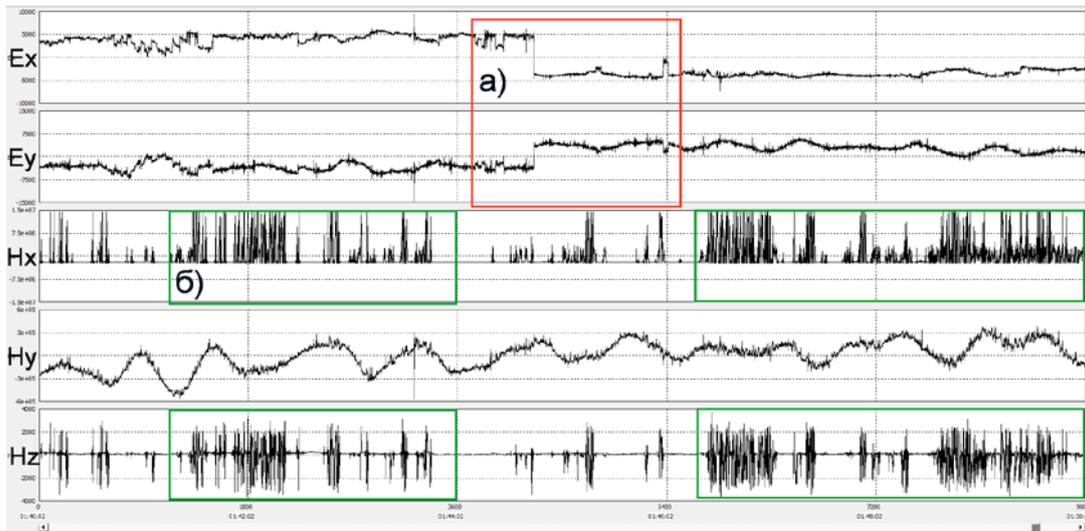


Рисунок 3 – Пример импульсной помехи:

а) помеха по электрическим каналам, б) помеха по магнитным каналам.

На втором этапе производится узкополосная фильтрация записей компонент МТ-поля. При этом из широкополосного сигнала выделяются составляющие, отвечающие определенному набору частот. Максимальная частота обычно задается на порядок меньшей, чем частота дискретизации (чтобы на период приходилось от 10 отсчетов и больше). Также при выборе набора частот учитывается ширина области, в которой значения частотной характеристики велики (поскольку вне этой области сигнал сильно ослабляется). В результате этого этапа получается файл с мгновенными значениями четырех компонент тензора импеданса для каждой частоты выбранной сетки. Для каждого участка записи решается переопределенная система уравнений и находятся четыре компоненты тензора импеданса [6] (рисунок 4).

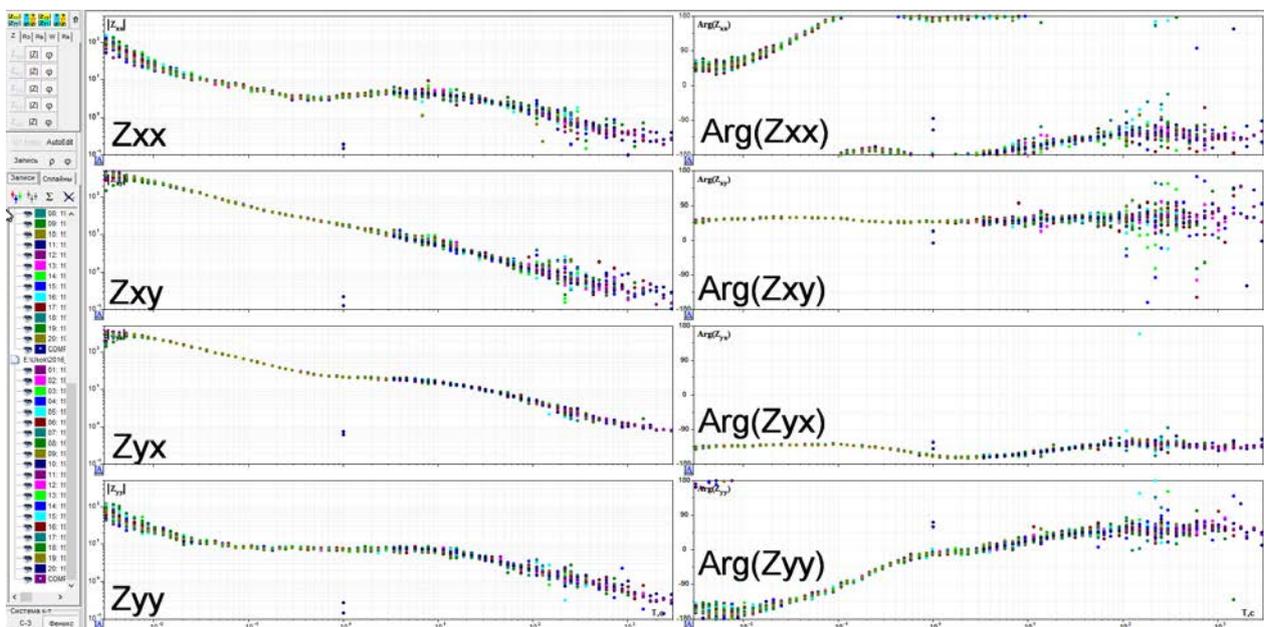


Рисунок 4 – Абсолютные значения комплексных компонент тензора импеданса и их фазы (20 отсчетов на период). Z_{xy} и Z_{yx} – основные компоненты, Z_{xx} и Z_{yy} – дополнительные компоненты.

Третий этап (работа в программе CORRECTOR) заключается в получении гладких кривых МТЗ. Произвольной частоте отвечает несколько (20 точек по умолчанию) оценок компоненты тензора импеданса (каждая оценка отвечает одному участку записи). Сначала

проводится отбраковка значений, вызванных различного рода помехами. Иногда эти значения представляют собой лишь случайные «отскоки», однако при наличии постоянной мощной помехи (например, от электрифицированной железной дороги) могут возникать систематически смещенные оценки компонент. Удалив искаженные значения, проводят сглаживающую сплайн-аппроксимацию рассматриваемой частотной зависимости. При этом параметр сглаживания подбирается так, чтобы с одной стороны удовлетворить условию максимальной гладкости кривой, а с другой – условию минимальной невязки сплайна и средних значений компоненты на каждом периоде (рисунок 5).

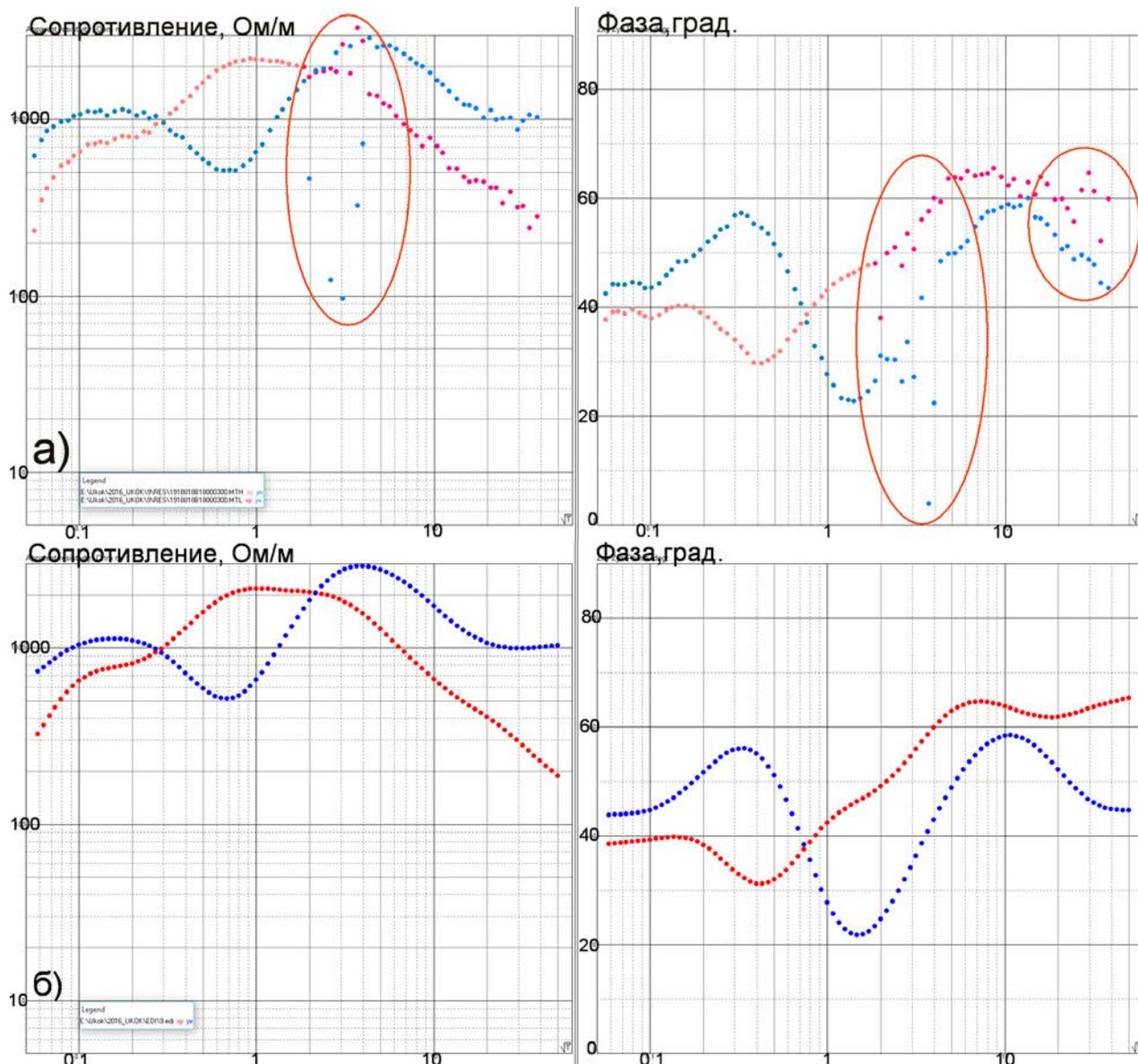


Рисунок 5 – Графики кривых МТЗ по двум направлениям: синяя – продольная; красная – поперечная. Слева – кривые кажущегося сопротивления, справа – фазы импеданса.

Первичная (а), углубленная (б) обработка МТ данных.

Красным эллипсом выделены проблемные участки материала.

Основным признаком отсутствия искажений для горизонтально-слоистой среды является то, что модули основных компонент тензора импеданса близки по величине и существенно превышают модули дополнительных компонент. Кроме того, кривые модулей основных импедансов должны быть невозрастающими функциями (в противном случае

имеет место искажение, связанное либо с горизонтальной неоднородностью разреза, либо с влиянием промышленных помех) [7].

Источники шумов бывают искусственного и естественного происхождения. Естественными источниками помех являются молнии (рисунок 6), флуктуации магнитных полей, всплески солнечной энергии и т.д.

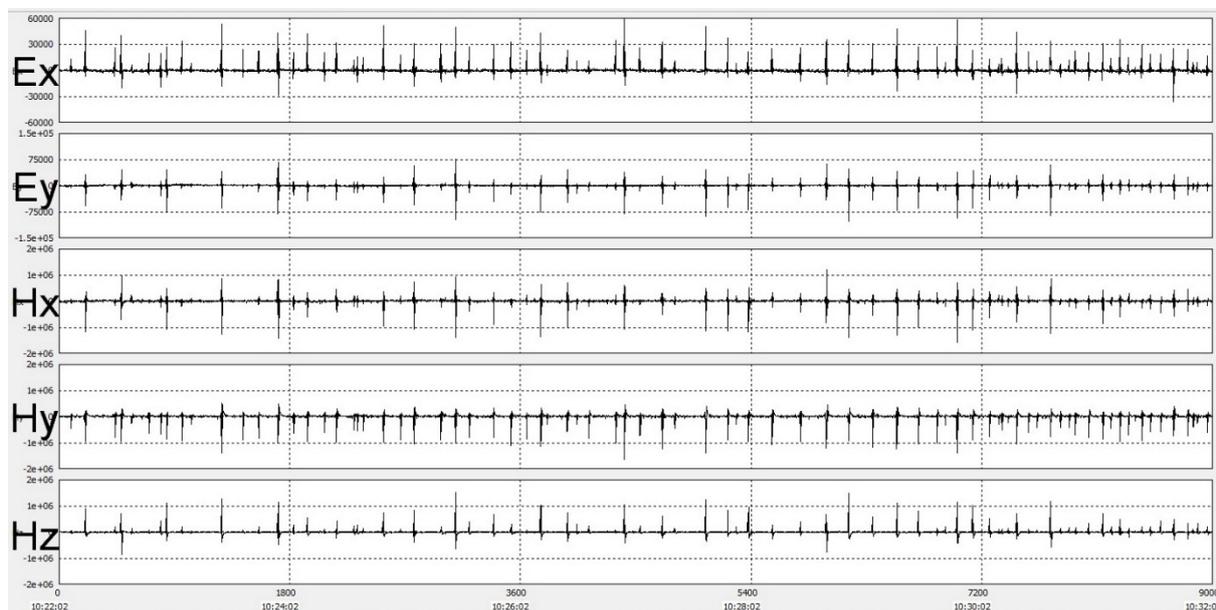


Рисунок 6 – Пример воздействия грозовой помехи на запись МТ-поля.

К искусственным источникам помех относятся промышленные помехи – двигатели (рисунок 7), переключатели, генераторы сигналов различной формы (рисунки 8 и 9).

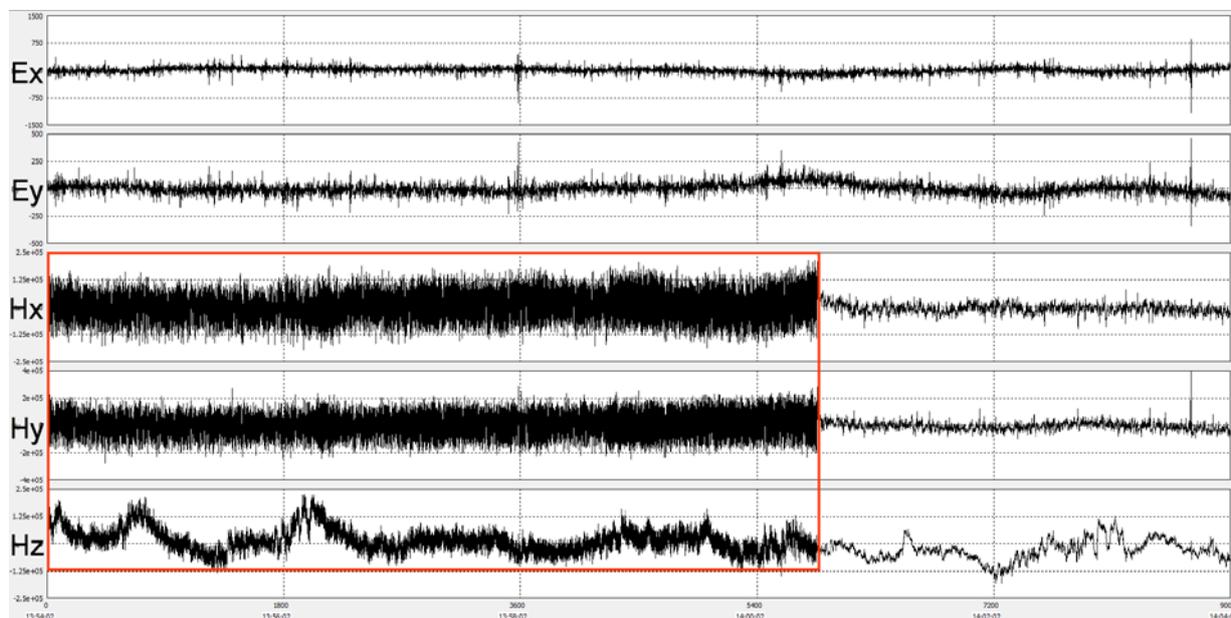


Рисунок 7 – Красным окном выделено влияние работы двигателя внутреннего сгорания на регистрируемое МТ-поле (преимущественно на магнитные каналы).

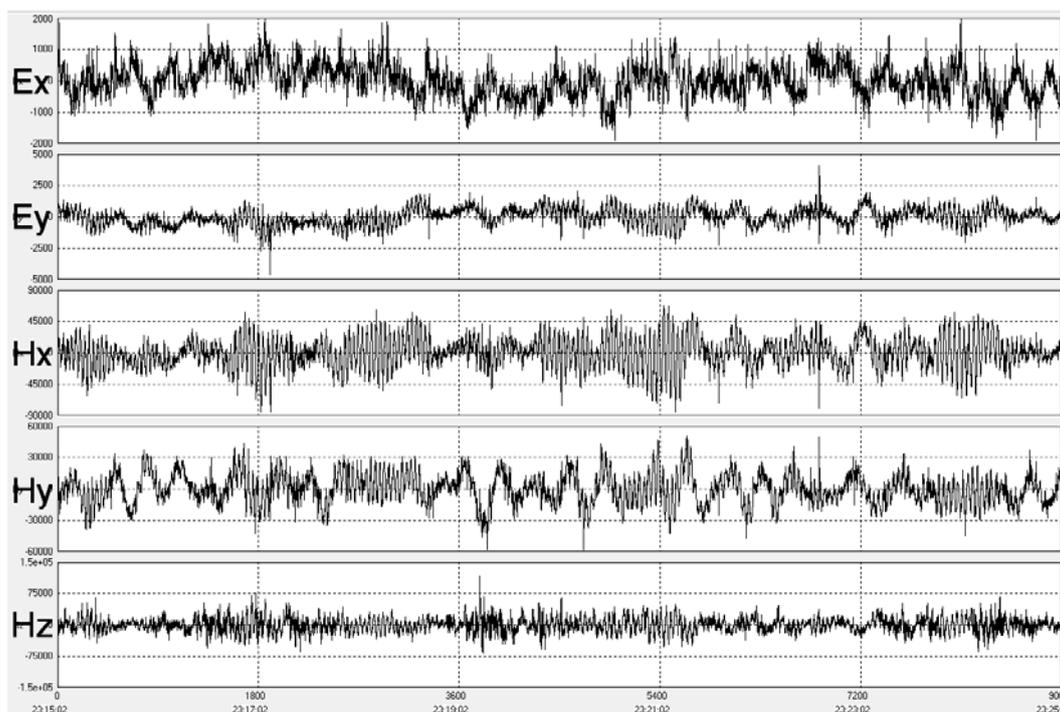


Рисунок 8 – Пример влияния средства дальней связи (телеметрической) на регистрируемое МТ-поле.

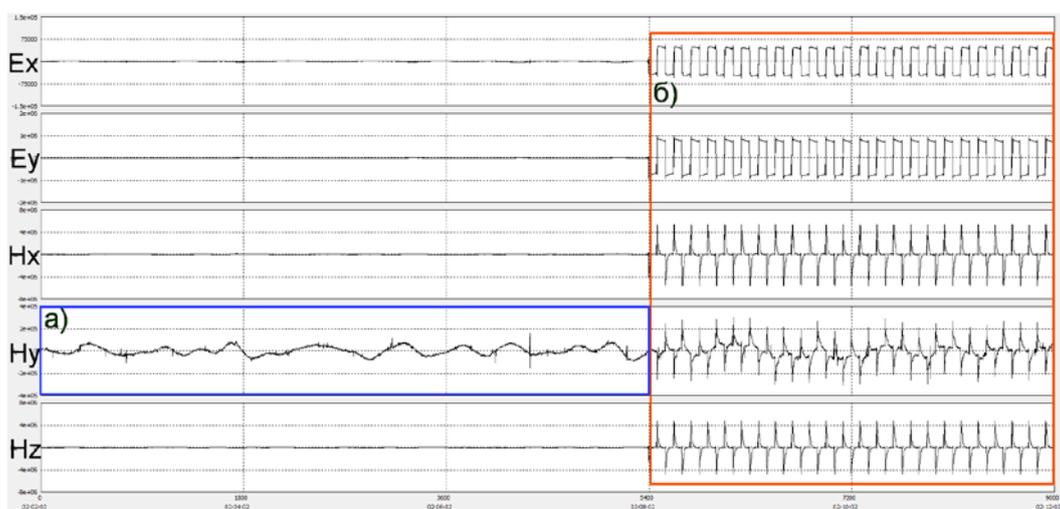


Рисунок 9 – а) Регистрируемое МТ-поле; б) помеха от работы электроразведочной геофизической установки (ЭРГУ) Научной станции РАН.

Также с ростом индустриализации страны, возросло количество новых поселений и домашнего скота (рисунок 10), что пагубно влияет на возможность и качество регистрации МТ-поля.

Электрические и магнитные поля различных источников помех вследствие наличия индуктивных, емкостных и резистивных связей создают на различных участках и цепях сигнальных систем паразитные разности потенциалов и токов, накладывающийся на полезные сигналы.

На *четвертом этапе* (итоговом) выполняется геолого-геофизическое истолкование результатов интерпретации с учетом сведений об электрических свойствах пород, имеющейся геологической информации и данных других геофизических методов. Эта работа часто ведется совместно с геологами и другими специалистами: строятся модели, публикуются статьи и т.д.

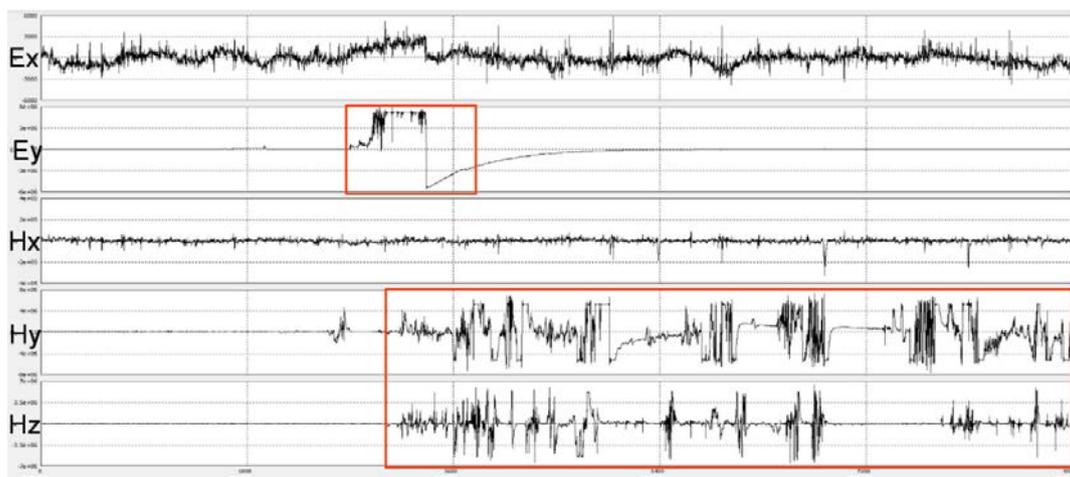


Рисунок 10 – Пример влияния наличия движения домашнего скота вблизи измерительной установки станции МТЗ.

Таким образом, проанализировав характер помех, их влияние на качество материала и прочие неблагоприятные условия для метода магнитотеллурического зондирования, были сделаны следующие выводы: проводить зондирование необходимо при благоприятных погодных условиях, вдали от населенных пунктов и автодорог, на отдалении от линий электропередач и электроподстанций. При невозможности выполнения указанных рекомендаций необходимо использовать специальные методики регистрации и обработки полученных МТ - данных.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 16-17-10059) в ФГБУН Научной станции РАН в г. Бишкеке.

Литература

1. Хмелевской В.К. Электроразведка. М.: МГУ. 1984. 422 с.
2. Жданов М.С. Электроразведка. М.: Недра. 1986. 316 с.
3. Захарова В.П., Старостина Н.П. Геофизические методы поисков и разведки. Л.: Недра. 1982. 302 с.
4. Заборовский А.И. Электроразведка. М.: Гостоптехиздат. 1963. 413 с.
5. Ваньян Л.Л. Электромагнитные зондирования. М.: Научный мир. 1997. 208 с.
6. Анализ и интерпретация магнитотеллурических данных / Бердичевский М.Н. и др. М.: Диалог-МГУ. 1997. 161 с.
7. Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И. Магнитотеллурическое зондирование горизонтально-однородных сред. М.: Недра. 1992. 250 с.

УДК 519.246.8:550.344

МЕТОДИКА МУЛЬТИФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА СИГНАЛА НА ПРИМЕРЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО ШУМА

METHOD OF MULTIFRACTAL ANALYSIS OF SIGNAL ON AN EXAMPLE OF SEISMIC NOISE

Долгополов Б.К., Сычев В.Н., Имашев С.А.

shrabid@gmail.com, sychev@gdirc.ru, sanzhar.imashev@gmail.com

Кыргызско – Российский Славянский университет, г Бишкек, Кыргызстан,
 Научная станция Российской академии наук, г. Бишкек, Кыргызстан

Аннотация. *Описан метод мультифрактального анализа сигнала – DFA (Detrended Fluctuation Analysis – анализ флуктуаций после исключения масштабно-зависимых трендов). Предложено усовершенствование методики удаления тренда (детрендинга) на основе дискретного вейвлет-преобразования, доработан алгоритм оценки границ спектра сингулярности. На примере сейсмического шума проведен анализ динамики мультифрактальных характеристик сигнала.*

Ключевые слова: *мультифрактальный анализ, фрактальная размерность, параметр Хёрста, вейвлет-анализ, детрендинг, временные ряды, спектр сингулярности.*

Введение. В геофизике всё чаще применяются методы, связанные с нетрадиционными математическими объектами: фрактальными множествами и детерминированным хаосом; геометрическими вероятностями и стереологическими структурами; недифференцируемыми и сингулярными функциями [1, 2]. Необходимость обращения к этим объектам определяется особенностями временных рядов, с которыми имеет дело геофизика, в частности – с их малоинформативностью с точки зрения многих традиционных методов исследования сигналов. Примером метода, позволяющего оценить невидимые для традиционных методов параметры сигнала, является мультифрактальный анализ: исследуемые с его помощью сигналы для традиционного анализа сигналов могут выглядеть белым шумом или броуновским движением [3, 4].

Одна из первых работ по анализу фрактальных свойств сигналов – работа Гарольда Эдвина Хёрста [5], посвящённая исследованию режима расхода воды в реке Нил. Суть метода заключается в оценке величины H , называемой показателем Хёрста, из соотношения $R(\tau)/\sigma(\tau) \sim \tau^H$, где τ – длина временного интервала, σ – стандартное отклонение, R – размах (разность между максимальным и минимальным значениями наблюдаемой величины) [6–8].

Дальнейшее обобщение метода заключается в предположении о зависимости H от времени, то есть в рассмотрении случайного процесса, для которого $M\{|x(t + \delta t) - x(t)|^2\} \sim |\delta t|^{2H(t)}$, $0 < H < 1$. Это обобщение носит название мультифрактального броуновского движения и характеризуется уже не одной величиной H , а спектром сингулярности – плотностью вероятности распределения $H(t)$. Спектр сингулярности представляет собой информативную статистику, характеризующую режим хаотических флуктуаций случайной величины [4].

В настоящее время применяются два метода мультифрактального анализа: метод максимумов модулей непрерывных вейвлет-преобразований [3, 4] (ММВП) и метод DFA (Detrended Fluctuation Analysis – анализ флуктуаций после исключения масштабно-зависимых трендов) [4, 9, 10]. К преимуществам метода DFA относят устойчивость для сигналов, не содержащих плато постоянных значений [3], относительную простоту реализации [4], а также меньшее количество параметров обработки – величин, задание которых определяется типом исследуемого сигнала и личным опытом исследователя.

При мультифрактальном анализе рассчитываются и исследуются следующие характеристики спектра сингулярности временного ряда: положение границ спектра – $\alpha_{min}, \alpha_{max}$, ширина спектра – $\Delta\alpha = \alpha_{max} - \alpha_{min}$, значение α^* , соответствующее максимуму $F(\alpha)$, и величина $F(\alpha^*)$. Величину α^* называют также обобщённым показателем Хёрста. Для монофрактального процесса получаем $F(H) = 1$ и $F(\alpha) = 0$, если $\alpha \neq H$, и соответственно $\alpha^* = H$ и $\Delta\alpha = 0$.

При расчёте спектра сингулярности иногда переходят от измеряемой величины к её конечным приращениям (например, когда сигнал подобен блужданию броуновской частицы, а не шуму [4, 8]) или накопленной сумме величины. Однако для исследуемого сигнала такого перехода не потребовалось, поэтому ограничимся лишь его упоминанием.

Оценка мультифрактальных характеристик сейсмического шума. В качестве исходных данных использовались результаты мониторинга сейсмического шума и

сейсмоакустической эмиссии. Информация поступает в одну из лабораторий Научной Станции РАН в г. Бишкеке из измерительного пункта – подземного бункера, где размещены приемники сигналов сейсмоакустической эмиссии и сейсмического шума: сейсмостанция, которая включает в себя сейсмологический датчик STS-2 (Streckeisen), цифровую станцию REFTEK 130 DAS [9] и сейсмоприёмник A1632.

Методы исследования сейсмического шума [10, 11] и сейсмоакустической эмиссии [12, 13] уже подтвердили свою эффективность для исследования триггерных эффектов, в том числе обусловленных электромагнитными зондированиями с применением мощных источников.

Для пояснения методики возьмем сейсмический сигнал (03.01.2016, 00:38-00:39 по местному времени, компонента Z, частота 200 Гц) (рис. 1а).

Тренд сигнала рассчитывался с помощью нелинейной пороговой фильтрации на основе дискретного вейвлет-преобразования. Был использован вейвлет Добеши шестого порядка [14], универсальный порог Донохо-Джонстона [15, 16] с «мягким» вычитанием значения порога (трешолдингом). Полученный тренд вычитался из исходного сигнала для получения шумовой составляющей (рис. 1б), для которой и рассчитывались мультифрактальные характеристики.

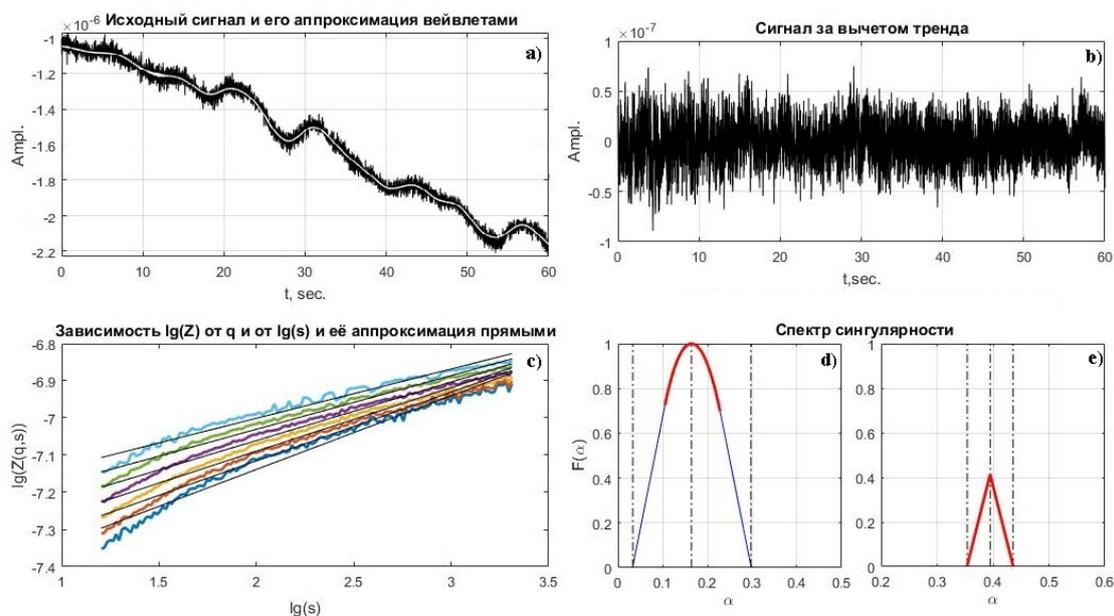


Рисунок 1 – Этапы вычисления характеристик спектра сингулярности сейсмического шума и вид спектра сингулярности при разных методах оценки границ спектра сингулярности и детрендинга.

Зависимости $\lg(Z)$ от $\lg(s)$ при различных q и их аппроксимации прямыми представлены на рис. 1с (q равномерно снижается от 10 (верхняя линия) до -10 (нижняя линия)). По наклону прямых рассчитываются значения $F(\alpha)$ (спектр сингулярности, рис. 1д) в диапазоне $\alpha \in [A'_{min}, A'_{max}]$. Вертикальными линиями на рисунке d обозначены (слева направо): α_{min} , α^* , α_{max} .

Для повышения точности и ускорения расчетов была усовершенствована методика удаления тренда и алгоритм оценки границ спектра сингулярности.

Детрендинг сигнала. При проведении расчетов было решено отказаться от исходного метода удаления тренда с помощью полиномиальной аппроксимации [3]. Вместо него было решено использовать детрендинг вейвлетами, который выделяет тренд качественнее и быстрее (как минимум – в рамках использования метода ДФА). Однако стоит учитывать, что слишком детальный детрендинг вейвлетами может привести к тому, что в шуме практически

не останется полезной информации для анализа, а недостаточно детальный – к некачественному удалению тренда и его влиянию на спектр сингулярности.

На рис. 1d и рис. 1e приведены спектры сингулярности сигнала, полученные после детрендинга вейвлетами и детрендинга полиномами шестого порядка соответственно. По величине $F(\alpha^*)$ и форме спектра на рис. 1e (выродившегося в ломаную) можно предположить, что сигнал, обладающий таким спектром, не подходит для мультифрактального анализа, а полинома шестого порядка недостаточно для качественной обработки сигнала указанной длины на всех масштабах. Отметим, что сигнал без детрендинга имеет спектр близкий по форме к изображённому на рис. 1e.

Оценка границ спектра сингулярности. Дополнительно был доработан алгоритм оценки границ спектра сингулярности с помощью величин:

$$A_{min} = \min_{q \in [-Q, +Q]} \frac{d\tau(q)}{dq}, A_{max} = \max_{q \in [-Q, +Q]} \frac{d\tau(q)}{dq},$$

После такой оценки рассчитываются $F(\alpha)$ для $\alpha \in [A_{min}, A_{max}]$ с последующим отбрасыванием α , для которых $F(\alpha) < 0$ (не имеющих физического смысла). Такая оценка иногда неточна, так как величинам A_{min} и A_{max} могут соответствовать значения $F(\alpha) > 0$ и часть спектра оказывается за пределами оценочного диапазона (рис. 1d), а величины $\alpha_{max}, \alpha_{min}$ не соответствуют своим «геометрическим» положениям на спектре сингулярности. Для исправления таких неточностей края оценочного диапазона смещаются от его центра на величину, равную его ширине (пока не достигнуты значения $F(A'_{max}) \leq 0, F(A'_{min}) \leq 0$):

$$A'_{min} = A_{min} - (A_{max} - A_{min}), A'_{max} = A_{max} + (A_{max} - A_{min}).$$

На рис. 1d жирная линия – оценка спектра с помощью A_{min}, A_{max} , тонкая линия соответствует значениям спектра между A'_{min} и A'_{max} , не учтённым первичной оценкой. Для рассматриваемого сигнала неточность оценки ширины спектра более чем в два раза превысила ширину спектра. Стоит отметить, что, так как динамика исследуемых величин зачастую информативнее самих величин, такая погрешность допустима, однако есть смысл использовать более эффективный из двух одинаково быстрых методов.

Временные вариации фрактальных характеристик. Сам по себе расчёт спектра сингулярности даёт исследователю сравнительно мало информации об исследуемом временном ряде. Больше информации можно получить при изучении динамики его спектра сингулярности с помощью скользящего окна, а при наличии нескольких сигналов за один и тот же промежуток времени интерес представляют корреляции их мультифрактальных характеристик.

Изменение спектра сингулярности может свидетельствовать об изменении характера исследуемых процессов, которое может быть невидимо как для традиционных методов, так и для фрактального анализа, основанного на расчёте только показателя Хёрста. Поэтому далее явления будут рассматриваться именно с точки зрения динамики мультифрактальных характеристик сигнала.

Динамика мультифрактальных характеристик сейсмического шума. Чтобы обнаружить связь между поведением сигнала и его мультифрактальными характеристиками, рассмотрим сейсмический шум в относительно спокойный день 14.02.2016 (воскресенье – выходной день, отсутствие техногенных воздействий), в интервале с 7:00 до 15:00 (01:00 – 09:00 по UTC).

Графики сигнала, шума и их мультифрактальных характеристик в зависимости от времени приведены на рис.2 (длина окна – 3000 значений, шаг окна равен его длине).

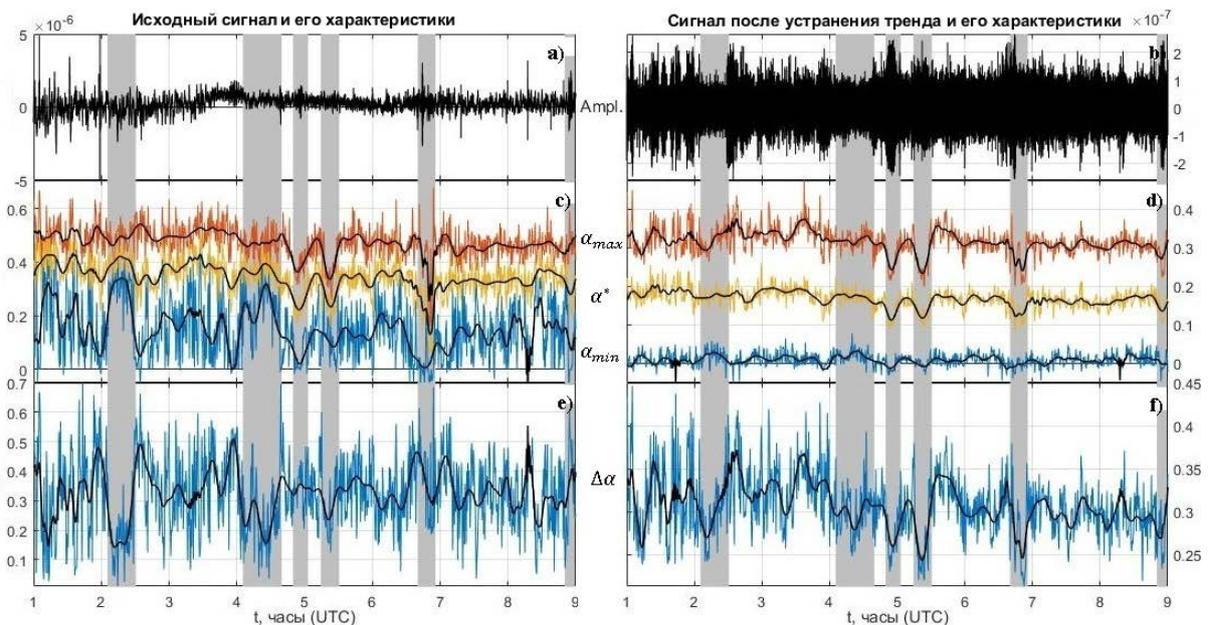


Рисунок 2 – Динамика спектра сингулярности. Исходный сигнал (а) и результат устранения из него тренда (b), мультифрактальные характеристики сигнала (с, е) и шума (d, f).

По графику сигнала видно, что за время наблюдения произошло одно сравнительно значимое сейсмическое событие и несколько событий меньшей амплитуды. Большая часть из них заметна и на графиках сигнала и шума, и на графиках изменения мультифрактальных характеристик.

Левая часть рисунка 2, характеризующая мультифрактальные свойства сигнала без детрендинга, оставлена, чтобы показать, что даже такой сигнал, может быть информативен при изучении динамики его спектра сингулярности. Величины, характеризующие шум, оказались ниже, чем оные для исходного сигнала, вместе с этим снизился и их «разброс» (отклонение от средних значений на участках). Надо отметить, что, хотя графики на рис. 2с, е и рис. 2d, f отличаются, участки с выраженными изменениями спектра сингулярности для них совпадают. Стоит отметить, что теоретически $0 \leq \alpha \leq 1$, а значения $\alpha < 0$, которые можно видеть на рис.2с, d являются результатом погрешности в расчётах, то же касается возможных $\alpha > 1$ и $F(\alpha) > 1$.

Из графиков видно, что существует несколько типов поведения спектра сингулярности во времени:

- Спектр сингулярности сужается при сейсмических событиях, что хорошо видно по графику его ширины в 2:07, 4:58, 5:25 и 6:55.
- На интервалах 1:15–1:24 и 2:00–2:30 видно расширение спектра сингулярности при неизменной интенсивности шума (и неизменном СКО сигнала). Это значимо, во-первых, потому что показывает, что мультифрактальные характеристики исследуемого сигнала зависят не только от амплитуды колебаний самого сигнала или его шума (что очевидно и из описания метода); во-вторых, потому что оба приведённых временных интервала предшествуют сейсмическим событиям, а прекращает расти спектр сингулярности лишь во время повышения амплитуды колебаний измеряемой величины (иными словами – во время сейсмического события), после события несколько снижаясь.
- На рассмотренных масштабах «средние» характеристики спектра сингулярности неизменны (аппроксимирующие динамику этих характеристик прямые будут с высокой точностью параллельны оси времени), это значит, что на этих масштабах нет какого-либо заметного для мультифрактального анализа «медленного» изменения структуры среды, все изменения, обнаруженные им, не превышают по времени часа. Можно предположить, что такое изменение обнаружится при увеличении масштаба.

Выводы. Метод анализа флуктуаций после исключения масштабно-зависимых трендов может быть использован для изучения низкоэнергетических сейсмических сигналов перед, во время и после наступления сейсмических событий. Предложенное усовершенствование методики удаления тренда на основе дискретного вейвлет-преобразования дает лучшие результаты по сравнению с традиционным полиномиальным детрендингом, а усовершенствованный алгоритм увеличивает точность оценки границ спектра сингулярности. На примере сейсмического сигнала проведен детрендинг и анализ динамики его мультифрактальных характеристик. На основе приведенных соображений создана программа с графическим интерфейсом для автоматизации и упрощения расчёта мультифрактальных характеристик исследуемого сигнала и их динамики.

Стоит отметить, что исследование не является полным и не раскрывает в полной мере возможностей мультифрактального анализа, так как основано на наблюдении, а не на спланированном эксперименте. Для поиска более тонких закономерностей следует или знать, где искать (зная, каким воздействиям подвергалась среда в указанное время), или использовать несколько сигналов для оценки их общих вариаций.

Литература

1. Булат А.Ф., Дырда В.И. Фракталы в геомеханике. Киев: Наукова Думка. 2005. 358 с.
2. Turcotte D.L. Fractals and chaos in geology and geophysics. New York: Cambridge University Press. 1997. 398 p.
3. Любушин А.А. Анализ данных систем геофизического и экологического мониторинга. Москва: Наука. 2007. 227 с.
4. Seuront L. Fractals and multifractals in ecology and aquatic science. London: Taylor & Francis. 2010. 360 p.
5. Hurst H.E., Black R.P., Simaika Y.M. Long-term storage: An experimental study. London: Constable. 1965. 145 p.
6. Feder J. Fractals. New York: Springer. 1988. 284 p.
7. Weron R. Estimating long-range dependence: Finite sample properties and confidence intervals. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. 2002. Т. 312. № 1-2. P. 285–299.
8. Чен Б.Б., Имашев С.А. Оценка параметра Херста по наклону энергетического спектра на основе вейвлет-преобразования // Вестник КРСУ. 2007. Т. 7. № 8. С. 65–75.
9. Сычева Н.А. Киргизская сейсмологическая сеть KNET // Вестник КРСУ. 2016. Т. 16. № 5. С. 175–183.
10. Сычева Н.А., Богомолов Л.М., Сычев В.Н. О геоэффективных солнечных вспышках и вариациях уровня сейсмического шума // Физика Земли. 2011. № 3. С. 55–71.
11. Березина А.В., Мозолева Е.Л., Першина Е.В., Никитенко Т.В., Рагульская А.К. Динамические параметры сейсмического шума по данным сети KNET // Наука, новые технологии и инновации. 2012. № 2. С. 60–62.
12. Закупин А.С., Богомолов Л.М., Мубассарова В.А., Ильичев П.В. Сейсмоакустические проявления воздействий мощных импульсов тока по данным скважинных измерений на Бишкекском геодинимическом полигоне // Физика Земли. 2014. № 5. С. 105–120.
13. Гаврилов В.А., Богомолов Л.М., Закупин А.С. Сравнение результатов скважинных геоакустических измерений с данными лабораторных и натуральных экспериментов по электромагнитному воздействию на горные породы // Физика Земли. 2011. № 11. С. 63–74.
14. Mallat S.G. A wavelet tour of signal processing: The sparse way. Boston: Elsevier. Academic Press. 2009. 805 p.
15. Donoho D.L, Johnstone J.M. Ideal spatial adaptation by wavelet shrinkage // Biometrika. 1994. Vol. 81. № 3. P. 425–455.
16. Donoho D.L. De-noising by soft-thresholding // IEEE Trans. Inform. Theory. 1995. Vol. 41. № 3. P. 613–627.

СЕТЬ СТАНЦИЙ ИНФРАЗВУКОВОГО МОНИТОРИНГА КАЗАХСТАНА

INFRASOUND MONITORING STATIONS NETWORK OF KAZAKHSTAN

Дубровин В. И.

vitaliy@kndc.kz

Центр сбора и обработки специальной сейсмической информации Института геофизических исследований МЭ РК, г. Алматы, Казахстан

***Аннотация.** Институт геофизических исследований (ИГИ) ведет непрерывный инфразвуковой мониторинг. Производится сбор данных с трех инфразвуковых станций - Актюбинск IS31 (станция международной системы мониторинга), Курчатов и Маканчи. В данной работе описана деятельность Казахстанского национального центра данных (КНЦД) в структуре Международной системы мониторинга (МСМ).*

***Ключевые слова:** инфразвуковые станции, инфразвуковой мониторинг, Международная система мониторинга, бюллетени инфразвуковых детектирований.*

Введение. Международная система мониторинга включает в себя сейсмические, инфразвуковые, радионуклидные и гидроакустические станции, расположенные на территории 90 стран мира. Цель ее создания - контроль выполнения ДВЗЯИ. Согласно Протоколу к Договору о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ) Международная система мониторинга (МСМ) включает размещение по всей территории земного шара 60 инфразвуковых станций [1].

В инфразвуковой группе в качестве датчиков для регистрации инфразвуковых колебаний используют микробарографы, которые позволяют обнаруживать низкочастотные колебания давления воздуха в атмосфере, вызванные естественными и антропогенными явлениями. Наблюдения ведутся обычно в диапазоне частот от долей Герца до десятков Герц. Международный центр данных в Вене (МЦД) использует эти инфразвуковые данные для локализации и идентификации техногенных явлений, таких, как взрывы, в первую очередь связанные с ядерными испытаниями, запуски ракет и сверхзвуковых самолетов, попадающий в плотные слои атмосферы и сгорающий в ней космический мусор. А также природных явлений, таких как падение метеоритов, извержения вулканов, метеорологические события [2].

История создания в рамках ИГИ. В соответствии с ДВЗЯИ в Казахстане должно было быть создано 5 объектов сети международной системы мониторинга. Одной из станций системы мониторинга является инфразвуковая группа IS31 «Актюбинск». Она расположена на северо-западе Казахстана вблизи г. Актобе (рис. 1). Сооружение станции было завершено в 2001 г. Первые данные были зарегистрированы в октябре 2001 г. В плане инфразвуковая группа IS31 «Актюбинск» представляет собой треугольник, образованный низкочастотными элементами L2 – L4, со стороной 2 км и с центральной точкой, окруженной дополнительной высокочастотной группой элементов, выполненной в виде квадрата со стороной около 200 м (рис. 1). Оснащена группа микробарометрами MB2000.

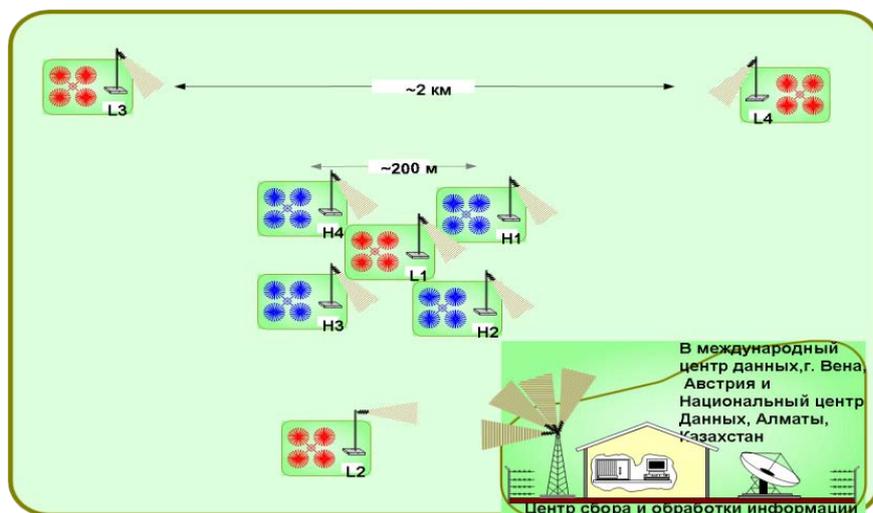


Рисунок 1 – Конфигурация инфразвуковой группы IS31 Актыбинск.

В декабре 2010 года была начата эксплуатация новой инфразвуковой группы в г. Курчатов (KURIS) на северо-востоке Казахстана (рис.2). Группа состоит из четырех элементов (рис.3), три из которых находятся в вершинах равностороннего треугольника, четвертый – в центре этого треугольника. Апертура группы – 1 км.

Инфразвуковая группа «Курчатов» построена с целью восстановления комплексной наблюдательной системы Курчатов-Крест в г. Курчатове как наиболее эффективной для Международной системы мониторинга (МСМ), создаваемой Организацией по Договору о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ОДВЗЯИ), и для Восточного Казахстана. С мая 2011 на постоянной основе составляются бюллетени инфразвуковых детектирований сигналов по всем поступающим от этой станции данным. Наличие инфразвуковых бюллетеней детектирований по двум пунктам регистрации создает условия для локализации источников инфразвука, детектируемых казахстанскими группами IS31 и Курчатов.

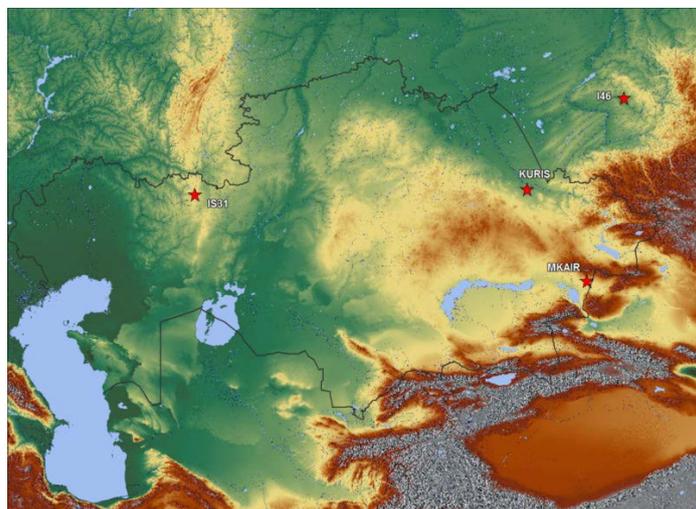


Рисунок 2 – Расположения инфразвуковых станций IS31 – Актыбинск, Курчатов, Маканчи и российской станции IS46-Залесово.

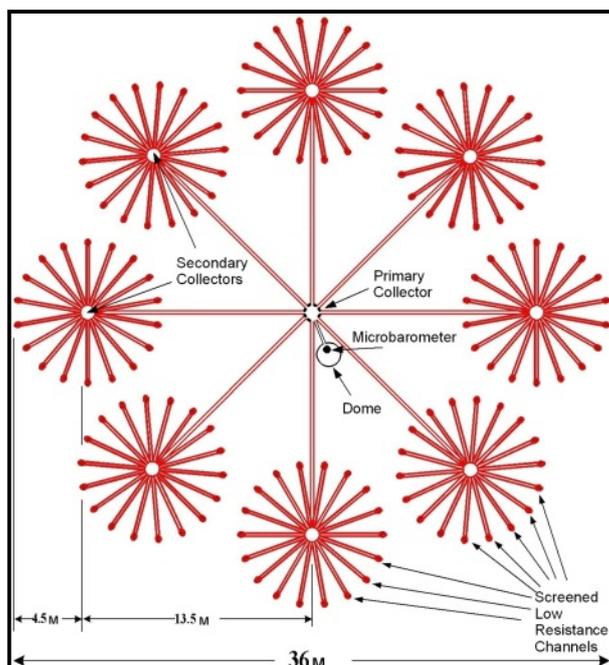


Рисунок 3 – Схема одного из 8 элементов инфразвуковой группы Курчатова.

С октября 2016 года запущена в эксплуатацию новая инфразвуковая группа Маканчи (МКАИР). Размещена группа в Урджарском районе Восточно-Казахстанской области в 25 км к востоку от поселка Маканчи. Тестирование инфразвуковой группы, показало, что новая станция способна регистрировать в непрерывном режиме и на необходимом качественном уровне акустические сигналы от различных источников.

Отметим, что с марта 2012 г. на постоянной основе в Центре сбора и обработки специальной сейсмической информации (ЦСОСЦИ) составляются бюллетени инфразвуковых детектирований по данным российской инфразвуковой станции IS46 Залесово, расположенной вблизи границы с Казахстаном на юге Западной Сибири (рис. 2). Данные этой инфразвуковой группы поступают в ЦСОСЦИ в режиме реального времени.

Отметим, что практически все инфразвуковые станции расположены рядом с сейсмическими станциями, что позволяет проводить совместный анализ данных и повышать эффективность мониторинга.

Автоматический процесс сетевой локализации источников инфразвуковых сигналов. Автоматический расчёт бюллетеней инфразвуковых детектирований по станциям производится ежедневно. Алгоритм поиска основан на методе прогрессивной многоканальной корреляции (PMCC - Progressive Multi-Channel Correlation) [3]. Главное достоинство метода заключается в его способности посредством поиска взаимной корреляции между записями инфразвуковой или сейсмической групп выделять сигналы, регистрируемые не одним, а несколькими элементами этих групп. Кроме того, метод позволяет детектировать сигналы от постоянно действующих источников. Записи сигналов инфразвуковых станции заносятся в автоматический бюллетень, представляющий набор строк, расположенных в хронологическом порядке и содержащих информацию об основных параметрах сигнала события – время, азимут, скорость, частота, амплитуда. Пример обработки инфразвуковой записи с помощью PMCC показан на рисунке 4.

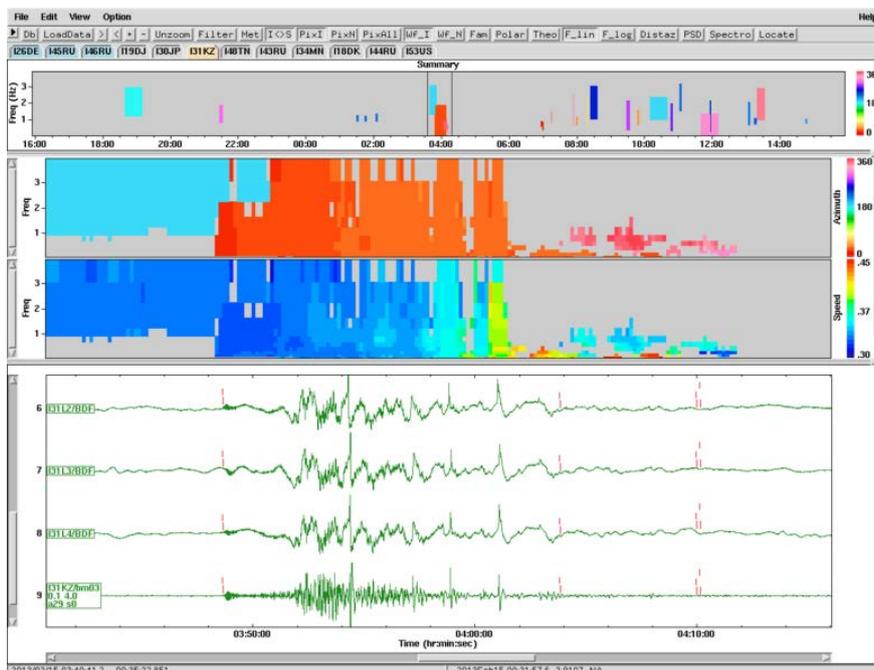


Рисунок 4 – Пример обработки с помощью PMCC. Волновые формы инфразвуковых волн, записанные станцией IS31 Актюбинск (ОДВЗЯИ).

В конце 2013 г. Национальный центр данных (НЦД) передал в ЦСОССИ адаптированную версию ПМО «Locinfra» [4], используемого для локализации инфразвуковых событий во французском НЦД. Методология обработки данных сети инфразвуковых станций описана в [5]. Весь процесс можно условно разделить на два основных этапа. Это: 1) очистка бюллетеней детектирований от ложных решений и 2) прелокализация и перекрестный пеленг.

Получаемые данные позволяют делать обзор и проводить исследования для классификации источников событий. На рисунке 5 приведена обзорная карта плотности эпицентров событий, локализованных по данным трех станций.

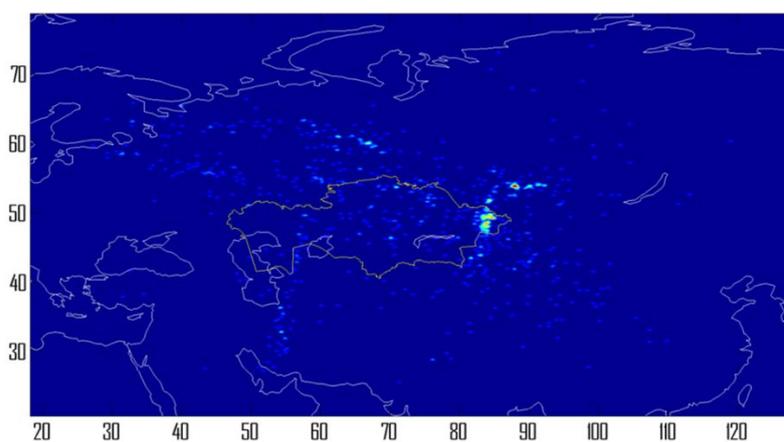


Рисунок 5 – Карта плотности эпицентров инфразвуковых событий.

Тем самым, в ЦСОССИ имеются бюллетени детектирований сети инфразвуковых групп. Резонно предположить, что в этих бюллетенях имеют место сигналы от единых событий, зарегистрированных двумя или тремя станциями.

Изучение природы детектирований позволило выделить следующие основные типы источников акустических сигналов, зарегистрированных группой: микробаромы, генерируемые сильнейшими штормами в мировых океанах, карьерные взрывы, запуски

ракет-носителей (РН) с космодрома Байконур, факелы сгорания попутного газа на месторождениях, метеориты, землетрясения.

Опыт изучения инфразвуковых сигналов от карьерных взрывов [6] показал, что с помощью инфразвуковой группы можно достаточно точно определить азимут на источник. Однако, одного азимута недостаточно для локализации источника события, нужно также определить расстояние. По инфразвуковым записям можно определить время вступления, а по сейсмическим – время в источнике. Полученные результаты по перелокации источников карьерных взрывов показывают, что совместное использование сейсмических и инфразвуковых данных позволяет значительно повысить точность определения эпицентров взрывов[7].

Заключение. Результаты деятельности Казахстанского национального центра данных в структуре Международной системы мониторинга имеют методическое и практическое значение, как для глобальных, так и для региональных задач. Они демонстрируют возможности системы по детектированию событий, отражают сильную зависимость возможности детектирования от состояния атмосферы, могут быть использованы для локализации событий и распознавания их природы.

Литература

1. Alberto Veloso and Staff of the IMS-Infrasound Section. Progress on the Establishment of the CTBT IMS-Infrasound Network // Infrasound Technology Workshop. Kailua-Kona, Hawaii, November 2001.
2. The Global Verification Regime and the International Monitoring System ISBN 92-95021-06-1 / Preparatory Commission for the Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization (CTBTO), 2001.
3. Cansi Y. An automatic seismic event processing for detection and location: The P.M.C.C. method // Geophys. Res. Lett. 1995. 22. P. 1021-1024.
4. Le Pichon A., Vergoz J., Herry P., Ceranna L. Analyzing the detection capability of infrasound arrays in Central Europe // Journal of Geophysical Research. 2008. Vol. 113. D12115, doi:10.1029/2007JD009509.
5. Le Pichon A., Vergoz J., Blanc E., Guilbert J., Ceranna L., Evers L., Brachet N. Assessing the performance of the International Monitoring System's infrasound network: Geographical coverage and temporal variabilities // J. Geophys. Res. 2009. 114. D08112, doi:10.1029/2008JD010907.
6. Smirnov A. et al. Seismo-acoustic analysis of quarry blasts in the I31KZ region and the influence of atmospheric conditions on infrasonic wave propagation, 2005 Infrasound Technology Workshop, Tahiti.
7. Дубровин В.И., Смирнов А.А. Совместное использование инфразвуковых и сейсмических данных для повышения точности локализации // Вестник НЯЦ РК. 2011. Вып. 3. С. 140-144.

УДК 519.246.8:550.344

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРА ХЕРСТА СЕЙСМИЧЕСКОГО СИГНАЛА ESTIMATION OF HURST EXPONENT OF SEISMIC SIGNAL

Имашев С.А., Сычев В.Н.

sanzhar.imashev@gmail.com, sychev@gdirc.ru

Научная станция Российской академии наук, г. Бишкек, Кыргызстан

Аннотация. Проведен обзор основных методов оценки параметра Херста для исследования фрактальных свойств временных рядов. Наиболее точные оценки параметра Херста в широком диапазоне значений, а также длин исследуемых сигналов дают следующие методы DFA, WDSOD и AWC для случая непрерывного преобразования с вейвлетом Морле. На основе фрактального анализа сейсмограммы, выявлено, что сигнал характеризуется мультифрактальностью. Изменения фрактальных свойств сигнала позволяют определить момент прихода сейсмической волны. При наступлении сейсмического события, меняются как значения, так и диапазон флуктуаций параметра Херста высокочастотного сейсмического шума.

Ключевые слова: фрактальный анализ, вейвлет анализ, фрактальная размерность, параметр Херста, сейсмический сигнал.

Введение. Считается, что сейсмический сигнал обладает стохастическими свойствами и, являясь проявлением комплексных динамических процессов, происходящих в недрах земли, несет в себе элементы хаоса [1, 2]. При этом, сейсмический сигнал может быть описан в качестве самоафинного фрактала в пределах определенного диапазона временных масштабов [3, 4] с проявлением фрактальных свойств в нескольких высокочастотных диапазонах [2].

В общем случае, сейсмическая волна не является чистым фракталом, и не может быть описана одним значением фрактальной размерности во всем диапазоне масштабов. Однако, особенность сейсмического сигнала, состоящая в том, что реальный сигнал является набором низкочастотных и высокочастотных компонент различной природы, дает возможность применять фрактальный анализ к соответствующим выделенным компонентам, как к самоафинным фракталам в диапазоне определенных масштабов [2], и позволяет получать дополнительную информацию из таких сигналов [3, 5, 6].

Особенностью фрактального анализа является то, что его можно использовать для сигналов, которые традиционными методами ковариационного и спектрального анализов не всегда удается исследовать, из-за доминирования шумовой составляющей [3, 7–10].

На основании вышесказанного было решено исследовать свойства сейсмического сигнала с помощью, так называемого, параметра Херста – H. Этот параметр назван в честь одного из основоположников анализа фрактальных свойств временных рядов – британского гидролога Э. Херста, исследовавшего среднегодовой режим расхода воды в реках [11]. Эмпирический закон Херста заключался в выполнении соотношения: $R(\tau)/S(\tau) \sim \tau^H$, где $R(\tau)$ – размах приращений наблюдаемой величины на временном интервале τ , $S(\tau)$ – стандартное отклонение.

Метод Херста или, как чаще его называют, метод нормированного размаха или RS-метод [8, 12, 13], может использоваться для анализа сейсмических данных вследствие своей способности отличать шумовую компоненту от полезного сигнала [3, 14]. Кроме RS-метода, также широкое применение находят и другие методы оценки параметра Херста: метод средних вейвлет-коэффициентов – Average Wavelet Coefficients/Components (AWC) для случая непрерывного (CWT) и дискретного (DWT) вейвлет-преобразований [13], метод анализа флуктуаций после исключения масштабно-зависимых трендов – Detrended Fluctuation Analysis (DFA) [12, 15, 16], метод основанный на дискретной производной второго порядка – Discrete Second-Order Derivative (DSOD) [17] и его вейвлет версия (WDSOD) [18], метод дисперсии детализирующих коэффициентов – Wavelet Details Regression Estimation (WDRE) [19].

Методика. Для определения оптимального метода оценки параметра Херста был синтезирован набор модельных сигналов, которые представляют собой обобщенное броуновское движение с заданным значением параметра Херста в диапазоне 0,1-1 согласно алгоритму Абри-Селана [20]. Необходимо отметить, что на вход рассматриваемых алгоритмов (кроме RS-метода) подается сигнал в виде фрактального броуновского движения (Fractal Brownian Motion – fBm), график которого можно интерпретировать как координату

частицы при одномерном броуновском блуждании. Если же этот сигнал преобразовать во временной ряд, который формируется из самих значений случайных шагов частицы, а не накопленной траектории, то получаемый сигнал имеет вид шума, и называется фрактальным гауссовским шумом (Fractal Gaussian Noise - fGn) [21].

Если, при этом сравнивать сигналы fBm ($H=0.5$, $H=0.9$) с fGn ($H=0.1$, $H=0.5$), различия можно увидеть невооруженным взглядом. Однако, если взять два случая fBm ($H=0.1$) и fGn ($H=0.9$), то, не считая различий в масштабе (что не влияет на само значение параметра Херста), эти два сигнала можно отнести к одной группе. Отсюда следует, что форма сигнала не всегда является основанием для отнесения исследуемого сигнала в ту или иную группу (fBm или fGn), и необходима более подробная информация о природе сигнала или предварительная проверка для адекватного применения того или иного метода оценки фрактальных свойств исследуемого сигнала. В качестве такой проверки можно использовать алгоритм DFA [15, 16], для чего необходимо на вход алгоритма подать исследуемый сигнал, и по рассчитанному значению показателя α , судить о принадлежности сигнала к той или иной группе. Если значение $\alpha > 1$, то, вероятнее всего, сигнал принадлежит группе fBm, если $\alpha < 1$ – к группе fGn, и, наконец, если $\alpha \approx 1$, необходимо дальнейшее исследование с применением методов оценки тренда (line-detrended scaled windowed analysis (ldSWV) или bridge-detrended scaled windowed analysis (bdSWV)) [21].

После выяснения типа сигнала появляется возможность использования того или иного метода с предварительной обработкой исходного сигнала или без нее. Так, например, если сигнал является шумоподобным fGn, то для использования RS-метода, сигнал не нуждается в предварительном преобразовании, которое в свою очередь необходимо для анализа сигнала методами DFA, AWC, DSOD, WDSOD и WDRE. И наоборот, если сигнал представлен в виде накопления (fBm), то для RS-метода его необходимо предварительно преобразовать в шумоподобный вид (fGn).

Для выбора оптимального метода для задач исследования монофрактальных и мультифрактальных свойств сейсмических сигналов было решено провести проверку вышеуказанных методов на модельных сигналах с заранее заданным параметром Херста. Генерация модельных сигналов была произведена с использованием встроенной функции wfbm вычислительного пакета Matlab, в диапазоне значений $H=0.1-0.9$ и длиной сигнала $N=128, 256, 512, 1024, 2048, 4096$. Так как генерировался сигнал конечной длины со случайным начальным состоянием генератора случайных чисел, то синтезировался набор из 500 сигналов с заданными параметрами, и находилось среднее значения H для этой выборки. В результате проверки было выявлено, что наиболее близкие к модельным значениям оценки параметра Херста дают методы DFA, WDSOD и AWC-CWT (рис.1).

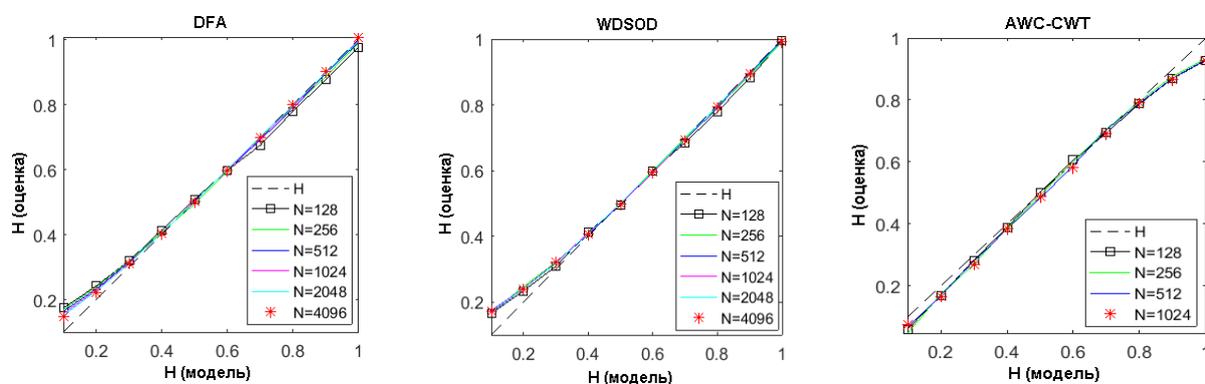


Рисунок 1 – Оценка параметра Херста модельных сигналов различной длины и значений H (0.1-1).

Для методов DFA, RS, AWC-DWT было выявлено, что при увеличении длины исследуемого сигнала, уменьшается расхождение с модельными значениями, т.к.

увеличивается количество точек для аппроксимации линейной регрессией. Для метода AWC-CWT использовался вейвлет Морле, который более подходит для этого алгоритма, т.к. хорошо регистрирует как высокочастотные, так и низкочастотные компоненты сигнала, а также обладает менее выраженным краевым эффектом [13]. Для варианта AWC в случае дискретного вейвлет-преобразования использовался вейвлет Добеши (db8) [22], при этом заметного изменения при увеличении порядка вейвлета замечено не было. Отметим, что для AWC в случае непрерывного вейвлет-преобразования в расчете используются больше точек для расчета линейной регрессии. Например, в случае длины сигнала $N=128$, использовалось 64 точки, тогда как дискретный вариант ограничен максимальным уровнем детализации равным L , так что $2^L < N$. Также нужно отметить, что реализация алгоритма WDRE в пакете Matlab основана на вейвлете Хаара, что дало постоянную недооценку значений параметра Херста. Расширение встроенной функции Matlab на случай использования других вейвлетов показало, что семейство вейвлетов Добеши (db12) и дискретный вейвлет Мейера (dmeu) дает более качественную оценку параметра Херста в широком диапазоне значений N и длин сигналов.

В целом оценки показали, что наилучшие результаты в широком диапазоне значений параметра Херста, а также длин исследуемых сигналов получаются при использовании методов DFA и WDSOD. Методы AWC-CWT, RS, AWC-DWT и WDRE показали меньшую стабильность при вариациях значений N и длин сигналов. Необходимо отметить, что RS-метод по мере увеличения длины сигнала приближается по качеству оценки к DFA и WDSOD, тогда как метод AWC-CWT дает такие же или худшие показатели, что связано с влиянием значений больших масштабных коэффициентов.

Так как в оценке параметра Херста методами DFA и AWC-CWT заложены дополнительные вычислительные шаги: для DFA – аппроксимация полиномом, для AWC-CWT – вычисление вейвлет-коэффициентов, то эти алгоритмы показали наименьшую производительность. В целом метод AWC-CWT в ~ 5 , а DFA в ~ 50 раз медленнее, чем методы RS и WDSOD.

Также следует отметить, что из рассмотренных методов наиболее легко реализуемыми являются методы RS и DFA, которые не требуют наличия специальных библиотек (например, расчета непрерывного и дискретного вейвлет преобразований).

Результаты и обсуждение. Рассмотрим в качестве примера сейсмический сигнал и попробуем выделить приход Р-волны исходя из геометрического смысла параметра Херста. На рисунке 2 представлена запись землетрясения 31.08.2015 с $K=9,6$ на станции CHM сети KNET по NHZ компоненте с частотой 100 Hz (горизонтальная ось – номер отсчета, вертикальная – скорость в нм/с). Участок А характеризуется относительно гладким видом по сравнению с участком непосредственного события (участок В), который выделяется от первого осцилляциями. Если пройти скользящим окном и рассчитать в этом окне параметр Херста, то первый участок (А) будет характеризоваться большими значениями параметра Херста, тогда как второй участок (В), более изрезанный будет иметь диапазон H с меньшими значениями.

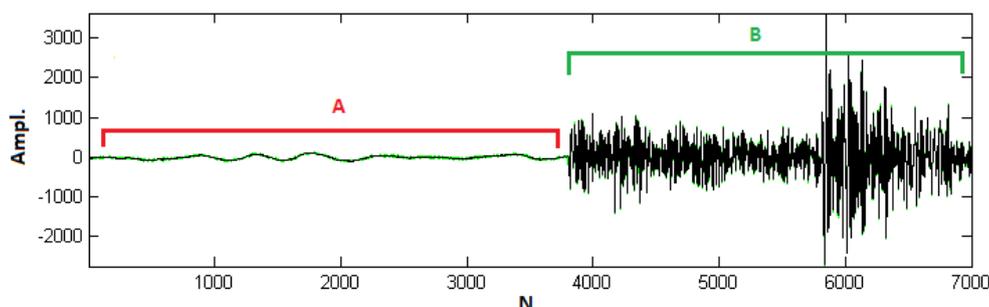


Рисунок 2 – Запись землетрясения 31.08.2015 с $K=9,6$ на станции CHM сети KNET по NHZ компоненте.

Если рассматривать с точки зрения фрактальной размерности [8], то участок А будет иметь фрактальную размерность близкую к топологической ~1, а участок В – близкую к 2. Для расчета фрактальной размерности D воспользуемся известным выражением:

$$D = 2 - H,$$

где H - есть параметр Херста рассчитанный по одному из рассмотренных выше методов. На рисунке 3 изображен ход фрактальной размерности сейсмосигнала (рис.2), рассчитанный в окне шириной 128 отсчетов с помощью метода нормированного размаха.

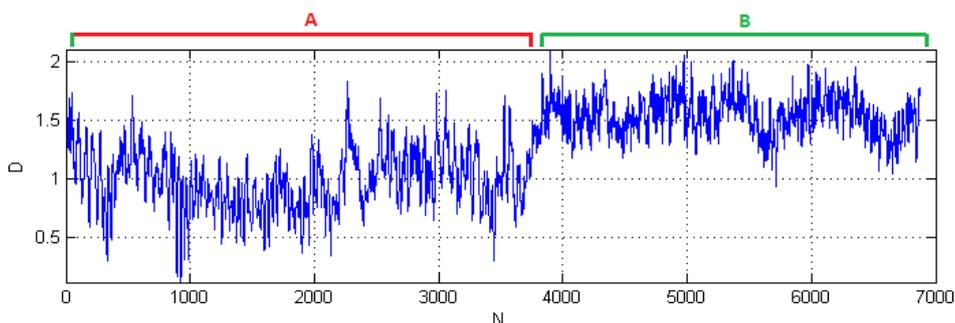


Рисунок 3 – Оценка фрактальной размерности исходного сейсмического сигнала в скользящем окне методом нормированного размаха.

Как и предполагалось, участок А имеет более низкие значения фрактальной размерности, по сравнению с участком В. Значительные вариации фрактальной размерности на участке А, по сравнению с В являются следствием присутствия низкоамплитудного шума, который делает его более изрезанным. Для придания участку А более «гладкого» вида необходимо отфильтровать шумовую компоненту. Для этой цели хорошо подходит нелинейная пороговая фильтрация с помощью дискретного вейвлет-преобразования [23]. Для этого делается предположение, что шум в основном сосредоточен в вариациях на первом, самом высокочастотном уровне детализации, за исключением небольшого числа точек, в котором сконцентрированы высокочастотные особенности поведения полезного сигнала и которым, следовательно, соответствуют большие значения вейвлет-коэффициентов 1-го уровня [3, 24].

Были использованы следующие параметры фильтрации: вейвлет – Добеши 6-порядка, количество уровней детализации – 6, алгоритм выбора порога фильтрации – универсальный (sqtwolog) на основе одиночной оценки шума по коэффициентам первого уровня декомпозиции. На рисунке 4 изображена часть участка А (N=1000-3000) исходного сейсмического сигнала и результат применения фильтрации высокочастотного шума.

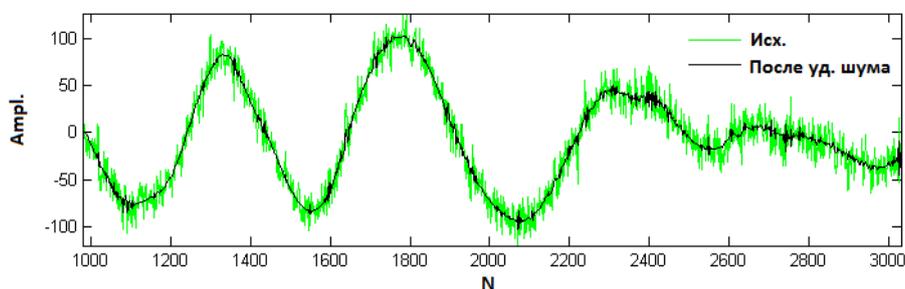


Рисунок 4 – Участок исходного сейсмического сигнала и результат применения нелинейной пороговой фильтрации высокочастотного шума на основе дискретного вейвлет-преобразования.

Нужно отметить, что в данном случае достаточным оказалось применение так называемой «мягкой» фильтрации (soft thresholding), когда значения порога вычитались из коэффициентов, значения которых больше чем сам порог [23]. Очевидно, что после того как

участок А стал более гладким, значения фрактальной размерности будут более компактно группироваться вокруг значения 1, т.е. будет приближаться к значению своей топологической размерности. На рисунке 5 представлена оценка фрактальной размерности исследуемого сейсмосигнала после применения фильтрации высокочастотного шума.

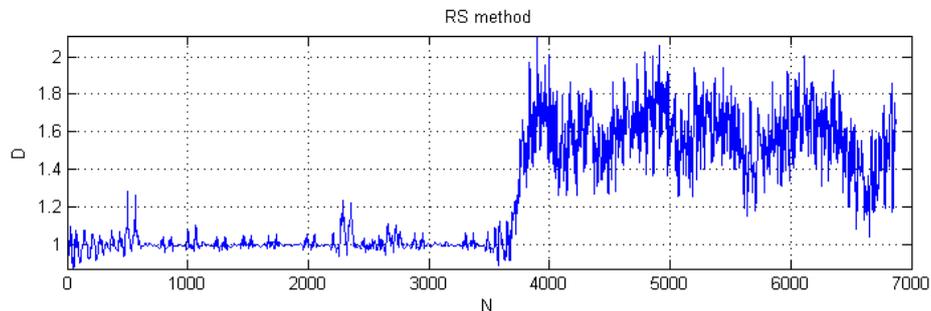


Рисунок 5 – Оценка фрактальной размерности отфильтрованного сейсмического сигнала в скользящем окне методом нормированного размаха.

Отметим, что в обоих случаях время прихода Р-волны выделяется довольно отчетливо. Однако этот метод, как и другие методы, основанные на вариации дисперсии, эксцесса и т.д. работают хорошо, когда полезный сигнал выделяется довольно хорошо на фоне сейсмического шума [14].

Временные ряды систем геофизического мониторинга, если из них вычленить детерминированные циклические тренды сезонного характера и воздействие приливов, проявляют основные черты самоподобного поведения на различных временных масштабах [3], а именно прямолинейный график спектра мощности в двойном логарифмическом масштабе, эффекты длительной памяти о прошлых состояниях и т.д. Положительное качество фрактального анализа – его способность исследовать сигналы, которые с точки зрения ковариационной и спектральной теории не содержат никакой информации и являются «шумом», либо «белым», либо «цветным».

Известно, что шумовой сигнал, подчиняющийся степенному закону $1/f^b$, является самофинным фракталом [8]. Такой сигнал (шум) можно описать с помощью фрактальной размерности или параметра Херста. Микросейсмический шум может нести в себе информацию об изменениях фрактальных свойств, происходящих в результате усиления сейсмической активности [2].

На рисунке 6 показаны шумовые компоненты, выделенные с помощью пороговой фильтрации на основе оценок порога методами 'rigrsure', 'sqtwolog' и 'minimaxi' и соответствующие им оценки параметра Херста методом WDSOD со скользящим окном 256 точек.

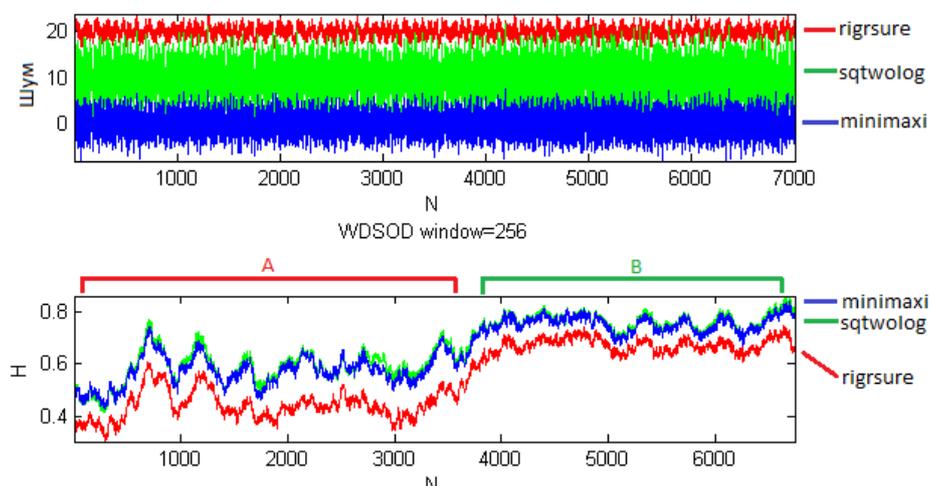


Рисунок 6 – Высокочастотный шум, полученный применением различных порогов нелинейной фильтрации и результат оценки параметра Херста этих шумовых сигналов методом WDSOD с шириной окна 256 отсчетов.

Из этих оценок следует несколько важных выводов. Во-первых, фоновая шумовая компонента (участок А) в целом дает меньшие значения параметра Херста по сравнению со значениями на участке прихода сейсмических волн. Увеличение значений параметра Херста (рост персистентности) на участке прихода сейсмической волны может быть результатом роста степени согласованности различных компонент сигнала. Во-вторых, необходимо отметить то, что наряду с увеличением значений параметра Херста, одновременно происходит их более компактная группировка относительно некоторой средней величины, т.е. наблюдается переход с мультифрактального режима со значительными флуктуациями параметра Херста к монофрактальному режиму.

Для участка А стандартное отклонение для всех типов выбора порога фильтрации равно ~ 0.06 , тогда как для участка В оно в два раза меньше (~ 0.03). Отмеченная особенность позволяет выделить участок с присутствием сейсмических волн на сигналах, где нет существенного увеличения параметра Херста по сравнению с участком фонового шума.

Для проверки спектральных характеристик выделенного высокочастотного шума были рассчитаны спектрограммы непрерывного вейвлет-преобразования в исходном виде (верхний рисунок) и после преобразования в вид фрактального броуновского движения (нижний рисунок) с помощью вейвлета Морле (рис. 7).

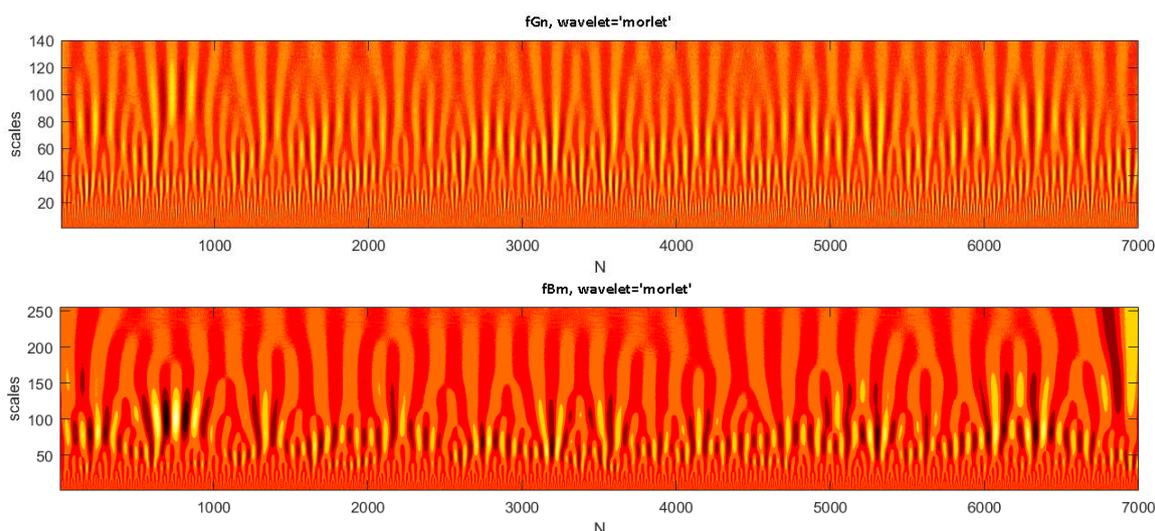


Рисунок 7 – Вейвлет-спектрограмма сейсмического шума в исходной форме (fGn) и в форме фрактального броуновского движения (fBm).

На рисунке видно отсутствие какого-либо перехода в окрестности 3800-го отсчета и в целом участок на спектрограмме, соответствующий участку А (0-3800) не выделяется от участка В (4000-7000). Как отмечалось ранее, представление шумового сигнала в виде фрактального броуновского шума дает более наглядное представление, что видно на нижней вейвлет-спектрограмме (Рис.7). Она хорошо демонстрирует иерархическую структуру флуктуаций сигнала. Каждое дробление масштаба отмечено появлением в распределении коэффициентов характерных "вилочек" – раздвоением локальных максимумов, что отражает наличие самоподобия в сигнале [19].

На рисунке 8 приведены расчетные кривые для методов RS, AWC-CWT и DFA, где угол наклона аппроксимационной линии и есть параметр Херста H . Из графиков видно, что данный ряд не может характеризоваться одним значением угла наклона, и на разных масштабах присутствует различная степень самоподобия.

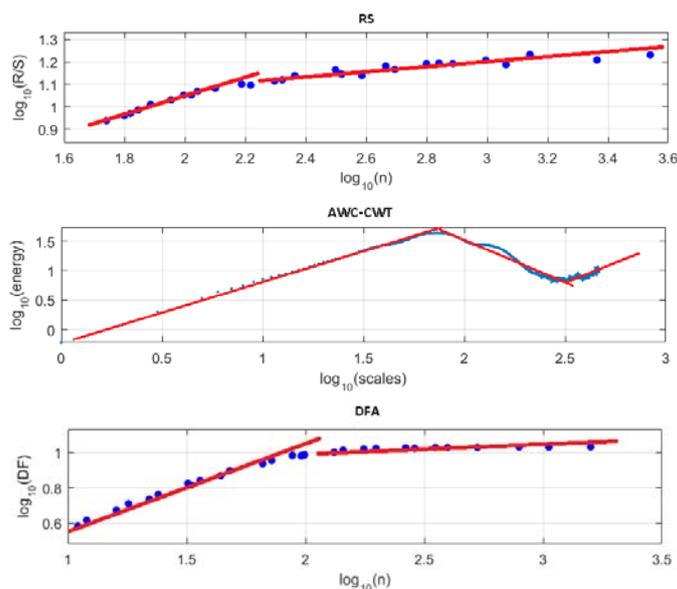


Рисунок 8 – К оценке параметра Херста сейсмического шума методами RS, AWC-CWT и DFA.

Отмеченные особенности требуют более детального дальнейшего исследования на основе мультифрактального анализа с рассмотрением таких характеристик как: верхняя и нижняя граница спектра сингулярности, обобщённый показатель Херста и ширина спектра сингулярности [3, 25].

Выводы. Расчеты показали, что наиболее точные оценки параметра Херста в широком диапазоне значений, а также длин исследуемых сигналов дают следующие методы - анализ флуктуаций после исключения масштабно-зависимых трендов – Detrended Fluctuation Analysis (DFA), метод основанный на дискретной производной второго порядка, адаптированный под дискретное вейвлет-преобразование – Wavelet Discrete Second-Order Derivative (WDSOD) и метод средних вейвлет-коэффициентов - Average Wavelet Coefficients/Components (AWC) для случая непрерывного преобразования с вейвлетом Морле. В целом метод AWC-CWT в ~ 5 , а DFA в ~ 50 раз медленнее, чем методы WDSOD и RS. Наиболее легко реализуемыми являются методы RS и DFA, причем последний позволяет выявить принадлежность исследуемого временного ряда к группе сигналов фрактального броуновского движения или фрактального гауссовского шума.

Проверка геометрической трактовки параметра Херста на примере задачи определения прихода первичной волны (P-wave) на сейсмограмме методом нормированного размаха (RS) показала, что участок, показывающий присутствие сейсмических волн (участок B) отражается ростом фрактальной размерности (D) по отношению к участку фонового сейсмического шума (участок A). Исключение высокочастотного шума из сейсмограммы методами нелинейной пороговой фильтрации с помощью дискретного вейвлет-преобразования, делает более четким переход от гладкого и более регулярного участка A, характеризуемого фрактальной размерностью $D \approx 1$, к участку B, характеризуемого более высокими значениями фрактальной размерности со значительными вариациями $D \approx 1.1-1.2$.

Оценка параметра Херста в скользящем окне с использованием метода WDSOD показала наличие переход от фонового участка к участку сейсмических волн ростом значений параметра Херста и уменьшением его флуктуаций на этом участке. Сокращение почти вдвое среднеквадратичного отклонения вариаций параметра Херста может свидетельствовать о переходе от мультифрактального к более согласованному, монофрактальному режиму. Наличие мультифрактальности также показывают участки с различными углами наклона на расчетных кривых методов RS, DFA и AWC-CWT. Таким образом, выявлено, что выделенный высокочастотный сейсмический шум несет в себе скрытую информацию о структурировании шумов на участках прихода сейсмических волн.

Полученная информация требует дальнейшего исследования этих сигналов на основе мультифрактального подхода, а именно анализа обобщённого показателя Херста и ширины спектра сингулярности.

Авторы выражают благодарность заведующему лабораторией комплексных исследований ИС РАН В.Д. Брагину за предоставление цифровых записей и каталога сейсмических событий.

Исследование осуществлено в рамках выполнения государственного задания ИС РАН, тема № 78, а также частично поддержано грантом РФФИ 15-05-06857а.

Литература

1. Turcotte D.L. Fractals and chaos in geology and geophysics. New York: Cambridge University Press. 1997. 398 p.
2. Cao M.-S., Ren Q.-W., Wang H.-H., Gong T. A method of detecting seismic singularities using combined wavelet with fractal // Chinese J. Geophys. 2005. Vol. 48. Iss.3. P. 740–749.
3. Любушин А.А. Анализ данных систем геофизического и экологического мониторинга. М.: Наука. 2007. 227 с.
4. Goltz C. Fractal and chaotic properties of earthquakes. Lecture notes in Earth sciences. Vol. 77. Berlin, London: Springer. 1998. 195 p.
5. Gadre V.M., Dimri V.M., Chandrasekhar E. Wavelets and fractals in earth system sciences. Boca Raton, FL: Taylor & Francis. 2014. 286 p.
6. Nath S.K., Dewangan P. Detection of seismic reflections from seismic attributes through fractal analysis // Geophys Prospect. 2002. Vol. 50. Iss. 3. P. 341–360.
7. Mandelbrot B.B. The fractal geometry of nature. Oxford: Freeman. 1982. 468 p.
8. Feder J. Fractals. New York: Springer. 1988. 284 p.
9. Malamud B.D., Turcotte D.L. Self-Affine Time Series: I. Generation and Analyses. In Long-Range Persistence in Geophysical Time Series: Advances in Geophysics. 1999. P. 1–90.
10. Srivastava R.P., Sen M.K. Stochastic inversion of prestack seismic data using fractal-based initial models // Geophysics. 2010. Vol. 75. Iss. 3. P. R47-R59.
11. Hurst H.E., Black R.P., Simaika Y.M. Long-term storage: An experimental study. London: Constable. 1965. 145 p.
12. Weron R. Estimating long-range dependence: Finite sample properties and confidence intervals // Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. 2002. Vol. 312. N 1-2. P. 285–299.
13. Чен Б.Б., Имашев С.А. Оценка параметра Херста по наклону энергетического спектра на основе вейвлет-преобразования // Вестник КРСУ. 2007. Т. 7. № 8. С. 65–75.
14. Padhy S. Rescaled range fractal analysis of a seismogram for identification of signals from an earthquake // Current science. 2004. Vol. 87. Iss. 5. P. 637–641.
15. Peng C.-K., Buldyrev S.V., Havlin S., Simons M., Stanley H.E., Goldberger A.L. Mosaic organization of DNA nucleotides // Phys. Rev. E. 1994. Vol. 49. Iss. 2. P. 1685–1689.
16. Kantelhardt J.W., Koscielny-Bunde E., Rego H.H., Havlin S., Bunde A. Detecting long-range correlations with detrended fluctuation analysis // Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. 2001. Vol. 295. Iss. 3-4. P. 441–454.
17. Istas J., Lang G. Quadratic variations and estimation of the local Hölder index of a Gaussian process. Annales de l'Institut Henri Poincaré (B) Probability and Statistics. 1997. Vol. 33. Iss. 4. P. 407–436.
18. Jiménez A., Tiampo K.F., Levin S., Posadas A.M. Testing the persistence in earthquake catalogs: The Iberian Peninsula // Europhys. Lett. 2006. Vol. 73. Iss. 2. P. 171–177.
19. Abry P., Flandrin P., Taqqu M.S., Veitch D. Self-similarity and long-range dependence through the wavelet lens // Theory and applications of long-range dependence. 2003. P. 527–556.

20. Abry P., Sellan F. The Wavelet-Based Synthesis for Fractional Brownian Motion Proposed by F. Sellan and Y. Meyer: Remarks and Fast Implementation // Applied and Computational Harmonic Analysis. 1996. Vol. 3. Iss. 4. P. 377–383.
21. Seuront L. Fractals and multifractals in ecology and aquatic science. Boca Raton, Fla.: CRC; 2010. 360 p.
22. Simonsen I., Hansen A., Nes O.M. Determination of the Hurst exponent by use of wavelet transforms // Phys. Rev. E. 1998. Vol. 58. Iss. 3. P. 2779–2787.
23. Mallat S.G. A wavelet tour of signal processing: The sparse way. Boston: Elsevier/Academic Press. 2009. 805 p.
24. Donoho D.L., Johnstone J.M. Ideal spatial adaptation by wavelet shrinkage // Biometrika. 1994. Vol. 81. Iss. 3. P. 425–455.
25. Sheng H., Chen Y., Qiu T. Fractional Processes and Fractional-Order Signal Processing. London: Springer London. 2012. 295 p.

УДК 550.34

ANALYSIS OF VARIATIONS OF SPEED OF THE EARTH IN 1973-2015 гг

АНАЛИЗ ВАРИАЦИЙ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ В 1973-2015 гг

Кайраткызы Д., Андреев А.Б.

kairatkyzy.dina@mail.ru

Институт ионосферы, Национальный центр космических исследований и технологий,
г. Алматы, Казахстан

***Аннотация.** Проанализированы среднесуточные отклонения угловой скорости вращения Земли за последние 42 года (1973-2015гг). Методом оконного преобразования Фурье установлено, что основные гармоники, составляющие наблюдаемое изменение скорости вращения Земли, не являются постоянными. Гармонические параметры – амплитуда, период и фаза, изменяются случайным или периодическим образом. Показаны периоды изменения амплитуд и периодов основных гармоник. Сделано предположение о связи 182-х суточной гармоники изменения скорости вращения Земли с 11-ти летним циклом Солнечной активности.*

***Ключевые слова:** угловая скорость вращения Земли, спектральный анализ.*

Введение. Вращение нашей планеты, её орбитальное положение и место в солнечной системе – это те основные факторы, которые обуславливают большинство периодических процессов на Земле. Смена дня и ночи, лета и зимы, приливы и океанские течения, погода и климат – это самые очевидные явления, вызванные периодическим изменением внешних параметров и их взаимодействия со сложной системой – нашей планетой. Этими параметрами принято считать гравитационное поле, его градиент и поток солнечной радиации. Мы проанализировали данные о продолжительности земных суток, с целью выявить дополнительные возможные факторы, влияющие на скорость вращения Земли. Представленные результаты продолжают исследования [1, 2] а их интерпретация основана на знаниях, систематизированных в [3].

Данные. В работе использованы данные измерений продолжительности земных суток (Length Of Day) с 1973 по 2015гг предоставляемые Международной службой вращения Земли <http://www.iers.org/IERS/EN/DataProducts/data.html>.

На рис. 1а представлены отклонения длительности земных суток от эталонного значения, равного 86400 сек., а на рис. 1b приведена ошибка измерений. Видно, что ошибка в

значениях (Delta_LOD) существенно уменьшилась в 80-ые годы 20 века после введения в работу GPS технологии.

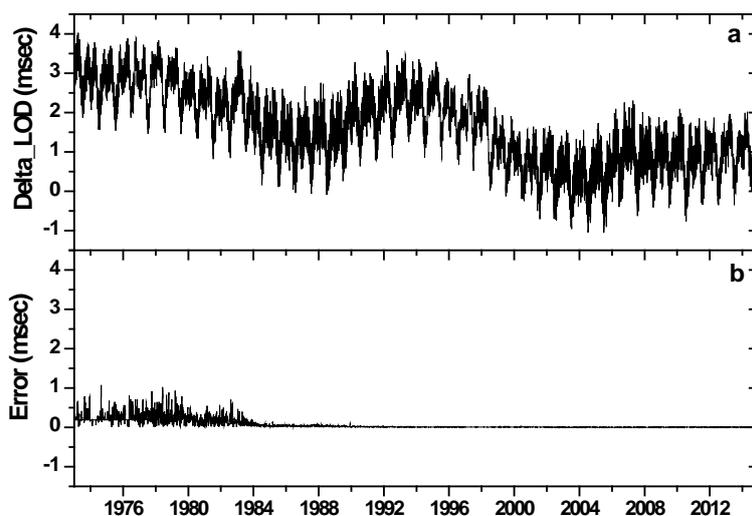


Рисунок 1 – Вариации отклонения продолжительности земных суток от эталонного значения 86400 сек. за период с 1973 по 2015 г.

Результаты. Скорость вращения Земли характеризуется относительной величиной:

$$v \equiv \frac{\partial \omega}{\Omega} = \frac{\omega - \Omega}{\Omega} = \frac{L - T}{T}$$

Где L – длительность земных суток, T - длительность стандартных (атомных) суток, которая равна 86400 с; $\omega = \frac{2\pi}{L}$ и $\Omega = \frac{2\pi}{86400}$ rad/c угловые скорости, соответствующие земным и стандартным суткам.

Спектральный анализ временного ряда скорости вращения Земли показал, что в основной вклад вносят пять основных наиболее сильных гармоник, соответствующих периодам около 365, 182, 27, 13 и 9 дней. На рисунке 2 представлен амплитудный спектр вариации скорости вращения Земли, с указанными периодами основных пиков.

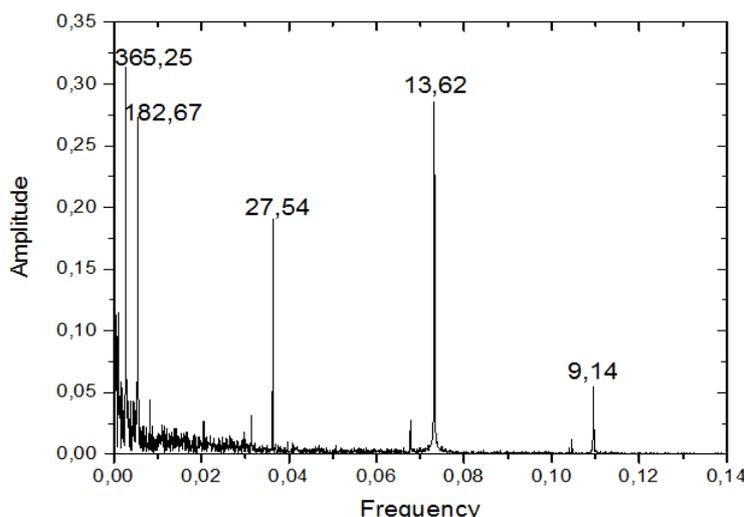


Рисунок 2 – Амплитудный спектр угловой скорости вращения Земли по данным 1973- 2015 гг [2].

Проведено исследование динамики пяти основных пиков спектра. На рис. 3 показан результат обработки данных продолжительности Земных суток методом оконного преобразования Фурье, с использованием окна Хемминга. При этом для каждого периода

ширина окна выбиралась равной 10 периодам. Как видно из рисунка, значения периодов не постоянны, и варьируются в некоторых пределах.

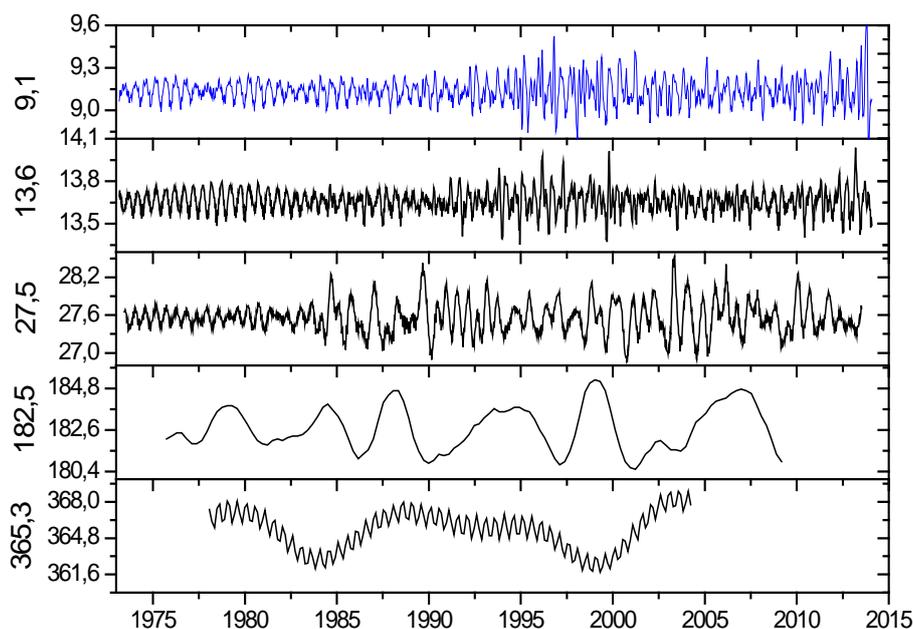


Рисунок 3 – Временные вариации периодов спектральных пиков, представленных на рис.2.

На рисунке 4 приведены вариации амплитуд спектральных пиков, представленных на рис.2. Как видно, амплитуды пиков 13.6 и 9.1 суток имеют периодичность около 16 лет, при этом в периоды минимумов амплитуда уменьшается почти до нуля. Эта периодичность объясняется прецессией плоскости орбиты Луны относительно плоскости орбиты Земли [3]. Амплитуда 27 дневного пика, не имея выраженной периодичности, изменяется в диапазоне значений 0.5-1.4. Амплитуды пиков 182 и 365 дней также меняются периодически, причем для 182-дневного пика период изменения амплитуды составляет примерно 11 лет, период колебания 365-суточной амплитуды составляет 15-18 лет. 11 летний период изменения амплитуды 182-х суточной составляющей скорости вращения Земли может быть обусловлен 11 летним циклом солнечной активности.

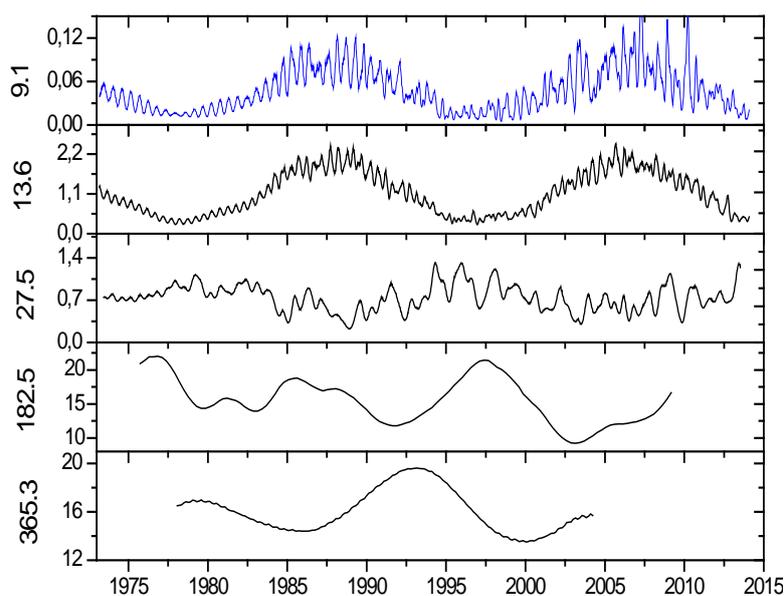


Рисунок 6 – Временные вариации амплитуд спектральных пиков, представленных на рис.2.

Заключение. Проанализированы отклонения угловой скорости вращения земли от эталонных за последние 43 года (1973-2015гг) по данным о продолжительности земных суток. Методом оконного преобразования Фурье показано, что основные гармоники, составляющие наблюдаемое изменение скорости вращения Земли, не являются постоянными. Гармонические параметры – амплитуда, период, изменяются случайным или периодическим образом. Обнаружено, что период изменения амплитуды «полугодовой», 182.5 суточной гармоники отклонений скорости вращения Земли примерно равен 11 годам, что может указывать на связь с 11-ти летним циклом Солнечной активности.

Выражаем большую благодарность д.ф.-м.н. Хачикян Галине Яковлевне за курирование работы и директору Института ионосферы д.ф.-м.н. чл.-корр. НАН РК Жантаеву Жумабеку Шабденамовичу за поддержку данного направления исследований.

Работа выполнена в рамках проекта РБП-076: «Разработать методические основы оценки сейсмической опасности на основе данных о вариациях солнечной активности, геомагнитного поля и скорости вращения Земли». Регистрационный номер (РН) 0115РК01276.

Литература

1. Хачикян Г.Я., Кайраткызы Д., Андреев А. Долговременные тренды в вариациях продолжительности земных суток и частоты возникновения на планете землетрясений // Математический журнал. 2016. Т.16. № 4 (62). С. 270-278.
2. Кайраткызы Д., Андреев А. Долговременные тренды в вариациях солнечной активности, продолжительности земных суток и глобальной сейсмической активности // Современные техника и технологии в научных исследованиях. Материалы докл. VIII Междунар. конф. молодых ученых и студентов (г. Бишкек, 24-25 марта 2016 г.). Бишкек. 2016. С. 124-128.
3. Сидоренков Н.С. Физика нестабильностей вращения Земли. М.: Наука: Физматлит. 2002. 384 с.

УДК 504.31

ПРОЯВЛЕНИЕ СЕЙСМОЭФФЕКТОВ В ИОНОСФЕРЕ ПО ДАННЫМ ДВУХЧАСТОТНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ НЕПАЛЬСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

SEISMIC EFFECTS IN THE IONOSPHERE FROM DATA OF TWO – FREQUENCY NAVIGATION SATELLITE SYSTEMS ON THE EXAMPLE OF THE NEPALESE EARTHQUAKE

Капытин В.И., Андреев А.Б.

kapytinsanct@mail.ru, Alexey.Andreyev@rambler.ru

Институт Ионосферы, Национальный Центр Космических Исследований и Технологий
г.Алматы, Казахстан

***Аннотация.** В целях изучения закономерностей поведения атмосферных параметров в периоды сейсмоактивности изучены возмущения вариаций ПЭС, полученные по данным международной сети стационарных GNSS станций, для случая серии сильных землетрясений в Непале, произошедших 25 апреля 2015. Землетрясения в Непале 25 апреля 2015 года – серия крупных землетрясений на территории Непала, главный толчок произошел в 6:11UT в точке с координатами 28.147°N 84.708°E, и стал самым мощным Непале с 1934 года (магнитуда землетрясения составила 7,8 Mw).*

Ключевые слова: *ионосфера, полное электронное содержание, GPS, землетрясение.*

Определение вариаций полного электронного содержания (ПЭС) по данным двухчастотных навигационных спутниковых систем. Для регистрации ПЭС нами используется стационарный приемный пункт сигналов GNSS, установленный на территории ДТОО «Институт Ионосферы», позволяющий принимать двухчастотные сигналы спутников систем GPS и ГЛОНАСС. Приёмник NovAtel OEM6 установлен в точке с координатами 42.9838 с.ш. и 76.9532 в.д.

Применение в системах GPS и ГЛОНАСС сигналов с двумя несущими частотами позволяет приёмникам навигационных сигналов учитывать вклад ионосферы в измерения расстояния от спутников до приёмника, на основании того, что время прохождения радиосигнала через ионизованную среду (ионосферную плазму) зависит от двух параметров – частоты радиосигнала, и величины ионизованности плазмы. В случае применения двухчастотных систем, измеряя время между приходом сигналов на первой и второй частоте, можно вычислить вариацию фазы, доплеровский сдвиг частоты, а по ним определить величину ПЭС и ее вариации вдоль радиолуча. Помимо того, что это позволяет значительно повысить точность измерения местоположения системами GNSS, это предоставляет исследователям отличный инструмент для исследования динамики ионосферы, поскольку одним двухчастотным приёмником можно непрерывно и с высоким временным разрешением производить измерения ПЭС в нескольких пространственно разнесённых точках ионосферы – вдоль траекторий на каждый видимый спутник. Поскольку величина измеряемого ПЭС увеличивается с отклонением радиолуча от вертикали, то производится преобразование наклонного ПЭС в вертикальное ПЭС [2-3].

Параметры принимаемых сигналов приёмник выдаёт в виде потоковых данных, в т.н. raw-формате. Далее, эти данные преобразуются в файлы формата RINEX. RINEX (Receiver Independent Exchange Format) – это стандартный формат обмена данными для файлов исходных данных спутниковых навигационных приёмников. Использовалась версия 2.11, в которой содержатся данные о псевдодальности, фазе несущей и доплеровском сдвиге частот для GPS или ГЛОНАСС. Формат RINEX является международным стандартом хранения и передачи данных GNSS в том числе и для целей исследования ионосферы Земли.

Для работы с файлами RINEX использовалось созданное нами программное обеспечение – модуль и класс для языка программирования Python, позволяющие работать с файлами на более высоком уровне абстракции. В классе реализованы следующие функции:

- автоматическое чтение файлов в зависимости от указанного временного промежутка и названия станции;
- расчет координат спутников в геодезической и геоцентрической системе координат из параметров орбиты спутника;
- расчет дифференциальных кодовых задержек (ДКЗ) сигнала для каждого отдельного спутника – специфической для каждого комплекта приёмной аппаратуры величины, необходимой для определения полного электронного содержания;
- расчет полного электронного содержания вдоль радиолуча для каждого спутника; определение вертикального ПЭС и координат точки, для которой рассчитано ПЭС.

На основе принимаемых сигналов GNSS производится расчёт полного электронного содержания ионосферы вдоль траекторий радиосигналов от каждого, из находящихся над горизонтом спутников, до приёмника. Регистрация сигналов GNSS производится с временным разрешением 5 секунд, также возможна регистрация сигналов с временным разрешением 0.02 секунды. В частности, с частотой 50Гц осуществлялась запись шести основных параметров сигналов систем GPS и ГЛОНАСС: фазы прихода сигнала для первой и второй частоты, псевдодальности для первой и второй частоты и доплеровского сдвига первой и второй частоты сигнала [1].

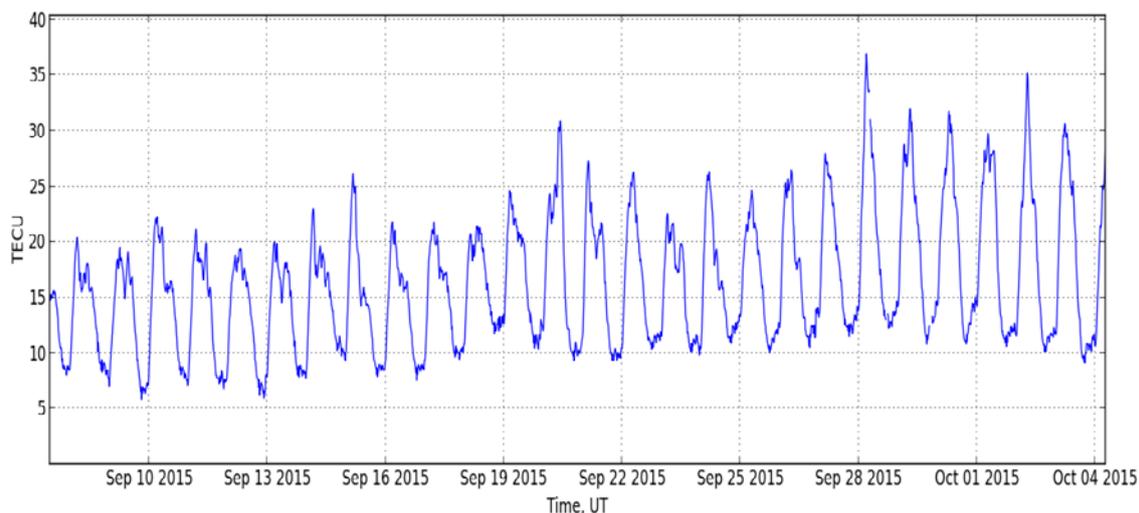


Рисунок 1 – Значения полного электронного содержания ионосферы.

Для определения корреляционных особенностей ионосферных возмущений по высоте были обработаны данные за 12 месяцев, с марта 2015, по март 2016 гг. непрерывного измерения полного электронного содержания ионосферы (ПЭС) на основе двухчастотных сигналов GPS, регистрируемых приёмником, установленным в ДТОО «Институт ионосферы» (рисунок 1).

Поведение возмущений атмосферных параметров в периоды активизации сейсмических процессов. В работе были использованы данные 13 стационарных GNSS станций, расположенных в Непале и Индии (рисунок 2), и станция Института ионосферы, расположенная в г. Алматы. Для всех станций были рассчитаны графики вертикального ПЭС для каждого спутника с углом возвышения над горизонтом более 45 градусов.

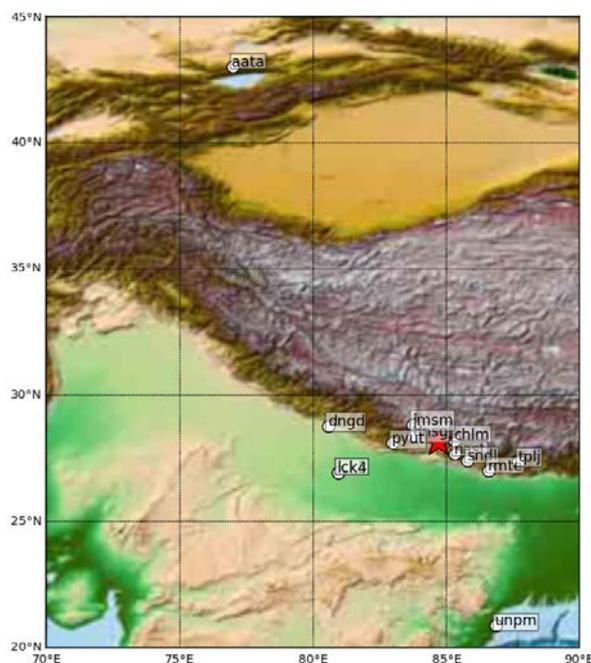


Рисунок 2 – Расположение использованных GNSS станций и место землетрясения.

Линейная экстраполяция момента появления первого возмущения до нулевого расстояния до эпицентра даёт время задержки 330 секунд (рисунки 4, 5). Наклон линий, проложенных вдоль одинаковых фаз волнового возмущения ПЭС соответствует горизонтальной скорости распространения возмущения около 1.6 км/с. Такая скорость распространения возмущения говорит о том, что ионосферное возмущение вызывается

акустическим воздействием от подионосферной поверхности Земли, через которую проходят поперечные сейсмические S-волны. [4,5]

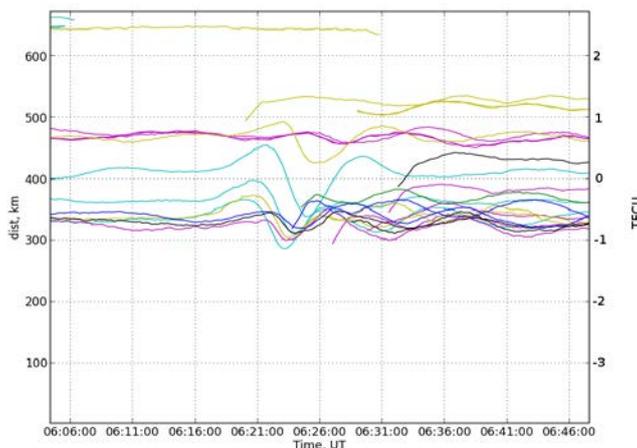


Рисунок 3 – Графики вариаций ПЭС.

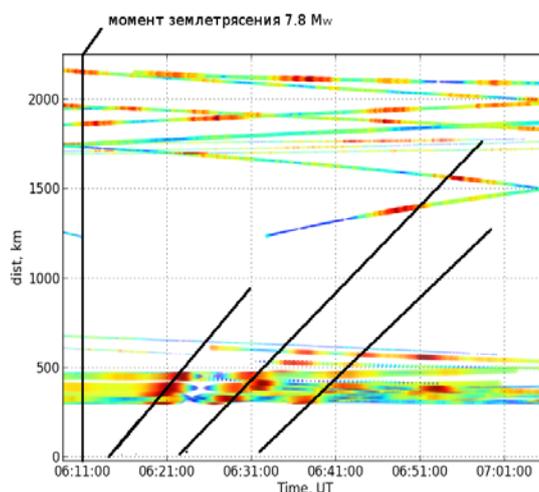


Рисунок 4 – Вариации ПЭС в зависимости от времени измерений и расстояния до эпицентра землетрясения.

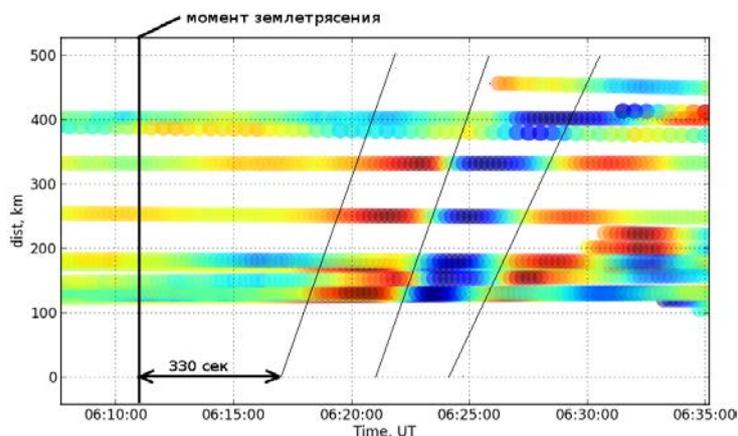


Рисунок 5 – Вариации ПЭС в ближней зоне землетрясения в зависимости от времени измерений и расстояния до эпицентра землетрясения.

Обнаружено, что после землетрясения в данных всех отмеченных станций появляются аномальные волновые возмущения с периодом около 10 минут, и с определённой задержкой во времени. На рисунке 3 представлены данные ПЭС после удаления низких частот, при

этом положение графиков на левой оси соответствует расстоянию от GNSS станции до эпицентра. Видно, что максимальная амплитуда возмущений составляет примерно 1.2 TECU, период возмущений 7-8 минут, длительность возмущения составляет 2-3 периода, а также, что некоторые станции, расположенные на одинаковом расстоянии эпицентра, имеют различную амплитуду возмущений (рисунок 4).

Литература

1. Otsuka Y., et al. GPS detection of total electron content variations over Indonesia and Thailand following the 26 December 2004 earthquake // Earth Planets Space. 2006. № 58. P. 159–165.
2. Liu J.Y., Chen C.H., Lin C.H., Tsai H.F., Chen C.H., Kamogawa M. Ionospheric disturbances triggered by the 11 March 2011 M9.0 Tohoku earthquake // J. Geophys. Res. 2011. № 116. P. 6319.
3. Reddy C.D., Sunil A.S., González G., Mahesh N. Shrivastava, Marcos Moreno. Near-field CO-seismic ionospheric response due to the northern Chile Mw 8.1 Pisagua earthquake on April 1, 2014 from GPS observations // Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. 2015. № 134. P. 1-8.
4. Reddy C.D., Gopi K. Seemala. Two-mode ionospheric response and Rayleigh wave group velocity distribution reckoned from GPS measurement following Mw 7.8 Nepal earthquake on 25 April 2015 // Journal of Geophysical Research: Space Physics. 2015. Vol. 120. P. 7049-7059.
5. Klausner V, Fagundes P.R., Sahai Y., Wrasse C.M., Pillat V.G., Becker-Guedes F. Observations of GW/TID oscillations in the F2 layer at low latitude during high and low solar activity, geomagnetic quiet and disturbed periods // Journal of geophysical research. 2009. Vol. 114. P. 49-58.

УДК 624.131.1(575.3)

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЛЁССОВЫХ ПОРОД ДАНГАРИНСКОЙ ДОЛИНЫ (ЮЖНЫЙ ТАДЖИКИСТАН)

GEOTECHNICAL AND HYDROGEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF LOESS MATERIAL DANGARA VALLEY (SOUTHERN TAJIKISTAN)

Комилов О.К., Гайратов М.Т.

malikdod@mail.ru, komivov01942@mail.ru

Таджикский национальный университет, г. Душанбе, Таджикистан

Аннотация. В статье приведены состав, свойства и распространение лёссовых пород Дангаринского долины, как уникального объекта гидротехнического строительства и сельскохозяйственного использования земель. Отмечается высокая просадочность лёссовых грунтов на водораздельных и склоновых участках рельефа, где мощность просадочной толщи доходит до 30 и более метров, а суммарная просадка от природного давления при полном увлажнении составляет от 1,0 до 3,30м. Грунтовые воды в пределах равнинной части Дангаринского плато имеют близкое залегание от 2-3м до 10-15м с минерализацией от 0,8г/л до 10г/л.

Ключевые слова: лёсс, предгорный шлейф, конус-выноса, плато, микроагрегатный состав, плотность, пористость, минерализация, засоленность, водораздел.

В условиях дефицита пригодных для освоения равнинных земель в Республике Таджикистан приходится осваивать богарные склоны горных долин. К одной из таких осваиваемых территорий относится массив просадочных лёссов Дангара [1].

Проблемы использования земель крутых склонов периферии долин и гор связаны с неустойчивостью катастрофически легко размываемых водой просадочных лёссовых грунтов, которые индуцируют следующие геориски: природную-овражную и техногенно-ирригационную эрозию, суффозию, оползни.

Инженерно-геологические мелиоративно-грунтоведческие исследования инновационных способов защиты от просадок в лёссах и вызванных ими георисков являются актуальными задачами, требующими технологических решений при освоении земель.

В пределах равнинной части Дангаринского плато выделяются четыре гидрогеологических района [1]

1. Грунтовые воды предгорных шлейфов с конусами выноса, сложенными пролювиально-делювиальными отложениями; глубина залегания грунтовых вод 10-15 м, их минерализация 0.8-4.2 г/л, по составу они сульфатные с преобладанием магния.

2. Грунтовые воды периферической части конусов выноса в центральной части Дангаринского плато по линии кишлаков Турткуль и Корез; уровень грунтовых вод не опускается ниже 2,5 м. Минерализация грунтовых вод от 3.1 до 75.7 г/л; при содержании хлора 0.13-6 г/л ведет к засоленности почв.

3. Грунтовые воды участка Алимтай: залегание грунтовых вод в центре от 11 до 32 м, а в долинах саев от 3 до 5 м. Минерализация 5.12-9.06 г/л.

4. Подземные воды Ходжаркинского массива; они залегают не глубже 2-4 м при минерализации 0,5-10 г/л сульфат-натриевого состава.

Лёссовые породы наиболее широко развиты в Дангаринской долине и служат основанием большинства гидротехнических сооружений. В них проходит основная часть каналов ВД-2, ВД-3 Гужевакского тоннеля, машинных и распределительных каналов. Мощность лёссового покрова на речных террасах 16-40 м, на предгорных возвышенностях 50-70 м, на предгорных шлейфах в приадырной зоне - 100-135 м, а на плато Алимтай-140-200 м [2].

Лёссовым породам свойственен однородный гранулометрический состав. Медианный диаметр частиц составляет 0.02-0.024 мм, коэффициент неоднородности $\left(\frac{d_{60}}{d_{10}}\right)_{12-15,5}$

отмечается повышением тонкости материала к центральной части Дангаринской долины и подножию возвышенностей от их вершин. Фракция 0.01-0.05 мм преобладает, составляя обычно не менее 55% по весу. Пылеватых частиц (0.05 -0.005 мм) содержится в среднем 65.4-70%, рассеяние значений не велико ($\delta = 7.3-9.5\%$).

Сопоставлением результатов микроагрегатного и дисперсного анализов установлено, что часть пылеватых частиц (до 38%) является агрегатами. Гранулометрический состав лёссовых пород на плато Алимтай отличается исключительным однообразием по всему изученному 143 м разрезу [2,3].

Минералогический состав частиц $>0,001\text{мм}$ характеризуется преобладанием (91-98%) легкой фракции (кварц, полевые шпаты, пелитизированные и глинистые минералы и слюды), содержание которых закономерно уменьшается по мере движения от водораздельных участков к центру впадины. Рост содержания тяжелой фракции (гематит, лимонит, роговая обманка, хлоритоиды и др.) по направлению сноса материала является результатом обогащения мелкозёмов продуктами выветривания местных коренных пород. Глинистые частицы ($<0,001\text{мм}$) характеризуются иллитосерицито-каолинитовым составом.

Лёссы, как правило, отличаются неравномерной, но в целом незначительной засоленностью, особенно на склонах и водоразделах, где содержание легкорастворимых солей, как правило, меньше 0.3-0.7%. Общая засоленность лёссовых пород, в том числе содержание гипса, возрастает от водораздельных участков к центру Дангаринской впадины.

В лёссах преобладают грунты с зернистой структурой. Имеет место переход от зернистых к агрегативным структурам в направлении от высоких к низким элементам рельефа.

По данным [1] число пластичности лёссов составляет обычно 8-9, влажность на пределе раскатывания 19-21%. Водопроницаемость лёссовых пород до глубины 20 м характеризуется средним значением коэффициента фильтрации 0.32м/сут при сравнительно невысоком рассеянии $\delta = 0.13$ м/сут. Плотность частиц лёссовых пород весьма однообразная и составляет 2.68-2.69 г/см³ при ограниченном рассеянии ($\delta = 0,01-0,016$ г/см³). Пористость высокая, в верхнем 20-30 м слое она составляет 48-52%. Через каждые 5 м в пределах верхнего слоя пористость снижается в среднем на 1.0-1.5%.

На водораздельных участках на глубине 15 м пористость почти такая же, как в верхних слоях, глубже она уменьшается около 2% на 5 м, а ниже 20-30 м в среднем на 1%. По распределению влаги в лёссовой толще выделяется три зоны. Верхняя - до глубины 0.8-1.2 м на склонах и водоразделах, и до 2-3 м –на дне понижений с сезонно меняющейся влажностью. В следующей зоне влажность составляет 4.8-8.9%, причем наименее влажные грунты отмечаются на водоразделах и склонах, более низкое положение пород в рельефе определяет более высокую их влажность. Третья зона с наиболее высокой (27-30%) влажностью не всегда является нижней. На дне понижений на Алимтае на глубине 14-26 м отмечаются линзы водонасыщенных грунтов, ниже которых идет мощная толща «сухих» лёссов.

Деформативные показатели отличаются неоднородностью: модуль деформации E составляет 3.7-13.6 МПа при средних значениях 6.8-8.9 МПа, а в слабых разностях 1.6-3.0 МПа. По результатам полевых испытаний штампами модуль деформации сухих лёссов составил 30.8 МПа, водонасыщенных – 3.7 МПа. Для лёссовых пород вдоль западной окраины Дангаринской долины свойственны более высокие значения E-9.0-14.0 МПа. Расчетное удельное сцепление, вычисленное согласно ГОСТу, составляет 0.003-0.011 МПа; в верхнем слое оно несколько выше - 0.016 МПа. Характерные расчетные значения угла внутреннего трения 21-23°.

Лёссовые породы в Дангаринской впадине имеют высокую просадочность, наиболее значительной на водораздельных участках и склонах; к более низким элементам рельефа просадочность уменьшается (табл. 1) [1]. Значение коэффициента относительной просадочности при природном давлении на плато Алимтай, предгорном шлейфе Джилантау и предгорье составляет 0.063-0.07, достигая по отдельным разрезам 0.10-0.11. На предгорных шлейфах Бешчуйак и Аксуяк этот показатель равен 0.045, а хребта Гулизиндон 0.03, по отдельным разрезам соответственно до 0.084 и 0.065. Мощность просадочного слоя на безводных участках или с глубоко залегающими грунтовыми водами (>40 м) составляет 30 м. Наибольшей просадочностью при природном давлении отмечаются слои в интервале 7-22 м, ниже просадочность уменьшается. К периферии предгорных шлейфов и на речных террасах мощность просадочного слоя уменьшается и зависит от положения УГВ: обычно она не превышает 16-24 м.

Наличие обломочного материала в виде включений, прослоев и линз не является признаком непросадочности лёссовых грунтов. На предгорных шлейфах Джилантау и Гулизиндона ниже таких прослоев залежали высоко просадочные лёссы (трасса ВД-3), а суглинистый заполнитель при наличии обломочного материала при испытаниях также обнаруживал просадочные свойства.

Таблица 1 - Физико-механические свойства лёссовых пород

Показатели	Предгорный шлейф		плато Алимтай	Предгорные возвышенности	Высокие террасы реки Таирсу
	гора Аксуяк Бешчуйак	хребет Джилантау			
Число пластичности	7	7	9	6	8

Естественная влажность, %	8.1	6.4	8.9	6.2	10.7
Плотность частиц грунта, г/см ³	2.68	2.67	2.67	2.68	2.8
Плотность грунта, г/см ³	1.39	1.43	1.36	1.37	1.46
Плотность сухого грунта, г/см ³	1.29	1.29	1.25	1.29	1.33
Пористость, %	51.3	51.7	53.1	51.9	50.4
Относительная просадочность при природном давлении	0.045	0.07	0.07	0.063	0.024
Максимальная расчетная просадка, м	1.75	2.68	3.30	2.68	1.00

Аналогичные явления наблюдались и в Яванской долине вдоль Лево́й ветки. Суммарная величина просадки в лёссовых породах на высоких элементах рельефа составляет 1.75-2.55 м, достигая по отдельным разрезам 3.3 м: к центральной части Дангаринской долины величина просадки закономерно уменьшается. В табл. 1 приводятся физико-механические свойства лёссовых пород для различных геоморфологических уровней их залегания на плато Дангара. Лёссы отличаются низким начальным просадочным давлением (0,05-0,03 МПа), в связи, с чем просадки развиваются очень быстро после увлажнения грунтов на глубину 1-2 м. Возможная относительная послепросадочная деформация в условиях длительной фильтрации, определенная лабораторным путем, составляет 16-23% от величины просадки.

Главным источником орошения и водоснабжения народного хозяйства Дангаринского района является р. Вахш водах посредством Дангаринского магистрального канала из Нурекского водохранилища. Подземные воды залегают на глубинах 0.6-1.5м. Водоснабжение населенных пунктов и сельского хозяйства базируется на родниках, скважинах, каптирующих подземные воды, а также из Нурекского водохранилища [4, 5].

Таким образом лёссовые породы Дангаринской долины являются уникальным объектом гидротехнического строительства и сельскохозяйственного использования земель. Отмечается высокая просадочность грунтов на водораздельных и склоновых участках. Грунтовые воды в пределах долины залегают низко к поверхности (от 2 до 15 метров с минерализацией от 0,8 до 10 г/л.

Литература

1. Гайратов М.Т. Гидрологическая характеристика подземных и поверхностных вод Дангаринской долины в связи с ирригационно-хозяйственными потребностями // Материалы науч.-теорет. конф. профессорско-преподавательского состава и студентов, посвященной «15-й годовщине Независимости Республики Таджикистан», «2700-летию города Куляба» и «Году арийской цивилизации» «День науки». Часть I. Душанбе. 2006. С. 140.
2. Сквалецкий Е.Н. Инженерно-геологическое прогнозирование и охрана природной среды (на примере освоения лёссовых территорий Таджикистана). Душанбе: Дониш. 1988. 259 с.
3. Гайратов М.Т., Сайфуллоева К.Г. Карстовые и суффозионные явления территории плато Алимтай и мероприятия по ослаблению их развития (Дангаринской район) //

Материалы науч.-теорет. конф. профессорско-преподавательского состава и студентов, посвященной «15-й годовщине Независимости Республики Таджикистан», «2700-летию города Куляба» и «Году арийской цивилизации» «День науки». Часть I. Душанбе. 2006. С. 142.

4. Гайратов М.Т., Малахов Ф.А. Современное состояние проблемы ирригационного освоения лёссовых грунтов // Молодые ученые и современная наука. Материалы IV науч. конф. молодых ученых и исследователей. Вып. 4. Душанбе: ТГНУ, Хумо. 2004. С. 30-31.
5. Гайратов М.Т., Сайфуллоева К.Г. Влияние просадочных свойств лёссовых грунтов западной части плато Алимтай в связи с проблемой орошения земель Дангаринской долины. // Материалы науч.-теорет. конф. профессорско-преподавательского состава и студентов, посвященной «15-й годовщине Независимости Республики Таджикистан», «2700-летию города Куляба» и «Году арийской цивилизации» «День науки». Часть I. Душанбе: 2006. С. 141.

УДК 550.380

О СВЯЗИ НАБЛЮДАЕМЫХ ВАРИАЦИЙ РАЗНОСТИ ПОЛНОГО ВЕКТОРА МАГНИТНОГО ПОЛЯ С СЕЙСМИЧНОСТЬЮ НА ТЕРРИТОРИИ БИШКЕКСКОГО ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО ПОЛИГОНА

ABOUT CORRELATION BETWEEN VARIATIONS OF THE DIFFERENCE OF COMPLETE VECTOR OF MAGNETIC FIELD WITH SEISMICITY OBSERVED ON THE TERRITORY OF GEODYNAMIC PROVING GROUND

Лазарева Е.А., Мухамадеева В.А.

lazareva@gdirc.ru, vinera@gdirc.ru

Научная станция Российской академии наук, г. Бишкек, Кыргызстан

***Аннотация.** В статье дается краткая характеристика сейсмичности Бишкекского геодинамического полигона, анализируются временные ряды разности модуля полного вектора магнитного поля и на отдельных примерах прослеживается связь вариаций магнитного поля с сейсмическими событиями.*

***Ключевые слова:** мониторинг, вариации, сейсмические события, магнитное поле.*

Как известно, развитие геодинамических процессов сопровождается изменением напряженно-деформированного состояния земной коры, накоплением сейсмической энергии. Разрядка накопленных в земной коре напряжений в виде сильных землетрясений представляет реальную угрозу для населения и объектов народного хозяйства. Поэтому мониторинг состояния геологической среды, планомерное изучение предвестников землетрясений по-прежнему актуальны.

Изменения напряженно-деформированного состояния среды находят свое отражение в вариациях физических параметров различных геофизических полей, в частности, магнитного поля Земли. Геомагнитные наблюдения с регистрацией модуля полного вектора T магнитного поля производятся в пределах Бишкекского геодинамического полигона (БГП) с 1982 года по сети, насчитывающей в настоящее время 7 стационарных и 10 рядовых пунктов (рисунок 1). При обработке данных наблюдений используется общепринятая разностная методика.

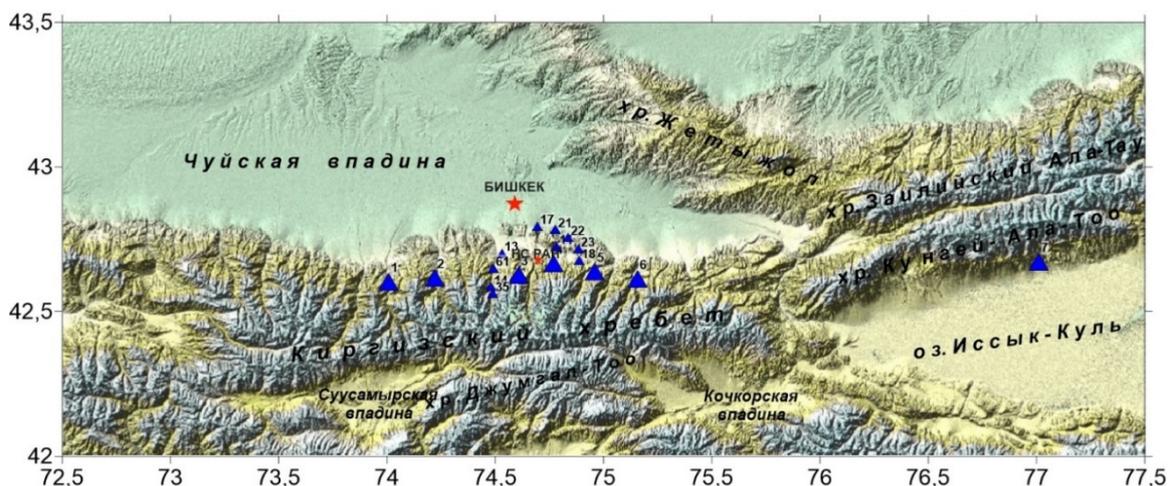


Рисунок 1 – Схема расположения пунктов геомагнитных наблюдений.

Стационары: 1-Аксу; 2-Шавай; 3-Чонкурчак; 4-Таш-Башат; 5-Иссык-Ата; 6-Кегеты; 7-Карагай-Булак. *Рядовые пункты:* 11-Норус; 13-Кашкасу; 14-Ала-Арча средняя; 17-Ала-Тоо; 18-Тогузбулак; 21-Дачи; 22-Серафимовка нижняя; 23-Горная Серафимовка; 35-Верхняя Ала-Арча; 61-Шлагбаум.

С целью уменьшения объема работ разности (ΔT) вычисляются только с одной станцией (опорной), за которую принята станция Ак-Суу. Ниже приводятся фрагменты временных рядов ΔT по пунктам геомагнитного мониторинга. Однако прежде чем приступить анализу выявленных вариаций ΔT , имеет смысл дать некоторую характеристику рассматриваемой территории с точки зрения сейсмологии.

Бишкекский геодинамический полигон расположен в пределах Северо-Тянь-Шаньской сейсмогенерирующей зоны. Согласно данным статистики, в пределах площади, ограниченной координатами $41-44^{\circ}$ с.ш. и $72-78^{\circ}$ в.д., в период с 1994 по 2016 гг. сетью KNET было зарегистрировано 8522 сейсмических события различного класса, т.е. в среднем около 370 событий в год. В центральной части полигона, в рамках $42^{\circ}-43.2^{\circ}$ с.ш. и $73^{\circ}-76^{\circ}$ в.д. и в радиусе примерно 60 км от ИС РАН, станциями сети зафиксировано 4068 землетрясений: в основном это слабые события 6-8-го класса, более сильные землетрясения, особенно с $K > 13$, крайне редки. Пространственное их распределение по рассматриваемой площади отражено на рисунке 2.

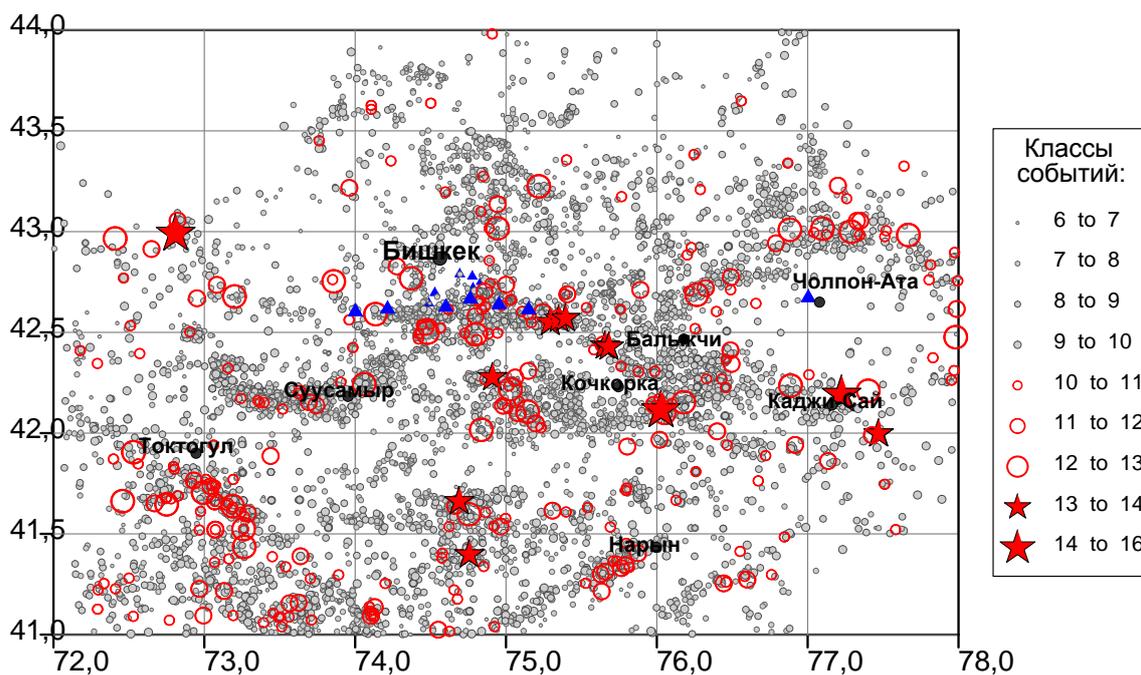


Рисунок 2 – Общая картина сейсмичности по данным сети KNET в период с 1994 г. по 2016 г. на территории Бишкекского прогностического полигона и в его окрестностях. Синими треугольниками отмечены пункты геомагнитного мониторинга.

На карте достаточно четко выделяются участки с высокой плотностью землетрясений и участки с разреженной сейсмичностью. Наиболее близкой к Бишкеку сейсмоактивной зоной является расположенная к югу от него центральная часть Киргизского хребта.

Как показывает статистический анализ частоты, с которой случаются землетрясения (в данном случае рассматривается весь диапазон энергетических классов - от 6 и выше), в 68% случаев они следуют друг за другом с интервалом менее одних суток, в 19% случаев – от одних суток до двух, в 7% - от двух до трех суток и далее по убывающей. Случаи, когда временной интервал между двумя землетрясениями превышает 10 дней, крайне редки.

Как отмечалось выше, аномальные вариации геомагнитного поля отражают происходящие в земной коре изменения напряженно-деформированного состояния среды, связанные в том числе и с подготовкой землетрясений.

Рассмотрим, как ведет себя магнитное поле, измеренное на стационарных и рядовых пунктах наблюдения. На рисунке 3 представлены фрагменты временных рядов разности полного вектора ΔT магнитного поля за последние 3 года (для стационарных пунктов) и 5 лет (для рядовых пунктов наблюдения).

Как видно из рисунка 3, наблюдаемые вариации магнитного поля совпадают или предшествуют землетрясениям. Однако во временных рядах присутствует и достаточное количество вариаций, которые невозможно связать с сейсмическими событиями и которые не нашли отражения в результатах наблюдений. Обращает на себя внимание, что низкочастотные трендовые компоненты процесса различны во всех пунктах наблюдений и в общем случае не коррелируются друг с другом. Это означает, что эта компонента определяется локальными процессами, происходящими на каждом пункте, и не связана с геодинамическим процессом, который захватывает значительные территории [1].

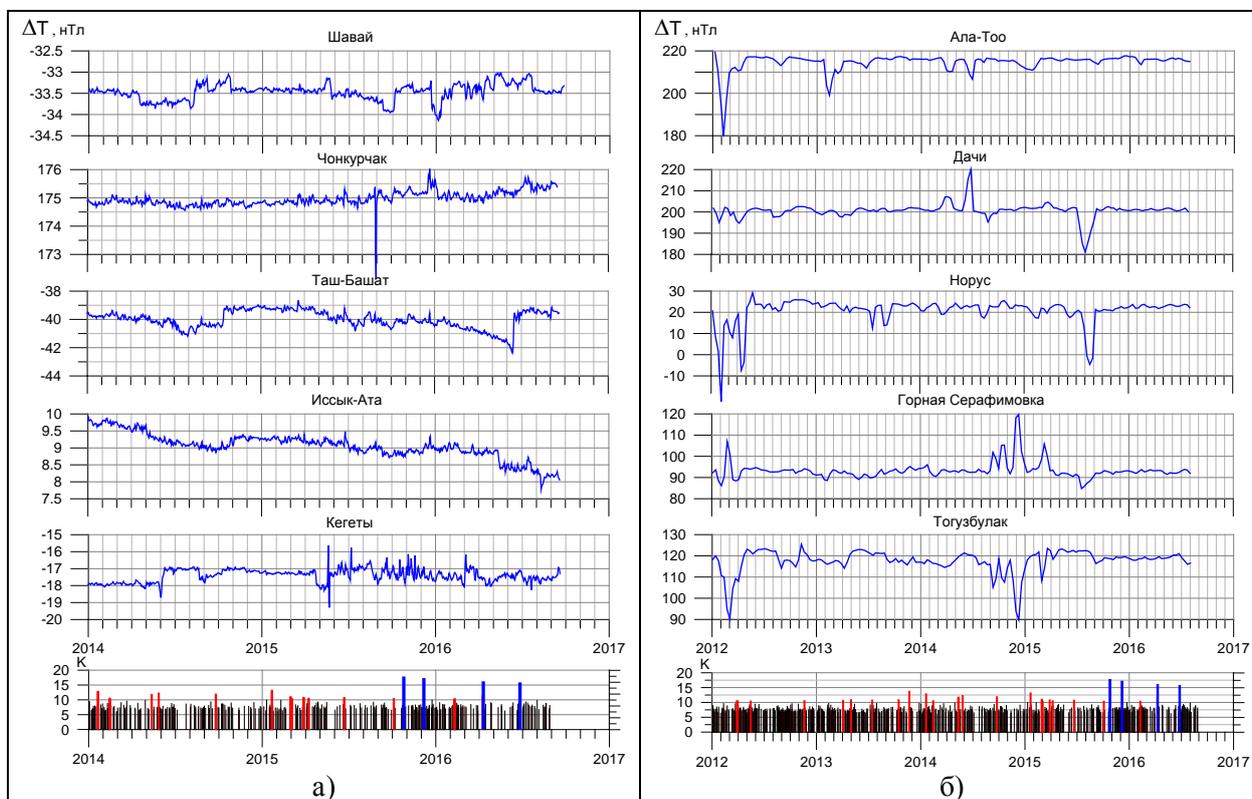


Рисунок 3 – Временные ряды вариаций разностей полного вектора магнитного поля за последние 3 года на стационарных пунктах сети мониторинга (а) и за последние 5 лет на рядовых пунктах геомагнитных наблюдений (б). Шкала сейсмических событий (по данным

сети KNET) включает четыре сильных землетрясения из каталога NEIC (выделены синим цветом), произошедших за пределами БГП в октябре 2015 г. – июне 2016 г.

Рассмотрим более детально процесс изменения ΔT в период с сентября 2015 г. до сентября 2016 г. Выбор именно этого временного диапазона не случаен. На проявление вариаций геомагнитного поля в указанный период времени могли оказать влияние и сильные события с эпицентрами за пределами Бишкекского геодинамического полигона, как, например, землетрясение с $M_w=7.5$ 26.10.2015 в Гиндукуше (Афганистан), которое ощущалось на значительной части территории Киргизии, а также в столице республики г. Бишкеке в виде слабых, но частых и достаточно продолжительных колебаний грунта, а также последовавшая за ним целая серия сейсмических событий с $M>5$ ($K>13$), эпицентры которых расположились в полосе северо-восточного направления, протянувшейся от очага упомянутого выше землетрясения до озера Иссык-Куль (рисунки 4, 5).

Несмотря на значительную удаленность эпицентра землетрясения от сети мониторинга (более 700 км), на графиках разности полного вектора магнитного поля (рисунок 6), построенного по среднесуточным значениям ΔT проявились, хотя и слабые, аномальные эффекты, фиксирующие процесс его подготовки.

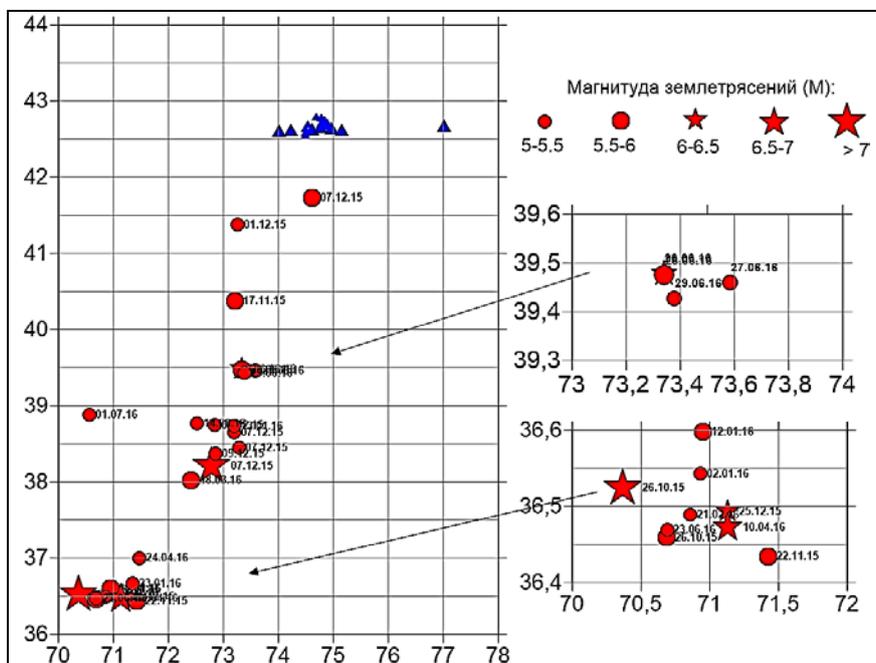
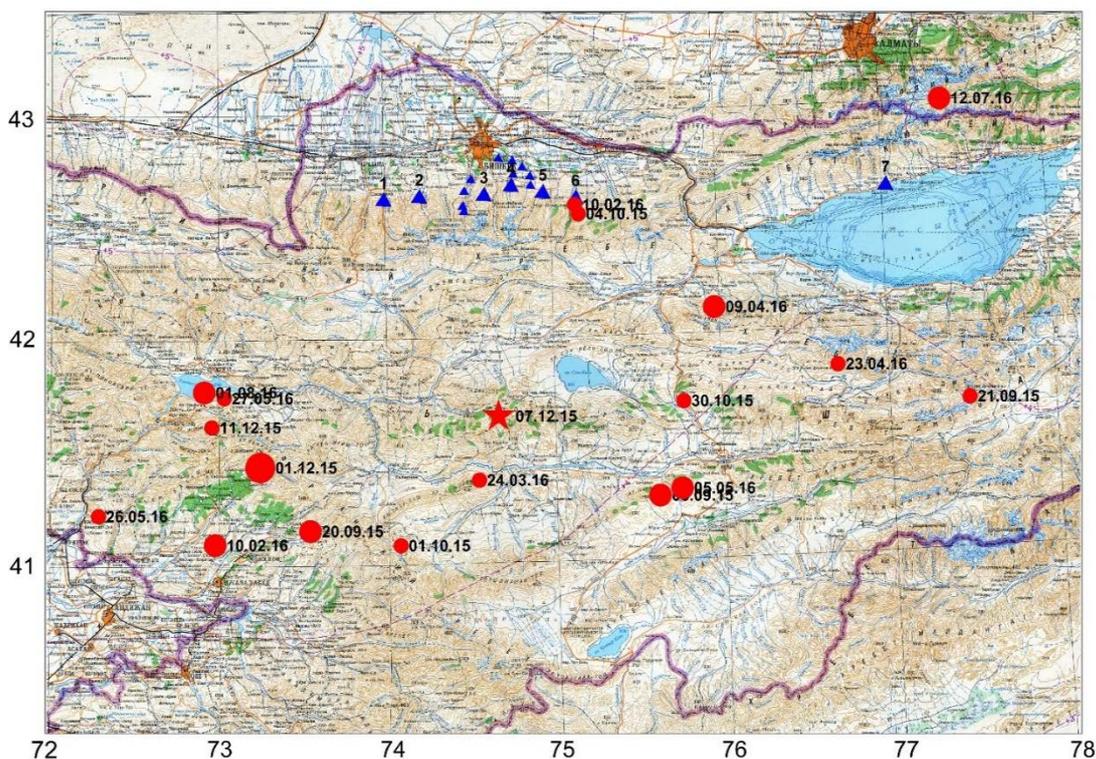


Рисунок 4 – Положение очагов сейсмических событий с $M>5$ ($K>13$), зарегистрированных в период с 2015 г. по август 2016 г. Синими треугольниками обозначены пункты геомагнитного мониторинга.



Классы землетрясений: ● 10-11 ● 11-12 ● 12-13 ★ 13-15

Рисунок 5 – Распределение эпицентров землетрясений с $K > 10$ в пределах территории: 41° - 44° с.ш. и 72° - 78° в.д. в период с сентября 2015 г. до сентября 2016 г.

Однако на суточных графиках ΔT (рисунок 6) все выглядит иначе: так, например, на станции Кегеты, расположенной к северо-востоку от вышеупомянутого землетрясения на расстоянии около 780 км, через час после землетрясения отмечается резкий, но кратковременный спад ΔT на 50 нТл. В последующие пять часов после события наблюдаются менее интенсивные «всплески» ΔT , связанные, вероятнее всего, с афтершоками афганского землетрясения или с отдельными событиями на территории Таджикистана. На площади БГП сетью KNET в это время не было зафиксировано ни одного события.

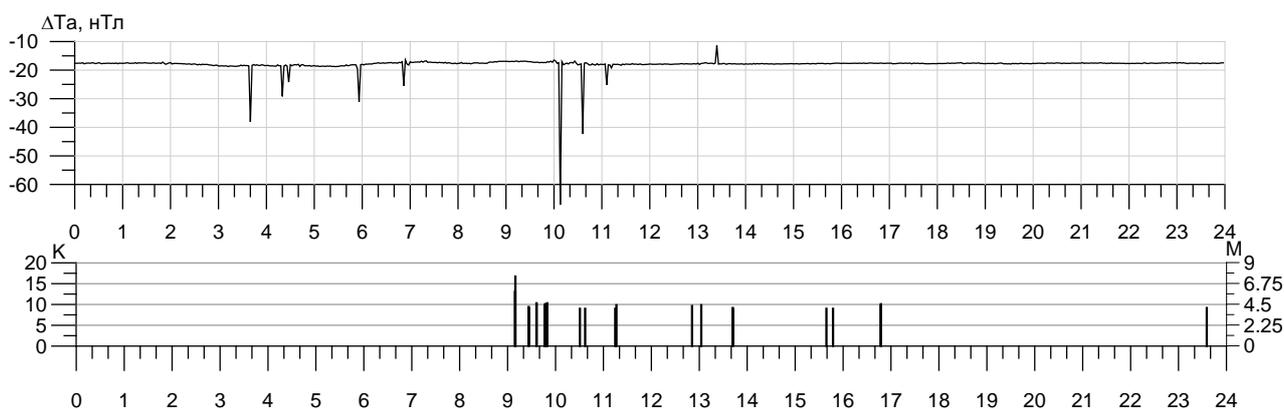


Рисунок 6 – Вариации ΔT на станции Кегеты, происходившие в течение суток 26.10.2015 г. На сейсмическую шкалу вынесены землетрясения с $M > 5$, взятые из каталога NEIC.

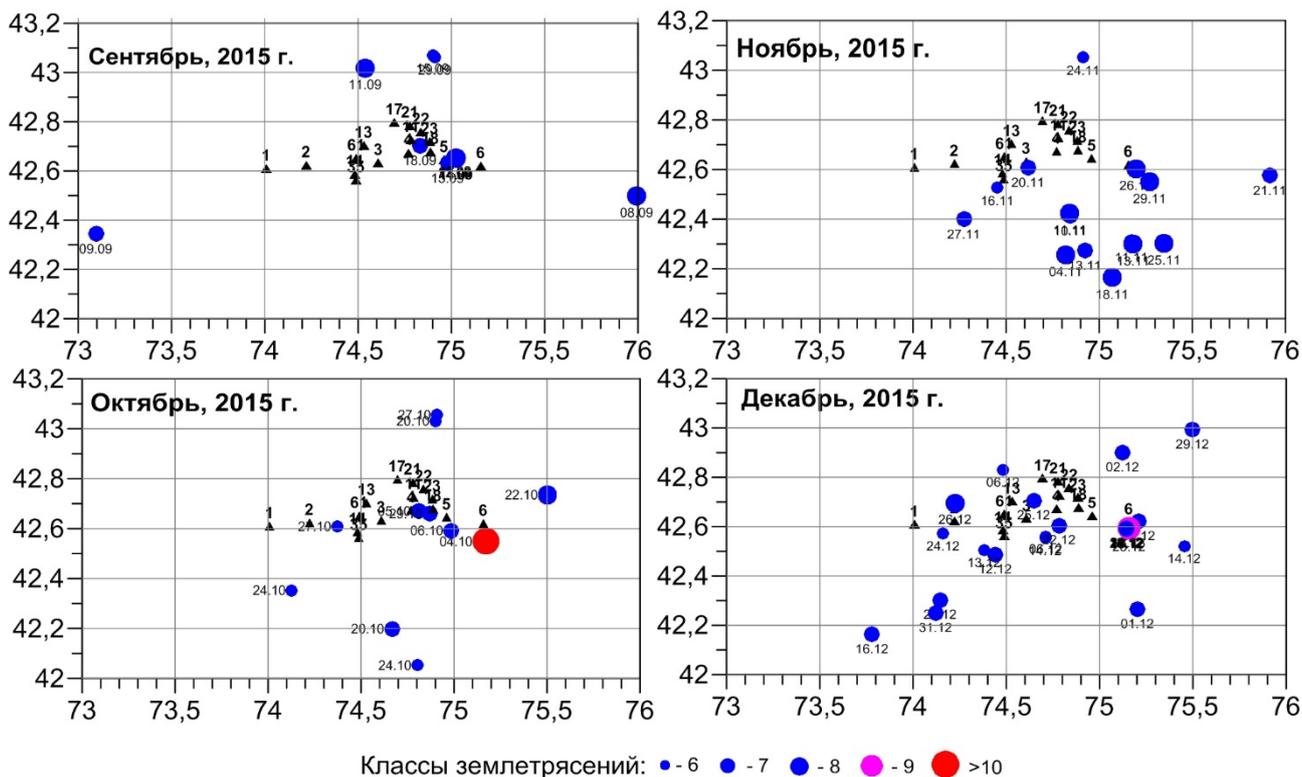


Рисунок 7 – Распределение сейсмичности в октябре-декабре 2015 г. на территории БПП. Треугольниками черного цвета обозначены пункты геомагнитных наблюдений. Названия пунктов и соответствующие им номера приведены в условных обозначениях к рисунку 1.

Изменения ΔT , произошедшие с момента землетрясения, прослеживаются и на других пунктах сети (рисунок 3). Так, на стационарном пункте Шавай, в крайней западной части сети геомагнитного мониторинга, событиям в октябре 2015 г. предшествует достаточно продолжительный период снижения ΔT на 0,8 нТл, который заканчивается резким скачком поля вначале октября на 0,6 нТл и последующим слабым его возрастанием до конца октября. По всей видимости, такое стремительное изменение поля могло быть приурочено к событию 04.10.2015 г. с $K=10.1$ вблизи п. Кегеты (рисунок 7), или же таким образом отразился начавшийся этап подготовки землетрясения в Гиндукуше 26.10.2015 г. с $M_w=7.5$.

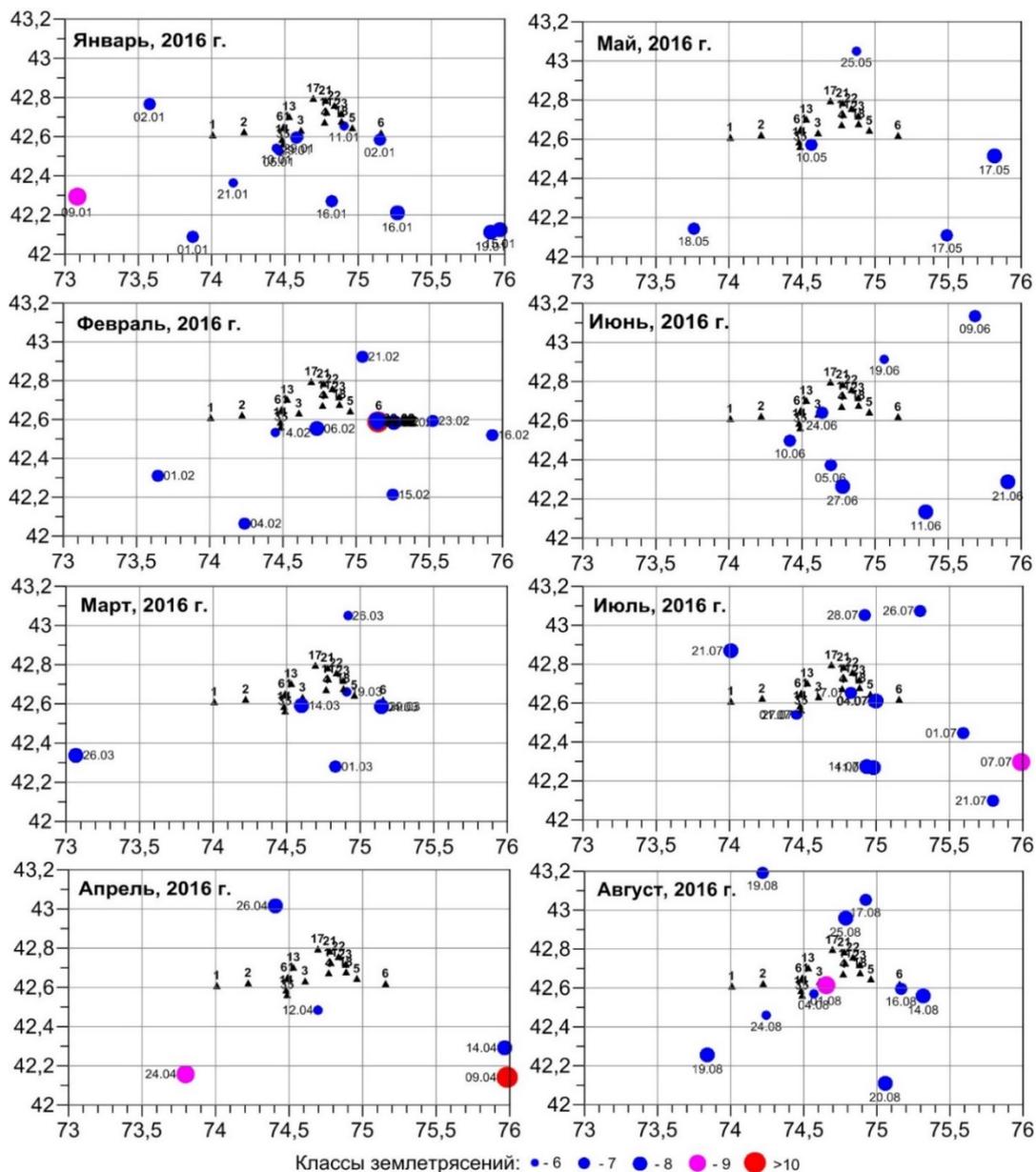


Рисунок 8 – Распределение сейсмичности в январе-августе 2016 г. на территории БГП. Треугольниками обозначены пункты геомагнитных наблюдений. Названия пунктов и соответствующие им номера приведены в условных обозначениях к рисунку 1.

На станции Кегеты период с сентября по ноябрь 2015 г. отмечен небывалой сейсмической активностью: рисунок 7 наглядно демонстрирует, как в течение указанных месяцев происходило распределение сейсмической активности в пределах сети геомагнитных наблюдений и в его окрестностях.

Согласно каталогу KNET, в этот период только в радиусе 20 км имело место 11 сейсмических событий, в числе которых было землетрясение с $K=10.1$ (04.10.2015 г., в 7.4 км к югу от п. Кегеты). Поэтому на графиках ΔT для стационара Кегеты наблюдаемые вариации поля в виде частых и резких колебаний ΔT (в полосе от -18.12 нТл до -16,05 нТл) несут в себе некий суммарный эффект и от дальних, и от близких землетрясений.

Обращают на себя внимание вариации разности полного вектора магнитного поля в декабре 2015 г. На п. Шавай с середины декабря до начала января происходит резкий кратковременный рост и последующее падение ΔT на 1,1 нТл, аналогичная картина наблюдается и на станции Чонкурчак: рост ΔT на 1 нТл сменяется его спадом на 1,2 нТл. Не исключено, что таким образом проявились постсейсмические эффекты от землетрясения 07.12.2015 г. с $K=13.6$ и эпицентром на водоразделе хребта Молодо-Тоо, в 140 км к югу от

Бишкека, или же сказалось влияние слабых, но близких по расстоянию к пунктам магнитометрии сейсмических событий с эпицентрами в пределах сети мониторинга (рисунок 8).

Вызывает удивление факт отсутствия в феврале 2016 г. отклика геомагнитного поля на серию слабых сейсмических событий в окрестностях п. Кегеты: сетью KNET в указанное время зафиксировано 42 события, эпицентры 20-ти из которых располагались в радиусе 20 км, а 15 событий – на расстоянии не более 3,5 км.

Наблюдаемые на п. Кегеты вариации ΔT в марте приурочены, вероятно, не столько к близким, но малочисленным событиям 6-8 классов, сколько отражают этап подготовки более сильного землетрясения – 09.04.2016 г. с $K=11.6$, на южной окраине Кочкорской впадины, в 80 км от ст. Кегеты.

На фоне сейсмического затишья в мае 2016 г. на станции Иссык-Ата наблюдается ступенеобразный спад ΔT на 0,5 нТл, наиболее вероятной причиной которого является землетрясение 11.05.2016 г. с $K=13.2$, очаг которого находился на территории Казахстана, в предгорной зоне Чу-Илийских гор, примерно в 140 км к северу от г. Бишкека и в 112 км от станции Иссык-Ата.

Вполне возможно, что с другим сильным землетрясением 26.06.2016 г. с магнитудой $M_w=6.4$ (по данным NEIC) вблизи селения Сары-Таш (на границе Киргизии и Таджикистана), на расстоянии более 300 км к югу от НС РАН, связаны аномальные изменения ΔT , зафиксированные на стационарном пункте Таш-Башат: начавшись в январе, плавный спад поля (на 2,5 нТл в течение 5 месяцев) заканчивается в первой половине июня резким возрастанием значений ΔT сразу на 3 нТл, и этот уровень ΔT сохраняется вплоть до сентября 2016 г.

На временных рядах рядовых пунктов геомагнитных наблюдений (рисунок 3б) аномальные изменения ΔT в рассматриваемый период времени проявлены слабо. В целом они имеют фрагментарный характер: на отдельно взятых графиках ΔT отражаются лишь какие-то определенные сейсмические события или серии слабых землетрясений, как правило, близких по своему пространственному положению к пункту наблюдения или ко времени поведения на нем полевых измерений. Дискретность полевых наблюдений (1 раз в неделю) на рядовых пунктах, осуществляемых передвижной станцией, не позволяет фиксировать в полной мере все эффекты от землетрясения – удается «ухватить» лишь часть от какого-либо этапа его развития.

Обращает на себя внимание череда положительных вариаций геомагнитного поля на п. Горная Серафимовка и отрицательных на п. Тогузбулак, имевшая место годом ранее. В период с сентября 2014 г. по конец февраля аномалии ΔT являются зеркальным отражением друг друга. Причем и на том и на другом пункте происходит последовательное нарастание амплитуды вариаций: относительно некоторого среднего уровня ΔT с начала года на п. Горная Серафимовка значения амплитуд составляют 9,6 нТл, 18 нТл и 26 нТл. Одновременно, в эти же месяцы, наблюдается последовательное снижение ΔT на п. Тогузбулак, соответственно на 15, 19 и 30 нТл. Такого рода «зеркальность» в поведении ΔT может объясняться различным положением пунктов относительно Шамсинско-Тюндюкского разлома, проходящего между ними: п. Тогузбулак расположен на южном взброшенном крыле разлома, а п. Горная Серафимовка - на его опущенном северном крыле. Аномальные проявления в сентябре 2014 г. были связаны с готовящимся землетрясением с $K=11.59$ 26.09.2014 и двумя его афтершоками, один из которых располагался в 3 км от п. 23 (Горная Серафимовка) и в 5 км от п. 18 (Тогузбулак). Серия слабых землетрясений 8 и 9 октября 2014 г., оконтуривающих сеть геомагнитного мониторинга с севера и юга, по всей вероятности, могла служить причиной аномального изменения магнитного поля в октябре 2014 г., а положительные и отрицательные вариации ΔT в декабре можно рассматривать как предвестники готовящегося землетрясения 22.01.2015 г. с $K=12.89$ к западу от Кочкорской впадины [1].

Подводя итог всему вышеизложенному, с учетом уже имеющегося опыта анализа геомагнитных данных, можно констатировать следующее:

- большое количество слабых землетрясений с $K=6\div 8$ является причиной постоянного присутствия во временных рядах незначительных вариаций, что несколько усложняет процесс интерпретации геомагнитных данных;
- во временных рядах имеют место вариации, которые не коррелируются с произошедшими землетрясениями, и их природа зачастую остается невыясненной;
- не всегда активизация напряженно-деформационного процесса, сопровождающаяся аномальным изменением геомагнитного поля, завершается сейсмическим событием; возможно, это связано с соотношением скорости деформационного процесса и инерцией геологической среды [1];
- нет ясно выраженной связи между продолжительностью вариаций геомагнитного поля, их амплитудой и силой землетрясения;
- в ряде случаев, когда на исследуемой площади одновременно происходит несколько землетрясений разного класса, аномальный эффект от близкорасположенного слабого землетрясения оказывается соизмерим с откликом на более сильное, но более удаленное от пункта наблюдения сейсмическое событие, что затрудняет процесс установления связи между вариациями поля и конкретным сейсмическим событием.

Следует обратить внимание и на различия в протекании вариаций на геомагнитных станциях сети. Это может быть связано с расположением конкретной станции относительно источника деформационного процесса; с различием физических, в том числе и магнитных свойств пород, подстилающих конкретную геомагнитную станцию; с разным геологическим и геоэлектрическим строением разреза под каждой из станций; с присутствием в районе расположения геомагнитной станции токовых систем различной природы, не связанных с геодинамическими процессами.

Все перечисленные выше причины затрудняют выделение «полезных» вариаций магнитного поля, предшествующих будущему землетрясению. Однако в какой-то степени задача немного упрощается, если геомагнитные наблюдения рассматриваются в комплексе с другими режимными наблюдениями, в частности, с электромагнитными наблюдениями [1].

Литература

1. Изучение геодинамических, сейсмических и геофизических процессов как основы прогноза землетрясений (включая моделирование неупругих процессов в сейсмогенерирующих зонах). Отчет о научно-исследовательской работе (годовой 2015 г.). Бишкек: ИС РАН. 2015. 116 с.

УДК 621.317:550.38

РАЗРАБОТКА БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ И РЕГИСТРАЦИИ СИГНАЛОВ ДЛЯ ГЕОЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА С ШУМОПОДОБНЫМИ СИГНАЛАМИ

DEVELOPMENT OF CONTROL UNIT AND REGISTRATION OF SIGNALS FOR THE GEOELECTROPROSPECTING MEASURING COMPLEX WITH PSEUDONOISE SIGNALS

Лашин О.А.

legyss@mail.ru

Научная станция Российской академии наук, г. Бишкек, Кыргызстан

Аннотация. Представлена разработка блока управления и регистрации сигналов, являющегося основной частью нового электроразведочного измерительного комплекса, предназначенного для проведения электромагнитного мониторинга земной коры и работающего по методу зондирования становлением поля в ближней зоне с применением шумоподобных зондирующих сигналов.

Ключевые слова: электроразведочный измерительный комплекс, электромагнитный мониторинг земной коры, блок управления и регистрации сигналов, шумоподобные сигналы.

Представленная работа посвящена созданию блока управления и регистрации сигналов для нового электроразведочного измерительного комплекса с шумоподобными зондирующими сигналами (ЭРК ШПС), разрабатываемого в Научной станции РАН, г. Бишкек [1]. Планируется использование ЭРК ШПС в качестве дополнения к аппаратуре, которой оснащены измерительные пункты действующей системы активного электромагнитного мониторинга напряженно-деформированного состояния земной коры, развернутой на территории Бишкекского геодинимического полигона. Ожидается, что внедрение ЭРК ШПС в технологию мониторинга позволит контролировать динамические процессы, происходящие в земной коре в широком диапазоне глубин (от первых сотен метров до 15÷20 км) при гораздо меньших мощностях зондирующей установки по сравнению с действующей. Это становится возможным благодаря применению в новом измерительном комплексе в качестве зондирующих сигналов последовательностей шумоподобных токовых импульсов и специальной цифровой обработки сигналов откликов земной коры на осуществляемое воздействие, принимаемых специальным широкополосным индукционным датчиком переменного магнитного поля.

На рис. 1 показана блок-схема ЭРК ШПС. Измерительный комплекс состоит из ниже перечисленных блоков и устройств: блок управления и регистрации сигналов (БУРС), блок усиления и фильтрации сигналов (БУФС), индукционный датчик сигналов (ИДС), индукционная зондирующая рамка (ИР), генератор зондирующих сигналов (ГЗС), блок ограничения тока (БОТ) и источники питания (на рисунке не показаны).

Блок управления и регистрации сигналов является главным (центральным) устройством измерительного комплекса ЭРК ШПС. Основные функции БУРС:

- формирование логических сигналов и команд, обеспечивающих переключение (настройку) рабочих режимов и синхронность работы, зондирующей и приемно-регистрирующей частей измерительного комплекса;
- преобразование в цифровую форму сигналов отклика земной коры, поступающих в БУРС с выхода аналоговой части приемного канала измерительного комплекса (выход блока БУФС);
- сохранение, накопление и передача во внешний персональный компьютер цифровых данных, получаемых в процессе проведения измерительных сеансов по зондированию земной коры.

Характерной особенностью разработанного блока управления и регистрации сигналов является высокая точность и стабильность параметров, формируемых этим блоком сигналов, обеспечивающих управление работой измерительного комплекса ЭРК ШПС и строгая синхронизация между сигналами, управляющими работой зондирующей и регистрирующей частей измерительного комплекса. Это позволило достичь требуемых высоких значений точности и стабильности технических и эксплуатационных характеристик и параметров измерительного комплекса в целом.

При разработке БУРС были приняты во внимание результаты полученные ранее при математическом моделировании работы измерительного комплекса, которые показали, что нестабильность временных параметров генерируемых комплексом шумоподобных зондирующих М-последовательностей токовых импульсов и недостаточная (неустойчивая) синхронизация управляющих работой аналого-цифрового преобразователя (АЦП) сигналов с формируемыми зондирующими импульсами, наряду с нелинейностью передаточной

характеристики измерительного тракта, приводят после применения корреляционной обработки зарегистрированных сигналов к появлению так называемых «структурных помех» [2]. Как правило эти помехи представляют собой импульсы экспоненциальной формы, расположенные на получаемой после цифровой обработки зарегистрированных сигналов кривой становления поля. Временное расположение «структурных помех» на кривые становления поля зависит от структуры, используемой зондирующей М-последовательности (разрядность, обратные связи в формирующей схеме), а их форма и величина (амплитуда) определяются коэффициентом нелинейности измерительного тракта, включающего исследуемый объект (земную кору) и его импульсной переходной характеристикой.

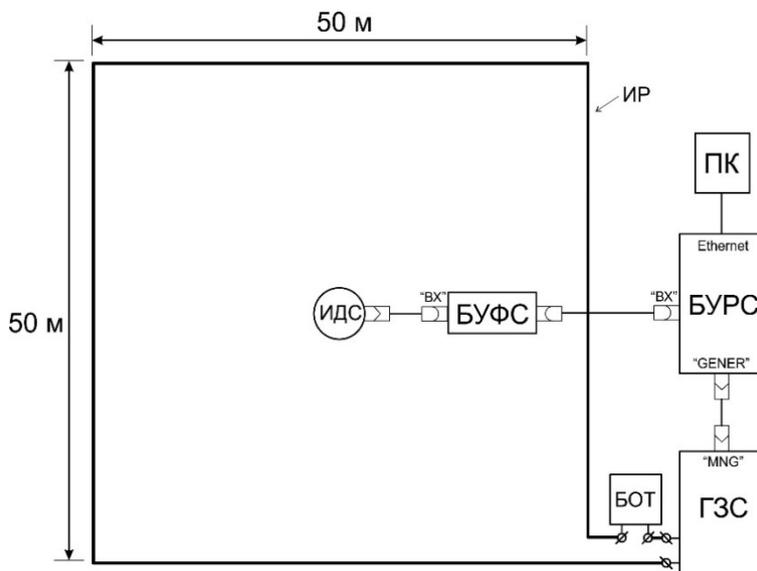


Рисунок 1 – Блок-схема ЭРК ШПС.

Другой особенностью измерительного комплекса ЭРК ШПС является то, что длительность формируемых шумоподобных периодически повторяемых М-последовательностей выбирается равной нечетному числу полупериодов тональной промышленной помехи частотой 50 Гц. Это позволяет, применяя алгоритмы синхронного весового накопления в процессе цифровой обработки зарегистрированных сигналов, обеспечить высокое подавления промышленной помехи, особенно ее нечетных гармоник. Временная нестабильность генерируемых М-последовательностей приводит к повышению уровня промышленной помехи в сигнале после цифровой обработки, т.е. снижается соотношение сигнал/помеха.

На основании выше изложенного при разработке БУРС решались четыре ниже перечисленные задачи:

1. достижение требуемой высокой стабильности и точности временных параметров, формируемых в БУРС сигналов, управляющих работой зондирующей и приемной частей измерительного комплекса, обеспечение их «жесткой» синхронизации;
2. обеспечение оперативной, гибкой перестройки параметров, формируемых шумоподобных М-последовательностей зондирующих импульсов;
3. минимизация нелинейных искажений сигналов, вносимых аналого-цифровым преобразователем входящем в состав БУРС;
4. минимизация уровня помех, наводимых цифровыми схемами в аналоговых цепях.

Высокая стабильность и точность временных параметров, формируемых в БУРС сигналов и «жесткая» синхронизация сигналов управляющих работой АЦП с тактовыми импульсами, обеспечивающими формирование М-последовательностей, достигается путем применения в БУРС синхронных делителей частоты, работающих от одного единого стабильного источника тактовых импульсов. В качестве источника таких импульсов был применен высокочастотный прецизионный термостабилизированный генератор ГК75-ТС

производства фирмы «Морион», Россия, г. С-Петербург с относительной погрешностью частоты повторения генерируемых импульсов не хуже 10^{-8} .

С целью обеспечения оперативной, гибкой перестройки таких параметров зондирующей М-последовательности как ее длительность и длительность минимального импульса без усложнения электрической схемы, вместо стандартной (типовой) схемы формирователя М-последовательности, выполненной на сдвиговом регистре, охваченного с помощью логических схем обратными связями, была реализована схема, основанная на прошивке таблицы истинности работы формирователя М-последовательности в микросхеме постоянного запоминающего устройства (ПЗУ). Такое схемотехническое решение позволило резко сократить количество электронных компонентов (микросхем), необходимых для реализации схемы формирователя М-последовательности, тем самым снизилось энергопотребление и число «шумящих» цифровых цепей, создающих помехи для аналоговых цепей измерительного комплекса. Перепрограммируя микросхемы ПЗУ можно гибко менять обратные связи в модельном регистре, формирующей М-последовательность, его разрядность и длительность минимального импульса в М-последовательности. Необходимость в этом определяется проведением дальнейших исследований с новым измерительным комплексом с целью изучения особенностей применения и оптимизации параметров шумоподобных М-последовательностей. Для более быстрой смены типа М-последовательности можно использовать несколько микросхем ПЗУ, в каждую из которых могут быть запрограммированы четыре типа М-последовательностей. Сменные микросхемы ПЗУ устанавливаются в специальной контактной панельке с «нулевым» усилением зажатия.

Минимизация нелинейных искажений сигналов, вносимых аналого-цифровым преобразователем, была обеспечена за счет использования для выбранной микросхемы АЦП (AD676) в качестве внешнего источника опорного напряжения микросхемы AD586 с выходным напряжением 5 В, а в качестве буфера, предназначенного для подачи на вход микросхемы AD676 аналогового сигнала, усилителя с заданным коэффициентом усиления, выполненного на микросхеме AD797. В зависимости от выполненных коммутаций на печатной плате операционный усилитель AD797 может включаться по схеме инвертирующего, не инвертирующего или дифференциального усилителей. Согласно паспортными данными на микросхему AD676 ее коэффициент нелинейных искажений при напряжении источника опорного напряжения 5 В примерно равен минус 98 дБ, что по абсолютному уровню составляет порядка 0,4 в единицах АЦП. Нелинейные искажения, вносимые микросхемой AD797 при включении ее в качестве дифференциального усилителя с единичным коэффициентом усиления при сопротивлении нагрузки 1 кОм и амплитуде входного сигнала 4,2 вольта в диапазоне частот до 25 кГц согласно паспортным данным, составляют менее чем минус 120 дБ. Таким образом, основной вклад в суммарный коэффициент нелинейности схемы АЦП вносит сама микросхема АЦП.

С целью снижения уровня помех, наводимых цифровыми схемами в аналоговых цепях, электрическая принципиальная схема БУРС была выполнена таким образом, что для каждого режима работы, определяемого видом используемого зондирующего сигнала (шумоподобные биполярные М-последовательности различной структуры, биполярные периодические последовательности импульсов с задаваемыми длительностью, длительность пауз между импульсами и периодом повторения) были применены индивидуальные схемы формирования тактовых импульсов (делителей частоты). В каждом конкретном режиме в рабочем состоянии находятся только те схемы формирования, которые обеспечивают выбранный режим работы. Другие схемы формирователей при этом находятся в статическом состоянии. Таким образом, в каждом конкретном режиме работы обеспечивается минимальное число переключаемых цифровых схем способных индуцировать в аналоговых цепях измерительного комплекса импульсные помехи, что также способствует снижению уровня так называемых «структурных помех» возникающих в процессе применения цифровой корреляционной обработки зарегистрированных сигналов.

На рис. 2 представлена структурно-функциональная схема БУРС.

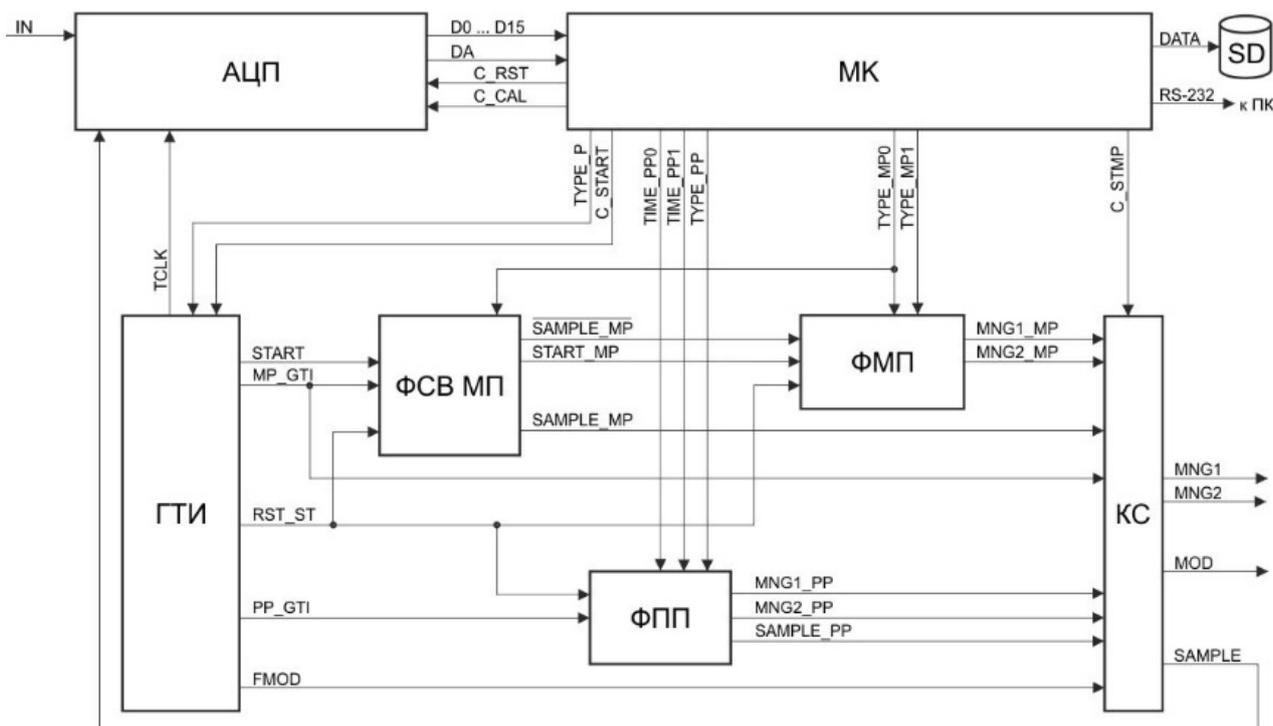


Рисунок 2 – Блок управления и регистрации сигналов, схема структурно-функциональная: АЦП – аналого-цифровой преобразователь; МК – микроконтроллер; SD – карта памяти типа Micro SD Card; ГТИ – генератор тактовых импульсов; ФСВ МП – формирователь сигналов выборки для М-последовательности; ФМП – формирователь М-последовательности; ФПП – формирователь периодической последовательности; КС – коммутатор сигналов.

Основным устройством БУРС, отвечающим за выбор и настройку режимов работы и регистрацию данных, поступающих от измерительного канала ЭРК ШПС является микроконтроллер. Работа микроконтроллера осуществляется под управлением встроенной (записанной в памяти микроконтроллера) специально разработанной программы регистрации сигналов BBSRegistrator. Связь программы с пользователем осуществляется через внешний персональный компьютер (ПК) при помощи любых терминальных программ, работающих с последовательным интерфейсом ввода/вывода RS-232. Регистрация принимаемых данных осуществляется на внешнюю карту памяти типа Micro SD Card в файловой системе FAT, поэтому файлы с данными доступны для чтения на любом ПК при помощи программы BBS_VieweM_NR, специально разработанной для просмотра и обработки зарегистрированных данных.

Микроконтроллер вырабатывает ниже перечисленные сигналы (команды), обеспечивающие управление работой отдельных устройств БУРС:

- C_RST – сигнал, обеспечивающий снятие команды готовности данных (DA, рис. 2), вырабатываемой аналого-цифровым преобразователем (АЦП) и формирующийся после того, как микроконтроллер завершит процедуру чтения цифровых данных D0...D15, поступающих от АЦП;
- C_CAL – сигнал, запускающий процедуру внутренней калибровки микросхемы АЦП (AD676);
- TYPE_P - управляющий сигнал, обеспечивающий выбор и установку режимов работы БУРС (формирование периодической последовательности «ПП» или последовательности градуировочных сигналов «ГР», формирование шумоподобных М-последовательностей «ШПС»);
- C_START - управляющая команда, с помощью которой осуществляется запуск схем БУРС, обеспечивающих формирование сигналов MNG1 и MNG2 под управлением

которых ГЗС генерирует зондирующие последовательности токовых импульсов, а также синхронных с ними сигналов `TCLK` и `SAMPLE`, обеспечивающих работу АЦП и регистрацию принимаемых сигналов;

- `TIME_PP0`, `TIME_PP1` - управляющие сигналы, обеспечивающие выбор длительности импульса (паузы) в генерируемой последовательности зондирующих импульсов тока;
- `TYPE_PP` - управляющий сигнал, обеспечивающий выбор вида формируемой периодической последовательности импульсов (с паузой или без нее);
- `TYPE_MP0`, `TYPE_MP1` - управляющие сигналы, обеспечивающие выбор одного из четырех типов формируемой М-последовательности;
- `C_STMP` – команда, обеспечивающая включение технических пауз между положительными и отрицательными импульсами тока, формируемыми генератором зондирующих сигналов в зондирующей индукционной рамке и служащих для устранения сквозных токов, возникающих в силовом коммутаторе в режиме генерирования М-последовательности.

Вторым по важности выполняемых функций в блоке управления и регистрации сигналов является аналого-цифровой преобразователь (АЦП). Основные функции АЦП, это дискретизация по времени поступающего на его вход от блока усиления и фильтрации сигналов (БУФС) измерительного комплекса аналогового сигнала и преобразование полученных отсчетов сигнала в цифровой формат с последующей передачей этих данных микроконтроллеру.

Работу АЦП обеспечивают тактовые импульсы `TCLK`, вырабатываемые в ГТИ и сигнал выборки данных `SAMPLE` формируемый коммутатором сигналов (КС), в котором в зависимости от выбранного режима работы осуществляется выбор одного из сигналов `SAMPLE_MP` или `SAMPLE_PP`, вырабатываемых в формирователе сигналов выборки для М-последовательности (ФСВ МП) или в формирователе периодической последовательности (ФПП). Импульсы `SAMPLE` строго синхронизированы с сигналами `MNG1`, `MNG2` и `MOD`, обеспечивающими работу генератора зондирующих сигналов (ГЗС) измерительного комплекса. Передача данных от АЦП к микроконтроллеру осуществляется по сигналу готовности данных `DA`, соответствующему по времени окончанию преобразования в цифровую форму выбранного отсчета аналогового сигнала, поступающего на вход `IN`. Далее оцифрованные отсчеты сигнала, получаемые микроконтроллером от АЦП по шине данных `D0...D15`, под управлением микроконтроллера записываются во внешнюю карту памяти (Micro SD Card).

Перед каждым сеансом зондирования и регистрации аналогового сигнала, поступающего с выхода БУФС, по команде `C_CAL`, вырабатываемой микроконтроллером, производится внутренняя калибровка микросхемы АЦП (AD676), обеспечивающая технические параметры микросхемы, гарантированные производителем.

Генератор тактовых импульсов (ГТИ) обеспечивает формирование последовательностей импульсов `TCLK`, `MP_GTI`, `PP_GTI` для всех узлов БУРС. Тактовые импульсы `MP_GTI` и `PP_GTI` обеспечивают формирование М-последовательности и периодической последовательности, соответственно. В ГТИ осуществляется временная привязка (синхронизация) сигнала `C_START`, поступающего от микроконтроллера, к вырабатываемым им тактовым импульсам. Также в ГТИ по сигналу `C_START` вырабатывается сигнал `RST_ST`, устанавливающий триггерные схемы БУРС в начальное состояние и сигнал `START`, управляющий запуском процесса формирования цифровых последовательностей. Сигнал `RST_ST` сбрасывается до формирования сигнала `START`.

Вырабатываемые в БУРС сигналы (команды) `MNG1` и `MNG2` управляют работой генератора зондирующих сигналов (ГЗС) измерительного комплекса, обеспечивая генерацию положительных (`MNG1`) и отрицательных (`MNG2`) зондирующих токовых импульсов в индукционной зондирующей рамке (ИР). В режиме «ШПС» источником сигналов `MNG1` и `MNG2`, управляющих работой ГЗС являются сигналы `MNG1_MP` и `MNG2_MP`, вырабатываемые в ФМП. В этом режиме под управлением статических сигналов `TYPE_MP0`

и TYPE_MP1, поступающих от микроконтроллера в ФМП выбирается тип генерируемой М-последовательности. Сигнал SAMPLE_MP и сигнал запуска работы формирователя М-последовательности START_MP в этом режиме работы генерируются в ФСВ МП. В режимах «ПП» и «ГР» источниками сигналов MNG1 и MNG2 являются сигналы MNG1_PP и MNG2_PP, вырабатываемые в ФПП. В этих режимах под управлением статических управляющих сигналов TIME_PP0 и TIME_PP1, поступающих в ФПП от микроконтроллера осуществляется выбор длительности генерируемых импульсов.

Коммутатор сигналов (КС) предназначен для переключения в зависимости от выбранного режима работы измерительного комплекса сформированных в ФСВ МП, ФМП и в ФПП управляющих работой измерительного комплекса сигналов и для усиления по мощности выходных сигналов БУРС (MNG1, MNG2) с целью обеспечения их передачи по длинным линиям связи. Кроме того, в КС в режиме «ШПС» по команде C_STMP, поступающей от микроконтроллера, обеспечивается формирование коротких технических пауз длительностью порядка 0,3 мкс между выходными сигналами MNG1 и MNG2, которые устраняют появление больших по величине сквозных токов, возникающих в силовом коммутаторе во время переключения его ключей. В КС также усиливается по мощности последовательность тактовых импульсов высокой частоты F_{МОД}, вырабатываемая в ГТИ и обеспечивающая работу схем драйверов управления силовыми ключами в ГЗС. На структурно-функциональной схеме БУРС (рис. 2) усиленные по мощности импульсы F_{МОД} обозначены как MOD.

Таким образом БУРС может работать в трех режимах:

- режим «ШПС» - зондирование шумоподобными М-последовательностями;
- режим «ПП» - зондирование детерминированными периодическими последовательностями;
- режим «ГР» - градуировка (калибровка) измерительного канала.

В таблице 1 приведены режимы работы БУРС и параметры формируемых управляющих сигналов для каждого из режимов. При разработке БУРС основной акцент был сделан на уменьшении числа переключаемых градаций технических параметров, генерируемых в БУРС сигналов до необходимого минимума при одновременном повышении точности и стабильности этих параметров во всех режимах работы БУРС.

Таблица 1 – Режимы работы БУРС и параметры формируемых управляющих сигналов

Режим работы	Параметры формируемых сигналов						
	N _{МП} , бит	T _{ИМПmin} , дискр.	L _{МП} , мс	T _и , мс	T _п , мс	F _д , Гц	T _{SAMPLE} , мкс
«ШПС»	11	4	149,92675	-	-	54613,33333	2,13623
	13	1	149,98168	-	-	54613,33333	2,13623
	13	4	629,92309	-	-	52012,69841	2,13623
	15	1	629,98077	-	-	52012,69841	2,13623
«ПП»	-	-	-	40	40	51200	2,44141
	-	-	-	80	80	51200	2,44141
	-	-	-	160	160	51200	2,44141
«ГР»	-	-	-	40	0	51200	2,44141
	-	-	-	80	0	51200	2,44141
	-	-	-	160	0	51200	2,44141
	-	-	-	20480	0	51200	2,44141

N_{МП} – разрядность модельного регистра, определяющего формируемую М-последовательность; T_{ИМПmin} – минимальная длительность импульсов в М-последовательности; L_{МП} – длительность одиночной М-последовательности; T_и – длительность импульсов в режиме ПП; T_п – длительность пауз в режиме ПП; F_д – частота дискретизации сигналов в АЦП; T_{SAMPLE} – длительность сигнала выборки АЦП.

В режиме «ШПС» БУРС генерирует сигналы MNG1, MNG2 и MOD, под управлением которых ГЗС формирует и подает в зондирующую индукционную рамку периодически повторяемые биполярные шумоподобные M-последовательности импульсов тока.

В режиме «ПП» с помощью тех же управляющих сигналов MNG1, MNG2 и MOD в ГЗС генерируется и подаются в зондирующую индукционную рамку периодическая последовательность прямоугольных биполярных импульсов тока с фиксированными (задаваемыми) параметрами (длительность импульсов, длительность пауз).

В режиме «ГР» БУРС генерирует сигналы MNG1 и MNG2, под управлением которых формирователь градуировочных сигналов (ФГС) создает в градуировочной катушке индукционного датчика (ИДС) измерительного комплекса специальные сигналы (биполярные прямоугольные импульсы тока без пауз), обеспечивающие калибровку измерительного канала.

Не зависимо от выбранного режима работы в БУРС генерируются импульсы SAMPLE с частотой повторения (дискретизации сигналов), соответствующей выбранному режиму работы и тактовые импульсы TCLK управляющие работой АЦП и обеспечивающие строгую синхронность его работы с работой ГЗС или ФГС.

Цифровые сигналы, отвечающие за управление режимами работы БУРС, образуют шину управления. Все сигналы данной группы являются статическими и их уровни устанавливаются в зависимости от выбранного режима работы и типа генерируемых зондирующих сигналов до начала регистрации сигналов.

В таблице 2 приведены технические параметры и характеристики разработанного блока управления и регистрации сигналов.

Таблица 2 – Технические параметры и характеристики БУРС

№ п.п.	Параметр	Ед. изм.	Значение	Примечание
1.	Предельно допустимый уровень входного сигнала, не более	В	±12	
2.	Диапазон регистрируемых входных сигналов	В	от минус 1,5 до 1,5	
3.	Напряжение смещения приведенное ко входу, не более	мкВ	160	
4.	Напряжения дрейфа нуля приведенное ко входу, не более	мкВ/°С	1,0	
5.	Уровень собственных шумов, приведенный ко входу, не более	мкВ	97	
6.	Частота дискретизации	кГц	51,200 54,613 52,013	
7.	Входное сопротивления	Ом	1000 (50)	
8.	Уровни выходных логических сигналов	В		При токе в нагрузке 30 мА
	лог. 1, не менее		2,7	
	лог. 0, не более		0,5	

Разработанный БУРС был изготовлен в январе 2017 года. После изготовления блок был протестирован на функционирование (соответствие временных диаграмм работы в различных режимах заданным в процессе определения и уточнения технических характеристик). Отклонения от заданных характеристик выявлено не было. Изготовленный БУРС планируется подвергнуть поверкам в лабораторных условиях с использованием специально изготовленного имитатора сигналов и в полевых условиях в составе измерительного комплекса ЭРК ШПС на соответствие техническим требованиям. В дальнейшем предполагается изготовить три новых измерительных комплекса и установить их на стационарных измерительных пунктах с целью осуществления с их помощью электромагнитного мониторинга земной коры.

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. Копылов Е.Ю. Исследование причин появления “структурных помех” в электроразведочном комплексе с шумоподобными сигналами // Современные техника и технологии в научных исследованиях. Материалы докл. VIII Междунар. конф. молодых ученых и студентов. Бишкек. 2016. С. 128-135.

УДК 550.348

РОИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КАК ОТКЛИК ЭНЕРГОНАСЫЩЕННЫХ СТРУКТУР ЗЕМНОЙ КОРЫ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ АСТРОФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

EARTHQUAKE SWARM AS ENERGY-STRUCTURE RESPONSE OF THE EARTH CRUST ON THE INFLUENCE OF ASTROPHYSICAL FACTORS

Лютикова В.С.

Irgal05@rambler.ru

Институт сейсмологии, г. Алматы, Казахстан

***Аннотация.** В статье излагаются особенности распределения роев землетрясений, как отклик энергонасыщенных структур земной коры на воздействие астрофизических факторов. На современном материале о сейсмичности региона Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий, исследуются особенности возникновения, распознавания и распределения роев землетрясений за период 2008-2016 гг. На основе алгоритма распознавания роев землетрясений, сейсмичности региона, приводятся результаты работы данного алгоритма по выявлению роев. Так же исследована связь роев землетрясений с астрофизическими факторами. Отмечено, что рои могут являться откликом энергонасыщенных структур земной коры на воздействие этих факторов. В сейсмичности региона получены места локализации роев землетрясений. По статистике их накопления и затухания во времени можно выделить современные подвижные структурные неоднородности в земной коре.*

***Ключевые слова:** рои землетрясений, энергонасыщенные структуры, астрофизические факторы.*

Применялась методика распознавания и выявления роев [3;5-6]. Предполагается, что рои импульсно возникают и так же импульсно затухают по неизвестным причинам, природа их возникновения не ясна до сих пор [1-3]. По алгоритму распознавания роев в сейсмичности

[5-6], получены совокупности роев в регионе исследования. Этот алгоритм апробирован на практике. В земной коре анализировались роевые последовательности в сейсмичности региона исследования (территорий 40-45°N, 70-85°E). На данный момент выделяются две активные зоны по «роям землетрясений»: 73,5°-74E, 40-41°N и 77-78°E, 40-41°N. В результате получены распределения общего количества роевых последовательностей событий за период 2008-2016 гг. на исследуемой территории.

Наблюдается четкая локализация роев землетрясений в регионе исследования в двух зонах. Рост количества роевых землетрясений в 2016 году выявил четкую локализацию мест энергонасыщенности земной коры. Исследовалась так же связь роев землетрясений с астрофизическими факторами: солнечной активностью, скоростью вращения Земли и др. За период 2008-2016 г.г., наблюдается всплеск роев землетрясений в 2011 году. В 2016 г. идет постепенное увеличение количества роев ($N_{sw} \geq 700$). Выявлена невысокая связь между солнечной активностью (числами Вольфа) в годовых данных (N_w) и количеством роев (N_{sw}), коэффициент корреляции равен 0.22. Рост чисел Вольфа не влечет увеличения количества роев. Коэффициент корреляции между продолжительностью суток (Lod) и роевыми последовательностями (N_w) равен -0.57. Что показывает достаточно хорошую связь между этими параметрами. Увеличение продолжительности суток (Lod) влечет уменьшение роевой активности в регионе. Коэффициент корреляции между атмосферным давлением и количеством роев равен -0.75. Между температурой и количеством роев коэффициент корреляции равен от 0.2-0.3. Коэффициенты корреляции между полным вектором T магнитного поля на п. Тургень с количеством роев (N_{sw}) равны 0.44, на п. Известковый - - 0.52. Горизонтальная составляющая H магнитного поля на п. Известковый с количеством роев (N_{sw}) дает коэффициент корреляции, равный -0.87. Предполагается, что местоположение пункта так же влияет на реакцию роевой активности. Коэффициенты корреляции с приливными компонентами A_{all} и количеством роев N_{sw} равен 0.33, а с компонентой g – коэффициент корреляции равен -0.44. Как и все землетрясения, рои реагируют на приливные силы. Увеличение воздействия приливных сил влечет активизацию не только роев, но и всех землетрясений в регионе.

По представленному алгоритму распознавания роевых последовательностей в сейсмичности региона получены места локализации роев землетрясений. Так же проведен сравнительный анализ связи роев землетрясений с астрофизическими факторами (солнечной активностью, скоростью вращения Земли и др.). Получены результаты: распределения количества роевых последовательностей событий за 2016 г., распределения общего количества роевых последовательностей событий за 2008-2016 г.г., коэффициенты корреляции связи между роями землетрясений и астрофизическими факторами.

Литература

1. Курскеев А.К. Землетрясения и сейсмическая безопасность Казахстана. Алматы. 2004. 504 с.
2. Курскеев А.К., Абаканов Т.Д. Ритмы и энергетика современных геодинамических и сейсмических процессов. Алматы. 2007. 64 с.
3. Курскеев А.К. Проблемы прогнозирования землетрясений. Алма-Ата: Наука. 1990. 264 с.
4. Казаков В.В., Литовченко И.Н., Паршуков М.Ю. Рои землетрясений на Северном Тянь-Шане // Прогноз землетрясений и глубинная геодинамика. Материалы междунар. симп. Алматы. 1997. С. 145-151.
5. Литовченко И.Н., Лютикова В.С. Универсальный алгоритм распознавания образов роевых последовательностей землетрясений в современной сейсмичности региона Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий // Глубинное строение, минерагения, современная геодинамика и сейсмичность Восточно-Европейской платформы и сопредельных регионов. XX Всерос. конф. с междунар. участием. Воронеж. 2016. С. 236-240.

6. Лютикова В.С. Роевые последовательности землетрясений в современной сейсмичности региона Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий // Современная техника и технологии в научных исследованиях. Материалы докл. VIII Междунар. конф. молодых ученых и студентов, (г. Бишкек, 24-25 марта 2016 г.). Бишкек. 2016. С. 143-147.

УДК 550.34(575.5)

ОТРАЖЕНИЕ ВИЗУАЛЬНО НАБЛЮДАЕМЫХ И СКРЫТЫХ РАЗЛОМОВ В ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЯХ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ СЕВЕРО-ТЯНЬ-ШАНЬСКОЙ СЕЙСМОГЕННОЙ ЗОНЫ

REFLECTION OF THE OBSERVED AND HIDDEN FAULTS IN THE GEOPHYSICAL FIELDS OF THE WESTERN PART OF THE NORTHERN TIEN SHAN SEISMIC ZONE

Малосиева М.Т.

malosieva.rita@mail.ru

Институт сейсмологии НАН КР, г. Бишкек, Кыргызстан

***Аннотация.** В данной статье приведены результаты анализа карт геофизических полей в масштабе 1:1 000 000. По признакам отражения разломов в аномальном магнитном (ΔT) и гравитационном (Δg) полях уточнены: территориальное положение видимых (8) и скрытых (13) разломов, а также их глубинность. Выделены четыре наиболее опасные сейсмогенные зоны.*

***Ключевые слова:** геофизика, аномальное магнитное поле, аномальное гравитационное поле, сейсмичность, разломы.*

Карты геофизических полей в большинстве случаев хорошо отражают зоны разломов, относительные поднятия, погружения крупных блоков и т.д. Задачей данного исследования стало картирование по магнитному и гравитационному полям территориального расположения разломов и разрывных нарушений в Западной части Северо-Тянь-Шаньской сейсмогенной зоны.

Из карты [1] (рисунок 1) видно, что в целом аномальное магнитное поле (ΔT) на изучаемом участке носит сложный характер. Практически на всей указанной территории отмечается слабое мозаичное магнитное поле от 0,25 мЭ до 5,0 мЭ обоих знаков. В свою очередь, здесь наблюдаются многочисленные изолированные магнитные аномалии, которые образуют целые группы или цепочки вдоль простирающихся основных геологических структур. На карту аномального магнитного поля (ΔT) (рисунок 1) нанесены известные разломы, определенные по геологическим и геоморфологическим данным, а также скрытые разломы, выявленные нами по характерным признакам отражения разломов в аномальном магнитном поле (ΔT) [2].

Так, в юго-западной части участка по линии разграничения положительного и отрицательного аномального магнитного поля с учетом наличия протяженных, плавных линейно вытянутых изодинам выявлены три скрытых разлома: Акташский (1), Ойгаингский (2) и Угамский (3). Здесь отмечается цепочка изолированных магнитных аномалий изометрической формы с максимальными интенсивностями с запада на восток "+" 5,0 мЭ, "+" 4,0 мЭ и "+" 3,0 мЭ. Южнее выделяются изолированные положительные магнитные аномалии эллипсоидальной формы.

В центральной части изучаемого участка наблюдается знакопеременное магнитное поле слабой интенсивности от "-" 0,25 мЭ до "+" 1-2 мЭ. По линиям разграничения

положительного и отрицательного магнитного поля выделены следующие скрытые разломы: Карабууракский (4), Кюмюштакский (5), Узунакмакский (6) и Южно-Таласский (скрытый) (VIII-а).

С юга Узунакмакский (6) разлом примыкает к Таласо-Ферганскому (I), а с севера – к Каракольскому (VI) разломам, образуя здесь, в совокупности с другими разломами, сейсмоструктурные узлы. К востоку от Узунакмакского (6) разлома между визуально наблюдаемым Молдотаусским (V) разломом и выделенным нами по признаку разграничения положительного и отрицательного полей и по протяженным линейно вытянутым изодинамам магнитного поля скрытым Арамсуйским (7) разломом расположена область, в которой на фоне слабого положительного магнитного поля интенсивностью $+0,25$ - $+0,5$ мЭ отмечается мозаика отдельных изолированных эллипсоидальной формы положительных аномалий интенсивностью от $+1,5$ мЭ до $+2,0$ мЭ.

Севернее описанной области положительного магнитного поля между Арамсуйским (7), Каракольским (VI) и Учэмчекским (8) разломами проходит полоса отрицательного магнитного поля (шириной более 59 км и длиной более 180 км), разделяя наблюдаемые области положительного магнитного поля на западную и восточную части. В западной части на фоне слабого положительного магнитного поля часто выделяются изолированные магнитные аномалии также слабой интенсивности до $+1,75$ мЭ. Характерная особенность этих аномалий в том, что они вытянуты цепочкой, трассируя таким образом визуально наблюдаемый Южно-Таласский (VIII) и Каракольский (VI-а) (скрытый) разломы на всем их протяжении. В восточной части магнитное поле более сложное. Примыкающая с севера к Каракольскому (VI) и Учэмчекскому (8) разломам область магнитного поля носит спокойный характер, что подтверждается системой протяженных линейно вытянутых изодинам, числовые значения которых постепенно увеличиваются к северу от линии разграничения от нуля до $-2,0$ мЭ. Выше наблюдается целая цепочка изолированных магнитных аномалий слабой интенсивности до $-2,5$ мЭ, трассирующая выделенный нами по этому признаку скрытый Талдыбулакский (11) разлом, протянувшийся параллельно Каракольскому (VI) разлому. Также по цепочке изолированных магнитных аномалий, но отрицательного знака, выделен скрытый Каракыстакский (9) разлом, протянувшийся в субширотном направлении с вогнутостью к югу. Здесь же, примерно на меридиане $73^{\circ}11'$, аномальное магнитное поле резко меняет свою конфигурацию: наблюдается сгущение изодинам, но уже меридионального направления. Изодинамы имеют линейный протяженный характер и по этому признаку нами выделен скрытый Меркенский (10) разлом, начинающийся северозападнее села Мерке и заканчивающийся на скрытом Талдыбулакском (11) разломе с выпуклостью к востоку.

Перечисленные аномалии предположительно связаны с интрузиями гранодиоритов с повышенной намагнитченностью, а прилегающие к ним области отрицательного магнитного поля обусловлены наличием практически немагнитных пород, представленных известняками, сланцами и песчаниками.

Для определения активности как визуально наблюдаемых, так и скрытых разломов, выделенных на территории Западной части Северо-Тянь-Шаньской сейсмогенной зоны, на карту (рисунок 1) вынесены эпицентры землетрясений с $K \geq 12$, произошедшие на этой территории в разные годы. Из карты (рисунок 1) видно, что землетрясения происходили либо на самих разломах, либо вблизи них – это говорит об их сейсмической активности. В некоторых случаях эпицентры землетрясений с $K \geq 12$ образуют локальные группы, которые мы назвали сейсмоструктурными узлами. Эти узлы наиболее опасны в сейсмическом отношении. Самые значимые из них: Токтогульский сейсмоструктурный узел (координаты центра $\varphi = 41^{\circ}50'$, $\lambda = 72^{\circ}15'$), Чаткальский сейсмоструктурный узел ($\varphi = 41^{\circ}54'$, $\lambda = 72^{\circ}00'$), Меркенский сейсмоструктурный узел ($\varphi = 42^{\circ}42'$, $\lambda = 73^{\circ}12'$) и Таразский сейсмоструктурный узел ($\varphi = 42^{\circ}52'$, $\lambda = 71^{\circ}22'$).

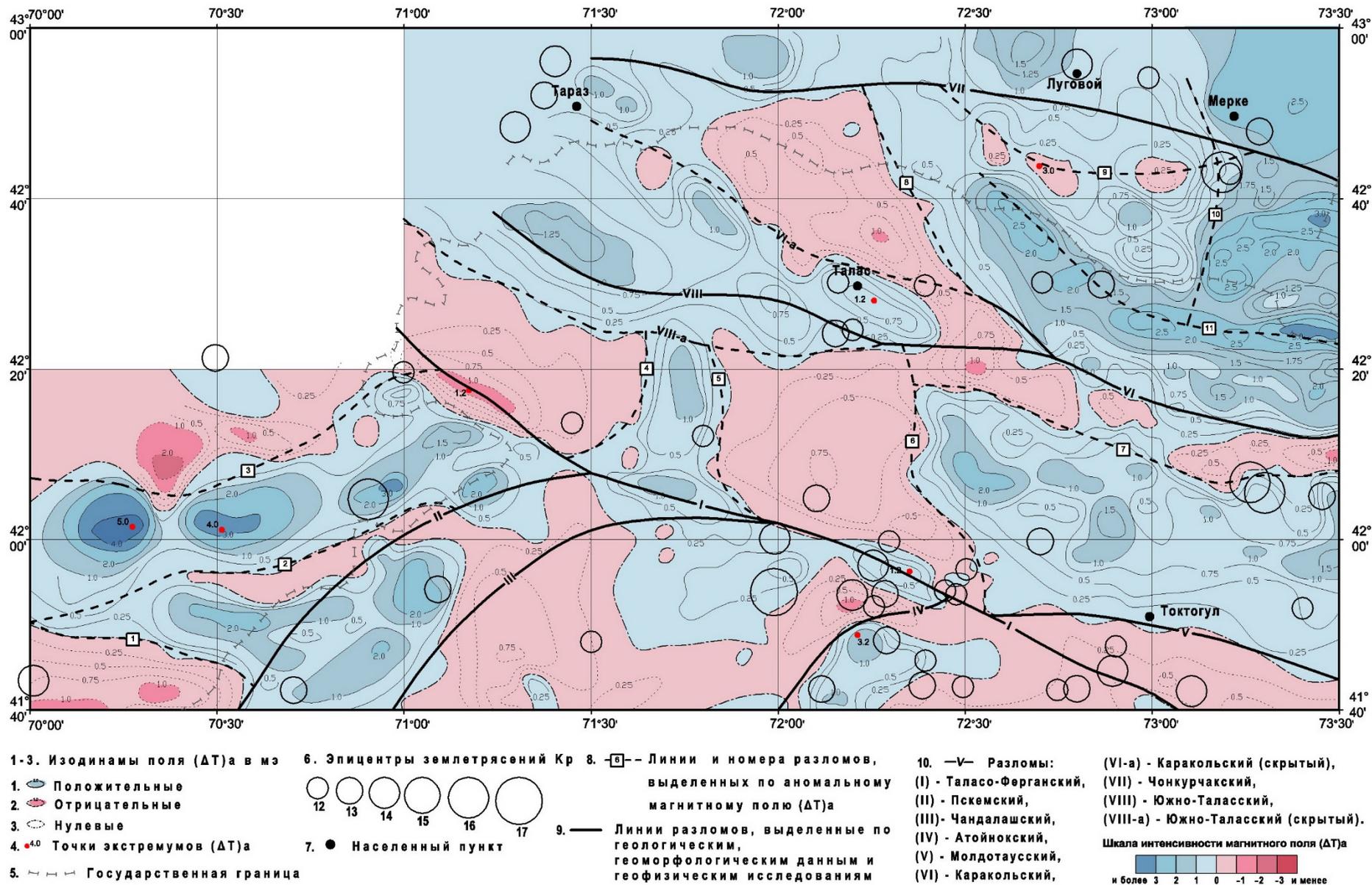


Рисунок 2 – Карта отражений разломов в аномальном магнитном ΔT поле территории Западной части Северо-Тянь-Шаньской сейсмогенной зоны. Масштаб 1:1 000 000

Для сопоставительного анализа была составлена карта аномального гравитационного поля (Δg_a в редукции Буге территории Западной части Северо-Тянь-Шаньской сейсмогенной зоны в масштабе 1:1 000 000 по данным наземной [1] и космической [3] съемок. Карта представлена на рисунке 2. Следует отметить, что карта гравитационного поля (Δg_a 1:1 000 000 масштаба в редукции Буге отражает только наиболее общие черты глубинного строения земной коры и верхней мантии и, в основном, характеризует рельеф поверхности Мохо. Здесь нанесены как известные визуально наблюдаемые региональные разломы, так и разломы, определенные по признакам отражения разломов в магнитном поле Земли. Из карты (рисунок 2) видно, что в целом интенсивность гравитационного поля отрицательного знака последовательно уменьшается с севера на юг от -60 мГал до -250 мГал. Поле носит сложный характер, что подчеркивается неоднородным распределением изоаномал. Так, в северо-восточной области изучаемой части изоаномалы носят плавный характер и имеют северо-восточное направление. Здесь гравитационное поле уменьшается от -90 мГал до -160 мГал вплоть до Меркенского (10) скрытого разлома, восточнее которого нарушается плавный ход изоаномал. Происходит смещение линейно вытянутых изоаномал. По этому признаку считаем, что Меркенский (10) скрытый разлом достигает поверхности Мохо и является глубинным.

Далее, линейно вытянутые изоаномалы северо-восточного направления, начиная от скрытого Учэмчекского (8) разлома до Таразского сейсмотектонического узла резко меняют свое северо-восточное направление на северо-западное. При этом изоаномалы сгущаются между продолжением скрытого Каракольского (VI-a) и Южно – Таласского (VIII) разломов, четко трассируя их. Поэтому можно утверждать, что перечисленные скрытые Учэмчекский (8) и Каракольский (VI-a) и визуально наблюдаемый Южно-Таласский (VIII) разломы отражаются в гравитационном поле и являются глубинными.

Аналогичная ситуация наблюдается в юго-западной области изучаемого участка, где в районах территориального расположения скрытых Акташского (1), Ойгаингского (2) и Угамского (3) разломов изоаномалы гравитационного поля носят плавный характер и вытянуты в северо-восточном направлении вплоть до Таласо-Ферганского (I) глубинного разлома, где происходит их резкий излом. Кроме того, изоаномалы юго-западной области, начиная с Ойгаингского (2) скрытого и видимого Пскемского (II) разломов отражают гравитационное поле мозаичного характера. В этой области изоаномалы изменяют свои номиналы от -120 мГал на западе до -240 мГал на юге, образуя здесь изолированную Чаткальскую аномалию отрицательного знака.

Особо следует выделить область, расположенную между видимыми Южно-Таласским (VIII) и Таласо-Ферганским (I) разломами, которая вытянута в юго-восточном направлении от меридиана $71^{\circ}00'$ до меридиана $73^{\circ}30'$. Гравитационное поле здесь носит мозаичный характер. Изоаномалы изменяют свои номиналы от -100 мГал на западе до -240 мГал на юго-востоке, образуя в районе г. Токтогул изолированную гравитационную Токтогульскую аномалию эллипсоидной формы интенсивностью до -250 мГал. Отметим, что между Чаткальской и Токтогульской гравитационными аномалиями повышенной интенсивности располагаются Токтогульский и Чаткальский сейсмотектонические узлы, в районе которых произошла целая серия сильных землетрясений, в том числе катастрофическое Чаткальское землетрясение 1946 года.

Таким образом, в результате исследования по геофизическим признакам выделено 13 скрытых разломов, а также определены четыре наиболее опасных сейсмогенных узла: Токтогульский, Чаткальский, Меркенский и Таразский.

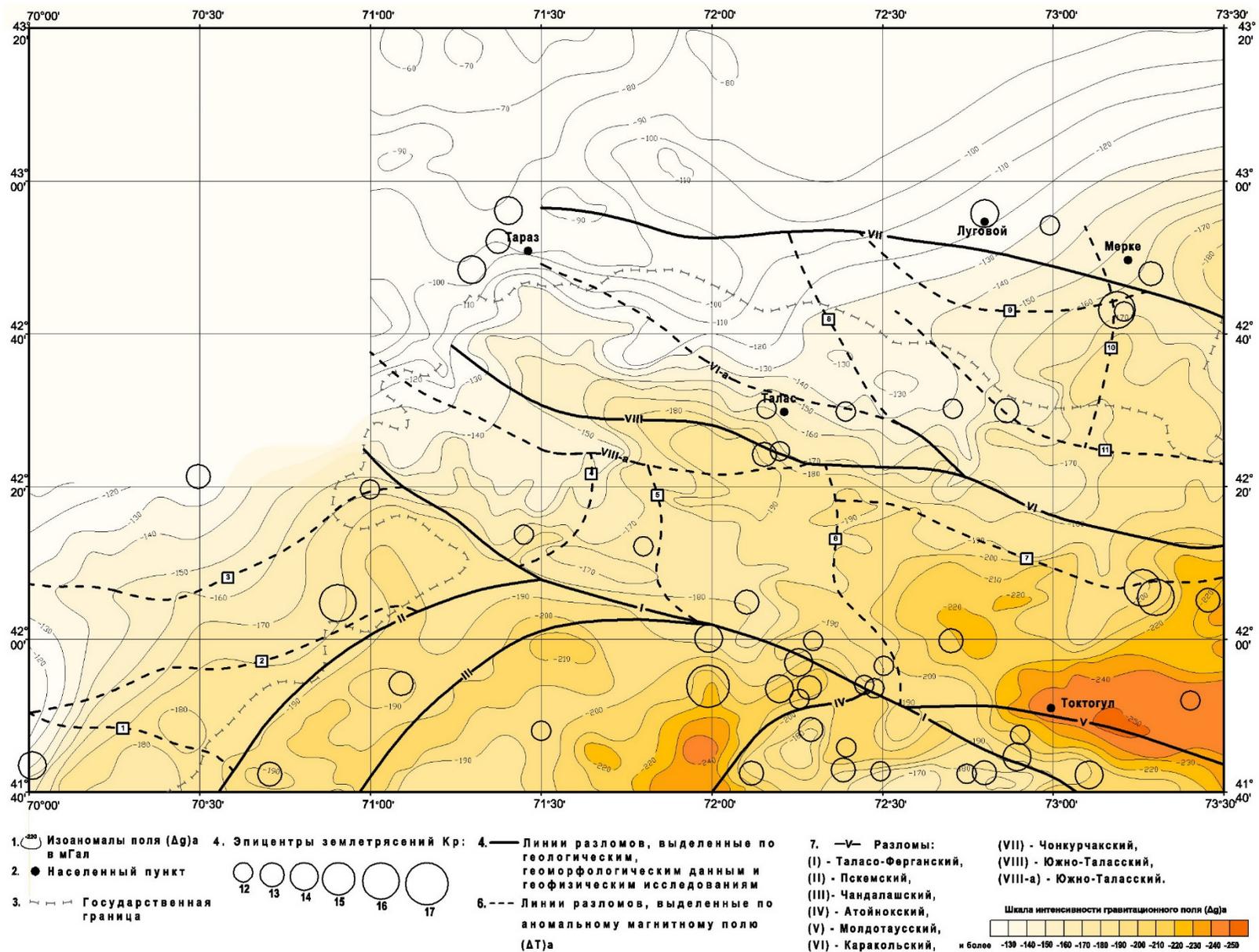


Рисунок 2 – Карта отражений разломов в аномальном гравитационном $\Delta(g)$ а поле территории Западной части Северо-Тянь-Шаньской сейсмогенной зоны. Масштаб 1:1 000 000.

Литература

1. Лобанченко А.Н., Маринченко Г.Г. и др. Комплексные геофизические исследования сейсмоопасных районов (территория формируемого Иссыккульско-Чуйского территориально-производственного комплекса). Отчет. Фонды КГФЭ «Гера», г. Шопоков, Кыргызская Республика. 1988 г. (рукописный).
2. Погребной В.Н., Гребенникова В.В., Першина Е.В. Результаты интерпретации локальных (остаточных) аномалий (ΔT) а поля Кочкорского участка Северного Тянь-Шаня // Вестник Института сейсмологии НАН КР. 2013. № 2. С. 100-105. (<http://www.journal.seismo.kg>).
3. Farah A., S.H.A. Shah Tectonic scheme of Central Asia and Bourger gravity anomalies // Boll. Geor. Appl. Vol. XXV. P. 99-100.

УДК 550.34.094

ДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ УМЕРЕННЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ЦЕНТРАЛЬНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ

DYNAMIC PARAMETERS OF INTERMEDIATE-MAGNITUDE EARTHQUAKES OF THE CENTRAL TIEN SHAN

Мансуров А.Н., Сычева Н.А.
sur@gdirc.ru

Научная станция Российской академии наук, г. Бишкек, Кыргызстан

Аннотация. В работе определена угловая частота (f_0) очагового спектра для событий из каталога тензоров сейсмического момента с 1996 по 2014 гг., что позволило вычислить для них такие динамические характеристики как радиус Брюна, падение уровня напряжений и определить уровень изменения этих характеристик для исследуемого класса событий. Построены зависимости полученных характеристик от магнитуды, пересчитанной из класса события (K_s) и моментной магнитуды (M_w). Установлена более тесная связь полученных характеристик от моментной магнитуды (M_w).

Ключевые слова: тензор сейсмического момента, землетрясение, скалярный сейсмический момент, радиус очага, падение напряжений, фокальный механизм.

Введение. Тензор сейсмического момента (CMT – *centroid moment tensor*) землетрясений приобрел широкое распространение в каталогах сейсмологической информации. CMT содержит информацию об ориентации плоскости разрыва, направлении и масштабе подвижки в очаге землетрясения, отражает напряженно-деформированное состояние среды. Наиболее распространенный метод определения CMT – метод инверсии волновых форм.

Метод волновой инверсии, применяемый на Научной станции РАН для расчета тензоров сейсмического момента, позволяет рассматривать землетрясения, находящиеся на расстоянии не более 1° – 2° за пределами сейсмической сети KNET. Подробно метод описан в работе [1]. Применение этого метода позволяет оценить следующие параметры очагов землетрясений: углы ориентации нодальной плоскости и подвижки (*strike, dip, slip*); скалярный сейсмический момент (M_0); моментная магнитуда (M_w) и др.

Как известно, сейсмический момент — это величина, используемая для измерения размера землетрясения. С физических позиций M_0 представляет собой произведение площади подвижки от поверхности Земли до фокальной области (S) на величину дислокации

(D) и модуля сдвига (G). Модуль сдвига (G) - физическая величина, характеризующая способность материала сопротивляться сдвиговой деформации, согласно [2] значение этого модуля для земной коры может быть прямо $G=3 \cdot 10^{11}$ дин/см². Важно отметить, что сейсмический момент рассматривается как мера потенциальной энергии, необходимой для осуществления разрыва и перемещения масс по его поверхности [3].

Магнитуда – количественная характеристика энергетики очага землетрясения, определенная по инструментальным наблюдениям, представляет собой логарифмическую величину, характеризующую энергию, выделившуюся при землетрясении в виде сейсмических волн. Имеется множество различных шкал магнитуд, включая локальную магнитуду (M_L), магнитуду, определенную по поверхностным (M_S) и по объемным волнам (m_b), а также по сейсмическому моменту (M_w). Моментные магнитуды (M_w), обусловленные сдвиговой подвижкой пород в сейсмическом очаге являются более современной энергетической оценкой землетрясений.

Исследованию динамических параметров землетрясений Северного Тянь-Шаня посвящены работы [4,5], в которых рассматриваются сейсмические события на территории, ограниченной координатами краевых станций сети KNET. Метод волновой инверсии позволяет несколько расширить территорию рассматриваемых землетрясений и оценить для них такую динамическую характеристику как скалярный сейсмический момент (M_0). Если для этих событий по спектральной характеристике определить угловую частоту (f_0), то можно рассчитать радиус Брюна (r_b) и падение напряжений ($\Delta\sigma$).

Целью данной работы является расчет угловой частоты и динамических характеристик (радиус Брюна и сброшенное напряжение) для событий к которым был применен метод волновой инверсии и получен тензор сейсмического момента.

Исходные данные и методика. В качестве исходных данных использовался каталог тензоров сейсмического момента, полученного на основе применения метода инверсии. Некоторые характеристики каталога представлены в таблице (колонки 1–7), а расположение событий и их фокальные механизмы на рисунке 1. Для вычисления стационарного спектра и угловой частоты использовались записи землетрясений из выше указанного каталога с частотой оцифровки 100 Гц.

Таблица 1 – Некоторые характеристики каталога тензоров сейсмического момента и полученные динамические характеристики

	Дата	ϕ°	λ°	H , км	K	M_w	M_0 , Дж·м	f_0 , Гц	r_b , м	$\Delta\sigma$, МПа
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Мин.	14.09.1999	40.88	72.40	0	9.1	2.81	2.03e+13	1.02	150	0.15
Макс.	28.05.2014.	43.66	77.97	23	14.8	5.70	4.37e+17	8.86	1280	127.1

Размер очага (так называемый радиус Брюна, $r = r_b$) определяется формулой

$$r = 2.34 V_s / 2\pi f_0 \quad (1)$$

где V_s – скорость поперечных волн, f_0 – угловая частота, определяемая по изменению (излому) характерного для низких частот линейного тренда спектральной плотности. При применении формулы Брюна поверхность разрыва обычно считается круговой, с радиусом R , а зона очага – сферической.

Для оценки падения напряжения для землетрясения с моментом M_0 можно использовать выражение

$$\Delta\sigma = 7M_0 / 16r^3 \quad (2)$$

в котором значение коэффициента пропорциональности между $\Delta\sigma$ и отношением M_0/r^3 выбрано в соответствии с результатами расчетов [Brune, 1970] для модели поверхности разрыва в форме круга.

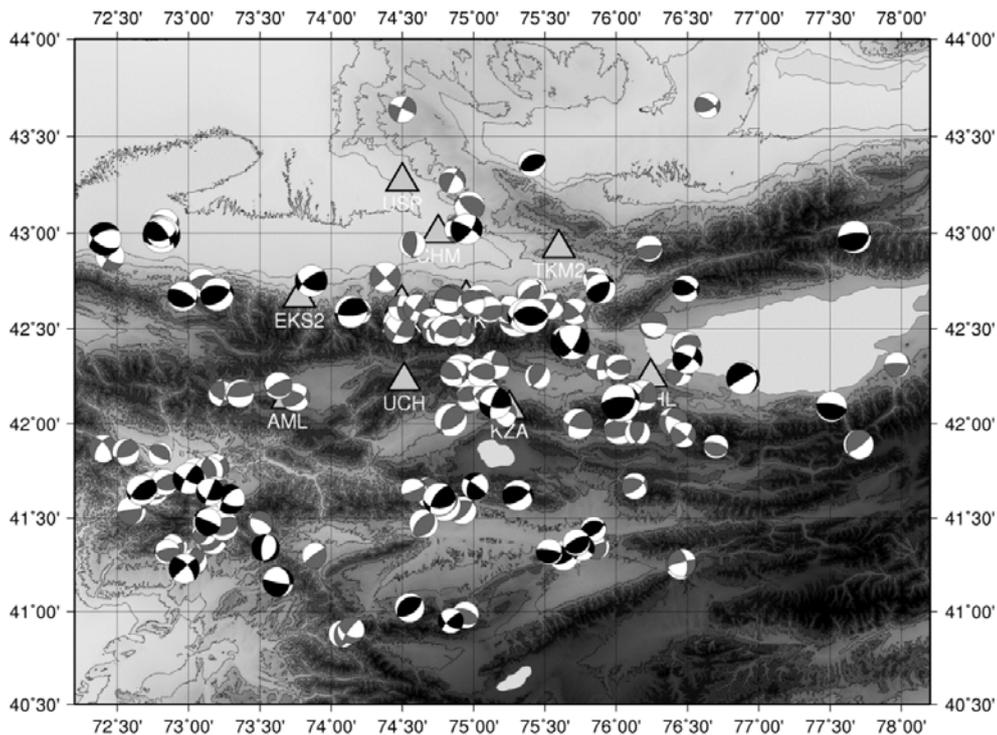


Рисунок 1 – Расположение исследуемых событий и их фокальные механизмы. Черным цветом отмечены события с $\Delta\sigma > 10\text{МПа}$.

Для расчета радиуса Брюна согласно выражению (1) необходимо знать угловую частоту, а для расчета уровня падения напряжений необходимо знать радиус Брюна. Задача сводится до определения угловой частоты f_0 . Для этого был применен следующий подход.

Из записей волновых форм землетрясения выбирается 2,56-секундный фрагмент с момента вступления S-волны. Этот фрагмент тапируется окном Хемминга и вычисляется его амплитудный спектр. Для того чтобы убедиться в том, что спектр S-волны не искажен сильным сейсмическим шумом, аналогичным образом с той же записи выбирается участок сейсмического шума (до вступления P-волны), тапируется, и вычисляется спектр этого участка шума. Затем сравниваются спектр шума и спектр S-волны, сглаженные фильтром Гаусса в логарифмическом масштабе. Если хотя бы в одном отсчете по частоте на диапазоне анализа (1–30 Гц) амплитуда сглаженного спектра события меньше умноженной на 3 амплитуды сглаженного спектра шума, то данные этого события с этой станции отбрасываются.

Затем составляются массив перебираемых значений угловой частоты f_0 (200 значений, от 0,2 до 30 Гц с равномерным в логарифмическом масштабе шагом) и массив перебираемых значений параметра t^* (200 значений, от 0,00005 до 1 с равномерным в логарифмическом масштабе шагом).

Затем для каждой станции, спектр S-волны с которой не был отброшен, составляется матрица невязок, столбцы которой соответствуют значениям f_0 , а строки – значениям t^* . Для каждой ячейки с ее значениями f_0 и t^* при помощи линейной регрессии производится расчет параметра Ω_0 модели

$$\ln(A(f)) = \ln\left(\Omega_0 \cdot \frac{f \cdot e^{-\pi f t^*}}{1 + (f^2 / f_0^2)}\right) \quad (3)$$

где $A(f)$ – амплитудный спектр, частота f берется только в диапазоне анализа (1–30 Гц), и применяется взвешивание невязок отдельных отсчетов пропорционально соответствующему шагу по частоте в логарифмическом масштабе. Общая (среднеквадратическая) невязка

регрессии записывается в вышеупомянутую ячейку матрицы невязок. После заполнения матрицы невязок составляется вектор зависимости невязок от значения f_0 путем нахождения минимального значения каждого столбца матрицы невязок.

Затем вектора зависимости невязок от значения f_0 для всех станций арифметически складываются, и находится минимальное значение в суммарном векторе, которое и соответствует искомому оптимальному значению f_0 .

Результаты расчета. Определение угловой частоты по каждому событию позволило соответственно выражениям (1) и (2) рассчитать радиус Брюна и падение напряжений, диапазон изменения полученных динамических характеристик представлен в таблице (колонки 8–10). Это позволило построить зависимости динамических характеристик от магнитуды события M , полученной из класса по формуле из [Ризниченко, 1985] $M = (K - 4) / 1.8$, где K – класс события, а также зависимости от моментной магнитуды M_w . Рассмотрим полученные результаты для каждой динамической характеристики.

Угловая частота для рассматриваемого класса событий $K = 9.1–14.80$ изменяется от 1.0 до 8.9 Гц. Распределение угловой частоты от магнитуды (M и M_w), а также отклонение распределения от линейной модели представлено на рисунке 2. Согласно значениям дисперсии, так же представленным на рисунке 2 распределение угловой частоты от M_w описывается линейной моделью лучше, нежели распределение угловой частоты от M .

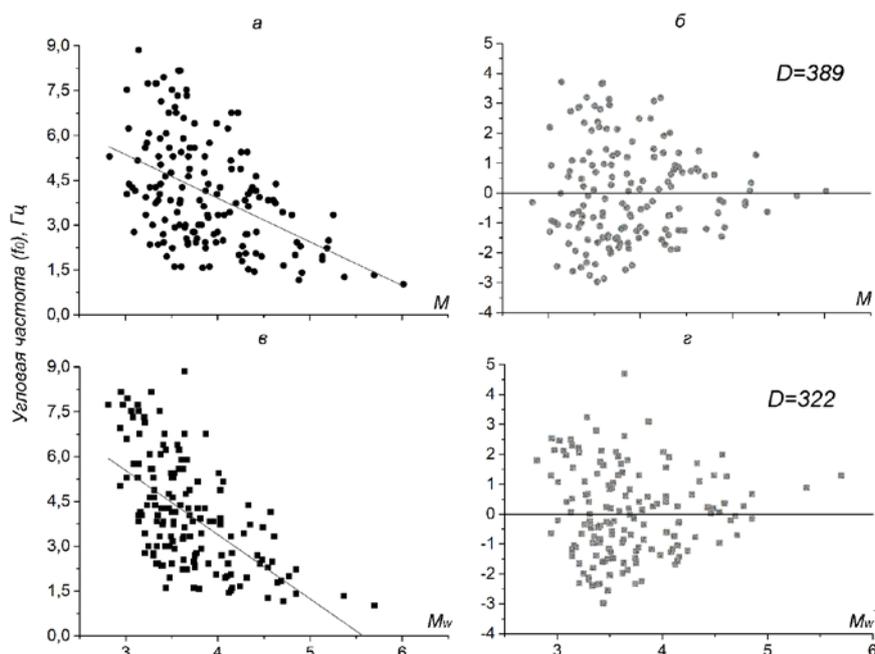


Рисунок 2 – Зависимость угловой частоты от магнитуды: а – $f_0(M)$; в – $f_0(M_w)$ и распределение отклонений от линейной модели: б – $f_0(M)$; з – $f_0(M_w)$.

Скалярный сейсмический момент для рассматриваемого класса событий меняется от $2.03E+13$ до $4.3E+17$. Зависимость M_0 от M хорошо описывается линейной моделью с положительным углом наклона: чем выше магнитуда, тем выше значение скалярного сейсмического момента (см. рисунок 3а). Эта зависимость может быть описана выражением $lg(M_0) = 10,6 + 1.03M$, что вполне соответствует выражению $lg(M_0) = 8.4 + 1.6M$ из работы [Ризниченко, 1985], где M_0 представлено в Дж·м. Отклонение значений относительно линии тренда имеет меньший разброс для событий с $M > 4.5$ (см. рисунок 3б).

Зависимость десятичного логарифма M_0 от M_w представляет собой линейную функцию. Это обстоятельство объясняется тем, что моментная магнитуда напрямую зависит и определяется из сейсмического момента (см. рисунок 3 в, з).

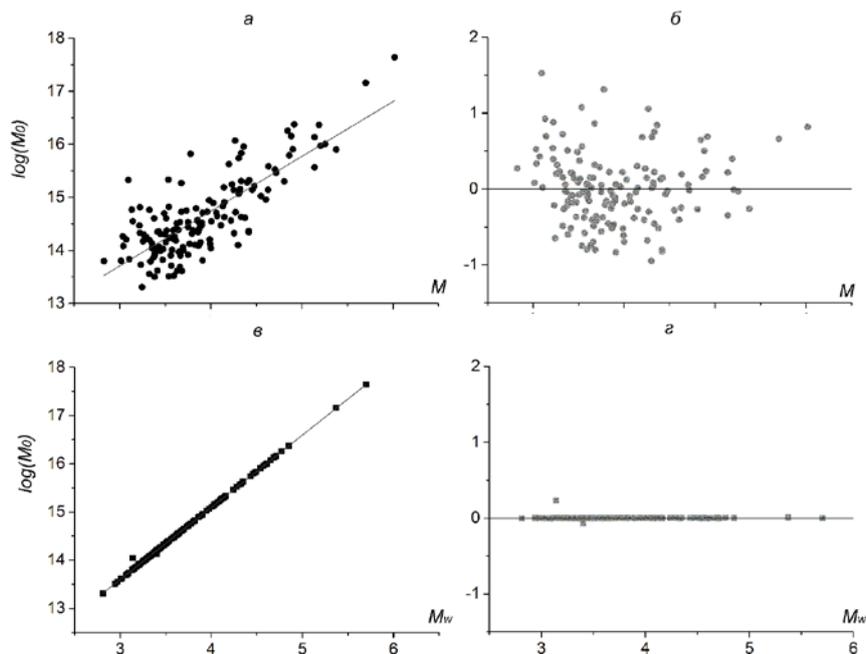


Рисунок 3 – Зависимость $f(\log(M_0), M)$ и $f(\log(M_0), M_w)$ и отклонение от линейной модели.

Радиус Брюна для рассматриваемого класса событий меняется от 150 до 1280 м. Зависимость радиуса Брюна от M представлена на рисунке 4а, а от M_w на рисунке 4в. Непосредственная связь между радиусом Брюна и угловой частотой отражается и в представленных распределениях: разброс радиуса Брюна в зависимости от M_w меньше, чем в распределении радиуса Брюна от M .

Падение напряжений согласно таблице, меняется от $\sim 0,2$ до ~ 130 МПа. Распределение падения напряжений от M и M_w представлены на рисунках 4б и 4г: зависимость падения напряжений от M_w имеет меньший разброс, чем от M , что так же объясняется связью падения напряжений с радиусом Брюна и скалярным сейсмическим моментом.

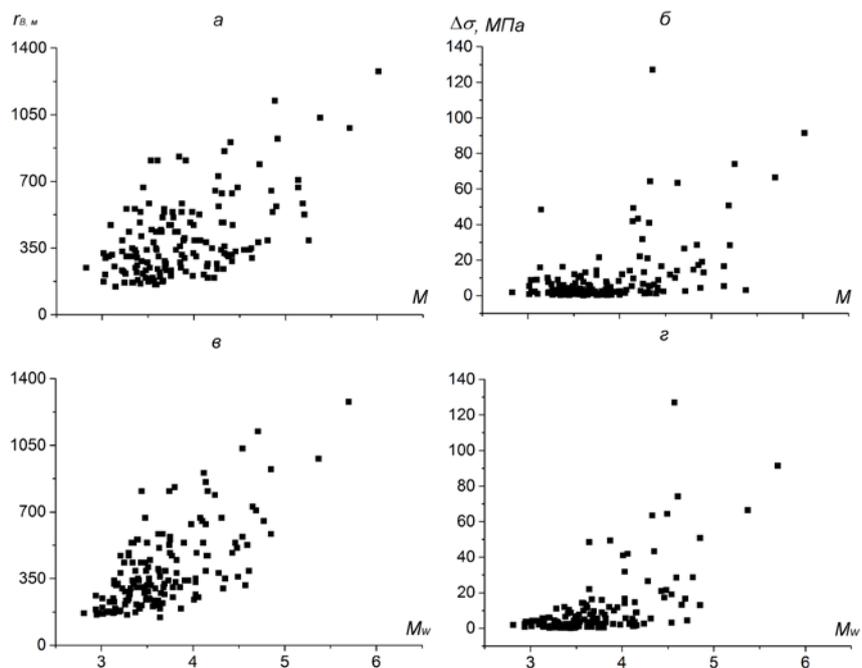


Рисунок 4 – Зависимость $f(r_b, M)$ и $f(r_b, M_w)$ и $f(\Delta\sigma, M)$ и $f(\Delta\sigma, M_w)$.

В работе [5] рассматривались умеренные землетрясения, произошедшие в области, ограниченной координатами краевых станций сети KNET. Диапазон изменения

кинематических и динамических параметров землетрясений из этой работы представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Некоторые кинематические и динамические параметры землетрясений из работы [5]

	Дата	ϕ°	λ°	H , км	K	M_0 , Дж·м	f_0 , Гц	r_B , м	$\Delta\sigma$, МПа
	1	2	3	4	5	7	8	9	10
Мин.	26.08.1998	42.00	73.75	0	9.5	2.85e+12	1.66	200	~0.10
Макс.	29.10.2012.	43.00	76.00	22	13.7	4.27e+15	6.33	800	~10.0

Можно отметить, что полученные в этой работе значения динамических параметров согласуются с результатами в работе [5] согласно диапазону рассматриваемых землетрясений. Однако в данной работе максимальный сброс напряжений произошел для землетрясения с $M_0 = 9.0e+15$, хотя максимальное значение $M_0 = 4.37e+17$, а в работе [5] максимальный сброс напряжений произошел для землетрясения с максимальным сейсмическим моментом. В данной работе это можно связать с ошибкой определения угловой частоты, которая повлияла на значение радиуса и далее на значение уровня падения напряжений. Для максимального значения $M_0 = 4.37e+17$ уровень падения напряжений соответствует ~90 МПа. Если учесть, что максимальный класс событий, рассматриваемых в этой работе соответствует $K = 14.8$, а в работе [5] $K = 13.7$, то разница в единицу класса дает изменение падения напряжений на один порядок.

Согласно рисунку 1 преобладающая часть исследуемых событий имеет взбросовый механизм очага, есть несколько событий со взбросо-сдвиговым и сбросовым механизмом. Черным цветом на рисунке выделены фокальные механизмы землетрясений, для которых уровень падения напряжений выше 10 МПа. Можно отметить, что значительный сброс напряжений отмечается вдоль Таласо-Ферганского разлома, на концевых участках хребта Ат-Баши, на хребте Молдо-Тоо, в предгорьях западной части Киргизского хребта и в его восточной окраине. Отмечается отсутствие падения напряжений в зоне сочленения Киргизского хребта и Чуйской впадины с 74.5° по 75.5° . Этот же участок отсутствия значительного падения напряжений выделен в работе [4] при исследовании землетрясений Бишкекского геодинамического полигона.

Заключение. Метод волновой инверсии позволил получить тензор сейсмического момента для землетрясений с $K > \sim 9$, находящихся на территории сети KNEN и за ее пределами на расстоянии $1^\circ - 2^\circ$ от станций сети. Наряду с параметрами нодальных плоскостей получены значения скалярного сейсмического момента и моментной магнитуды. Расчет угловой частоты стационарного спектра исследуемых событий позволил определить такие динамические характеристики как радиус Брюна и уровень падения напряжений. Построение динамических характеристик от магнитуды и моментной магнитуды показало, что минимальная дисперсия получена для моментной магнитуды. Основная часть исследуемых событий имеет взбросовый характер. Обозначены области, где происходит значительный взброс напряжений.

Исследование частично поддержано по гранту РФФИ 15-05-06857а.

Литература

1. Yagi Y. Determination of focal mechanism by moment tensor inversion. – Tsukuba: ISEE Lecture Note. 2004. 51 p.
2. Ризниченко Ю.В., Соболева О.В., Кучай О.А., Михайлова Р.С, Васильева О.Н. Сеймотектоническая деформация земной коры юга Средней Азии // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1982. №10. С. 90-104.
3. Пузырев Н.Н. Методы и объекты сейсмических исследований. Новосибирск: Издательство СО РАН, НИЦОИГГМ, 1997. 300 с.

4. Сычева Н.А., Богомолов Л.М. Закономерности падения напряжений при землетрясениях Северного Тянь-Шаня // Геология и геофизика. 2016. Т.57. №11. С.2071-2083.
5. Сычева Н.А., Богомолов Л.М. Падение напряжения в очагах среднемагнитудных землетрясений в Северном Тянь-Шане // Физика Земли. 2014. №3. С.142-153.

УДК 550.34.03

АЛГОРИТМ ПОДГОТОВКИ ДАННЫХ ДЛЯ РАСЧЕТА ДОБРОТНОСТИ ГЕОСРЕДЫ НА ОСНОВЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ОТНОШЕНИЙ ДВУХ СТАНЦИЙ

ALGORITHM FOR PREPARING DATA FOR CALCULATING ACOUSTIC QUALITY OF GEOLOGICAL ENVIRONMENT BASED ON SPECTRAL RATIO BETWEEN TWO STATIONS

Мансуров А.Н., Сычева Н.А., Борбуев Б.К.

sur@gdirc.ru

Научная станция Российской академии наук, г. Бишкек, Кыргызстан
Кыргызско-Российский Славянский Университет, г. Бишкек, Кыргызстан

Аннотация. В данной работе описан подход, позволяющий оценить суммарную акустическую добротность геосреды в области отрезка пути между двумя сейсмическими станциями. Приведено описание и результаты первого шага обработки – выбора анализируемых землетрясений для каждой пары станций. Для этого используется алгоритм для выбора из каталога землетрясений, чьи эпицентры находятся в области продолжения воображаемого луча, проведенного из одной сейсмической станции через другую.

Ключевые слова: землетрясение, каталог, станция, выборка, плоскость, расстояние, сектор, добротность, отношение спектров.

Введение. Существуют различные методы оценки поглощающих свойств (добротности) среды на основе сейсмических данных. Одним из популярных методов является определение добротности на основе исследование кода-волн. Этот метод был особенно популярным в 80-90 годы прошлого столетия [1,2]. Одним из современных методов является метод, основанный на исследовании спектральных отношений двух сейсмических станций [3]. Суть метода заключается в том, что если событие и две станции лежат на одной прямой, то различие в амплитудной части спектров может охарактеризовать поглощающие свойства среды, находящейся между двумя станциями. Использование этого метода требует формирование выборок сейсмических событий, которые лежат приблизительно на одной прямой с парой сейсмических станций, причем не между станциями. Для вычисления добротности (а, точнее, функции добротности от частоты) в окрестности зоны между каждыми двумя станциями сети *KNET*, необходимо сформировать выборки согласно вышеопределенного правила.

Целью данной работы является разработка и реализация алгоритма формирования выборок сейсмических событий для каждой пары станций сети *KNET* для дальнейшего определения добротности.

Исходные данные и методика. В качестве исходных данных был использован каталог землетрясений, зарегистрированных сетью *KNET* за 1994-2015 годы. Из этого каталога были выбраны землетрясения с энергетическим классом $K > 9$. Территориальное распределение этих землетрясений показано на рисунке 1.

Суть метода заключается в том, что для каждой двух станций (назовем их «ближайшая» и «противоположная») нужно выбрать некоторое множество землетрясений таких, чтобы сейсмический луч от этих землетрясений до противоположной станции проходил вблизи отрезка, проведенного от ближайшей станции к противоположной. Тогда можно считать, что сейсмический луч идет приблизительно по маршруту «землетрясение – ближайшая станция – противоположная станция», и отношение скорректированных на сайт-эффект и геометрическое расхождение амплитудных спектров записи землетрясения будет отражать поглощающие свойства среды на отрезке между станциями. Также нужно исключить события слишком близкие к ближайшей станции, так как для них сейсмический луч в направлении ближайшей станции сразу пойдет под большим углом к горизонту вверх и слишком далекие от обеих станций события, так как сейсмический луч там пройдет через верхнюю мантию, моделирование которой выходит за рамки данного исследования.

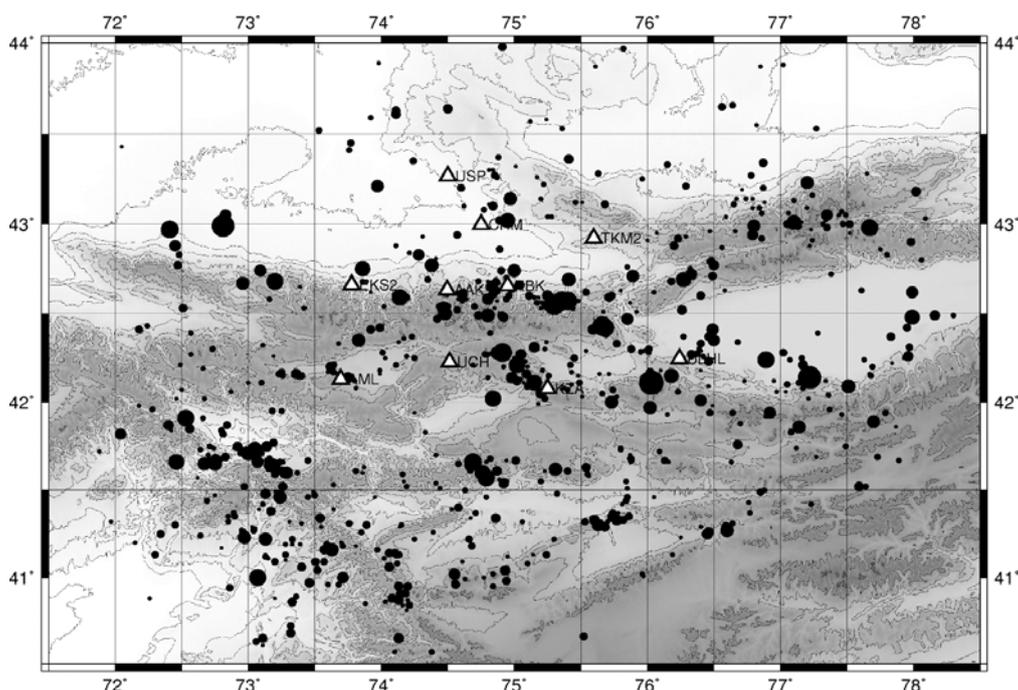


Рисунок 1 – Землетрясения с энергетическим классом 9 и более, зарегистрированные сетью KNET за 1994–2015 годы. Размеры кружков показывают энергетический класс. Треугольниками показаны станции сети KNET.

Теперь формализуем условие выборки. Для большей точности и общности алгоритма не будем пытаться считать поверхность земли плоской, а примем ее сферической. Обозначим расположение ближайшей станции точкой N , противоположной – M , землетрясения – P . Отрезок между ближайшей станцией и противоположной будет соответствовать плоскости, проведенной через точки M , N и центр Земли (точка O). Тогда вышеописанные требования можно формализовать следующим образом:

- угол между плоскостями OMN и OPN не должен превышать величины A_N (на поверхности – угол с вершиной в ближайшей станции);
- угол между плоскостями OMN и OPM не должен превышать величины A_M (на поверхности – угол с вершиной в противоположной станции);
- расстояние NP , проведенное по поверхности Земли не должно быть меньше D_{min} ;
- расстояние NP , проведенное по поверхности Земли не должно превышать D_{maxN} ;
- расстояние MP , проведенное по поверхности Земли не должно превышать D_{maxM} .

Для осуществления выборки землетрясений по этим критериям была разработана компьютерная программа *geo_angle_selector*. В данной работе для демонстрации работы программы были выбраны следующие значения параметров: $A_N = 22.5^\circ$; $A_M = 15^\circ$; $D_{min} =$

20 км; $D_{maxN} = 200$ км; $D_{maxM} = 300$ км. При составлении выборок для расчетов добротности эти значения могут быть легко изменены.

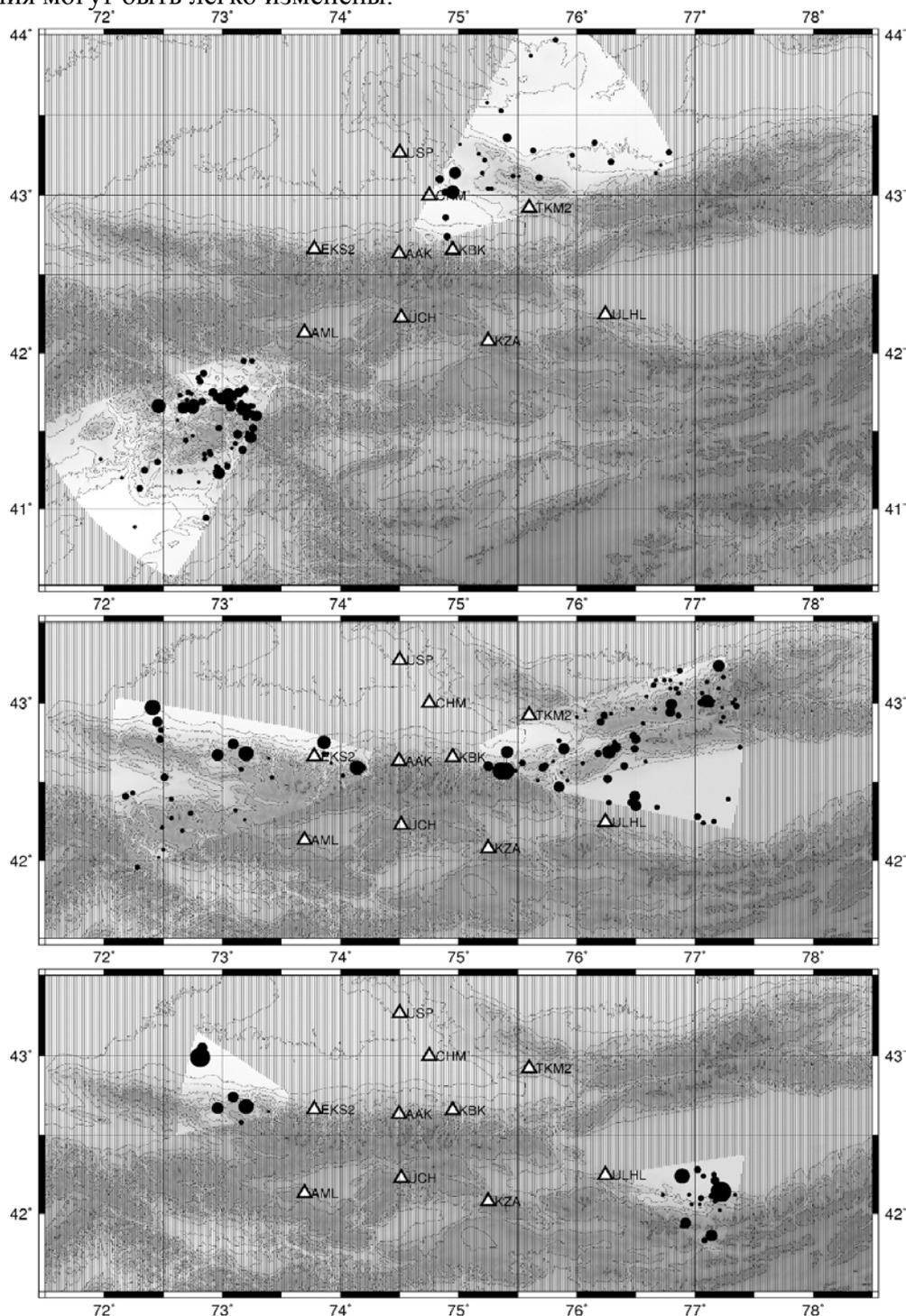


Рисунок 2 – Результирующие выборки для некоторых пар станций сети KNET. На каждой карте показаны обе выборки для одной и той же пары (ближайшая и противоположная станция меняются ролями). Верхняя карта – ААК–АМЛ и АМЛ–ААК, средняя – ААК–КВК и КВК–ААК, нижняя ЕКС2–УЛНЛ и УЛНЛ–ЕКС2. Зоны, события из которых НЕ попали в выборки, заштрихованы.

Результаты. Примеры выборок – результатов работы программы представлены на рисунке 2. Для пар станций ААК–АМЛ и ААК–КВК видны ограничения по параметрам D_{min} и D_{maxN} . Для пары станций ЕКС2–УЛНЛ видны ограничения по параметрам D_{min} и D_{maxM} . Для

пар станций ААК–АМЛ и ЕКС2–УЛНЛ видно ограничение по параметру A_N . Для пары станций ААК–КВК видны ограничения по параметрам A_N и A_M (излом на сторонах сектора).

Количество событий, попавших в выборку для каждой пары станций, показано в таблице 1. Суммарное (по двум направлениям) количество событий для каждого отрезка более чем достаточно для устойчивой оценки добротности.

Таблица 1 – Количества событий в выборках для пар станций сети КНЕТ. Заголовок строки показывает ближайшую из пары станцию, заголовок столбца – противоположную станцию

	<i>ААК</i>	<i>АМЛ</i>	<i>СНМ</i>	<i>ЕКС2</i>	<i>КВК</i>	<i>КЗА</i>	<i>ТКМ2</i>	<i>УСН</i>	<i>УЛНЛ</i>	<i>УСП</i>
<i>ААК</i>		417	896	1555	303	75	724	345	175	830
<i>АМЛ</i>	448		490	556	354	267	279	262	180	567
<i>СНМ</i>	196	194		286	219	235	179	219	65	1326
<i>ЕКС2</i>	152	179	229		121	131	144	102	125	663
<i>КВК</i>	753	397	715	1021		466	1277	223	260	733
<i>КЗА</i>	307	574	255	274	257		499	451	910	241
<i>ТКМ2</i>	347	127	412	326	200	61		125	352	436
<i>УСН</i>	598	1476	682	502	713	672	689		616	630
<i>УЛНЛ</i>	179	94	133	111	170	198	134	163		104
<i>УСП</i>	120	51	50	93	65	97	39	119	48	

Заключение. В данной работе описан и апробирован алгоритм для выборки землетрясений, лежащих в области луча, проведенного от одной сейсмостанции до другой, что необходимо для проведения оценки поглощающих свойств геосреды на основе отношения амплитудных спектров записей землетрясений на двух станциях. Алгоритм имеет 5 настраиваемых параметров. Результаты работы алгоритма соответствуют предъявляемым к нему требованиям и будут использованы для оценки поглощающих свойств геосреды по методу спектральных отношений двух станций.

Исследование частично поддержано по гранту РФФИ 15-05-06857а.

Литература

1. Раутиан Т.Г., Халтурин М.С., Закиров М.С. Экспериментальные исследования сейсмической коды. М. Наука, 1981. 146 с.
2. Rautian T.G., Khalturin V.I., Martynov V.G., Molnar P. Preliminary analysis of the spectral content of P and S waves from local earthquakes in the Garm, Tajikistan region // Bull. Seism. Soc. Am., 1978. Vol. 68. No 4. Pp 949-971.
3. Havskov J., Ottermoller L. Routine Data Processing in Earthquake Seismology, DOI 10.1007/978-90-481-8697-6-6, Springer Science+Business Media B.V. 2010. 347 p.

УДК 550.83

ГЛУБИННЫЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИССЫК-КУЛЬСКОЙ МЕЖГОРНОЙ ВПАДИНЫ

DEEP GEOPHYSICAL INVESTIGATIONS OF THE ISSYK-KUL INTERMOUNTAIN DEPRESSION

Матюков В.Е.

vitaliy@gdirc.ru

Научная станция Российской академии наук, г. Бишкек, Кыргызстан

Аннотация. Представлены результаты исследований геофизическими методами глубинной структуры Иссык-Кульской межгорной впадины. Через акваторию оз. Иссык-Куль была выполнена магнитометрическая съемка и выявлена тридцати километровая зона положительного магнитного поля с амплитудой порядка +100 нТл, которая обусловлена позднепалеозойскими выходами гранитоидных интрузий. Рассматриваются вопросы построения геоэлектрической модели по магнитотеллурическим профилям «Григорьевка» и «Барскаун».

Ключевые слова: геофизика, магнитотеллурические зондирования, Тянь-Шань, горная впадина.

Введение. Разделение горных впадин Тянь-Шаньского региона можно производить не только по внешним признакам (высота над уровнем моря, геометрические размеры, мощности слагающих их отложений), а также по природе их происхождения [1, 2]. Вследствие чего горные впадины можно подразделять на: (1) межгорные и предгорные и (2) внутригорные. В основном различие между этими двумя видами впадин может быть по глубине залегания, а структурные отличия зависят от их геодинамической природы. Субмеридиональное сжатие земной коры по большей части характеризует внутригорные впадины с несложными древними складками верхнекорового залегания. В свою очередь, развитие межгорных и предгорных впадин в основном происходит благодаря глубинным процессам, происходящим в нижней коре и верхней мантии.

Представленное выше базируется на морфологических особенностях строения горных впадин Тянь-Шаня и, конечно требует серьезного геофизического толкования. В работе [3] уже были проведены исследования структурных и геодинамических особенностей горных впадин Центрального Тянь-Шаня. В данной работе будут рассмотрены результаты выполненных в последнее время электро- и геомагнитных наблюдений на территории Центрального Тянь-Шаня. В результате таких исследований были выявлены новые особенности глубинного строения Иссык-Кульской межгорной впадины.

Магнитометрическая съемка через оз. Иссык-Куль. В 2012 г. сотрудниками Научной станции РАН в г. Бишкеке и кафедры геофизики геологического факультета МГУ были выполнены работы по проведению субмеридионального магнитометрического профиля через оз. Иссык-Куль (рис.1). Профиль проходит по озеру и в приозерной части в районе 77.5° в.д. Длина профиля 91 км. Выбор местоположения данного профиля обуславливался ранее проведенными магнитотеллурическими зондированиями на берегах озера по региональным профилям «Григорьевка» и «Барскаун».

Используемая аппаратура и методика работ. Для выполнения магнитометрических измерений применялись три магнитометра POS-1,2, изготовленные в лаборатории квантовой магнитометрии УГТУ г. Екатеринбурга. Используемая аппаратура POS относится к классу протонных магнитометров. Два магнитометра были использованы как стационарные вариационные станции, осуществляющие регистрацию синхронно на северном и южном берегах озера, а третий непосредственно для мобильных измерений на сухопутной и морской частях проводимого профиля. Интервал регистрации на вариационных станциях составлял 3 сек. Синхронизация всех приборов осуществлялась по GPS, что гарантировало разницу во времени не более одной секунды. На суше для измерений применялся пешеходный вариант, а прибор проводил измерения магнитного поля с дискретизацией 3 сек и для каждой регистрации записывались географические координаты по GPS. Расстояние между точками измерения составляло порядка 5 м. На северном берегу часть профиля была длиной 17 км, на южном – 21 км.

При работах на морской части профиля прибор размещался на пластиковом ялике, с которого были демонтированы все железные детали конструкции и применены немагнитные крепления. Сам ялик буксировался судном «Горизонт» с помощью фала длиной 120 метров. Регистрация магнитного поля также осуществлялась с дискретизацией 3 секунды через

каждые 10 м (что обеспечивалось скоростью буксировки 11 км/ч). Всего было выполнено немногим более 15000 измерений при длине профиля 91км, что дало возможность при обработке с запасом осуществлять отбраковку и осреднение полученных данных.

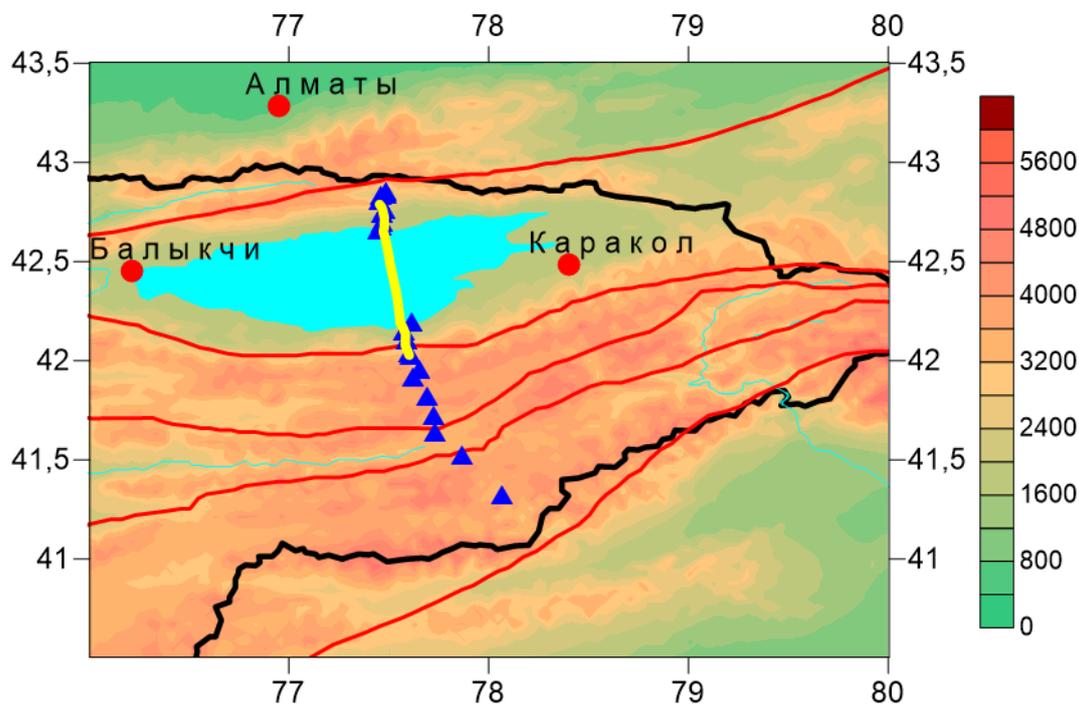


Рисунок 1 – Карта схема расположения магнитотеллурических (синие треугольники) профилей «Григорьевка» (северная часть) и «Барскаун» (южная часть) и магнитометрического профиля (желтая линия). Черной линией показана граница Кыргызстана, красными линиями – основные разломы.

Более подробно обработка результатов магнитометрической съёмки представлена в работе [4]. В рамках данной работы будем рассматривать этот профиль как дополнение к магнитотеллурическим профилям «Григорьевка» и «Барскаун»

График аномального магнитного поля (в предположении кусочно-линейного нормального поля), сглаженного окном шириной 200м представлен в верхней части рис.2.

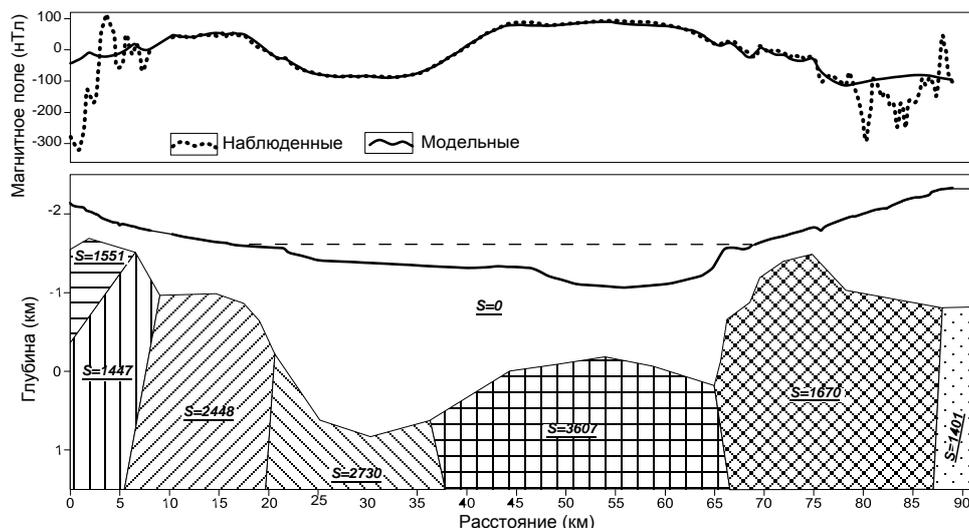


Рисунок 2 – Геомагнитная модель по профилю Григорьевка – Барскаун. В верхней части приведены графики наблюдаемых и модельных значений магнитного поля. Нижняя часть – распределение магнитной восприимчивости S. Сплошной линией показан рельеф твердой поверхности, пунктирной – уровень воды оз. Иссык-Куль [4].

При анализе характерного аномального поведения магнитного поля вдоль исследуемого профиля (верхняя часть рис. 2) можно выделить следующие особенности: амплитуда изменений магнитного поля составляет 300 нТл. Вдоль профиля наблюдается несколько зон с характерными изменениями магнитного поля. В центральной части профиля (25-65 км) можно заметить небольшое изменение градиентов магнитного поля (до 20 нТл/км), что согласуется с морской частью профиля на глубинах более 200 метров. Для переходной часть суша-озеро (10-25 км и 65-78 км) характерны уже незначительные градиенты магнитного поля (до 50 нТл/км), но также наблюдаются и локальные аномалии с размерами порядка 1 км. Еще один тип поведения магнитного поля можно выделить на северном и южном окончаниях профиля (0-10 км и 78-91 км), где градиенты магнитного поля достигают 300 нТл/км и локальные аномалии шириной до 2 км.

Анализ низкочастотной компоненты магнитного поля показал аномально интенсивное понижение от 0 до -200 нТл в северной и южной частях профиля (горные ущелья). В Григорьевском ущелье с отвесными склонами замечено наибольшее уменьшение магнитного поля (до -300 нТл). Положительная аномалия порядка 200 нТл и шириной около 30 км выделяется в центральной глубоководной части акватории оз. Иссык-Куль. В северной мелководной части можно отметить отрицательную аномалию амплитудой около 100 нТл.

Следует отметить, что для всей территории Тянь-Шаня в 90-х годах прошлого столетия была выполнена детальная аэромагнитная съёмка и для абсолютной высоты 5 км построена карта аномального магнитного поля [5]. Положительное аномальное поле магнитной индукции по этой карте с амплитудой около +100 нТл в южной части акватории оз. Иссык-Куль и вдоль хребта Терской Алатау наблюдалось в полосе 77-78 град. в.д. Авторы [6] сделали вывод о том, что эта аномалия положительного магнитного поля оконтуривает позднепалеозойские выходы гранитоидных интрузий.

Геомагнитная модель по профилю Григорьевка-Барскаун (рис. 2) уточняет полученные ранее результаты аэромагнитной съемки в акваториальной части профиля может использоваться в качестве априорной информации для количественной интерпретации магнитотеллурических данных по профилям «Григорьевка» и «Барскаун».

Двумерная инверсия магнитотеллурических данных по профилям «Григорьевка» и «Барскаун». С 2008 по 2012 год силами Научной станции РАН в г. Бишкеке с использованием современной широкополосной аппаратуры Феникс MTU-5 были выполнены работы вдоль профилей «Григорьевка» и «Барскаун». Данные были получены в диапазоне периодов вариаций магнитотеллурического поля от 0,001 до 2000с.

При выполнении двумерной инверсии магнитотеллурических данных по профилям «Григорьевка» и «Барскаун» были взяты данные с 10 пунктов зондирований (4 с профиля «Барскаун» и 6 с профиля «Григорьевка»). Для 2D инверсии были взяты основные компоненты тензора импеданса (продольные и поперечные).

Для выполнения процедуры сглаживающей 2D инверсии была использован программный комплекс REBOCC [7]. Сеточная аппроксимация модели имеет 80 горизонтальных слоев и 43 слоя по вертикали, без учета слоев, предназначенных для адекватного представления в модели топографического рельефа и «воздушной части» модели. Стартовая модель для 2-D инверсии представляла собой однородную среду 100 Ом-м и приповерхностный слой мощностью 700 м и сопротивлением также 100 Ом-м соответствующий Иссык-Кульской впадине.

Инверсия сначала была выполнена отдельно для продольного и поперечного импедансов, а затем и совместная инверсия двух импедансов. В таблице 1 представлены RMS-невязки и количество внутренних выполненных итераций программы для 3 вариантов инверсии.

Таблица 1. Значения RMS- невязки и соответствующее количество итераций N.

Продольный импеданс	Поперечный импеданс	Совместная инверсия
---------------------	---------------------	---------------------

RMS	N	RMS	N	RMS	N
12.6	76	10.2	76	18.6	63

Такие высокие значения RMS-невязок можно связать с сильными трёхмерными искажениями, которые свойственны горным регионам. Самые сильные искажения, в основном, гальванической природы и, судя по RMS-невязкам, в большей степени влияют на продольный импеданс.

Геоэлектрический разрез с минимальными значениями RMS-невязок, полученный по результатам инверсии поперечного импеданса, представлен на рисунке 3.

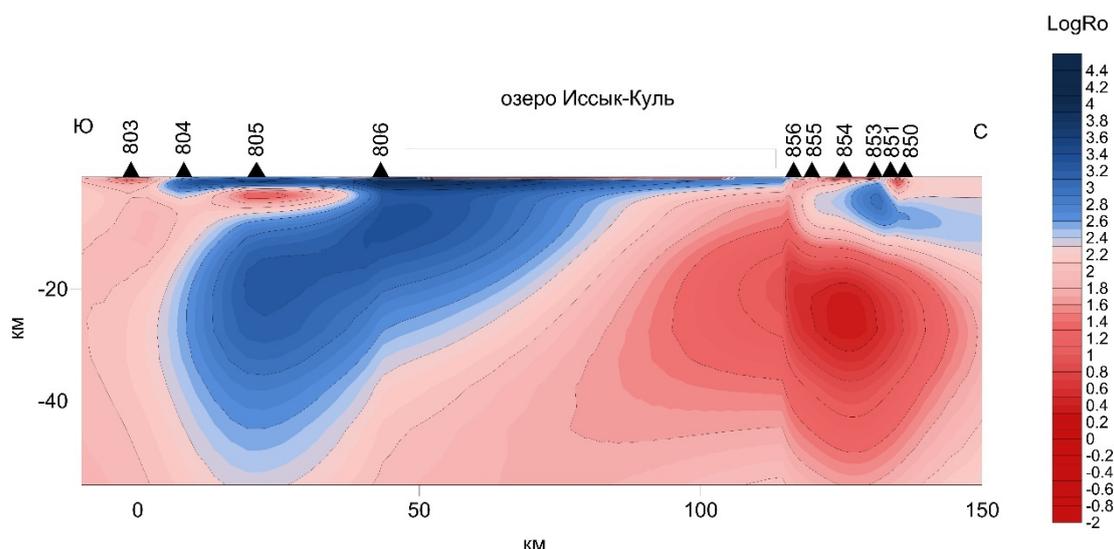


Рисунок 3 – Разрез по профилю «Григорьевка» и «Барскаун» по результатам инверсии поперечного импеданса.

В полученном геоэлектрическом разрезе отчетливо видна глубинная проводящая зона (~ 10-30 км), которая находится под северным бортом Иссык-Кульской впадины. Инверсия продольного импеданса не выявила подобной зоны, но по её результатам отчетливо проявилась зона с пониженными значениями сопротивления в верхней части разреза под северной частью озера. По результатам совместной инверсии продольного и поперечного импедансов был получен некий средний результат, в котором были и приповерхностная и глубинная аномалии.

Выводы. В рамках данной работы были выполнены исследования по изучению глубинного строения литосферы Иссык-Кульской впадины, которые базируются на материалах детальных магнитотеллурических и геомагнитных наблюдений.

В районе 77.5° в.д. по профилю длиной 91 км, пересекающему озеро Иссык-Куль, была выполнена магнитометрическая съемка и интерпретация полученных геомагнитных данных. В результате измерений недалеко от южного борта Иссык-Кульской впадины можно выделить положительную аномалию магнитного поля (около +100 нТл) шириной порядка 30 км, которую можно объяснить наличием в верхней части разреза магнитоактивного тела с магнитной восприимчивостью $S=3607 \cdot 10^{-3}$ ед. СГС, а природу его объяснить позднепалеозойскими выходами гранитоидных интрузий.

По магнитотеллурическим профилям «Григорьевка» и «Барскаун» была построена региональная геоэлектрическая модель с помощью сглаженной двумерной инверсии. Геоэлектрический разрез с минимальными значениями RMS-невязок был получен по результатам инверсии поперечного импеданса. В полученном геоэлектрическом разрезе отчетливо выделяется глубинная проводящая зона, которую можно приурочить к северному борту Иссык-Кульской впадины.

Автор выражает искреннюю благодарность своим коллегам Рыбину А.К., Баталеву В.Ю. и Баталевой Е.А. за помощь и ценные советы при выполнении исследований.

Литература

1. Макаров В.И. Новейшая тектоническая структура и кинематика движений. Взаимосвязь Тянь-Шаня с его обрамлением и механизмы внутриконтинентальных горообразовательных процессов // Современная геодинамика областей внутриконтинентального коллизионного горообразования (Центральная Азия). - М.: Научный мир, 2005. С. 32-50, 349-367.
2. Макаров В.И. Геодинамические различия неотектонических горных впадин Тянь-Шаня // Геодинамика внутриконтинентальных орогенов и геоэкологические проблемы: Материалы 4-го Международного Симпозиума, г. Бишкек, 15-20 июня 2008 г.: НС РАН, 2008. с. 63-65.
3. Макаров В.И., Рыбин А.К., Матюков В.Е. и др. Особенности глубинной структуры депрессионных областей Центрального Тянь-Шаня // Материалы 5-го Международного симпозиума «Современные проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов», 19–24 июня 2012 г., Бишкек. М.; Бишкек, 2012. С. 36–45.
4. Рыбин А. К., Пушкарев П.Ю., Паленов А.Ю., Иванова К.А., Мансуров А.Н., Матюков В.Е. Новые геофизические данные о глубинной структуре межгорных впадин Тянь-Шаня. // Вестник МГУ, серия 4 «Геология», 2015, №1, с. 63-69.
5. Маринченко Г.Г. и др. Отчет «Высокоточная высотная съемка масштаба 1:200000 территории Киргизии». Фрунзе. ТГФ. 1993.
6. Брагин В.Д., Лобанченко А.Н. Магнитное поле // Современная геодинамика областей внутриконтинентального коллизионного горообразования (Центральная Азия) М.: Научный мир, 2005б, с. 58 - 66.
7. Siripunvaraporn W., Egbert G. An efficient data-subspace inversion method for 2-D magnetotelluric data // Geophysics.2000. Vol. 65, N 3. P. 791–803.

УДК 550.34

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОГО МАКРОСЕЙСМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА В ЗОНАХ ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА НА ТЕРРИТОРИИ УЗБЕКИСТАНА

THE ASSESSMENT OF POTENTIAL MACROSEISMIC EFFECT IN AREAS OF LONG- TERM FORECAST FOR UZBEKISTAN'S TERRITORY

Мирзаев М.А., Ибрагимова Т.Л.

murod1984@mail.ru

Институт сейсмологии, Ташкент, Узбекистан

Аннотация. На территории Узбекистана выявлены области, в которых на текущий момент времени наблюдаются аномалии в различных параметрах сейсмического режима. По количеству проявившихся аномальных признаков области ранжированы по вероятности возникновения в них сильных землетрясений. Составлены схемы возможного макросейсмического эффекта в случае возникновения сильных землетрясений.

Ключевые слова: долгосрочный прогноз землетрясений, параметры сейсмического режима, сейсмическая активность, сейсмическая брешь, сейсмический эффект.

Введение. На территории Узбекистана и в сопредельных с ним областях неоднократно происходили землетрясения с магнитудой $M \geq 7$ и интенсивностью сотрясений в эпицентре $I_0=9-10$ баллов по шкале MSK-64. Поэтому проблема обеспечения сейсмической безопасности территории и населения республики весьма актуальна.

Сильные землетрясения, происходящие в регионе, обусловлены взаимодействием и деформированием разномасштабных блоков земной коры и происходят вдоль протяженных и относительно узких зон активных разломов, наиболее уязвимых для быстрых тектонических подвижек. Современные карты сейсмического районирования показывают зоны, в которых интенсивность сейсмических воздействий с заданной вероятностью не будет превышена в течение 50-100 лет. Вопрос же о том, какие из сейсмоопасных зон проявят себя сейсмической активизацией в ближайшие годы, нуждается в детальном рассмотрении, основанном на выявлении пространственно-временных и энергетических закономерностей развития сейсмического процесса в очагах сильнейших землетрясений, исследовании направленности его протекания в пределах сейсмоактивной зоны, установлении особенностей взаимосвязи между сейсмодинамическим режимом различных активных тектонических структур с учетом их характерных размеров.

Целью данной статьи является обсуждение методологии выявления мест ожидаемой сейсмической активизации на ближайшие годы по комплексу прогностических параметров сейсмического режима и оценка вероятной интенсивности сейсмических воздействий в выделенных областях долгосрочного прогноза на примере территории Узбекистана.

Метод исследования. На первом этапе, в пределах сейсмоактивных зон выделяются такие пространственные области, в которых сейсмическая активность на уровне сильных землетрясений за исторический период времени была весьма высокой. Это области интенсивного дробления земной коры и они определяют, пользуясь терминологией Ю.В.Ризниченко [1], современный сейсмический «климат» исследуемой территории. В связи с малой изменчивостью в течение десятков и сотен лет направленности протекания сейсмотектонических процессов, определяющих современное напряженное состояние сейсмоактивных зон, с высокой степенью вероятности именно эти области проявят себя высокой сейсмической активностью и в ближайшие десятилетия.

На втором этапе, для каждой точки сейсмоактивной зоны проводится расчет комплекса прогностических параметров сейсмического режима. По выявленным за последние годы аномальным изменениям выделенные ранее области долгосрочного прогноза ранжируются по вероятности ожидания в них сильных землетрясений в течение 5-6 ближайших лет. Тем самым определяется, пользуясь той же терминологией [1], сейсмическая «погода».

Для последующего анализа сейсмического процесса на территории Узбекистана выделено десять сейсмоактивных зон (рис. 1), направление которых совпадает с простираем крупных геотектонических структур, способных генерировать землетрясения с магнитудой $M \geq 5$ [2-3]. Это Ташкентская (1), Южно-Ферганская (2), Восточно-Ферганская (3), Нурекатино-Ангренская (4), Северо-Ферганская (5), Южно-Узбекистанская (6), Амударьинская (7), Газли-Каратагский фрагмент Южно-Тянь-Шаньской сейсмоактивной зоны (8), Северо-Тамдынская зона (9) и Таласо-Ферганская зона (10).

Сильные землетрясения располагаются не равномерно по сейсмоактивной зоне, а концентрируются в виде групп в областях с линейными размерами 50-80 км. На карте эпицентров землетрясений отмечено 29 мест таких скоплений эллипсами различных размеров (рис.1). Сопоставляя карты эпицентров, построенные за различные промежутки времени (до 1900 г. и начиная с инструментального периода), можно отметить, что выделенные области с высокой концентрацией сильных землетрясений, достаточно устойчиво сохраняют свою конфигурацию.

Сосредоточение сильных землетрясений в компактных областях имеет реальную физическую природу. Места остановки разрывов от происшедших землетрясений являются дополнительными концентраторами напряжений. Поэтому последующим подвижкам, по

мере роста тектонических напряжений в пределах сейсмоактивной зоны, согласно концепции «сейсмической брешии» [4,5], проще реализоваться именно в этих областях. Вместе с тем, линейные размеры выделяемых нами областей существенно меньше, чем это предусмотрено в рамках упомянутой концепции. Так с учетом длины очага тектонического землетрясения с $M \geq 7$ [1], область, охватывающая три Газлийских землетрясений 1976 и 1984 гг. с магнитудами $M=7.0-7.3$ должна бы превысить 150 км. В реальности же она значительно компактней и не превышает 70-80 км.

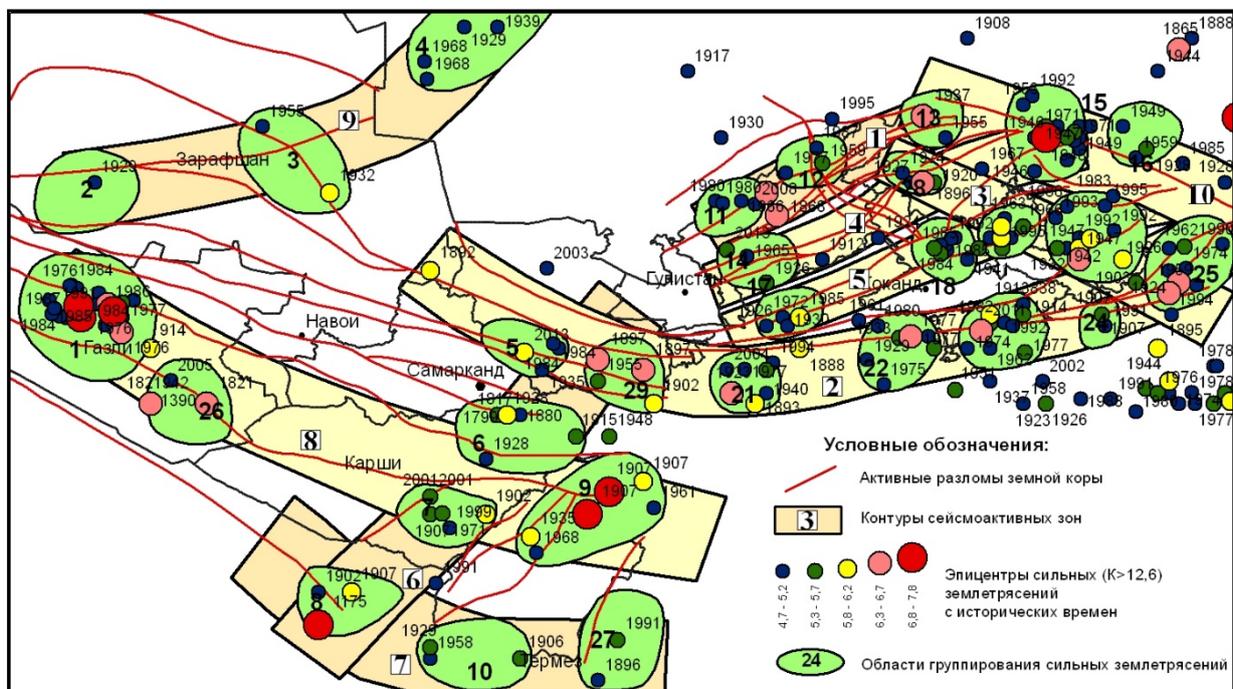


Рисунок 1 – Сейсмоактивные зоны территории Узбекистана и эпицентры сильных ($M \geq 4,7$) землетрясений с исторических времен.

Дальнейшее исследование текущей сейсмологической обстановки в пределах сейсмоактивных зон проводилось на основе анализа комплекса прогностических параметров сейсмического режима, характеризующих кинетику процесса трещинообразования очаговой области по мере приближения к моменту магистрального разрыва [3,6,7]. Рассматривались следующие параметры сейсмического режима:

- суммарное количество землетрясений, происходящих в каждой точке сейсмоактивной зоны в единицу времени на предмет выявления областей сейсмической активизации и сейсмического затишья, а также определения областей, где наблюдаются эффекты так называемой «кольцевой активности»;
- временные изменения сейсмической дробности среды (параметр b в законе Гутенберга-Рихтера), а также совместное поведение сейсмической активности и сейсмической дробности;
- параметры, характеризующие степень сгруппированности сейсмических событий во времени и в пространстве[8];
- энергетические характеристики сейсмического режима, которые описываются функцией логарифма выделившейся сейсмической энергии, графиками Беньюффа, площадью образующихся в процессе сейсмической деформации разрывов, пропорциональных выделенной энергии с показателем степени $2/3$.

Для различных параметров сейсмического режима размеры круговых областей, в которых они рассчитывались, а также пороговые значения прогностических признаков выбирались на базе ретроспективного анализа динамики сейсмического процесса в областях подготовки сильных землетрясений (было проанализировано свыше 40 очаговых зон). Для

примера на рис.2-3 показаны области, в которых на сегодняшний момент времени наблюдается сейсмическая активизация по слабым землетрясениям и аномалии во временном ходе угла наклона графика повторяемости землетрясений (параметр γ). Подобные аномалии неоднократно предшествовали сильным землетрясениям и поэтому имеют определенную прогностическую ценность.

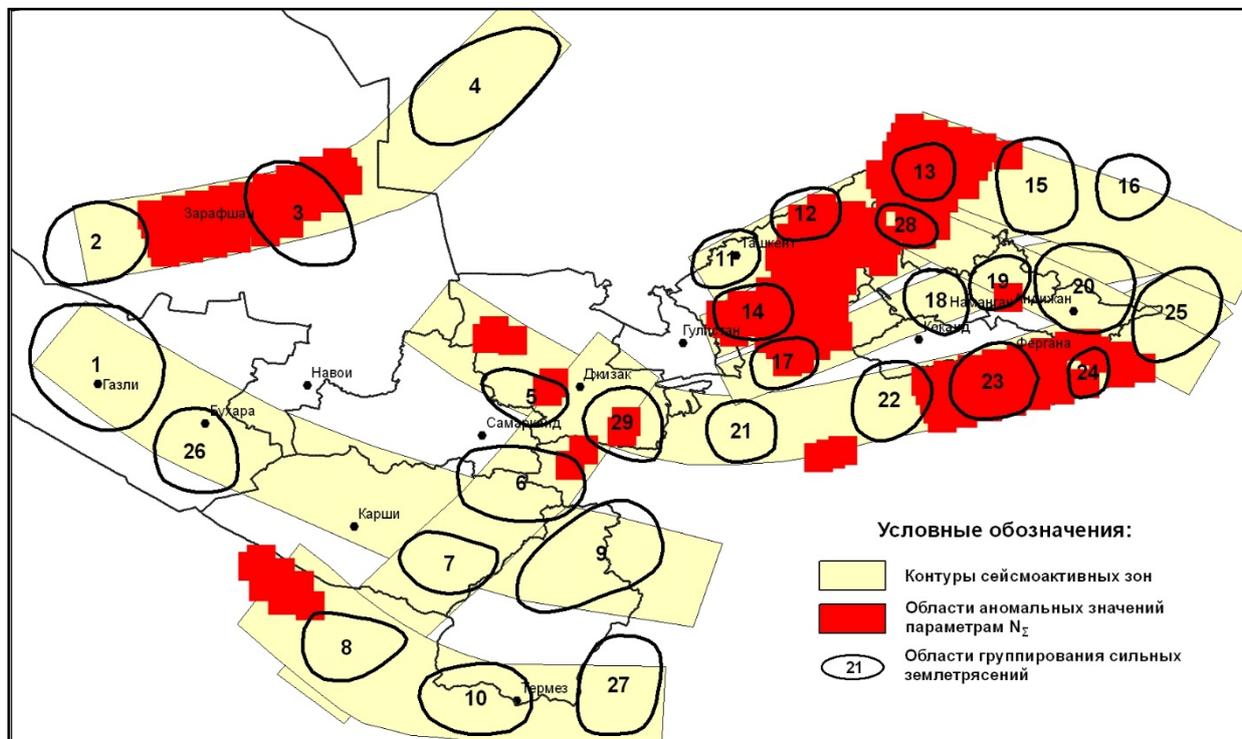


Рисунок 2 – Области сейсмической активизации по параметру N_z на 1.1.2016 г.

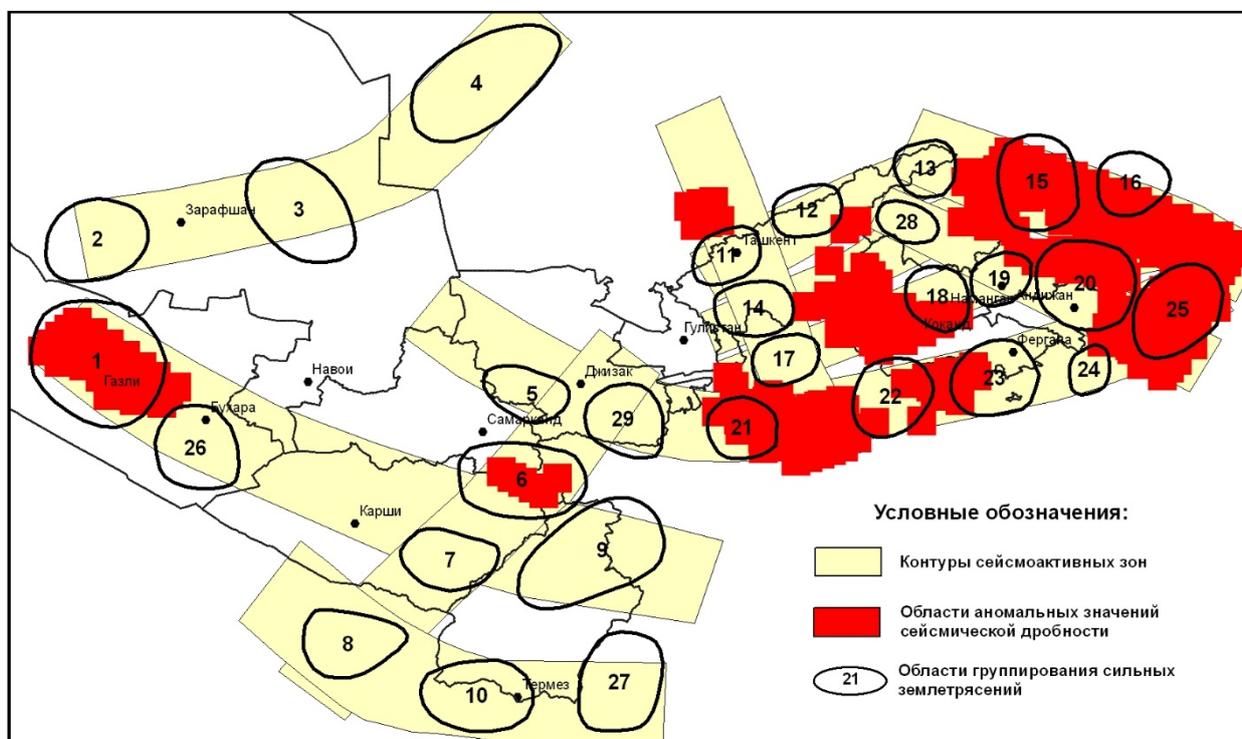


Рисунок 3 – Области аномальных значений сейсмической дробности на 1.1.2016 г.

Наряду с прогностическими признаками, отражающими кинетику трещинообразования очаговой области готовящегося землетрясения, мы рассматривали еще два параметра. Первый из них основан на эмпирических закономерностях пространственно-временных интервалов возникновения последовательных сильных землетрясений в пределах единой сейсмоактивной зоны [8], и отражает такие физические процессы, как расхождение сейсмичности и миграцию землетрясений. Карта областей ожидания сильного землетрясения по данному параметру приведена на рис. 4.

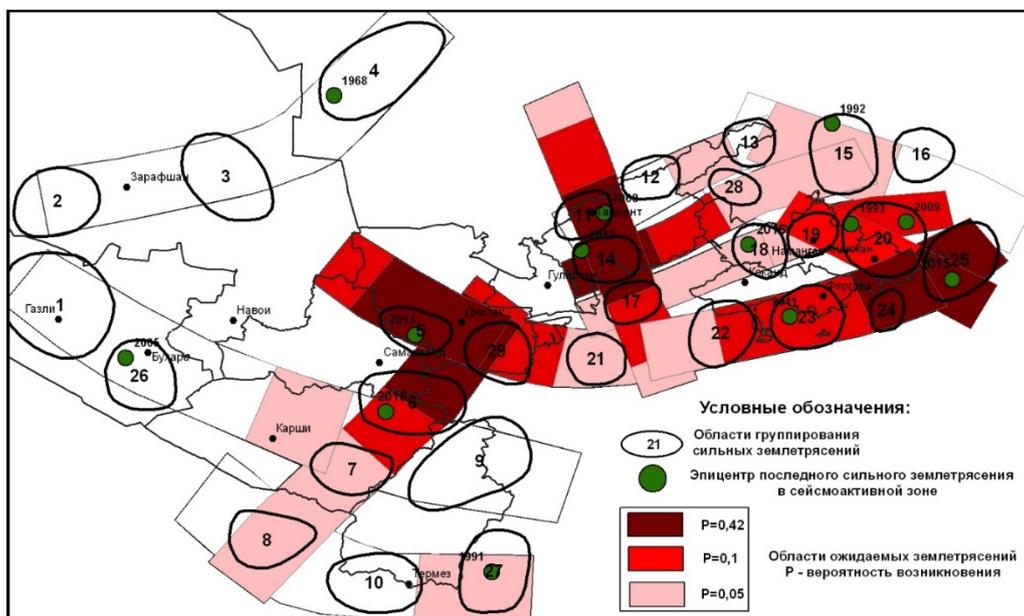


Рисунок 4 – Карта мест ожидания сильных землетрясений по вероятности пространственно-временного распределения последовательных сейсмических событий.

Карта мест ожидания сильного землетрясения на основе прогностического признака, характеризующего длительность сейсмической паузы в возникновении сильных землетрясений в пределах всей сейсмоактивной зоны и отдельных ее сегментов, приведена на рисунке 5. Средний период повторения сильных землетрясений рассчитывался по графикам повторяемости землетрясений (закон Гуттенберга-Рихтера).

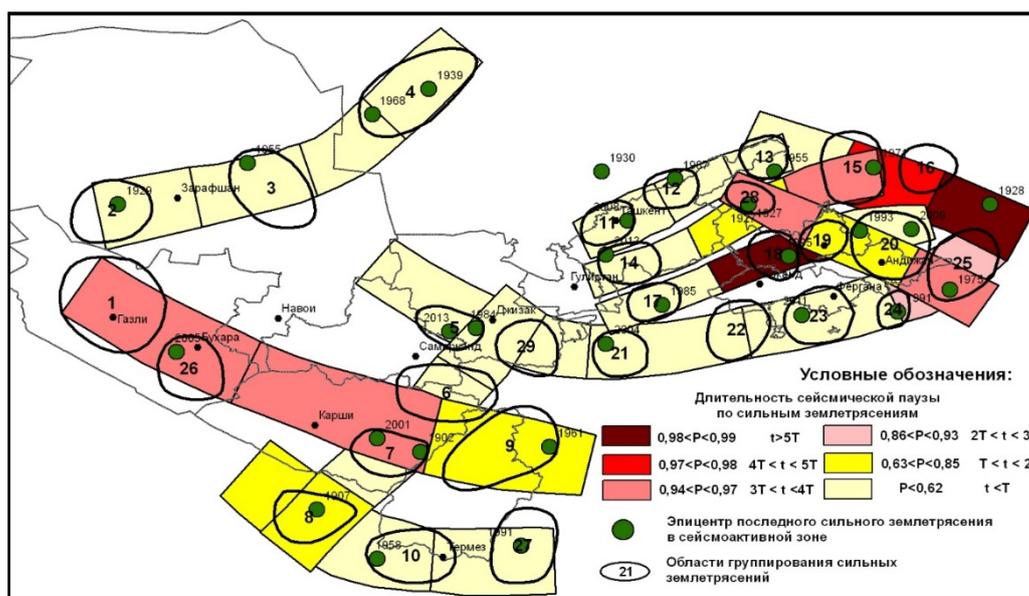


Рисунок 5 – Карта ожидания сильных землетрясений в сейсмоактивной зоне по длительности сейсмической паузы землетрясений с $K \geq 12,6$ ($M \geq 4,8$).

Результаты и их обсуждение. На основе анализа комплекса прогностических признаков была построена карта областей ожидаемой сейсмической активизации на ближайшие годы (рис. 6).

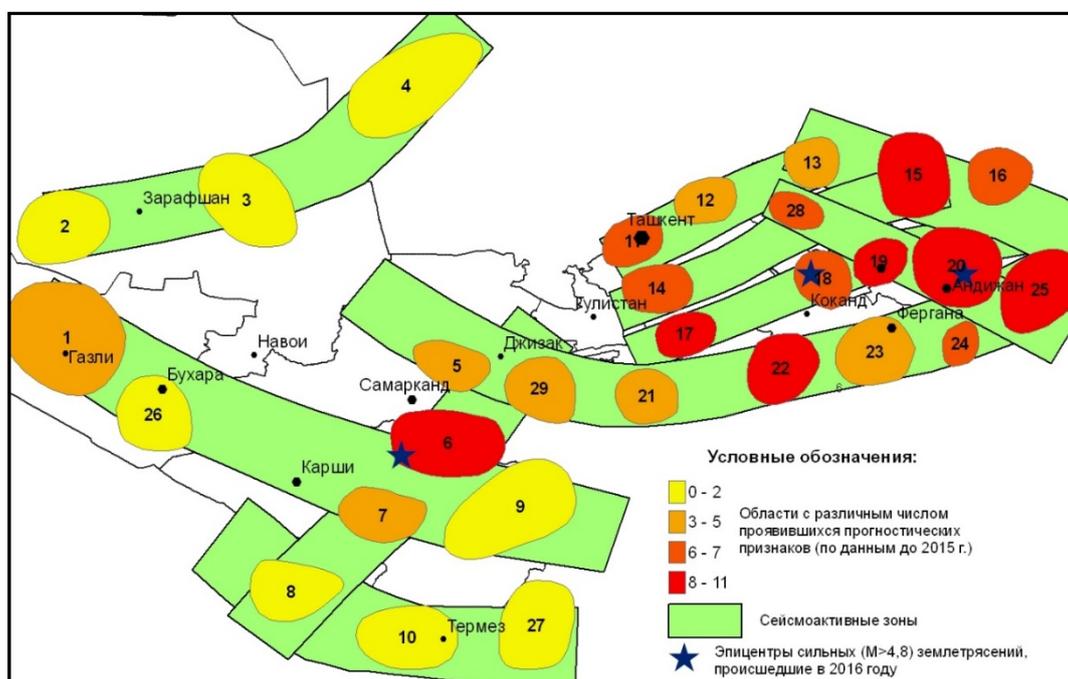


Рисунок 6 – Области ожидаемой сейсмической активизации на ближайшие годы по комплексу прогностических параметров сейсмического режима.

По числу проявившихся аномальных признаков были введены четыре градации для характеристики степени сейсмической опасности очаговой зоны на текущий момент времени: низкая; невысокая; высокая и очень высокая вероятность возникновения землетрясений.

Каталог землетрясений, по которому оценивались долговременные характеристики сейсмичности и аномальные флуктуации в параметрах сейсмического режима, включал представительные землетрясения, зарегистрированные на территории Узбекистана и сопредельных областей в период с 1965 по 2015 годы. Мы нанесли на построенную карту эпицентры сильных ($M \geq 5$) землетрясений, происшедших уже в 2016 году. Все они попали в области с высокой и очень высокой вероятностью возникновения землетрясения на текущий момент времени, что свидетельствует о перспективности разрабатываемой методологии выделения зон сейсмической активизации на ближайшие годы по комплексу сейсмологических параметров.

На рисунке 7 приведена карта возможного макросейсмического эффекта от наиболее опасных на текущий момент времени зон долгосрочного прогноза, в случае возникновения в них землетрясений с максимально возможной магнитудой. Оценка сейсмического потенциала M_{\max} структур, в которых расположены потенциально опасные области, проводилась комплексом сейсмологических и сеймотектонических методов [2,3]. Использовались законы затухания макросейсмической интенсивности с расстоянием в форме Н.В.Шебалина для Ферганской межгорной впадины [3].

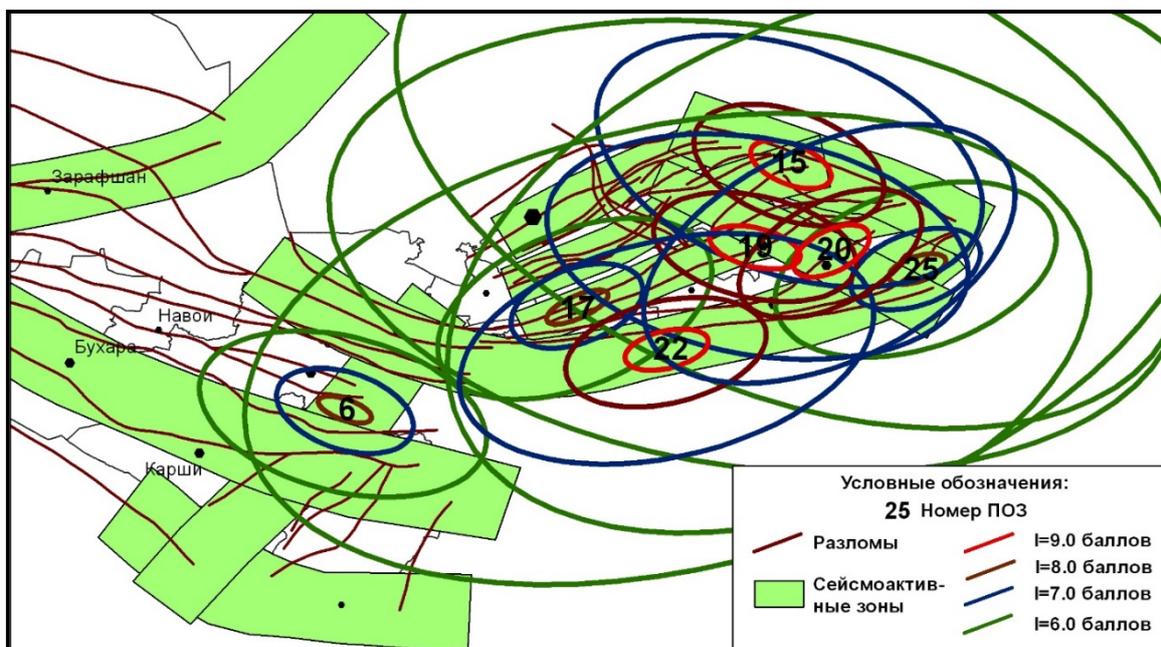


Рисунок 7 – Возможный макросейсмический эффект от потенциально опасных зон с наибольшей вероятностью возникновения землетрясений в ближайшие годы.

Направление большой оси эллипса, в основном согласуется как с линией простираения активных разломов земной коры, так и с направлением изосейст уже происшедших землетрясений. Исключение составляет ПОЗ № 19, вблизи которой располагался очаг Избаскентского землетрясения 1992 года с магнитудой $M=5,9$. Изосейсты этого землетрясения были ориентированы в направлении с северо-запада на юго-восток.

Построенная карта ожидаемого макросейсмического эффекта может быть использована для выбора сценарного землетрясения при оценке сейсмического риска территорий, расположенных в сфере влияния потенциально опасных на ближайшие годы сейсмоактивных зон.

Литература

1. Ризниченко Ю.В. Проблемы сейсмологии. Избранные труды. М.: Наука. 1985. 408 с.
2. Ибрагимов Р.Н., Нурматов У.А., Ибрагимов О.Р. Сеймотектонический метод оценки сейсмической опасности и вопросы сейсмического районирования // Сейсмическое районирование и прогноз землетрясений в Узбекистане. Ташкент: Гидроингео. 2002. С. 59-74.
3. Артиков Т.У., Ибрагимов Р.С., Зияудинов Ф.Ф. Сейсмическая опасность территории Узбекистана. Ташкент: Фан. 2012. 254 с.
4. Моги К. Предсказание землетрясений. М: Наука. 1988. 382 с.
5. Федотов С.А. О сейсмическом цикле, возможности количественного сейсмического районирования и долгосрочном сейсмическом прогнозе // Сейсмическое районирование СССР. М.: Наука. 1968. С. 121-150.
6. Соболев Г.А., Пономарев А.В. Физика землетрясений и предвестники. М.: Наука. 2003. 270 с.
7. Завьялов А.Д. Среднесрочный прогноз землетрясений: основы, методика, реализация. М.: Наука. 2006. 254 с.
8. Artikov T.U., Ibragimov R.S, Ibragimova T.L, Mirzaev M.A., Artikov M.T. Compositional change of seismic event sequences in focal zones during preparation of strong earthquakes // Geodesy and Geodynamics. 2014. Vol. 5. N 2. P. 1-8.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ПРОЦЕСС АКТИВНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ ОБРАЗЦОВ МРАМОРА

INVESTIGATION OF THE ELECTROMAGNETIC FIELD INFLUENCE ON ACTIVE DEFORMATION PROCESS AND DESTRUCTION OF MARBLE SPECIMENS

Мубассарова В.А., Богомолов Л.М., Закупин А.С., Пантелеев И.А.
helmik69@gmail.com

Научная станция Российской академии наук, г. Бишкек, Кыргызстан
Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия
Институт механики сплошных сред УрО РАН, Пермь, Россия

***Аннотация.** Представлены результаты моделирования электромагнитного воздействия комбинированного типа, сочетающего электрические импульсы и магнитное поле, на процесс деформирования образцов мрамора. Продемонстрировано стимулирующее действие электромагнитного поля на акустическую эмиссию и макродеформацию образцов на всех стадиях деформирования.*

***Ключевые слова:** акустическая эмиссия, электромагнитное воздействие, деформирование геоматериалов.*

Экспериментальное исследование эффектов электромагнитных (ЭМ) полей на процесс деформации образцов горных пород и искусственных материалов в настоящее время не утратило актуальности. В предшествующих работах (обзор в [1]) было показано, что активность акустической эмиссии (АЭ) горных пород, инициированная воздействием электромагнитного поля, проявляется при значениях осевого сжимающего напряжения выше 0.8 от разрушения. Последующие работы, выполненные при комбинированном нагружении (чередовании активного нагружения и квазистационарных уровней нагрузки) [2-3] продемонстрировали влияние электромагнитного воздействия (ЭМВ) на объемную деформацию мраморных образцов (в дополнение к реакции материала в акустической эмиссии).

В представленной работе приведены результаты анализа экспериментального материала, полученного при активном нагружении со скоростью 2 кН/час образцов мрамора (месторождения Ак-Таш, Киргизия). В течение сеансов длительностью 1 час на образцы подавалось комбинированное воздействие электрических импульсов и магнитного поля с интервалом/шагом подачи воздействия 7.85 кН.

Установлены характер зависимостей компонент деформации (продольной и 2-х поперечных) и их скоростей на различных стадиях деформационного процесса, максимальные значения деформации и пределы прочности и упругости, рассчитаны упругие модули для серии образцов, испытанных без воздействия для выявления особенностей процесса деформирования данного материала. Анализ акустической эмиссии включал в себя построение временных зависимостей активности АЭ, накопления сигналов, распределения угла наклона графика повторяемости сигналов АЭ по энергиям в скользящем окне (аналогично распределению b-фактора закона Гутенберга-Рихтера для землетрясений). В серии экспериментов с ЭМВ в области деформирования до предела упругости (для данного материала составляет около 0.7 от разрушения), где выполняется закон Гука, было проведено 24 сеанса, а за пределом упругости 11 сеансов. При нагрузке меньше 0.7 от разрушения в 41% сеансов электромагнитного воздействия обнаружено влияние ЭМ поля на скорость продольной деформации. Величина относительного изменения усредненной за час скорости продольной деформации варьируется от 10 % до 190%. На стадии деформирования при более

высоких значениях нагрузки в 54 % сеансов воздействия выявлено влияние ЭМ поля на скорость продольной деформации. Изменения, вызванные ЭМ полем в скорости продольной деформации, на данной стадии выше и варьируются от 16% до 4200%.

Изменения, произошедшие вследствие внесения энергии электромагнитного поля в образец, выявлены в активности, накоплении событий АЭ и изменении угла наклона графика повторяемости сигналов АЭ. Отклики акустоэмиссионной активности при нагрузках ниже 0.7 зарегистрированы в 42% сеансов и имеют небольшую амплитуду, максимальный прирост наблюдался лишь однажды – активность достигла уровня 118 событий в секунду. Акустоэмиссионные отклики на стадии деформирования за пределом упругости зарегистрированы в 82% сеансов и отличаются большей амплитудой прироста активности АЭ. В области напряжений до $\sigma < 0.7$ от разрушения результаты откликов b-фактора показали, что в 47% сеансов выявлено изменение, вызванное ЭМ полем, половина из которых коррелирует с приростами активности АЭ. Процентное соотношение сеансов на стадии деформирования при $\sigma > 0.7$, в которых произошло увеличение b-фактора составляет 36%, а в 18% ЭМ поле стимулировало увеличение количества высокоэнергетических сигналов АЭ.

Выявленные особенности деформирования образцов мрамора в присутствии электромагнитного воздействия показывают, что реакция материала на действие поля проявляется различным образом в зависимости от напряженного состояния, в котором пребывает материал. В области высоких напряжений, когда материал является энергетически насыщенным, отклики акустической эмиссии носят лавинообразный характер, а величина прироста деформации измеряется единицами микрометров.

Литература

1. Богомолов Л.М., Закупин А.С., Сычев В.Н. Электровоздействия на земную кору и вариации слабой сейсмичности. Издательский дом: Lambert Academic Publishing, Saarbrücken: Reha gmbh, 2011. 408 с. ISBN 978-3-8465-1436-8. (Электронная книга).
2. Zakupin A., Bogomolov L., Mubassarova V. et al. Acoustic Emission and Electromagnetic Effects in Loaded Rocks // In: Acoustic Emission. Ed. W. Sikorski. InTech, Rijeka, Croatia. 2012. P. 173-198. ISBN: 978-953-51-0056-0. (Electronic book).
3. Zakupin A.S., Mubassarova V.A., Borovsky B.V., Kachesova G.S. Electromagnetic effects in loaded marble // Fracture Mechanics for Durability, Reliability and Safety (Kazan, Russia, 26-31 August, 2012): materials. Kazan, Esis, 2012. P. 107-114.

УДК 550.385

АНАЛИЗ ГЕОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ И СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НА СЕВЕРНОМ ТЯНЬ-ШАНЕ ЗА ПЕРИОД 2010-2016 ГОДЫ

ANALYSIS OF GEOMAGNETIC SITUATION AND SEISMIC ACTIVITY IN THE NORTHERN TIEN SHAN FOR THE PERIOD 2010-2016

Мукашева С.Н., Соколова О.И., Бурлаков Г.В., Качусова О.Л., Шарипова Г.
gunya_87@mail.ru

Институт ионосферы Национального центра космических исследований и технологий,
г. Алматы, Казахстан

Аннотация. В настоящей работе представлены результаты статистического анализа связи геомагнитной и сейсмической активности в регионе Северного Тянь-Шаня. Для анализа были выбраны сейсмические события магнитудой $M \geq 4.0$, произошедшие в период с

01.01.2010 г. по 31.07.2016 г. в области [39.0°-47.0°N; 72.0°-82.0°E] в радиусе ~600 км от города Алматы [43.2°N; 76.9°E]. Геомагнитная обстановка оценивалась в день землетрясения, а также в период, длительностью 10 суток после очень больших магнитных бурь и больших магнитных бурь. Отмечается, что в период с 01.01.2010 г. по 31.07.2016 г. из рассматриваемых 354 землетрясений ($M \geq 4.0$) 57 (16,10% от общего количества событий) прошли в период десяти дней от начала большой магнитной бури и очень большой магнитной бури.

Ключевые слова: сейсмическая активность, геомагнитная буря.

Введение. В последние годы активно ведутся исследования влияния на сейсмичность электромагнитных источников естественного происхождения, а именно, воздействия магнитных бурь с внезапным началом, обусловленных поступлением в магнитосферу Земли высокоскоростной солнечной плазмы, генерируемой солнечной вспышкой [1-4]. При этом, считается, что влияние магнитных бурь на сейсмичность носит триггерный характер, поскольку энергия геомагнитной бури на несколько порядков меньше высвобождаемой сейсмической энергии [5-9].

В работе [5] рассматривается вопрос о возможном воздействии геомагнитных бурь с внезапным началом (SSC, storm sudden commencement) на глобальную сейсмическую активность, проанализировано 405 землетрясений каталога USGS/NEIC с магнитудами $M > 5.0$ за 1973-2010 гг., отмечается понижение глобальной сейсмичности после геомагнитных бурь SSC. В работе [6] отмечают, что прослеживается связь между значительными градиентами в Н-составляющей геомагнитного поля и магнитудой землетрясений, чем больше градиент, тем больше вероятность сильного землетрясения. В работе [1] приведены результаты исследования закономерностей проявления и природы аномалий в вариациях главного магнитного поля на периодах 5-35 суток и их связи с сейсмичностью земной коры Северного Тянь-Шаня, автор отмечает, что вариации геомагнитного поля и приливообразующих сил являются косвенными признаками, указывающими на вероятность изменения сейсмичности при их воздействии на земную кору.

В работе [7] приведены результаты исследования за период 1963-2000 гг. влияния геомагнитных бурь с внезапным началом с геомагнитными индексами $A_p > 48$ (что соответствует индексу планетарной геомагнитной активности $K_p > 5$) на сейсмичность для двух регионов: Средняя Азия и Кавказ. Рассматривались землетрясения представительного каталога с энергетическим классом $K \geq 7.0$. Для сейсмоактивного региона Казахстана и Кыргызстана установлено, что в целом по региону отмечается тенденция увеличения числа землетрясений после геомагнитных бурь. Тем не менее, авторы [7] отмечают, что в области [44.0°-45.25°N; 78.25°-79.5°E] количество землетрясений после больших геомагнитных бурь увеличивается (положительный эффект), а в области [41.0°-42.25°N; 76.5°-77.75°E] – уменьшается (отрицательный эффект). Авторы [7] объясняют, что влияние магнитных бурь на сейсмичность носит триггерный характер, а выявленные эффекты различием геоэлектрических разрезах – в районе положительного эффекта залегают пласты с более низким электросопротивлением.

Общей внешней причиной, управляющей и организующей землетрясения на Земле, является крупномасштабное открытое магнитное поле Солнца, мощные корональные выбросы масс, отмечают в работе [2]. Необходимость продолжения работ по выявлению влияния геоэффективных солнечных событий, вызывающих магнитные бури, на сейсмичность очевидна.

Целью настоящей работы является накопление статистического материала о связи геомагнитной и сейсмической активности в регионе Северного Тянь-Шаня. Полученные зависимости расширят научную базу исследований влияния электромагнитных источников естественного происхождения, а именно, воздействия больших и очень больших магнитных бурь на сейсмичность.

Результаты исследования связи геомагнитной и сейсмической активности в регионе Северного Тянь-Шаня. С целью исследования влияния геомагнитной обстановки на сейсмичность в регионе Северного Тянь-Шаня проведена выборка землетрясений магнитудой $M \geq 4.0$, произошедших в период с 01.01.2010 г. по 31.07.2016 г. в области $[39.0^\circ-47.0^\circ\text{N}; 72.0^\circ-82.0^\circ\text{E}]$, в радиусе ~ 600 км от города Алматы $[43.2^\circ\text{N}; 76.9^\circ\text{E}]$. Использовались данные глобального сейсмологического каталога Национального центра информации о землетрясениях (NEIC) Национальной службы США (<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search>) [10], данные ГУ «Сейсмологическая опытно-методическая экспедиция Комитета науки МОН РК» (<http://some.kz/index.php>) [11] и автоматического бюллетеня Казахстанского Национального Центра данных (<http://www.kndc.kz/index.php/ru/sejsmicheskie-byulleteni/automatic-bulletin>) [12].

По данным каталога NEIC за рассматриваемый период с 01.01.2010 г. по 31.07.2016 г. в выбранном регионе произошло 354 землетрясения с магнитудой $M \geq 4.0$:

- в 2010 г. – 41 землетрясение, в т.ч. с магнитудой $M \geq 5.0$ – 5 землетрясений;
- в 2011 г. – 34 землетрясений, в т.ч. с магнитудой $M \geq 5.0$ – 4 землетрясения;
- в 2012 г. – 43 землетрясения, в т.ч. с магнитудой $M \geq 5.0$ – 7 землетрясений;
- в 2013 г. – 54 землетрясений, в т.ч. с магнитудой $M \geq 5.0$ – 4 землетрясения;
- в 2014 г. – 38 землетрясений, в т.ч. с магнитудой $M \geq 5.0$ – 4 землетрясения;
- в 2015 г. – 47 землетрясений, в т.ч. с магнитудой $M \geq 5.0$ – 4 землетрясения;
- в 2016 г. (по состоянию на 31 июля 2016 г.) – 97 землетрясений, в т.ч. с магнитудой $M \geq 5.0$ – 5 землетрясений. Количество землетрясений в период с 01.01 по 31.07.2016 г. резко увеличилось за счет сильного землетрясения магнитудой $M_{\text{mww}}=6.4$, произошедшего 26 июня 2016 г. в 11:17:11 UT, координаты эпицентра $[39.4793^\circ\text{N}; 73.3388^\circ\text{E}]$, глубина $h=13$ км, и его афтершоков (всего 59), происходивших после основного толчка 26-29 июня 2016 г.

Для оценки геомагнитной ситуации проведена выборка значений локальных К-индексов в день землетрясения по данным геомагнитной обсерватории «Алма-Ата» (geomag.ionos.kz), географические координаты $[43.25^\circ\text{N}; 76.92^\circ\text{E}]$, геомагнитные координаты $[34.3^\circ\text{N}; 152.7^\circ\text{E}]$ [13,14].

Качественно состояние магнитного поля характеризуется следующим образом [14]:

- К-индекс ≤ 2 – спокойное;
- К-индекс = 2, 3 – слабо возмущенное, возможна малая магнитная буря (ММБ), амплитудные границы изменения горизонтальной составляющей геомагнитного поля H лежат в пределах от 70 нТл до 110 нТл;
- К-индекс = 4, 5 – возмущенное, возможны ММБ и умеренная магнитная буря (УМБ), H меняется от 110 нТл до 160 нТл;
- К-индекс = 6 – большая магнитная буря (БМБ), H меняется от 161 нТл до 210 нТл;
- К-индекс ≥ 7 – очень большая магнитная буря (ОБМБ), изменения $H > 210$ нТл.

Геомагнитные бури разделяются на бури с постепенным началом и внезапным началом (SSC – storm sudden commencement), которые обычно обозначают – Sc. Геомагнитная буря Sc с внезапным началом происходит почти одновременно на всей Земле, легко идентифицируется по данным мировой сети геомагнитных наблюдений [14].

Всего было рассмотрено 2404 дня за период с 01.01.2010 г. по 31.07.2016 г., из них в 261 днях отмечались сейсмические события с магнитудой $M \geq 4.0$ в выбранном регионе. На рисунке 1 показана зависимость сейсмических событий от уровня геомагнитной активности в день землетрясения.

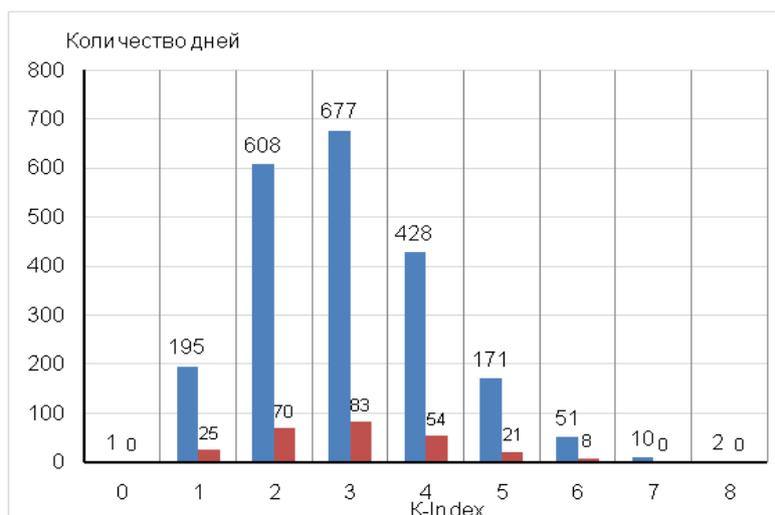


Рисунок 1 – Количество дней, когда происходили землетрясения в регионе [39.0°-47.0°N; 72.0°-82.0°E], относительно дней с разными уровнями К-индекса за период 01.01.2010-31.07.2016 гг.

■ – количество дней, когда землетрясений не было; ■ – количество дней, когда имели место землетрясения.

За рассматриваемый период 01.01.2010-31.07.2016 гг. (всего 2404 дня):

- количество магнитоспокойных и слабо возмущенных дней – 1659 (899 – спокойных в геомагнитном отношении дней; 760 – слабо возмущенных дней), из них 178 дней, когда происходили землетрясения (10,72%);
- количество дней с умеренной геомагнитной активностью, когда происходили ММБ и УМБ, – 674, из них 75 дней, когда происходили землетрясения (11,13%);
- количество дней с высокой геомагнитной активностью, когда происходили БМБ и ОБМБ, – 71, из них 8 дней, когда происходили землетрясения (11,27%).

Нами дана оценка геомагнитной обстановки в день землетрясения (таблица 1), в выбранном регионе (в радиусе около 600 км от г. Алматы):

- 234 землетрясения (66,10% от общего количества) произошли в магнитоспокойный день (при К-индекс =1 произошло 50 событий; при К-индекс =2 произошло 81 событие) и в слабовозмущенный день (Кр=3 произошло 103 события);
- 111 землетрясений (31,36% от общего количества) произошли в день, когда имели место малые и умеренные магнитные бури (при К-индекс =4 произошло 97 событий; при К-индекс =5 произошло 14 событий);
- 9 землетрясений (2,54% от общего количества) произошли в день, когда имели место большие и очень большие магнитные бури (при К-индекс ≥6).

Приведенные результаты отражают общее количество спокойных и возмущенных геомагнитных дней в году, связывать сейсмические события с геомагнитной обстановкой в день землетрясения на данном статистическом материале не представляется возможным.

Таблица 1 – Оценка геомагнитной обстановки в день землетрясения

Годы	Всего	К = 1÷3	К = 4÷5	К ≥6
2010	41	32(4+16+12)	9(7+2)	
2011	34	28(18+5+5)	5(4+1)	1

2012	43	31(10+16+5)	11(9+2)	1
2013	54	37(5+14+18)	17(14+3)	
2014	38	30(1+11+18)	8(8+0)	
2015	47	21(4+4+13)	21(17+4)	5
2016 (по сост. на 31.07.2016)	97	55(8+15+32)	40(38+2)	2
Всего:	354	234(50+81+103)	111(97+14)	9
%	100	66,10	31,36	2,54

К – локальный индекс геомагнитной активности

В третьем столбце запись 32(4+16+12) означает, что при $K = 1 \div 3$ имели место 32 землетрясения, из них при $K=1$ произошло 4 события; при $K=2$ произошло 16 событий и в слабозмущенный день при $K=3$ произошло 12 событий и т.д.

В четвертом столбце запись 9(7+2) означает, что при $K = 4 \div 5$ имели место 9 землетрясений, из них при $K=4$ произошло 7 событий; при $K=5$ произошло 2 события.

При оценке влияния на сейсмичность геомагнитных бурь в выбранном регионе Северного Тянь-Шаня будем считать, что энергии малых и умеренных магнитных бурь недостаточно для того, чтобы служить триггерным механизмом для активизации сейсмических процессов. Рассматриваем период длительностью 10 суток после очень больших магнитных бурь (ОБМБ) и больших магнитных бурь (БМБ). За рассматриваемый период произошло 12 ОБМБ и 41 БМБ:

- в 2010 г. – 1 ОБМБ и 1 БМБ;
- в 2011 г. – 2 ОБМБ и 6 БМБ;
- в 2012 г. – 3 ОБМБ и 6 БМБ;
- в 2013 г. – 1 ОБМБ и 6 БМБ;
- в 2014 г. – 1 ОБМБ и 3 БМБ;
- в 2015 г. – 4 ОБМБ и 12 БМБ;
- в 2016 г. (по состоянию на 31.07.2016 г.) – 0 ОБМБ и 7 БМБ.

Из рассматриваемых 354 землетрясений 57 (16,10%) прошли в период 10 дней от начала БМБ и ОБМБ, распределение событий по годам показаны на гистограмме (рис. 2).

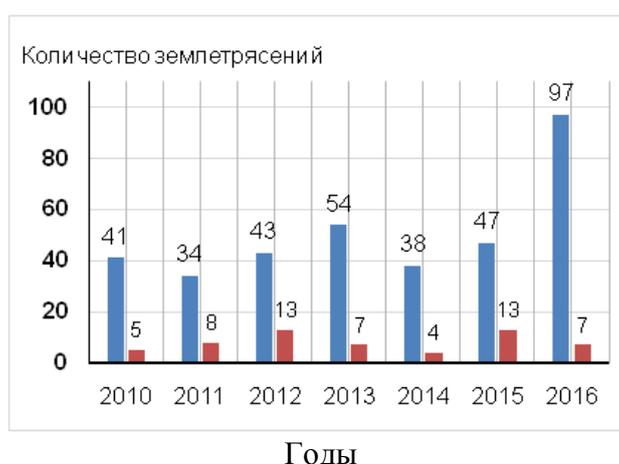


Рисунок 2 – Распределение землетрясений по годам в области [39.0°-47.0°N; 72.0°-82.0°E].
■ – общее количество землетрясений в году; ■ – годовое количество землетрясений, прошедших в течение 10 дней после начала БМБ или ОБМБ.

В периоды отдельных землетрясений магнитудой детально проанализируем состояние геомагнитного поля. Для рассмотрения выбрано 26 землетрясений, из них 1 землетрясение произошло на территории Казахстана; 2 – в Кыргызстане; 5 – в районе озера Иссык-куль, Кыргызстан (Lake Issyk-Kul, Kyrgyzstan, Region); 7 – в регионе в регионе Казахстан-Кыргызстан-Синьцзян пограничном районе (Kazakhstan-Kyrgyzstan-Xinjiang Border Region); 11 – в регионе Южный Синьцзян, Китай (Southern Xinjiang, China) [12].

Рассматриваемые события произошли в период с 01.01.2013 г. по 15.09.2015 г., который относится к годам аномально-низкого максимума солнечной активности. Геомагнитная обстановка в этот период характеризовалась тем, что произошло 136 малых магнитных бурь (ММБ), из них 3 с внезапным началом (Sc); 69 умеренных магнитных бурь (УМБ), из них 7 с внезапным началом (Sc); 16 больших магнитных бурь (БМБ), из них 8 с внезапным началом (Sc); 6 очень больших магнитных бурь (ОБМБ), из них 5 с внезапным началом (Sc). В том числе по годам:

- 2013 г. – 41 ММБ, из них 1 Sc; 21 УМБ, из них 1 Sc; 6 БМБ, из них 5 Sc; 1 ОБМБ Sc;
- 2014 г. – 51 ММБ, из них 0 Sc; 24 УМБ, из них 6 Sc; 4 БМБ, из них 2 Sc; 1 ОБМБ Sc;
- 2014 г. – 44 ММБ, из них 2 Sc; 24 УМБ, из них 0 Sc; 6 БМБ, из них 1 Sc; 4 ОБМБ, из них 3 Sc.

В 17 случаях из 26 землетрясений с $M_{pva} \geq 5.0$ геомагнитная обстановка за сутки перед землетрясением была магнитоспокойной.

В таблице 2 приведены эффекты больших и очень больших магнитных бурь, которые могли служить триггерным механизмом для выбранных землетрясений. За рассматриваемый период было 8 больших магнитных бурь с внезапным началом, из них только 2 можно связать с активизацией сейсмичности в регионе. Так сразу после БМБ Sc 12 сентября 2014г. произошло землетрясение 13 сентября 2014г. в 17 ч 16 мин UT, с магнитудой $M_{pva} = 4.7$, эпицентр [42.23°N; 78.22°E]. На следующий день после БМБ Sc произошло землетрясение 14 сентября 2014г. в 12 ч 39 мин UT, с магнитудой $M_{pva} = 4.4$, эпицентр [44.64°N; 76.69°E].

После БМБ Sc 7 января 2015г. произошло 2 землетрясения: 1) 10 января 2015г. в 06 ч 50 мин UT, с магнитудой $M_{pva} = 5.8$, эпицентр [40.24°N; 77.14°E]; 2) 12 января 2015г. в 12 ч 28 мин UT, с магнитудой $M_{pva} = 4.2$, эпицентр [40.32°N; 77.43°E].

Из 6 очень больших магнитных бурь 3 ОБМБ можно связать со следующими землетрясениями: 1) после ОБМБ Sc 7 июня 2014 г. произошло землетрясение 10 июня 2014г. в 00 ч 12 мин UT, с магнитудой $M_{pva} = 5.0$, эпицентр [41.98°N; 80.47°E]; 2) после ОБМБ Sc 15 августа 2015 г. произошло землетрясение 17 августа 2015г. в 06 ч 08 мин UT, с магнитудой $M_{pva} = 4.4$, эпицентр [45.35°N; 76.00°E]; 3) после ОБМБ 10 сентября 2015 г. произошло 2 землетрясения: 11 сентября 2015г. в 09 ч 24 мин UT, с магнитудой $M_{pva} = 4.2$, эпицентр [38.78°N; 75.22°E] и 12 сентября 2015г. в 08 ч 40 мин UT, с магнитудой $M_{pva} = 4.4$, эпицентр [40.47°N; 78.45°E].

Таблица 2 – Геомагнитные бури, которые могли служить триггерным механизмом для землетрясений

Геомагнитные бури					Землетрясение			
Начало Гг.мм.дд, чч:мин (UT)	Окончание Гг.мм.дд, чч:мин (UT)	Характер бури	Длительность	k	Дата, Гг.мм.дд, чч:мин:сек, время UT//координаты эпицентра	Глубина	K	M_{pva}
2014.06.07, 16:55	2014.06.08, 21:00	ОБМБ, Sc	22ч 05мин	7	2014.06.10, 00:12:06// [41.98°N; 80.47°E]	10	10.6	5.0
2014.09.12,	2014.09.13,	БМБ,	33ч	6	2014.09.13,	10	10.2	4.7

00:45	09:00	Sc	15мин		17:16:00// [42.23°N; 78.22°E]			
					2014.09.14, 12:39:26// [44.64°N; 76.69°E]	5	9.2	4.4
2015.01.07, 06:20	2015.01.08, 18:00	БМБ, Sc	35ч 40мин	6	2015.01.10, 06:50:43// [40.24°N; 77.14°E]	5	12.8	5.8
					2015.01.12, 12:28:03// [40.32°N; 77.43°E]	5	9.7	4.2
2015.08.15, 08:30	2015.08.17, 21:00	ОБМБ, Sc	60ч 30мин	7	2015.08.17, 06:08:58// [45.35°N; 76.00°E]	20	9.6	4.4
2015.09.10, 12:00	2015.09.12, 18:00	ОБМБ	54ч 00мин	7	2015.09.11, 09:24:32// [38.78°N; 75.22°E]	5	9.0	4.2
					2015.09.12, 08:40:08// [40.47°N; 78.45°E]	10	9.7	4.4

Пояснение к таблице:

к – локальный индекс геомагнитной активности по данным геомагнитной обсерватории Алма-Ата [13];

К – энергетический класс землетрясения;

БМБ – Большая магнитная буря; ОБМБ – Очень большая магнитная буря;

Sc – магнитная буря с внезапным началом.

Информация по сейсмическим событиям получена по данным [11-12].

Среднестатистическое сезонное распределение землетрясений магнитудой $M \geq 4.0$ за 2010-2015 гг. приведено на рисунке 3, события 2016 г. не рассматриваются, поскольку данные приведены за текущий момент и не включают осенне-зимнего периода конца года.

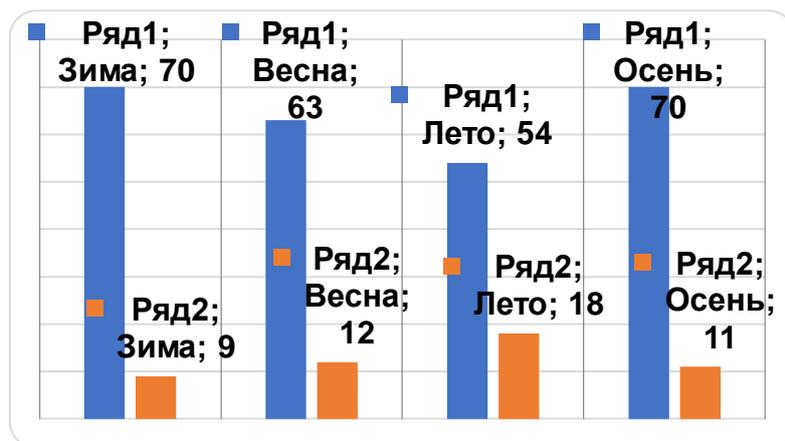


Рисунок 3 – Распределение землетрясений по сезонам за период 2010-2015 годы в области [39.0°-47.0°N; 72.0°-82.0°E].

■ – общее количество в зависимости от сезона; ■ – количество землетрясений (сезонное распределение), прошедших в течение 10 дней после начала БМБ или ОБМБ.

Явной сезонной зависимости событий за рассматриваемый период не отмечается.

- зимой произошло 70 землетрясений (27,24 % от общего количества событий), в период 10 дней от начала БМБ и ОБМБ – 9 землетрясений (18,00 % от общего количества событий, имевших место в период 10 дней от начала БМБ и ОБМБ);
- весной произошло 63 землетрясения (24,51 % от общего количества событий), в период 10 дней от начала БМБ и ОБМБ – 12 землетрясений (24,00 % от общего количества событий, имевших место в период 10 дней от начала БМБ и ОБМБ);
- летом произошло 54 землетрясения (21,01 % от общего количества событий), в период 10 дней от начала БМБ и ОБМБ – 18 землетрясений (36,00 % от общего количества событий, имевших место в период 10 дней от начала БМБ и ОБМБ);
- осенью произошло 70 землетрясений (27,24 % от общего количества событий), в период 10 дней от начала БМБ и ОБМБ – 11 землетрясений (22,00 % от общего количества событий, имевших место в период 10 дней от начала БМБ и ОБМБ).

Заключение. Дана оценка геомагнитной обстановки в период сейсмических событий с магнитудой $M \geq 4.0$, произошедших на Северном Тянь-Шане, в одном из высокосейсмичных регионов континентальной сейсмичности.

Для анализа были выбраны сейсмические события $M \geq 4.0$, произошедшие в регионе [39.0°-47.0°N; 72.0°-82.0°E] Северного Тянь-Шаня в радиусе ~600 км от города Алматы [43.2°N; 76.9°E]. Отмечается, что в период с 01.01.2010 г. по 31.07.2016 г. из рассматриваемых 354 землетрясений ($M \geq 4.0$) 57 (16,10% от общего количества событий) прошли в период десяти дней от начала большой магнитной бури и очень большой магнитной бури.

Приведенные результаты отражают общее количество спокойных и возмущенных геомагнитных дней в году, отсутствует статистически значимая зависимость сейсмической активности на Северном Тянь-Шане от геомагнитных возмущений. В литературе, например [6], отмечается связь между значительными перепадами (градиентами) в горизонтальной H-составляющей геомагнитного поля и магнитудой сильнейших ($M > 8.0$) глубокофокусных землетрясений. В рассматриваемый нами период в выбранном регионе таких сейсмических событий не было.

Работа выполнена в рамках грантового проекта № 0079/ГФ4.

Литература

1. Узбеков Н.Б. Вариации геомагнитного поля в связи с прогнозом землетрясений в северном Тянь-Шане. Дис. ... канд. физ.-мат. наук. 2011. 120 с.
2. Иванов К.Г., Харшиладзе А.Ф. Природа сильных землетрясений на Земле и мощных корональных выбросов массы Солнцем. Лето 2012 г. // Геомагнетизм и аэрономия. 2014. Т. 54. № 6. С. 738-743.
3. Серафимова Ю.К. О связи сильных ($M_w \geq 7.5$) землетрясений Камчатки с вариациями чисел Вольфа // Вестник Краунц. Сер. Науки о Земле. 2005. № 2. Вып. 6. С. 116-122.
4. Сычева Н.А., Богомолов Л.М., Сычев В.Н. Солнечные вспышки, вариации уровня сейсмического шума и сейсмический режим Северного Тянь-Шаня // Триггерные эффекты в геосистемах. Материалы Всерос. семинара-совещания. М.: ГЕОС. 2010. С. 326-335.
5. Гульельми А.В., Лавров И.П., Собисевич А.Л. Внезапные начала магнитных бурь и землетрясения // Солнечно-земная физика: DOI: 10.12737/5694. 2015. Т. 1. № 1. С. 98-103.
6. Бахмутов В.Г., Седова Ф.И., Мозговая Т.А. Морфологические признаки в структуре геомагнитных вариаций в период подготовки сильнейшего землетрясения 25 марта 1998 г. в Антарктиде // Украинський антарктичний журнал. 2003. № 1. С. 54-60.

7. Соболев Г.А., Пономарев А.В. Физика землетрясений и предвестники. М.: Наука. 2003. 282 с.
8. Закржевская Н.А., Соболев Г.А., Харин Е.П. О связи сейсмичности с магнитными бурями // Физика Земли. 2001. № 11. С. 6-15.
9. Соболев Г.А., Закржевская Н.А. О возможности влияния магнитных бурь на сейсмичность // Физика Земли. 2002. № 4. С. 3-15.
10. Глобальный сейсмологический каталог Национального центра информации о землетрясениях (NEIC) Национальной службы США (Global seismological catalogue by the National Earthquake Information Center): <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search>
11. Данные ГУ «Сейсмологическая опытно-методическая экспедиция Комитета науки МОН РК»: <http://some.kz/index.php>
12. Автоматический бюллетень Казахстанского Национального Центра данных: <http://www.knkc.kz/index.php/ru/sejsmicheskie-byulleteni>
13. Данные геомагнитной обсерватории «Алма-Ата»: geomag.ionos.kz.
14. INTERMAGNET: Technical Reference Manual: www.intermagnet.org. 2011. Ver. 4.6. 92 p.

УДК 550.348

СИЛЬНЕЙШЕЕ ГИНДУКУШСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 26 ОКТЯБРЯ 2015 г. ($M_w=7.5$)

THE LARGEST HINDU KUSH EARTHQUAKE OF OCTOBER 26, 2015 ($M_w=7.5$)

Мусрепов А.В., Соколов А.Н.

amusrepov@knkc.kz, asokolov@knkc.kz.

Институт геофизических исследований МЭ РК, Алматы.

***Аннотация.** 26 октября 2015 г. в районе Гиндукуша произошло катастрофическое землетрясение с $M_w=7.5$. Динамика разрыва в очаге была сложной, выявлено два последовательных толчка с разницей в ~ 10 с, у первого $m_b=5.9$, второй характеризовался максимумом высвобожденной сейсмической энергии с $M_w=7.5$. В работе рассмотрены особенности волновой картины землетрясения по данным сети ИГИ РК, проведено сопоставление с результатами обработки международных и региональных сейсмологических Центров. Рассмотрены характеристики сейсмичности района Гиндукуша по данным глобальных сетей сейсмических станций начиная с 1973 г. Исследованы закономерности афтершоковой деятельности. Проанализированы записи сильных движений по данным Казахских и Центральноазиатских станций.*

***Ключевые слова:** глубокофокусная сейсмичность, афтершоки, макросейсмические параметры, сильные движения.*

Введение. Уникальная зона глубокофокусной сейсмичности в районе Гиндукуша является одним из самых сейсмически активных районов Центральной Азии. За последние 20 лет здесь произошло несколько разрушительных землетрясений, сопровождавшихся большим количеством жертв. Так 4 февраля 1998 года здесь произошло землетрясение с $m_b=5.9$, унёсшее жизни 2323 человек, после землетрясения 30 мая 1998 с $m_b=6.6$ погибли ~ 4000 человек, а 25 марта 2002 г. погибли ~ 1000 человек [1]. Сильнейшие землетрясения Гиндукуша ощущаются на большой территории Центральной Азии, в том числе на юге и юго-востоке Казахстана. В связи с этим, изучение характеристик сейсмичности Гиндукуша имеет большое значение для изучения сейсмической опасности Центральной Азии. 26

октября 2015 г. в районе Гиндукуша произошло катастрофическое землетрясение с $M_w=7.5$, параметры очага и последствия землетрясения являются предметом изучения этой работы.

Историческая сейсмичность Гиндукуша. Изучение тектонического строения и геодинамических процессов Гиндукушской зоны глубокофокусной сейсмичности привлекает внимание большого количества исследователей во всем мире [2-6]. Согласно [2] граница Мохо для исследуемой территории расположена на глубинах 70 ± 5 км. Большинство землетрясений в районе Гиндукуша расположены в диапазоне глубин от 70 до 300 км. С 1965 по 2002 гг. сильные землетрясения происходили регулярно с периодичностью 9 лет, потом в течение 13 лет землетрясений с магнитудой более 7 в рассматриваемом районе не было [6].

Для исследований характеристик сейсмичности Гиндукуша был использован каталог NEIC Геологической службы США (USGS) [1], начиная с 1973 г., когда глубины определялись с относительно высокой точностью, до 1 апреля 2016 г. На рисунке 1а приведён нормированный к 1 году график повторяемости землетрясений. Из него можно сделать вывод о представительной регистрации землетрясений в этом районе, начиная с $m_b = 4.25$. Соотношение (1) описывает закон повторяемости землетрясений рассматриваемого района, который характеризуется углом наклона $\gamma=-0.93$. На рисунке 1б показано распределение по глубинам количества землетрясений в районе Гиндукуша, большинство землетрясений сконцентрированы на глубинах 80-120 км и 180-240 км.

$$\lg N^* = -0.928 \cdot m_b + 5.814 \quad (1)$$

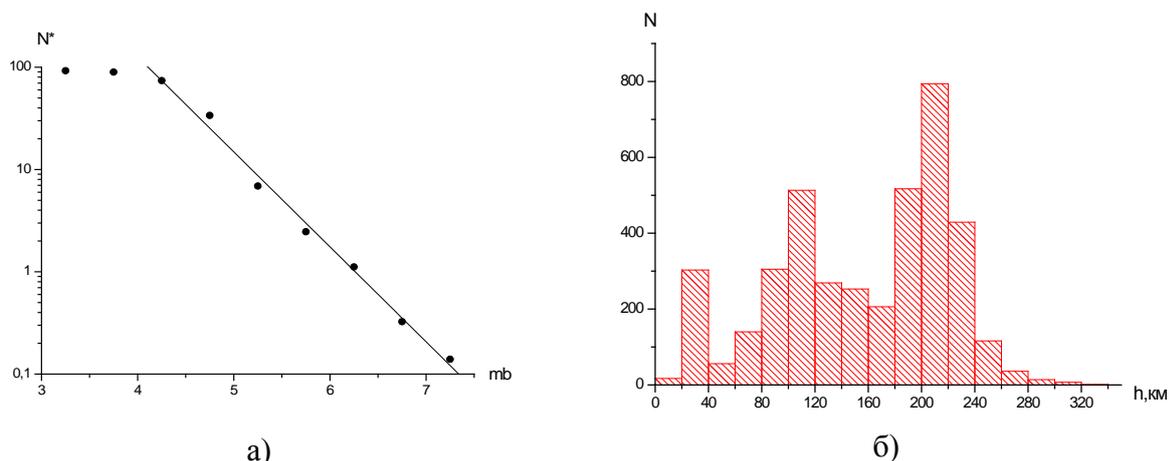


Рисунок 1 – а) График повторяемости землетрясений, б) распределение количества землетрясений по глубинам.

Характеристика основных параметров очага землетрясения 26 октября 2015 г. 26 октября 2015 г. в районе Гиндукуша произошло катастрофическое землетрясение с $M_w=7.5$. Динамика разрыва в очаге была сложной, выявлено два последовательных толчка с разницей в ~ 10 сек, у первого $m_b=5.9$, второй характеризовался максимумом высвобожденной сейсмической энергии с $M_w=7.5$ (рисунок 2). Многие Международные и региональные сейсмологические Центры провели оперативную обработку землетрясения некорректно, приняв вступление Р-волны первого события (P_f на рисунке 2) за вступление Р-волны основного толчка, в связи с этим были некорректно определены такие параметры землетрясения как время в очаге, координаты эпицентра. Международный Центр данных (IDC) неверно определил m_b (таблица 1)[8]. Окончательная обработка Геологической службы США и КНЦД включает как обработку основного толчка, так и первого события (таблица 2). Несмотря на то, что казахстанские станции зарегистрировали землетрясение в диапазоне эпицентральных расстояний 740-1860 км от события с максимальной магнитудой, и все станции расположены на севере в узком диапазоне азимутов (рисунок 3), параметры обоих событий близки к параметрам, определенным NEIC (таблица 2).

Таблица 1 Инструментальные характеристики землетрясения 26.10.2015 г. по данным региональных и международных сейсмологических Центров [7]

Агентство	Время в очаге	широта	долгота	h	к-во фаз	mb	mpv	Mw
КНИЦ (оперативный)	09:09:27.7	36.0843	70.7991	221	18	6.3	7.3	
ИС НАН КР	09:09:29.2	36.2622	71.2695			7.5		
EMSC (Франция)	09:09:30.6	36.320	71.100					7.7
ГС РАН	09:09:31.0	36.490	70.850	215	31	7.4		
GFZ (ФРГ)	09:09:31.2	36.380	70.900	189	32	7.7		
NEIC (оперативный)	09:09:32	36.463	70.712	231	194	7.7		7.5
IDC REB (Австрия)	09:09:33.8	36.467	70.832	231	93	5.4		

Таблица 2 Уточненные параметры гиндукушского землетрясения 26.10.2015 г. (первого землетрясения с $M=5.9$ и основного толчка с $M_w=7.5$) по данным КНИЦ ИГИ и NEIC Геологической службы США

Агентств о	Время в очаге	широта	долгота	Sмаjах , км	h, км	к-во фаз	mb	mp v	Mw
первое землетрясение									
КНИЦ	09:09:32.9	36.601	70.745	117	206	12	5.5	6.5	
NEIC	09:09:32.0	36.459	70.685	6	207	187	5.9		
основной толчок									
КНИЦ	09:09:44.6	36.801	70.546	20	216	16	6.7	7.8	
NEIC	09:09:42.6	36.524	70.368	6.7	231	194			7.5

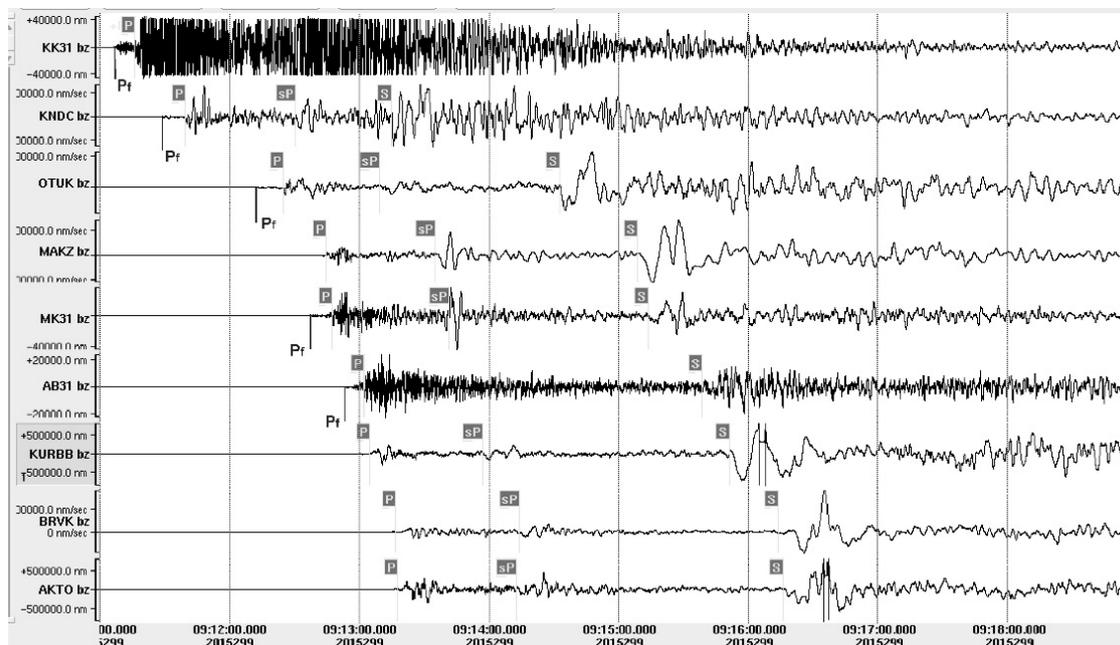


Рисунок 2 – Сейсмограммы землетрясения 26 октября 2015 г. $t_0=09-09-42$ по станциям сети Института геофизических исследований Z-компонента. Здесь Pf – время вступления P-волн первого землетрясения с $M=5.9$, P – время вступлений P-волн основного толчка с $M_w=7.5$

Афтершоковая активность. Как правило, после глубокофокусных землетрясений либо афтершоков не бывает, либо происходит незначительное их количество. Однако после основного толчка землетрясения 26 октября 2015 г. за период до 1 апреля 2016 г. произошло 54 афтершока с магнитудами mb от 3.9 до 4.6, в диапазоне глубин 182-229 км. В первые

сутки произошло 19 афтершоков. На рисунке 4а показано распределение афтершоков по времени.

Интересно, что сразу после основного толчка произошло перераспределение землетрясений из района Гиндукуша по глубинам. Но рисунке 4б представлено распределение сейсмических событий из района Гиндукуша по глубинам за период времени 26.10.2015 г.-01.04.2016 г., значительно уменьшилось количество событий с глубинами меньше 180 км, существенно возросла доля землетрясений с глубинами от 180 до 220 км.

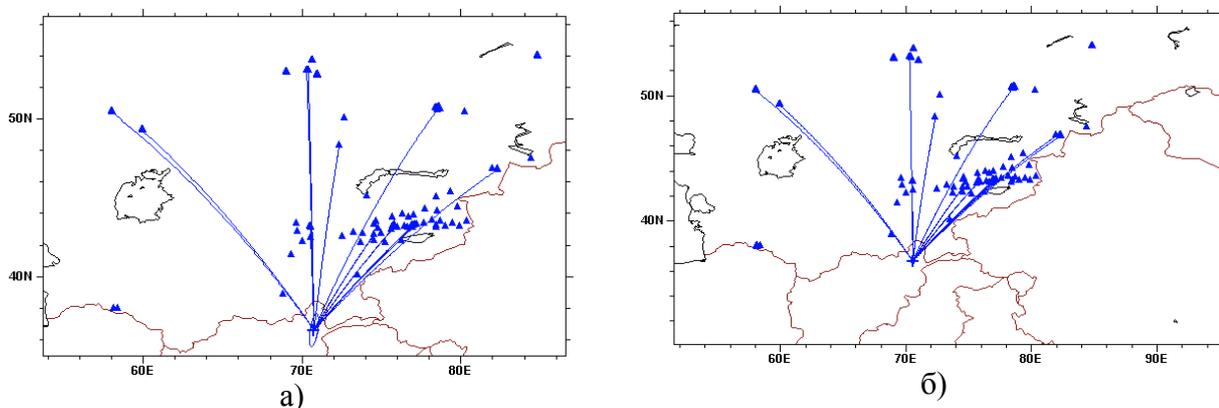


Рисунок 3 – Карта расположения эпицентров а) первого события с $m_b=5.9$, б) – основного толчка гиндукушского землетрясения с $M_w=7.5$ 26.10.2015 г. и станций сети Института геофизических исследований, участвовавших в обработке.

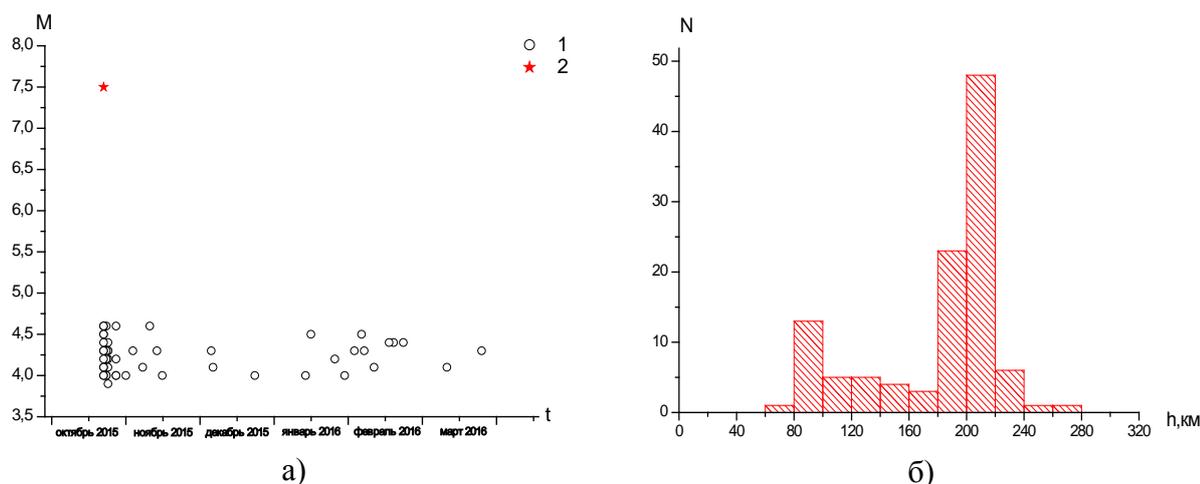


Рисунок 4 – а) Распределение афтершоковой последовательности по времени и магнитуде, 1- афтершоки, 2 - основной толчок. б) Распределение сейсмических событий из района Гиндукуша по глубинам да период времени 26.10.2015 г.-01.04.2016 г.

Макросейсмические параметры землетрясения. Землетрясение привело к жертвам среди местного населения (374), несколько тысяч раненых (более 2200), огромное количество разрушенных и поврежденных зданий (более 100000) на территории Пакистана, Афганистана и Индии [1]. Ощущалось жителями Таджикистана (Хорог 6б, Душанбе 5-6б), Узбекистана (Самарканд 5б, Ташкент 4-5б, Фергана 4б, Андижан и Наманган 3б), Кыргызстана (Ош 4б, Бишкек 3б), Казахстана (Шымкент 4б, Тараз 3-4б, Алматы 3б), России (Новосибирск и Уфа 2б).

Для научных исследований, оценки сейсмической опасности, риска и практики сейсмостойкого строительства большой интерес представляет анализ параметров записей сильных движений. Постоянный мониторинг сильных движений в ЦСОССИ был начат с 2006 г., с этого времени была создана и постоянно пополняется база данных цифровых

записей сильных движений [9]. Обработка данных осуществляется при помощи программного обеспечения ViewWave, разработанного Т.Кашимой [10]. Для землетрясения 26.10.2015 г. были собраны записи акселерографов и велосиграфов Центральноазиатских станций. К сожалению, часть данных пришлось отбраковать из-за того, что они были «зашкалены». Записи велосиграфов были предварительно продифференцированы. Всего обработана 21 запись сильных движений на эпицентральных расстояниях от 250-2075 км. Максимальное значение ускорений соответствует сейсмической станции GARM, расположенной в Таджикистане, на расстоянии 275 км от эпицентра землетрясения и составляет 53.01 см/с² для компоненты север-юг [7]. На рисунке 5 представлена зависимость максимальных амплитуд сильных движений от расстояния.

Заключение. В результате исследований детально изучены характеристики сейсмического режима в районе Гиндукуша, построен график повторяемости землетрясений за период 1973-2016 гг., построены распределения землетрясений по различным параметрам, изучено влияние сильных землетрясений на распределение землетрясений по глубинам.

Собраны макросейсмические данные разрушительного землетрясения 26 октября 2015 г., обработаны записи сильных движений по данным сейсмических станций Афганистана, Пакистана, Таджикистана, Кыргызстана, Казахстана, Непала, Арабских Эмиратов.

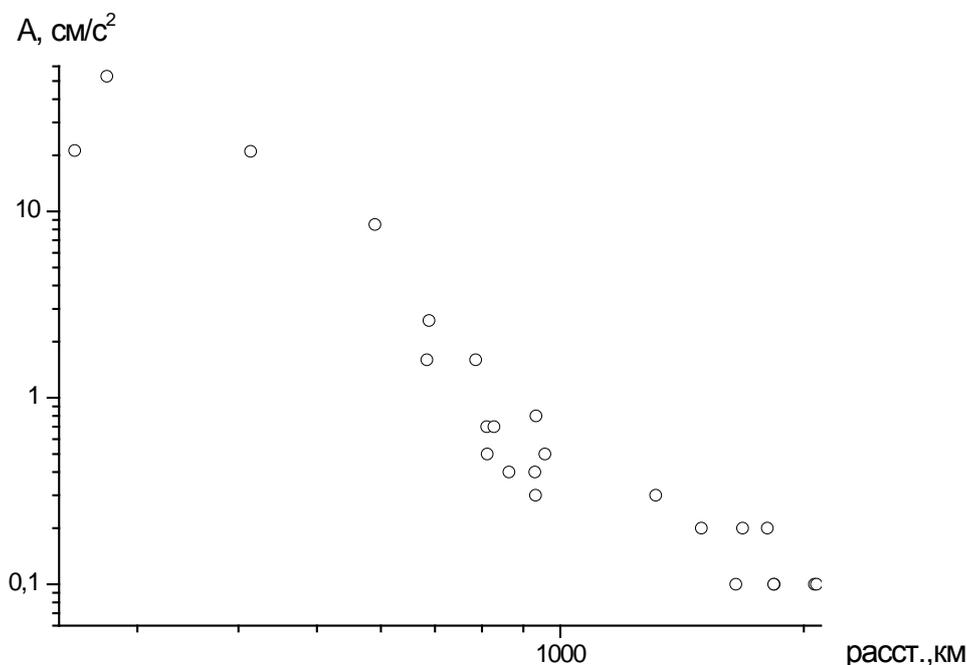


Рисунок 5 – Зависимость максимальных амплитуд сильных движений от расстояния.

Литература

1. Интернет ресурс: <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes>.
2. Roecker, S.W. Velocity structure of the Pamir–Hindu Kush region: possible evidence of subducted crust // *J. Geophys. Res.* 1982. 87. P. 945–959.
3. Копничев Ю.Ф., Каазик П.Б., Павлова О.В. Картирование верхней мантии Памиро-Гиндукуша по поглощению поперечных волн // *Докл. АН СССР.* 1987. Т. 236. № 6. С. 1335-1338.
4. Копничев Ю.Ф. Новые данные о строении верхней мантии Гиндукуша // *Докл. РАН.* 1997. Т. 352. № 3. С. 400-404.
5. Negredo A.N., Replumaz A., Villaseñor A., Guillot S. Modeling the evolution of continental subduction processes in the Pamir–Hindu Kush region // *Earth and Planetary Science Letters.* 2007. 259. P. 212-225.

6. Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. Пространственно-временные вариации поля поглощения короткопериодных S-волн в районе Гиндукуша и их связь с глубокофокусной сейсмичностью // Вестник НЯЦ РК. 2012. Вып. 4. С. 53-61.
7. Мусрепов А.Д., Соколов А.Н. Очаг и последствия сильнейшего гиндукушского землетрясения 26 октября 2015 г. (Mw=7.5) // Вестник НЯЦ РК. 2016. Вып. 4. С. 62-69.
8. Интернет ресурс: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin>
9. Соколов А.Н., Узбеков Р.Б. Использование данных по сильным движениям для прогноза воздействий на площадке строительства ответственных объектов // Актуальные вопросы мирного использования атомной энергии. Докл. междунар. конф. молодых ученых и специалистов (6-8 июня 2012 г., г. Алматы, ИЯФ). С. 97-105.
10. Kashima T. 2002. ViewWave Help, ISEE, BRI.

УДК 550.34.06

СЕЙСМИЧНОСТЬ БОРИСЛАВСКОГО НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕГО РАЙОНА

SEISMICITY OF BORISLAV OIL PRODUCING AREA

Назаревич Л.Е., Нищименко И.М., Назаревич А.В., Олийнык Г.И.
 nazarevych.L@gmail.com

Институт геофизики им. С.И. Субботина НАНУ, г. Львов, Украина
 Карпатское отделение Института геофизики НАНУ, г. Львов, Украина

***Аннотация.** В работе дан анализ современной сейсмотектонической активизации Бориславского нефтедобывающего района.*

***Ключевые слова:** сейсмичность, землетрясение, разлом, тектоника, добыча нефти.*

Добыча углеводородов в Бориславском нефтедобывающем районе началась в 1810 г. Район характеризуется сильной концентрацией процесса интенсивной добычи и наличием множества (в том числе глубоких) скважин. (например, Соколовецкое месторождение, 5700-5800 м). Тектонически Бориславский район относится к внутренней зоне Предкарпатского прогиба. В геологическом строении этого района характерны многочисленные антиклинальные складки и надвиги (в том числе подвернутые) диагонального северо-западного направления и северо-восточной вергентности. Начиная с 2014 года в этом районе зарегистрировано 17 землетрясений различной силы ($M=0,8-2,5$). Анализ пространственного распределения эпицентров землетрясений и тектонической карты района показал приуроченность большей части землетрясений к основному здесь Раточинскому разлому антикарпатского направления. Также сейсмически активной частью этой территории является зона оперяющих разломов глубинного Предкарпатского разлома. Построенный азимутальный годограф некоторых землетрясений с большей магнитудой позволил определить направления вспарывания разрывов в очагах, они лежат в пределах $A_z=355-17^0$. Положительный знак коэффициента крипекса C_r некоторых землетрясений говорит об особенностях геомеханики их очагов, а именно об обстановке растяжения. Построена объемная модель сейсмичности Бориславского тектонического блока, которая указывает на 2-уровневый по глубине процесс сейсмической активизации. Аналогичные особенности отмечены нами ранее и в расположенном в том же Предкарпатском прогибе, но юго-восточнее Надворнянском нефтегазоносном районе. Сейсмическая активизация в последние годы Бориславской зоны связана со сложным напряженным состоянием тектонической структуры коры, обусловленным местными составляющими регионального

геодинамического процесса, а также тем, что район характеризуется повышенной трещиноватостью и флюидонасыщенностью материнских пород, а при добыче нефти и законтурной закачке воды создается дополнительное гидродинамическое давление на уже ослабленные механически породы.

В последние годы растет количество зарегистрированных землетрясений на тех территориях Украины, которые считались ранее асейсмичными. Ощутимые землетрясения в Кривом Роге (2011 г., $M=3,9$), вблизи Бердянска (2006 г., $M=3,2$), в Мариуполе (2016 г., $M=4,8$) и еще ряд землетрясений небольшой силы состоялись на относительно спокойных в сейсмическом плане территориях. Что касается Предкарпатского прогиба (Западный регион Украины), здесь за период инструментальных наблюдений (с 1961 г.) в основном зафиксированы землетрясения небольшой силы, за исключением нескольких ощутимых землетрясений в районе Долины в 1975-76 гг. и на Буковине (район г. Черновцы). В последние 20 лет (1994-2013 гг.) наиболее сейсмоактивным в Предкарпатье являлся район г. Надворной (больше 30 землетрясений) [1], а сейчас (2014-2016 гг.) произошла сейсмическая активизация в районе г. Борислава. Эта сейсмичность связана с местной составляющей регионального геодинамического и сейсмотектонического процесса, но также может быть техногенно спровоцированной (наведенной) [2] и может представлять определенную угрозу для имеющегося в этих районах нефтегазового комплекса. Землетрясения небольшой силы и связанные с ними деформации в массивах пород способны нанести вред как скважинам, так и трубопроводам. Известно, что смятие обсадных труб и срез колонн скважин, а также повреждения трубопроводов в Карпатском регионе в последние десятилетия происходили неоднократно. Это свидетельствует о влиянии на нефтегазовый комплекс сейсмотектонических процессов и вызванных ими изменений напряженно-деформированного состояния сложнопостроенной геологической среды в районах нефтегазодобычи и в зонах трубопроводов. Поэтому мониторинг местной сейсмичности и изучение сейсмотектоники этих районов является актуальной задачей.

Геология и тектоника Бориславского района. Бориславская сейсмоактивная зона занимает среднюю часть территории Бориславского нефтепромыслового района (НПР), который тянется вдоль Предкарпатского прогиба от границы с Польшей до реки Стрый. Географически (геоморфологически) район расположен на стыке Украинских Карпат (Внешних (Скибових) Карпат) и Предкарпатской волнистой возвышенности, захватывая часть обоих этих геоморфологических единиц.

Уникальность этого района в том, что здесь ведется длительная (начиная с 1810 г.) активная добыча нефти, газа и озокерита в промышленных масштабах. Для этого НПР характерно наличие наряду с неглубокими (1-3 км) также глубоких (не только для Украины, но и для целой Европы) месторождений нефти (Соколовецке, 5700-5800 м) [3-4].

Исследуемый район расположен в основном во Внутренней зоне Предкарпатского прогиба. Основным структурным элементом фундамента здесь является Попельский структурный выступ, а также блок между Раточинским и Стрыйским поперечными разломами (Оривское поднятие). Характерной особенностью строения земной коры здесь является наличие многочисленных складок-надвигов, к которым приурочены залежи месторождений углеводородов, например, Бориславская складка первого яруса структур и надвинутая складка второго яруса структур Бориславско-Покутской зоны Предкарпатского прогиба. Складки разбиты рядом тектонических нарушений различной амплитуды на отдельные тектонические блоки. В первом ярусе структур – это Попельский, Бориславский и Помиркивський блоки, во втором – Бориславский и Попельский тектонические блоки [3-6].

Сейсмичность. Поскольку сейсмичность района слабая ($M=0,8-2,5$) [7], для ее изучения используются данные инструментальных наблюдений. В районах Предкарпатья сейчас работает 4 сейсмические станции – «Львов», «Моршин», «Сходница», «Старуня». Для надежной локализации гипоцентров местных землетрясений используются также данные станций закарпатской сети, станций «Новоднестровск» и «Каменец-Подольский». Компьютерная обработка записей землетрясений с использованием регионального годографа

и метода минимизации невязок объемных волн позволяет получить надежные параметры гипоцентров местных землетрясений, делает возможным не только дешифрирование сейсмотектонически активных структур в плане, но и трассирование активных на современном этапе развития разломов земной коры в глубину.

Бориславская зона в сейсмическом отношении была спокойной до 2014 г., а в течение 2014-16 гг. здесь произошло 17 землетрясений небольшой силы ($M=0,8-2,5$) (см. рис. 1), из них в 2014 г. – 4, 2015 г. – 9, 2016 г. – 4 землетрясения. Общая энергия, выделившаяся во время землетрясений, составляет около 7×10^8 Дж, наибольшее количество энергии выделилось в 2015 г., немного меньше – в 2016 г. Пространственная локализация эпицентров землетрясений на тектонической карте (рис.1) обнаружила некоторые особенности сейсмотектоники района. Цепочка землетрясений северо-восточного направления севернее Борислава трассирует линию Раточинского разлома, дальше на север, почти параллельно ему прослеживается еще одно сейсмоактивное тектоническое нарушение. По результатам дешифрирования космических снимков и геолого-геофизическим данным (А. Кудряшов, А. Мичак) Раточинский линеймент представляет собой региональную субвертикальную зону деструкции земной коры (по Р. Бембелю) с признаками растяжения. На режим растяжения земной коры указывает также положительный знак параметра крипекс (Cr) исследованных нами землетрясений, который хорошо характеризует напряженное состояние очаговых зон, обусловленное локальной геодинамикой.

Сейсмически активной в этом районе является также Трускавецкая структура (Помиркивской блок) и Оливская структура Складчатых Карпат. Сейсмическую активность проявляет территория возле курорта Схидница. Также здесь просматривается сейсмоактивная структура северо-запад – юго-восточного простирания в зоне влияния Предкарпатского разлома, вероятно оперяющиеся разломы в чехле и фундаменте.

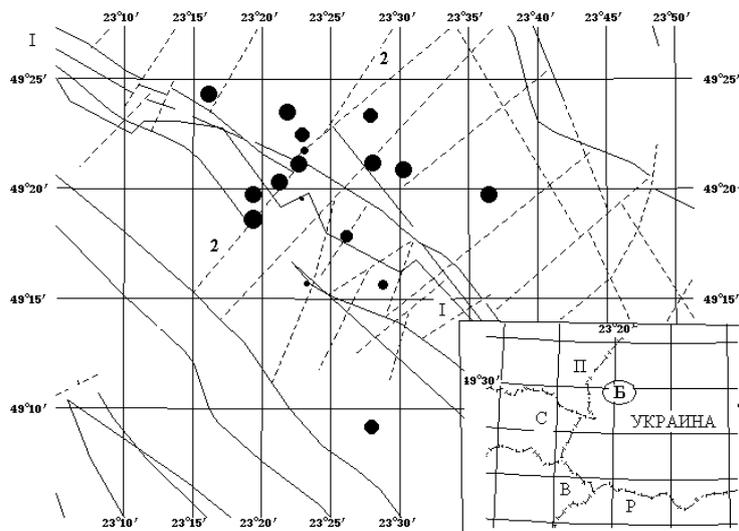


Рисунок 1 – Сейсмичность Бориславского нефтегазоносного района (темные кружки – эпицентры землетрясений разной магнитуды) на фоне разломной тектоники. Здесь: I-I – Предкарпатский разлом; 2-2 – Раточинский разлом. На карте-врезке буквами обозначены страны: П – Польша, С – Словакия, В – Венгрия, Р – Румыния; Б – Бориславский район (Украина).

Сейсмотектоническая модель района. Определенные нами с применением специально разработанных новых методик [7] глубины залегания очагов землетрясений ($H=2, 5, 6$ км) позволяют локализовать их положение в пространстве. В результате оказывается, что здесь сейсмичность как бы оконтуривает с разных сторон «сейсмотектонически спокойные» структуры, которые могут быть объектами поиска залежей углеводородов. Аналогичная закономерность пространственных соотношений сейсмичности и нефтегазоносности установлена нами ранее для Надвирнянского района Предкарпатья [1,

8].

По данным о пространственном расположении гипоцентров землетрясений построена объемная модель сейсмической активности Бориславского тектонического блока и выделены 2 уровня активности зоны Раточинского разлома: 1 – глубина $H=1-2$ км, 2 – $H=5-6$ км (рис.2). Кроме того, прослежена сейсмическая активность подвернутой складки 1-го яруса Бориславской структуры. Это указывает на сложный характер распределения тектонических напряжений на границах геологических структур и частично связано с перераспределением гидродинамического давления при нефтегазодобыче на уже механически ослабленные геологические структуры.

По данным о первых вступлениях объемных Р-волн и методике Горбуновой [9] построены азимутальные годографы $\Delta\tau_{\max}=f(A_z^0)$ некоторых землетрясений и найдены направления вспарывания разрывов в очагах, которые лежат в пределах $A_z=355-170^\circ$. Эти данные могут свидетельствовать либо о активности оперяющих Раточинского разлома разрывных нарушений, либо о подвижных по наклонным плоскостям надвигов. Упомянутый выше положительный крипекс указывает на наличие режима растяжения в очаговых зонах, что может указывать на сбросовые или сбросо-сдвиговые механизмы местных землетрясений.

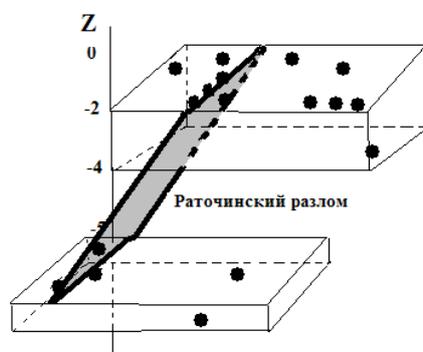


Рисунок 2 – Пространственная модель сейсмичности Бориславского тектонического блока.

Выводы. Сейсмическая активизация в последние годы Бориславской зоны связана с рядом факторов. Прежде всего – это обусловленное тектоникой сложное напряженное состояние структуры Раточинского разлома, который является составной частью мощного регионального линеамента северо-восточного простирания (прослеживающегося от г. Дрогобыча до пос. Турьи) и северо-западной границей Бориславского месторождения. С другой стороны – район характеризуется повышенной трещиноватостью и флюидонасыщенностью пород (в первую очередь, коллекторов нефти и газа и зон многочисленных разноранговых разрывных нарушений), при добыче нефти и законтурной закачке воды создается дополнительное гидродинамическое давление на уже ослабленные механически породы в этих зонах [10], что благоприятствует разрядке землетрясениями накопившихся здесь тектонических напряжений.

Литература

1. Назаревич Л.Е., Назаревич А.В. Особенности сейсмичности района нефтепромыслов Надворной (Украинское Предкарпатье) и ее связь с тектоникой и геодинамикой региона // Материалы Четвертой тектонофизической конференции. Т.3. Москва. 2016. С. 99-107.
2. Нестеренко Ю.М. Влияние добычи углеводородов на геофизические процессы и сейсмичность в нефтегазоносном Южном Предуралье // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2012. № 1. С. 1-21.

3. Крупский Ю.З. Геодинамические условия формирования и нефтегазоносность Карпатского и Волыно-Подольского регионов Украины. Киев: УкрГГРИ. 2001. 144 с. (на укр. языке).
4. Глушко В.В., Самойлюк О.П., Трушкевич Р.Т. Тектоника фундамента Предкарпатского прогиба // Геол. журн. 1970. 30. № 6. С. 3-9 (на укр. языке)
5. Бойко Г.Ю., Лозиняк П.Ю., Заяц Х.Б., Аникеев С.Г., Петрашкевич М.И., Колодий В.В., Гайванович О.П. Глубинное геологическое строение Карпатского региона // Геология и геохимия горючих ископаемых. 2003. № 2. С. 52-62 (на укр. языке).
6. Тектоническая карта Украинских Карпат. М-б 1:200 000 / Под ред. В.В. Глушко, С.С. Круглова. Киев: УкрНИГРИ. 1986.
7. Назаревич Л.Е., Назаревич А.В. Методики уточнения параметров гипоцентров Карпатских землетрясений // Геодинамика. 2004. № 1(4). С 53-62 (на укр. языке).
8. Назаревич Л.Е., Назаревич А.В. Сейсмичность и сейсмотектоника Надворнянского нефтегазоносного района (Украинское Предкарпатье) // Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. геол. 2015. Т. 90. Вып. 6. С. 17-27.
9. Горбунова И.В. Определение протяженности очага и направление разрыва по волновой картине на сейсмограмме // ДАН СССР. 1981. Т. 261. № 3. С. 836-839.
10. Keranen K.M., Savage H.M., Abers G.A. and Cochran E.S. Potentially induced earthquakes in Oklahoma, USA: Links between wastewater injection and the 2011 Mw 5.7 earthquake sequence // Geology. 2013. V. 41. P. 699-702.

УДК 551.4:553.411

ГЕОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РОССЫПНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА ДУЛЯБИ-САНГОУ (ЮЖНО-ТАДЖИКСКАЯ ДЕПРЕССИЯ)

GEOLOGY AND GEOMORPHOLOGICAL FEATURES OF THE DULYABI-SANGOU'S GOLD PLACER DEPOSIT (SOUTH TAJIK DEPRESSION)

Одинаев Ш.А., Андамов Р.Ш., Набиев Н.Ф.

sharif.geolog@mail.ru, andamov71@mail.ru, nabiev.nematullo@mail.ru

Таджикский национальный университет, г. Душанбе, Таджикистан

***Аннотация.** Рельеф района сформирован при воздействии новейших и современных тектонических движений. Активизация движений современного тектонического этапа привела к перестройке гидросети долин среднего плейстоцена и сформировала настоящий облик рельефа.*

***Ключевые слова:** геоморфология, золото, денудация, аккумуляция, плейстоцен, аллювий, пролювий, депрессия.*

Исследуемая территория охватывает юго-восточную часть Таджикской депрессии (Юго-Западный Дарваз) с долинами одноименных р. Дуляби-Сангоу, правых притоков р. Пяндж.

Рельеф района среднегорный, резко расчлененный, относительное превышение водоразделов над днищами долин достигает 300-600 м. К основным орографическим элементам района относятся хребты Хозратишо, Тиряй и Кушвористан с абсолютными отметками 1300-3000 м, протягивающимися в субмеридиональном направлении.

Обнаженность пород площади явная. Абсолютные отметки водоразделов – 950-2650 м, днище долины р. Дуляби-Сангоу (с левым притоком р. Новобад) расположено на абсолютной высоте 600-1800 м.

В геологическом строении района участвуют в основном мезозойские и кайнозойские отложения, начиная с меловых до четвертичной системы.

Нижнемеловые (K_1) отложения представлены пестроцветными и красноцветными песчаниками, алевролитами, гипсами и конгломератами общей мощностью около 1000 м, которые протягиваются в виде узкой полосы на востоке площади и слагают ядро Анджирусской антиклинали. Верхнемеловые (K_2) отложения сложены пестроцветными породами мощностью до 300 м, образуют скалистые и бронированные формы рельефа, формируя западное крыло этой антиклинали. Различны литологические разности пород: глины, песчаники, гипсы, ругозовые известняки, которые задерживают регрессивную эрозию долин р.р. Хитхам, Новобад, Дехивайрон, Хирманджоу и др. от устьевых частей к верховьям. В местах развития данного комплекса пород сформированы узкие каньонообразные отрезки долин протяженностью до 400 м, не имеющие практически аккумуляции и часто непроходимые из-за многочисленных водопадов, порогов, завалов из глыб и валунов.

Отложения палеогеновой системы (P) условно разделены на две толщи: нижнюю (P_1), сложенную серыми глинами, мергелями, песчаником и известняками мощностью около 200 м. Верхнюю часть этой системы (P_2) составляет красноцветная «немая» толща из песчаников и глин мощностью до 80 м. Породы палеогена имеют достаточно крутое падение (от 40° до опрокинутого) и распространены вдоль западного крыла Анджирусской антиклинали.

Неогеновая система (N) разделена на больджуанскую, хингоускую и тавильдаринскую свиты.

Отложения больджуанской свиты (N_{1bl}) формируют ядро шпиляуской антиклинали и согласно залегают на породах палеогена на западе площади. Кирпично-красные, плотные и рыхлые глинистые песчаники чередуются с прослоями мелкогалечных конгломератов. Общая мощность свиты 400-1200 м. Литологически породы сходны с нижнемеловыми и, в отличие от последних, образуют скалистые формы рельефа со сглаженными поверхностями. В рыхлых глинисто-песчаных пачках (р. Шпиляу) формируется бедлендовый рельеф с типичными гребневидными водоразделами.

Литологически различные по плотности породы хингоуской свиты (N_{1hn}) – алевролиты, песчаники, конгломераты с равномерной слоистостью, имеют пестроцветную окраску, образуют ребристый рельеф и развиты в бассейнах р.р. Новобад, Шпиляу мощностью 2000-2500 м.

Широкое площадное распространение имеют породы тавильдаринской свиты (N_{1td}). Они образует своеобразный руинный рельеф, формирующийся под воздействием экзогенных факторов в литологически различных по плотности пачках конгломератов с прослоями песчаников. Пологозалегающие толщи мощностью 700-2000 м имеют однородную окраску от светло-серой (р.р. Дуляби-Сангоу, Шпиляу) до коричневатой-серой (р. Новобад). Отмечена повышенная золотонность цемента конгломератов от 0.0037 г/т до 0.15 г/т [Кошелев, 1977, Новиков, 1986]. Значительный объем перемытого материала этих отложений, а также каранакской и ползакской свит явился источником формирования россыпей Дарваза и в частности Пянджского узла.

Четвертичная система (Q) представлена различными генетическими типами отложений раннеплейстоцен-голоценового возраста. Наиболее древние комплексы пород кулябского ($N_2^3Q_1kl$) и илякского (Q_{II}) возраста развиты в центральной части описываемого района, слагая Шуроабадское плато и залегая фрагментарно в верховьях речных долин на основных водоразделах и аллювиально-пролювиальных террасах высотой 150-350 м. Данные образования являются останками древней гидросети, являющейся источником транзита и промежуточным коллектором золота при формировании золотоносных россыпей современной гидросети. Достаточно полная их характеристика изложена в отчетах по поисковым и поисково-оценочным работам [Кошелев, Новиков, 1986; Кукушкин, Новиков,

1990]. Более подробные сведения о средне-плейстоценголоценовых типах четвертичных отложений приводятся ниже.

Возраст основных складчатых структур района определяется, как дочетвертичный по несогласному залеганию кулябских образований и пород неогена.

Рельеф района сформирован при воздействии новейших и современных тектонических движений. Решающую роль при этом сыграла тальбарская (N_2^2) фаза складчатости [Чедия, 1971], сформировавшая Шурабадское, Хирманджоуское и Сарыгорское поперечные поднятия. Активизация движений современного тектонического этапа привела к перестройке гидросети долин среднего плейстоцена и сформировала настоящий облик рельефа.

По морфологии, генезису и возрасту, рельеф района разделен на два крупных типа: денудационный и аккумулятивный.

Выделенные выше денудационный и аккумулятивный типы рельефа присутствуют в той или иной мере во всех разведанных долинах.

Первый является преобладающим в верхнем (в поперечном сечении) ярусе рельефа и существенной роли в современном россыпеобразовании он не играет.

Эрозионно-денудационные поверхности. Среднеплейстоценовые (Q_{II}) пологохолмистые поверхности боковых водоразделов с прилегающими склонами выражены на местности террасовидными площадками высотой от 120 до 200 м. Часто они перекрыты лессами мощностью до 30 м и отделены от нижележащих элементов рельефа крутыми склонами.

Верхнеплейстоценовые (Q_{III}) пологонаклонные эрозионные террасы и боковые водоразделы достаточно широко распространены по бортам долины р. Дуляби-Сангоу. В рельефе они выражены в виде отдельных ступеней с относительной высотой 30-120 м и часто перекрыты делювием мощностью до 2-3 м.

Верхнеплейстоцен-голоценовые (Q_{III-IV}) склоны средней крутизны пользуются широким площадным распространением, выработаны как в дочетвертичных породах, так и плейстоценовых террасах различного возраста. Присутствуют повсеместно в различных уровнях рельефа, часто задернованы, покрыты щебнисто-галечным материалом мощностью 1-2 м.

Эрозионные поверхности. Верхнеплейстоцен-голоценовые (Q_{III-IV}) поверхности крутых и скалистых склонов сформированы за счет современных эрозионных процессов, происходящих в верховьях долин и их притоков. В отдельных водотоках (Новобадские «ворота», устьевая часть правой составляющей р. Новобад, тальвеги боковых саев) данные поверхности целиком выполняют их днища, обуславливая этим прерывистость россыпей.

Аккумулятивные формы рельефа развиты в нижнем ярусе рельефа, выполняя днища, террасы и склоны современных водотоков.

Аллювиальные поверхности. Верхнеплейстоценовые (Q_{III}) поверхности аккумулятивных и цокольных террас высотой 10-80 м развиты широко в днищах разведанных долин. Сложены, как правило, хорошо сортированным валунногалечным материалом мощностью до 40 м. Содержание золота в террасах – от первых десятков мг/м³ до 1750 мг/м³ (р. Новобад). Помимо промежуточных коллекторов они сами могут служить источником разведки и добычи золота (р.р. Дуляби-Сангоу, Новобад), т.к. имеют значительные параметры по ширине и простиранию (50x100x500-1000 м), сравнительно легко доступны для отработки.

Голоценовые (Q_{IV}) поверхности террас и пойм крупных водотоков сложены разнообразным обломочным материалом – от песчано-гравийного до крупных валунов и глыб. Отложения золотоносны, являются объектом разведочных работ, вмещают как современные «подвешенные» россыпи, так и перекрывают «погребенные» россыпи верхнего плейстоцена. Террасовые комплексы ранне-позднеголоценового возраста имеют относительную высоту 2-10 м и могут служить площадками для размещения производственно-жилищных объектов, складирования песков и отвалов при отработке.

Аллювиально-пролювиальные поверхности. В данном генетическом подтипе также выделено несколько возрастных генераций.

Среднеплейстоценовые (Q_{II}) поверхности цокольных и аккумулятивных террас высотой 90-180 м образуют в рельефе ряд ступеней (до 2-3-х), часто сопрягающихся с иными генетическими типами четвертичных отложений. Широкое развитие данный комплекс имеет по левобережью долин р. Дуляби-Сангоу, Новобад, а также в междуречье Новобадских ручьев и их верховьев.

Сохранность и морфологическая выраженность террас данного уровня различные. Поверхность их часто наклонная, тыловой шов замывает, бровка извилистая, уступы различной крутизны. Поверхность почти повсеместно перекрыта лессовидными суглинками. Серые валунно-галечники мощностью 20-80 м сцементированы плотным суглинисто-песчано-карбонатным цементом.

Верхнеплейстоценовые (Q_{III}) поверхности аккумулятивных и цокольных террас высотой до 40 м развиты в нижнем ярусе рельефа. Они часто сопрягаются с одновозрастными аллювиальными образованиями, отличаясь от них значительной крутизной поверхностей, худшей морфологической сохранностью. Сложены плохо сортированным валунногалечным материалом средней цементации, отложения слабозолотоносны.

Пролювиальные поверхности. Верхнеплейстоцен-голоценовые (Q_{III-IV}) поверхности нескольких возрастных генераций (Q_{III} , Q_{III-IV} , Q_{IV} , Q_{IV}) конусов выноса и шлейфов развиты повсеместно в виде пологонаклоненных террас высотой до 60 м в средних частях крупных боковых притоков, а также в устьевых частях водотоков и тальвегах боковых саев в форме конусов выноса. Широкое развитие они получили в средней части долины р. Дуляби-Сангоу, где данный тип отложений часто накладывается или сопрягается с разновозрастными аллювиальнопролювиальными комплексами и осложняет строение россыпи.

Гравитационные (деляпсивные) поверхности. В данный подтип включены голоценовые (Q_{IV}) полигенетические образования: склоновые, обвально-осыпные, оползневые и прочие, развитые в четвертичных и коренных породах и не имеющие существенного значения в формировании россыпей.

Отсутствие единого подхода к созданию крупномасштабных геоморфологических карт, их легенде и полезной нагрузке, позволяет принять за основу принцип и методы мелкомасштабного картирования Таджикистана [Лоскутов, 1971], что на наш взгляд вполне приемлемо.

Литература

1. Ахриев М.Г. Техничко-экономическое обоснование постоянных кондиций россыпного золота Дуляби-Сангоу. М. 1992. 84 с.
2. Новиков В.М. Отчет предварительная и детальная разведка пянджской группы россыпей Сарыобской партии по результатам работ, проведенных в долинах рек Дуляби-Сангоу, Новобад, Хитхам в 1990-1993 гг. с подсчетом запасов по состоянию на 1.01.1994 г. Душанбе: пос. Ленинский. 1994. 144 с.
3. Таджибеков М. Внутригорные впадины Гиссаро-Алая в новейшем этапе геологического развития. Душанбе: Дониш. 2006. 258 с.
4. Казаков Ю.М., Крейденков Г.П., Мамонтов А.Н. и др. Учебное пособие по геологической практике в Зиддинской долине. 2-е изд. Душанбе. 2002. 96 с.

ЭВОЛЮЦИЯ ВУЛКАНИЗМА ЮЖНО ГИССАРСКОЙ ЗОНЫ

THE EVOLUTION OF VOLCANISM SOUTH GISSAR AREA

Ошурмамадов А.К., Валиев Ш.Ф., Алидодов Б.А.

vulcanite@bk.ru

Геологический факультет Таджикский национальный университет, Таджикистан, Душанбе

Аннотация. В работе были проведены исследования вулканизма южногиссарской зоны, который характерен своими проявлениями и вещественным составом. В качестве мощных проявлений вулканизма выявлены Османталинская, Варзоб-Сорбухская, Кштут-Варзобская и Манзоб-Суффинская подзоны.

Ключевые слова: вулканы, туффиты, разломная зона, эволюция.

В настоящее время правомерность существования этого понятия не оспаривается, но его возникновению предшествовала долгая история, неразрывно связанная с эволюцией представлений о типах магмы, о природе гранитов. До середины 20-х годов 20 века вулканические и плутонические породы считались в геологии генетически едиными. основоположником этой концепции был родоначальник магматической геологии Дж.Хеттон (1785). Циркеля (1866) и Розенбуша (1873), считали, что "петрографическая эквивалентность эффузивных и интрузивных пород имеет глубокий генетический смысл и отражает их геологическое единство. Лишь величина эрозионного среза определяет какая именно фация - вулканическая, субвулканическая, гипабиссальная или абиссальная - обнажается" (Устиев, 1969)

Вулканизм разных участков южногиссарской зоны отличен по характеру проявлений, составу, по особенностям проявлений по которым нами выделяются Османталинская, Варзоб-Сорбухская, Кштут-Варзобская и Манзоб-Суффинская подзоны (рис. 1.)

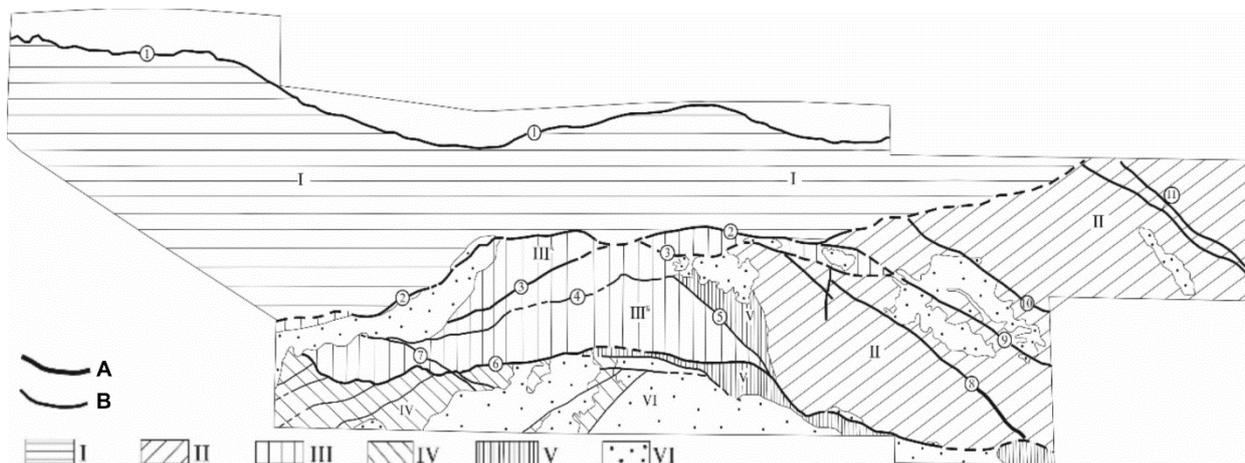


Рисунок 1 – Схема районирования Южногиссарской зоны по типам вулканогенных, сочно-вулканогенных комплексов.

I-IV подзоны: I – Османталинская, II – Варзо-Сорхубская, III – Кштут-Варзобская, IV – Манзоб-Суффинская, V – Приразломные участкм с особыми (переходными) типами разрезом, VI – отложения мезозоя-кайнозоя.

Разрывные нарушения: А – первого порядка (1 – Северогиссарский, 2 – Ходжиабиррамский, 6 – Богаимский); В – Второго порядка (3 – Эпидотовый, 4 – Северный, 5 – Шираталинский, 7 – Шеркенский, 8 – Такобский, 9 – Джурьязский, 10 – Хлоритовый, 11 – Сорбухский).

В *Османталинской подзоне* основной вулканизм проявлен в течение раннего карбона. В это время сформировались существенно вулканогенные образования чапдаринской и сарыматской свиты. В составе первой преобладают риолиты, дацито-риолиты; вулканиды более основного состава резко им подчинены. В составе вулканидов сарыматской свиты преобладают андезиты-дациты. Условия формирования толщ морские, преимущественно малоглубинные (судя по наличию прослоев известняков с ругозами, криноидеями). Эксплозивность извержений для свит в целом: чапдаринской -75%, сарыматской -56%, при коэффициенте вулканогенности 95 и 99% соответственно. Тип извержений трещинно-центральный [2]. Средневзвешенный состав чапдаринской свиты соответствует дациториолитам с умеренной и повышенной глиноземистостью, умеренной калиево-натриевой щелочностью при среднем преобладании калия над натрием. В незначительном развитии дацитах-риолитов предшествующих кульской свиты среды щелочей несколько преобладает натрий и заметно повышена глиноземистость пород. В сарыматской свите, как и в чапдаринской, вулканиды дифференцированы по составу от базальтов до риолитов, но средневзвешенный состав их соответствует высокоглиноземистым андезитодацитам с умеренной калиево-натриевой (натрий слабо преобладает над калием) щелочностью [1].

Вышележащие вулканогенно-осадочные пайронской, кичикэзакской, замбарской свит (C_1 - C_2) слабо насыщены пирокластическим материалом. Вулканогенность их 3-10%, эксплозивность 90-100%. Среди вулканидов по составу преобладают дациты, андезиты, а в нижних толщах и риолиты. Вулканогенные породы имеют выраженный антидромый ряд. Петрологическими особенностями, отличающими эти вулканиды от предшествующих, являются: уменьшение их глиноземистости, некоторое снижение общей щелочности при слабом увеличении роли натрия; калиево-натриевый тип щелочности при слабом увеличении роли натрия; этот тип щелочности при этом сохраняется, в 1,5-2-раза увеличиваются в породах содержания марганца [4].

Варзоб-Сорбукская подзона характеризуется проявлениями преимущественно среднекаменноугольного вулканизма. Андезитовому вулканизму практически повсеместно предшествовал слабо проявленный кислый вулканизм.

Вулканогенные породы образуют серию пространственно разобщенных выходов, каждый со свойственным только ему разрезом вулканогенных пород и некоторыми отраженными в описаниях петрологическими особенностями вулканидов. Вероятно, они представляют собой ареалы разных центров извержений, а возможно и магматических очагов.

В центральных частях подзоны вулканиды слагают варманикскую, ходжабастонскую, сорбукскую толщи. Вулканогенность их 95-100%, эксплозивность 63-80%. Условия накопления вулканидов определяются только для сорбукской толщи, где в разрезах встречаются прослойки известняков, кремнисто-карбонатных пород. Состав кислых вулканидов низов толщ соответствует дацитам – риолитам с умеренной и слабо повышенной глиноземистостью и умеренной калиево-натриевой щелочностью. По петрологическим характеристикам они очень близки вулканидам Османталинской подзоны (рис.2,3), отличаясь слабо повышенной общей щелочностью и калиевокостью, в среднем большей насыщенностью цезием и меньшей – оловом. Общие особенности андезитов центральной части подзоны: 1) явно повышенная глиноземистость (практически самая высокая среди андезитов Южного Гиссара), 2) калинатровый тип щелочности при близких содержаниях калия и натрия, 3) повышенные, а среди умереннощелочных андезитов Южногиссарской зоны – и самые высокие содержания цезия.

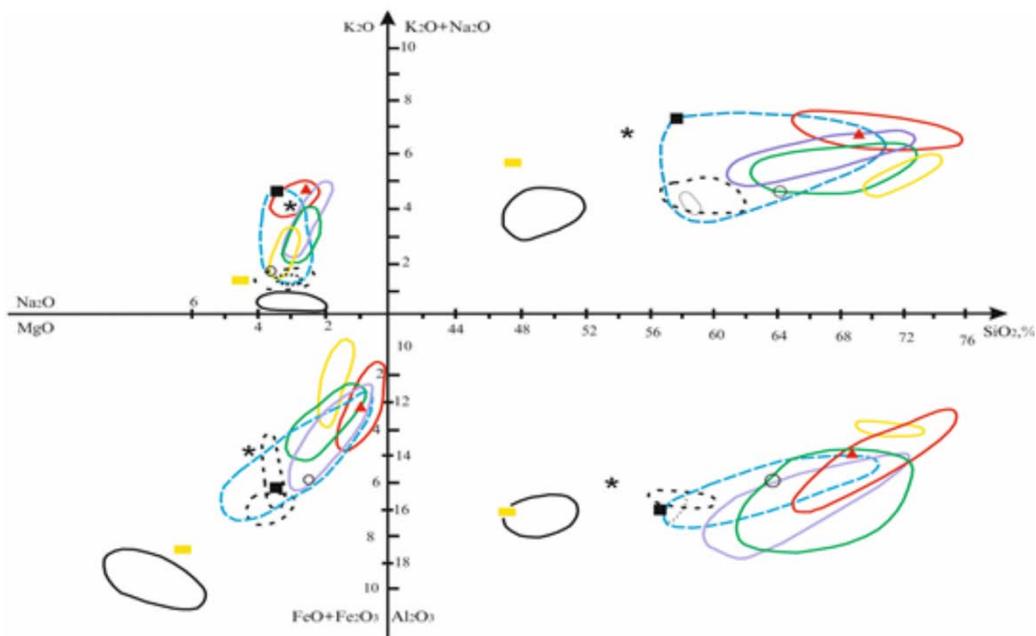


Рисунок 2 – Соотношение породообразующих элементов в вулканитах Южногиссарской зоны.

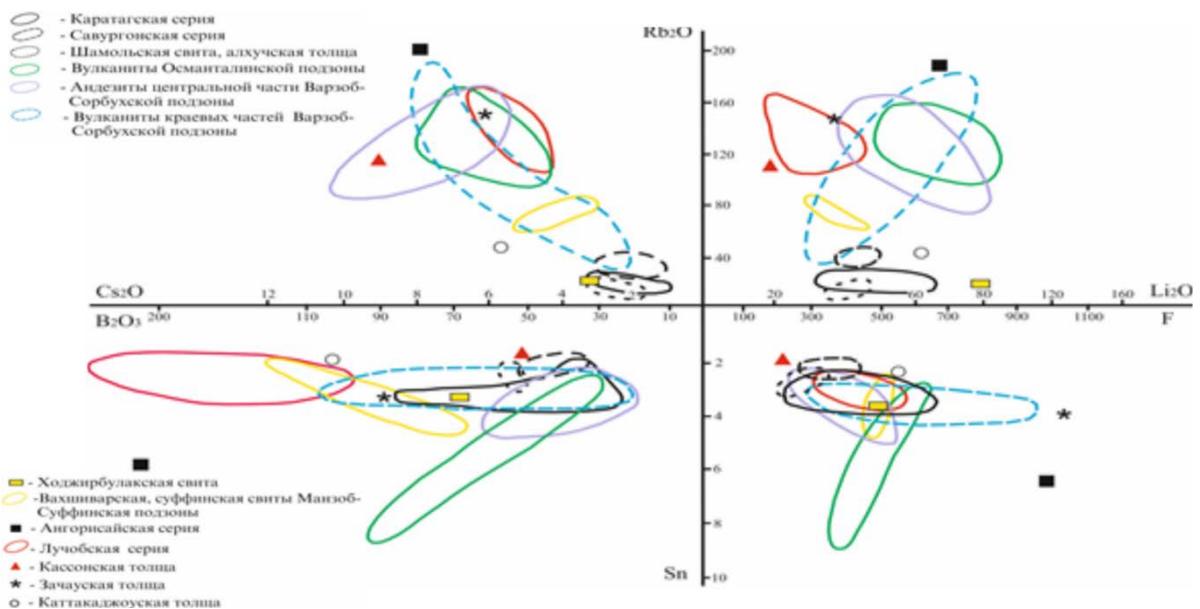


Рисунок 3 – Соотношение редких элементов в вулканитах Южногиссарской зоны.

Относительная однородность кислых и средних вулканитов, повышенная их глиноземистость, значительная роль калия среди щелочей, высокие концентрации цезия, развитие аксессуарных турмалина, каситерита при отсутствии хромшпинелидов – все это свидетельствует о том, что рассматриваемые породы не могут представлять собой дифференциатов базальтоидных магм и являются продуктами кислых и средних палингенных коровых магм.

В *Кштут-Варзобской подзоне* в течение каменноугольного периода был проявлен мощный базальтоидный магматизм. Были сформированы последовательно сменяющие друг друга в разрезе мощные толщи практически недифференцированных натриевых базальтоидов каратагской серии, затем дифференцированных базальт-андезитовых толщ савургонской серии и далее – андезитоидов шамольской свиты и алхучской толщи. В зоне контакта *Кштут-Варзобской* и расположенной южнее *Манзоб-Суффинской подзон*, по нашим представлениям, синхронно с базальтоидами каратагской серии формировались

вулканыты варзобской толщи контрастного базальт – риолитового, но преимущественно кислого состава. Для каждого из трех уровней вулканизма и его продуктов характерны внутренние неоднородности при прослеживании толщ по простиранию подзоны и вкрест ее. Как отмечалось, несколько разнятся разрезы раннекаменноугольной каратагской серии между Ходжаобигармским и Эпидотовым, Северным и Богаинским (рис.1) разломами, а также в пределах последнего поля. Намечается общая тенденция некоторого увеличения дифференцированности базальтоидов, появления среди них редких разновидностей со слабо повышенной щелочностью, заметное увеличение щелочей за счет натрия и уменьшение магнезиальности пород при прослеживании их от толщи к толще от центральных частей подзоны к ее восточному окончанию. Уменьшение магнезиальности пород сопровождается снижением в них концентраций лития; в полосе, прилегающей к Османталинской подзоне, в базальтоидах пайронской толщи в 1,5-2 раза увеличиваются содержания цезия [4]. Значительно резче дифференциация вулканидов, неоднородность их разрезов и петрологических особенностей сказываются в пределах раннебашкирской, савургонской серий. К контактам с сопредельными подзонами в них намечается слабое общее раскисление пород, уменьшение их магнезиальности и железистости, среди щелочей возрастает роль калия. В сравнении с другими толщами савургонской серии, в джалъчинской, прилегающей к Османталинской подзоне, резко возрастают содержания рубидия, олова и особенно цезия. Позднебашкирские андезитовиды шамольской и альхучской свит развиты нешироко и говорить однозначно об их латеральной изменчивости трудно. Тем не менее, устанавливается, что вулканыты альхучской толщи, прилегающей с юга к Богаинскому разлому, отличаются от шамольских несолько большей кислотностью и заметно меньшими содержаниями железа; выше насыщенность их всеми литофильными элементами.

Для каменноугольных вулканидов всего отмеченного эволюционного ряда характерна преимущественно умеренная натриевая щелочность, умеренная глиноземистость и самые высокие среди вулканидов Южного Гиссара концентрации мафических компонентов. В ходе эволюции в целом постепенно увеличивается кислотность и щелочность пород; слабо возрастает роль рубидия (рис.2,3). Степень дифференцированности пород сначала резко увеличивается от каратагской серии к савургонской, а затем в андезитовых толщах состав пород становится более однородным. Снизу-вверх от серии к серии увеличивается эксплозивность комплексов. *Манзоб-Суффинской подзоны* представлены преимущественно кислыми вулканытами вахшиварской свиты, характеризующимся умеренной и слабо пониженной калиево-натриевой щелочностью, пониженной глиноземистостью. Вверх по разрезу они сменились вулканогенно-кремнисто-карбонатной ходжирбулакской свитой с незначительно развитыми в ней базальтами. Вулканогенной материал суффинской свиты по составу отвечает андезитам-дацитам пониженной глиноземистости и умеренной калиево-натриевой щелочности. В сравнении с вулканытами других подзон, вахшиварские и суффинские характеризуются наименьшей глиноземистостью, низкими концентрациями лития, рубидия, цезия. Условия накопления всех толщ морские. Все извержения центрального типа высокоэксплозивные с увеличением эксплозивности вверх по разрезу (в $C_2sf \varepsilon=100\%$).

Пермский вулканизм в пределах Южногиссарской зоны проявлялся, главным образом в Кштут-Варзобской подзоне и в сопредельных с нею краевых частях Манзоб-Суффинской и Варзоб-Сорбухской подзон. Начинаясь он высокоэксплозивными извержениями умереннощелочных калиево-натриевых (натрий преобладает над калием) андезитов-дацитов, участвующих в строении туффигов, туфоконгломератов, редко-туфов каттакаджоуской толщи P_1 . По петрологическим особенностям вулканыты толщи близки пирокластолитам чинарской свиты C_3 и, возможно, близки им по времени формирования. Между породами каттакаджоуской толщи и вышележащей лучобской серии только в междуречья Суффа-Арджанак установлены калиево-натриевые (калия больше чем натрия) трахиандезитобазальты захауской свиты, характеризующие вспышку особого приразломного вулканизма. Формирование вышележащей лучобской серии происходило в несколько этапов

вулканизма, отличавшихся составом их продуктов. Преимущественно дацито-риолитовые вулканиты сурхакской толщи сменились андезитами-дацитами муминской и далее риолитами такабошской и вновь дацито-риолитами тайронской толщ. Даже в течение формирования лючобской серии смена гомодромности – антидромности пород происходила неоднократно. Извержения были преимущественно высокоэксплозивные (исключение составляют только муминские вулканиты) центрального типа. Нередко характер извержений был, видимо, близок к «безымянному» или «катмайскому» типам, что приводило к формированию мощных толщ спекшихся туфов (игнимбритов). Извержения часто носили явно направленный характер и практически ни один из разрезов непосредственно не коррелируется с сопредельными. Условия накопления пород восстанавливаются с трудом. Красноцветность вулканитов склоняет всех исследователей к представлениям о наземном вулканизме. В то же время, присутствие в редких прослоях туффитов, туфопесчаников карбонатного, гидрохимического гидрослюдисто-кремнисто-карбонатного цемента свидетельствует о накоплении пород в водоемах [6].

В строении всех толщ лючобской серии участвуют вулканиты умеренной, близкой к повышенной и повышенной калиево-натриевой щелочности при близких содержаниях натрия и калия (чаще преобладает последний). В сравнении с близкими по кислотности другими вулканогенными образованиями Южного Гиссара, они обладают максимальной щелочностью, а в большинстве случаев – и калиевостью, и минимальными содержаниями железа, магния, лития при высоких концентрациях бора.

Характеристика вулканогенных комплексов и приведенный ниже краткий обзор особенностей их составов и изменения во времени и в пространстве, позволяют предположительно воссоздать эволюцию вулканизма Южногиссарской структурно-формационной зоны в каменноугольно-триасовое (герцинские) время [8]. Этому периоду предшествовало спокойное, судя по скоростям обрзования, субплатформенное накопление карбонатных осадков (S-D). С карбона развитие резко дифференцировано по блокам. В центральной части Южногиссарской зоны – в Кштут-Варзобской подзоне – а раннем карбоне в условиях растяжения при спокойных трещинных излияниях накапливаются мощные толщ практически недифференцированных натриевых базальтов каратагской серии. Образования, подстилающие каратагскую серию, достоверно нигде не установлены. Только в краевой части подзоны, южнее Богаинского разлома, под «переходным» разрезом варзобской толщи, обнаруживаются нижележащие карбонатные породы (S-D).

Позднебашкирское время в Кштут-Варзобской подзоне ознаменовалось новым импульсом вулканизма. Он начинался локально проявленными извержениями натриевых риолитов (кызылдаринская свита), сменившимися извержениями определяющих вулканизм подзоны этого периода натриевых андезитоидов (шамольская свита, алхучская толща). В Османталинской зоне подзоневозрастным аналогом их, возможно, являются породы низов муринской свиты с крайне незначительной (первые %) примесью в них пирокластов андезитов-дацитов. В Манзоб-Суффинской подзоне с андезитоидами Кштут-Варзобской подзоны несколько условно параллелизуются только андезитоиды перевала Кармикат. На остальной территории подзоны позднебашкирские образования не обнаружены (возможно размыты). Вдоль Богаинского разлома на сочленении указанных подзон, вероятно, в это время формировались андезитоиды шопталинской толщи и пачки туфов андезитодацитов себоринской свиты. К этому же периоду мы относим обрзование калиево-натриевых андезитоидов и нередко предшествующих им кислых вулканитов Варзоб-Сорбухской подзоны.

Раннемосковского время – время резкого затухания вулканизма. Исключением из этого является только район юго-восточного выклинивания Богаинского разлома, где в S_{2m} формировались риолиты себоринской и андезито-дациты заркуинской свит. На остальной территории Южногиссарской зоны в это время отлагались преимущественно тонкообломочные терригенные и карбонатные породы с крайне незначительной и неповсеместно встречающейся тонкой пирокластикой кислых-средних вулканитов. Не

исключительно, что этот вулканогенный материал представляет собой удаленные от центров извержений продукты отмеченного выше вулканизма зоны Богаинского разломами [2].

Осадочные породы верхов среднего и верхнего карбона практически не содержат вулканогенного материала. Исключением, да и то не доказанным, (возраст спорен) являются туфы биотитовых андезитодацитов чинарской свиты, развитые на том же участке Богаинского разлома. Следующий мощный цикл вулканизма - нижнепермский. Как отмечалось, в нем можно выделить, по крайней мере, три этапа. Ранние высокоэксплозивные извержения - формирование андезито-дацитовых магм умеренной калиево-натриевой щелочности. Следующий, локально проявленный, представлен излияниями субщелочных калиевых базальтоидов-андезитов, завершающий многоактивный высокоэксплозивный вулканизм центрального типа характеризовался преимущественно риолитовым-андезитодацитовым составом его продуктов, при их умеренной и повышенной натриево-калиевой щелочности.

Вопрос о проявлениях триасового вулканизма остается открытым. Принадлежность ханакинской свиты к триасу не доказана; петрологические особенности пирокластов и количество их в красноцветных терригенных породах не ясны. Рассматривая эволюцию вулканизма Южногиссарской зоны в целом автор склоняется к представлению, что в С-Т время она развивалась как геосинклиналь рифтового типа, заложившаяся в условиях раскола и расчленения континентальной коры. Для ранней стадии ее развития характерно проявление контрастного вулканизма. В ее центральной части (Кштут-Варзобской подзоне), по-видимому, наиболее «раскрытой» и характеризующейся наиболее глубинными расколами в собственно рифте – проявился мощный базальтовый вулканизм. В северном и южном обрамлении рифта, в более жестких блоках его рамы (в Османталинской и Манзоб-Суффинской подзонах), в это же время развивался кислый вулканизм – продукт палингенных коровых магм. В ходе дальнейшей эволюции, со сменой режима растяжения режимом сжатия, вулканизм стал менее контрастным по составу. В то же время, в пределах, наметившихся в раннюю стадию подзон (блоков) вулканогенные породы несколько разнятся составом и рядом петрологических особенностей, отличающих их от близких по возрасту вулканитов других подзон. В целом для рамы рифта и северного, и южного его плеча характерен значительно более кислый в сравнении с рифтом, каменноугольный вулканизм. В рифте в карбоне, на ранних стадиях развития геосинклинали, образовался эволюционный ряд вулканогенных комплексов (формаций), производных базальтовой магмы. В режиме рифта с обеих сторон в это же время из палингенных коровых магм формировались комплексы вулканогенных пород кислого и среднего состава. Османталинская и Варзоб-Сорбухская подзоны в течение всего карбона характеризовались повышенной глиноземистостью, калиево-натриевой щелочностью (при близких количествах калия и натрия), повышенной цезиеносностью. Для вулканитов Манзоб-Суффинской подзоны обычны: низкая глиноземистость, при калиево-натриевом типе щелочности, большая роль среди щелочей натрия, низкая цезиеносность. Интенсивность вулканизма этой подзоны выше, особенно в среднекаменноугольное время. Эволюционные и петрологические особенности вулканизма подзон подчеркиваются и резко различной их металлоносностью.

В заключении отметим, что пермский вулканизм орогенного типа пространственно наследовал базальтоидного каменноугольного вулканизма. Следует подчеркнуть, что наряду с субширотными разломами, разграничивающими выделенные подзоны, в распределении участков различного вулканизма и рудоносности существенную роль играли косые (по отношению к общему субширотному простиранию подзон) разломы северо-западного простирания. Вдоль тех и других нередко развивались вулканогенные комплексы переходного типа сугубо специфические, не свойственные сопредельным подзонам. Примером последних могут служить шошонит-кварцеволатитовые образования ангорисайской толщи (Can), сформировавшиеся вдоль Шираталинского разлома С-3 простирания [6]. Мы считаем его разломом глубокого заложения и длительной магматической активности. Прилегающие к нему раннекаменноугольные вулканиты

сиоминской и каратагской серий характеризуются рядом отмечавшихся специфических черт (это, в первую очередь, повышенная основность вулканитов сарыматской свиты, высокая магнезиальность толщи). В зоне этого разлома среди гранитоидов среднего карбона обнаружена трубка взрыва «Ветвистая», химический состав взрывчатого материала которой близок глиммеритам. На продолжении этого разлома уже в пределах Зеравшано-Гиссарской структурно-формационной зоны развиты нигде не встречающиеся в этой зоне трахиты-фонолиты казнокской свиты и нефелиновые сиениты ахбасайского комплекса (Р). В зоне Шираталинского разлома в пределах развития ангорисайской толщи установлены проявления золота, олова, а при выходе его в толщи базальтоидов-проявления меди. В субпараллельной ему зоне Сорбухских разломов известны многочисленные проявления золота, меньше олова.

Литература

1. Баратов Р.Б., Горецкая Е.Н., Щукин С.И. Дацил-липаритовая формация Южного Гиссара. Душанбе: Дониш. 1973. 107 с.
2. Горецкая Е.Н. Палеозойские вулканогенные формация Тянь-Шаня и их связь с различными типами тектонических структур // Вопросы вулканизма. Тр. Первого всесоюзн. вулканолог. совещ. М.: Изд. АН СССР. 1962. С. 340-343.
3. Довжиков А.Е. Тектоника Южного Тянь-Шаня. Труды ВСЕГЕИ. Т. 231. Л. 1977. 170 с.
4. Мамадвафоев М.М. Геохимические особенности орогенных эффузивов Южного Гиссара и проблема их комагматичности // Тезисы докл. респ. конф. молодых учёных и специалистов ТаджССР. Душанбе. 1977. С. 10-11.
5. Овчиников С.К. Пермские отложения Центрального Таджикистана // Геология СССР. Т. 24. Ч. 1. М.: Госгеолтехиздат, 1959.
6. Ошурмамадов А.К., Валиев Ш.Ф., Алидодов Б.А. Петрология и петрогенезис кислых вулканитов лучобской серии Южного Гиссара (Южный Тянь-Шань) // Материалы междунар. науч.-практ. конф. Учебного научно-технического центра «Развитие Гражданской Защиты» КРСУ. Бишкек. 2016. С. 162-165.
7. Хаин В.Е. Общая геотектоника. М.: Недра. 1964. 479 с.
8. Харкевич Д.С., Москалева В.Н. Серии магматических формаций как основа классификации складчатых областей и платформ // Проблемы связи тектоники и магматизма. Тр. совещания. М.: Наука. 1969.
9. Штейнберг Д.С. О химической классификации эффузивных горных пород. Тр. Ин-та геологии Урал. фил. АН СССР. Вып.72. Свердловск. 1964. 106 с.
10. Щукин С.И. Разрывные нарушения междуречья Ханака-Суффа в Южном Гиссаре, последовательность их развития и минерализации. Зап. Тадж. Отд. ВМО. Вып. 2. Душанбе. 1964.

УДК 551.242(575.2):550.34

К ВОПРОСУ СЕЙСМИЧНОСТИ ЦЕНТРАЛЬНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ

ON THE ISSUE OF THE CENTRAL TIEN-SHAN SEISMICITY

Рахмединов Э.Э.

rahimdinov@gmail.com

Институт сейсмологии НАН КР, Бишкек, Кыргызстан

Аннотация. В зоне Центрального Тянь-Шаня в прошлом неоднократно происходили сильные землетрясения, приводившие к появлению поверхностных смещений. предварительные данные свидетельствуют о том, что, возможно, одно из таких событий имело место в интервале между 5.4 ± 1 и 1.2 ± 0.3 тыс. лет назад. Это важно учитывать при проектировании важных объектов Верхне-Нарынского каскада ГЭС и при этом, необходимо проведение более детальных исследований, в том числе проведение вскрытие траншейных работ в зоне разлома, в непосредственной близости от объектов будущего строительства.

Ключевые слова: разлом, землетрясение, терраса, траншея, надвиг, образец, амплитуда, Центрально-Нарынский разлом.

Наряду с разрывами, разделяющими хребты-антиклинали и впадины-синклинали, в Центральном Тянь-Шане широко развиты крупные активные разломы, проходящие вдоль осевых частей впадин и ограничивающие молодые растущие поднятия [1-6]. Один из таких разломов – Центрально-Нарынский, прослеживаемый на протяжении, примерно, 60 км от района села Джалгызтерек на западе до слияния рек Большой и Малый Нарын на востоке (рис. 1,2). Это новейшее тектоническое нарушение с явными признаками позднечетвертичной активности “проходит” в непосредственной близости от проектируемых гидроузлов Верхне-Нарынского каскада ГЭС, вследствие чего связанные с ним землетрясения представляют наибольшую потенциальную опасность для этих объектов [8].

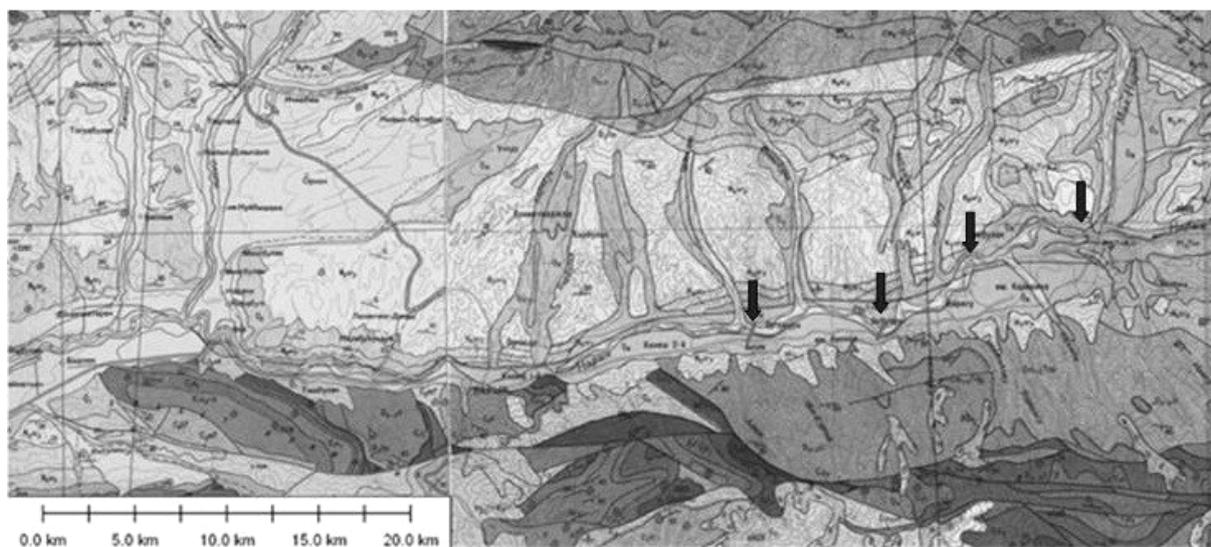


Рисунок 1 – Геологическая карта района расположения Верхне-Нарынского каскада ГЭС. Скомпоновано из листов Государственной геологических карты К-43-XXII и К-43 XXIII. Короткими стрелками показаны створы плотин проектируемого Верхне-Нарынского каскада ГЭС [8].

Центрально-Нарынский разлом прекрасно выражен в рельефе и смещает отложения и речные террасы вплоть до голоценовых (рис. 2).

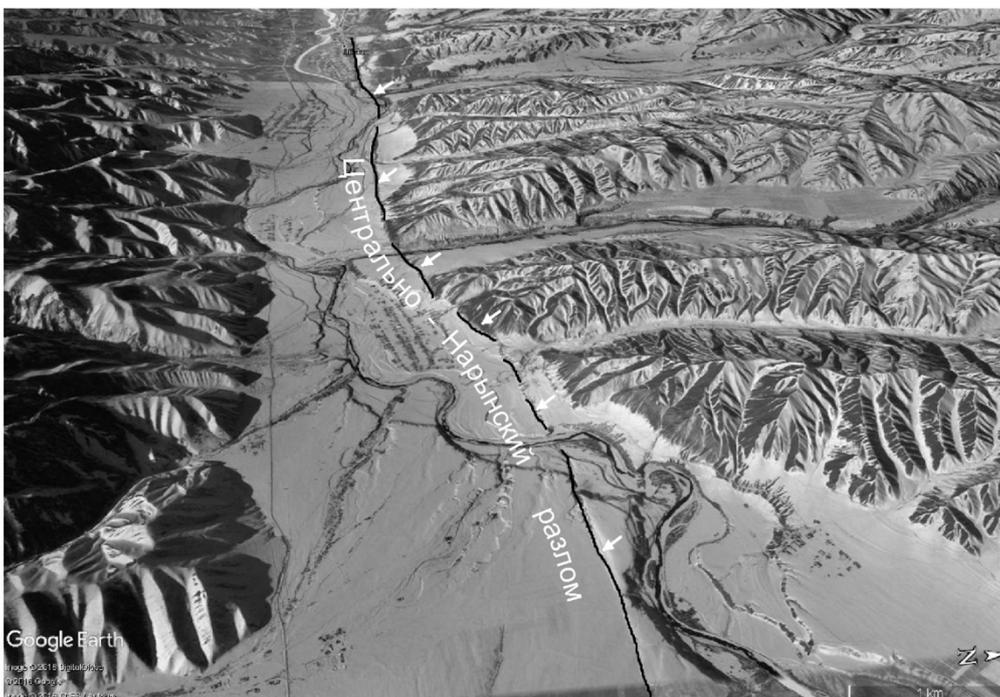


Рисунок 2 – Положение Центрально-Нарынского разлома в рельефе (ниже слияния рек. Малый Нарын и Нарын). Белыми стрелками показано положение разлома. Вид с востока (изображение Google_Earth).

В западной части района, ниже по течению от проектируемого каскада ГЭС, он был изучен в ходе изысканий на западной окраине г. Нарын. Разлом здесь выражен в рельефе на левом берегу реки Нарына в виде гряды, возвышающейся примерно на 10 м над 20-метровой надпойменной террасой и отделяющей поверхность террасы от русла реки Нарын (рис. 3).

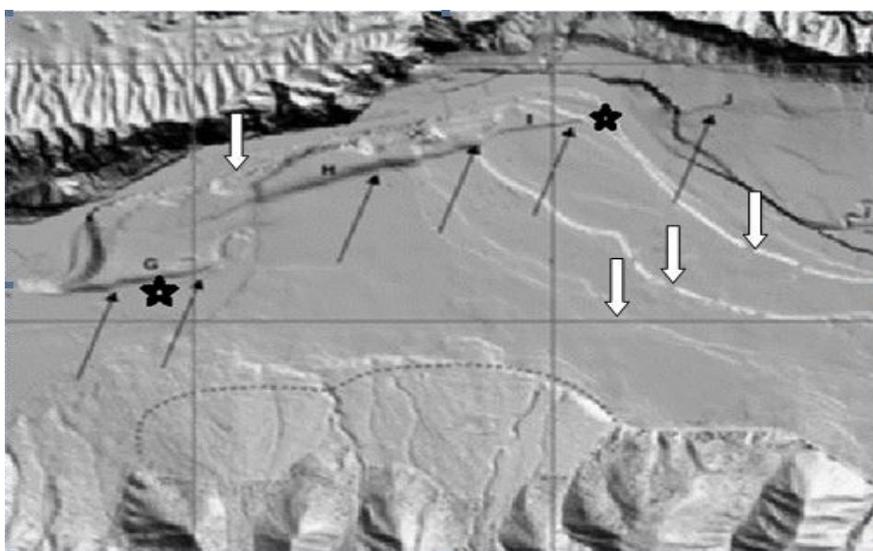


Рисунок 3 – Положение Центрально-Нарынского разлома в пределах западной окраины г. Нарын на изображении Google_Earth. Черными стрелками показано положение ветвей разлома, и жирными белыми – разновозрастные террасы долины р. Нарын. Звездочками показано положение траншей, из которых были отобраны образцы.

Траншея, пройденная вкрест линии разрыва в восточной части изученного участка (звездочка в левой стороне рисунка 3) позволила установить возраст смещений. Образец, отобранный из песчаной линзы в деформированном аллювии, показал возраст 10.4 ± 1.6 тыс.

лет назад (BP), образец, отобранный в лессовидных суглинках из опущенного крыла разрыва 5.4 ± 1 тыс. лет назад (BP) с М-7,3 (рис. 4).

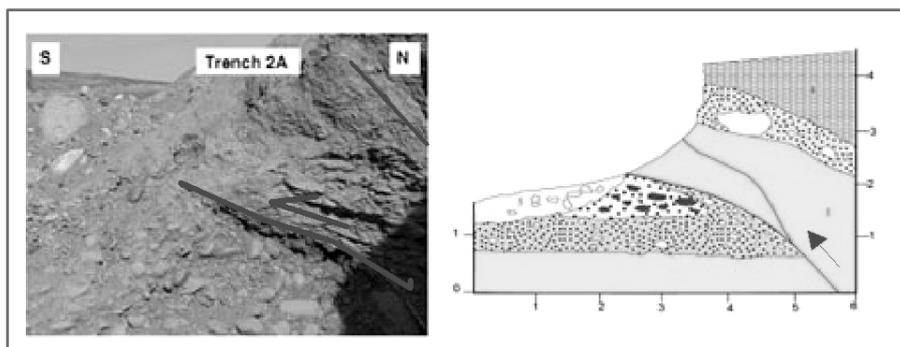


Рисунок 4 – Фото и зарисовка траншеи, пройденной в западной части г. Нарын.

В обнажении голоценовой террасы (звездочка в правой стороне рисунка) отобран образец из лессовидных суглинков, перекрывающих нарушенный разрез, который дал возраст 1.2 ± 0.3 тыс. лет назад (BP). Соответственно, последняя подвижка на этом участке произошла в интервале между 5.4 ± 1 и 1.2 ± 0.3 тыс. лет назад (BP) с М-7,3. Далее к востоку, в пределах собственно города Нарын, следы современных движений по разлому выражены менее отчетливо. Однако восточнее, в приустьевых частях долин рек Ири-Суу, Чет-Нура, Орто-Нура, Баш-Нура, между этими долинами и далее к востоку, вплоть до дороги, ведущей в долину Малого Нарына, разлом опять проявлен очень выразительно.

Центрально-Нарынский разлом рвет конуса выноса выше перечисленных правых притоков реки Нарын, нарушая практически все террасы (за исключением пойменной и, возможно, первой), причем по мере увеличения высоты нарушенных поверхностей амплитуда смещения возрастает, что говорит о периодически повторяющихся подвижках с М-7.3 или (9 баллов) [7].

На левом борту долины р. Чет-Нура в дорожной “полке” вскрыт пологий надвиг сильно дислоцированных, рассланцованных красноцветов неогена на аллювиальные галечники. Формирование приразломного уступа высотой более 10 м, а по данным А.М. Корженкова [6] около 20 м, возможно при суммарной амплитуде смещений не менее 30 м. Между устьями рек Чет-Нура и Орто-Нура высота приразломного уступа, который проходит здесь на некотором удалении от подножия коренного склона, возрастает до 30 метров (рис. 5). На этом рисунке видно, что по мере того, как приразломный уступ пересекает все более высокие террасы, возрастает и его высота, т.е. амплитуда смещения. Это указывает на повторяющиеся смещения по Центрально-Нарынскому разлому.



Рисунок 5 – Нарастание высоты приразломного уступа при пересечении более высоких террас. Фотография А.Л. Строма.

Не исключено также, что уступ здесь образует две более или менее параллельных ветви. Далее к востоку разрыв уходит под низкие террасы на левобережье р. Нарын, которые не смещены. Отсутствие деформаций поверхностей низких террас указывает на импульсный характер подвижек по разрыву – если бы смещения по нему происходили постоянно, то уступ должен был бы наблюдаться и на низких (наиболее молодых) террасах.

На пересечении Центрально-Нарынского разлома с долиной р. Баш-Нура, правый приток красноцветные отложения неогена взброшены не менее, чем на 30-40 м на аллювиальные галечники. На этом участке в поднятом крыле разлома в основании разреза, сложенного красноцветными алевролитами и песчаниками неогена, видны разлинзованные, будинированные терригенные отложения палеозойского возраста, отсутствующие как западнее, так и восточнее. Очевидно, амплитуда новейших перемещений по разлому на этом участке была максимальной [7].

Далее к востоку Центрально-Нарынский разлом прослеживается по правому борту вплоть до русла реки Нарын, которое он пересекает примерно в 700 м ниже по течению от створа плотины Нарынской ГЭС-1. Затем выраженный в рельефе разрыв протягивается еще как минимум на 4 км на восток, до дороги, ведущей в долину Малого Нарын.

К востоку от устья малого Нарына Центрально-Нарынский разрыв выражен хуже. Не исключено, что он распадается на несколько сближенных малоамплитудных ветвей, проходящих вдоль северного подножия отчетливо выраженного новейшего поднятия, рост которого привел к существенной перестройке рельефа на участке слияния рек Большой и Малый Нарын.

Это поднятие, в восточной части которого выработан antecedentный каньонообразный участок нижнего течения р. Большой Нарын, протягивается, постепенно расширяясь, на восток, примерно на 11 км до крутого поворота реки Бол. Нарын ниже устья его левого притока руч. Караташ. Очевидно, его воздымание привело, в том числе, к формированию каньона, в котором располагается створ будущей плотины Акбулунской ГЭС. Формирование выраженной в рельефе субширотной приразломной антиклинали в поднятом крыле Центрально-Нарынского разлома привело к тому, что первоначальная, субширотная долина реки Большой Нарын была брошена, и река выработала себе новое русло вдоль нижнего течения ее правого притока – ручья Чирпыкты. Судя по наличию крупных, хорошо окатанных валунов на гребне в седловине описанной субширотной гряды, к западу от вершины с отметкой 2729.3 м, когда-то именно здесь могла проходить приустьевая часть пра-долины Малого Нарына (Рис. 6), сливавшегося с пра-Большим Нарыном примерно на меридиане восточной окраины аила Таш-Башат [7].

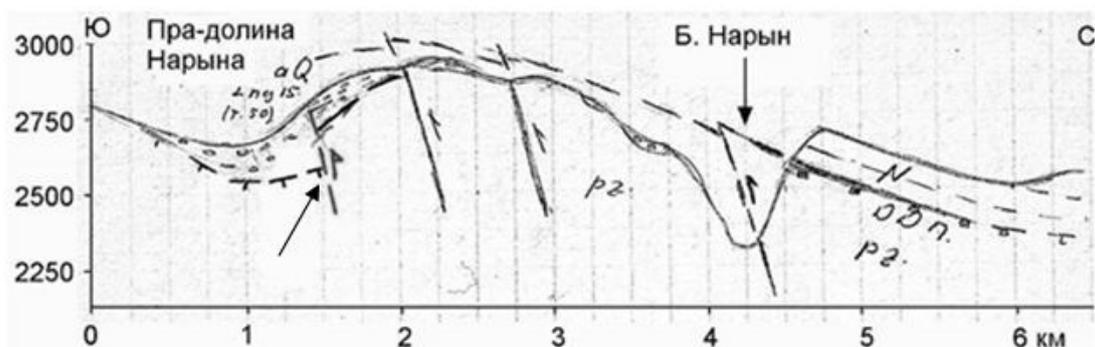


Рисунок 6 – Схематический профиль через растущую приразломную антиклиналь восточнее долины р. Ирису-Южная. Черной стрелкой показан основной шов Центрально-Нарынского разлома, по которому происходят наиболее молодые смещения. Движения по разрывам в его висячем крыле, по-видимому, завершились в конце неогена – начале четвертичного периода.

Выше по течению р. Б. Нарын от устья его левого притока ручья Караташ, Центрально-Нарынский разлом затухает, что хорошо отражается и на геологической карте (рис 1) [8].

Рассмотренный материал отражает несомненные признаки того, что в изученной нами части Центрально-Нарынского разлома в прошлом неоднократно происходили сильные землетрясения, приводившие к поверхностным смещениям. Предварительные данные свидетельствуют о том, что, возможно, одно из таких событий имело место в интервале между 5.4 ± 1 и 1.2 ± 0.3 тыс. лет назад. Что необходимо учитывать при проектировании важных объектов Верхне-Нарынского каскада ГЭС также необходимо проведение более детальных исследований, в том числе и траншейных работ в зоне разлома в непосредственной близости от объектов будущего строительства.

Литература

1. Шульц С.С. Анализ новейшей тектоники и рельеф Тянь-Шаня. М.: ОГИЗ Географгиз. 1948. 222 с.
2. Макаров В.И. Новейшая тектоническая структура Тянь-Шаня. М.: Наука. 1977. 169 с.
3. Чедия О.К. Морфоструктуры и новейший тектогенез Тянь-Шаня. Фрунзе: Илим. 1986. 312 с.
4. Абдрахматов К.Е., Томпсон С., Уилдон Р. Активная тектоника Тянь-Шаня. Бишкек: Илим. 2007. 71 с.
5. Thompson S.C., Weldon R.J., Rubin C.M., Abdrakhmatov K.E., Molnar P., Berger G.W. Late Quaternary slip rates across Tien Shan, Kyrgyzstan, Central Asia // Journal of Geophysical Research. 2002. Vol. 107. №. В9. 2203.
6. Корженков А.М. Сейсмогеология Тянь-Шаня (в пределах территории Кыргызстана и прилегающих районов). Бишкек: Илим. 2006. 289 с.
7. Отчет лаборатории сейсмотектоники ИС НАН КР за 2015г.
8. Геология СССР. Т. XXV. Киргизская ССР. Геологическое описание. Кн. 1. М.: Недра. 1972. 280 с.

УДК 551.240+531.1

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ЗЕМНОЙ КОРЫ ПО GPS ДАННЫМ

DEVELOPMENT OF METHODS FOR STUDYING DEFORMATION PROCESSES OF THE EARTH'S CRUST ACCORDING TO GPS DATA

Саламатина Ю.М., Кузиков С.И.

salam@gdirc.ru

Научная станция Российской академии наук, г. Бишкек, Кыргызстан

***Аннотация.** В работе рассматриваются подходы к детальному изучению вариаций длин базовых линий (БЛ) на основе данных непрерывных GPS наблюдений. Решение таких задач является основой для дальнейшего геодинамического анализа деформационных процессов земной коры, протекающих в пределах локальных площадок с комплексным геодезическим наблюдением. Ранее на нашем примере были выделены явно выраженные анизотропные деформации (С-Ю и В-З) с разно знаковыми изменениями длин на $6 \div 22$ (в среднем 12.3) мм базовых линий ($300 \div 360$ м). Произведение коэффициента корреляции на суммарную амплитуду модуля приращения длин БЛ для скользящего временного интервала позволило выделить на этих же данных еще и "изотропные" (равно-знаковые к сторонам света) деформационные события. В этих случаях изменение длин тех же БЛ составило $5 \div 17$ (в*

среднем 8.0) мм, при этом для этих деформационных событий не характерны закономерности в периодичности и продолжительности.

Ключевые слова: GPS данные, базовые линии, приращение длин, временной интервал корреляции, деформационное событие.

В 2016 г. по данным анализа вейвлет-спектрограмм для разно ориентированных БЛ IAT1-3 (С-Ю) и IAT3-5 (З-В) площадки Almaly (рис.1) установлено наличие анизотропных упругих деформаций с периодичностью ~370 дней [1].

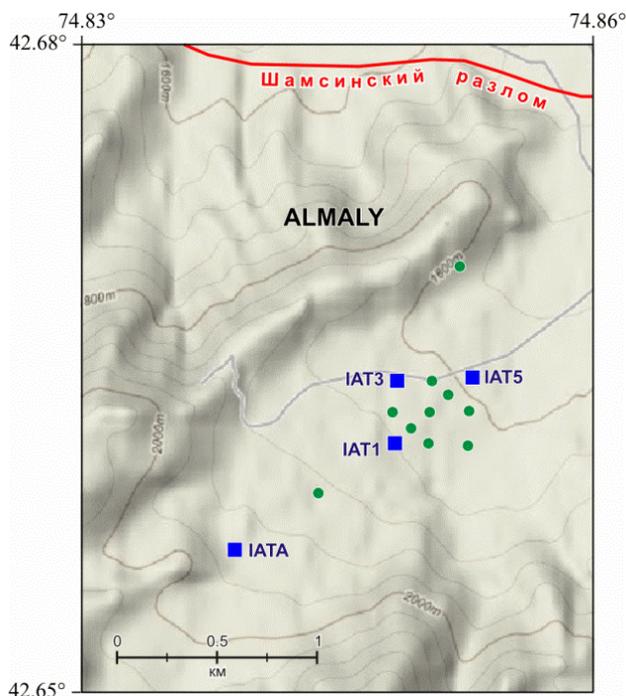


Рисунок 1 – В ~14 км восточнее НС РАН расположена геодезическая площадка. Almaly с 14 (квадратные и круглые маркеры) геодезическими многоцелевыми фундаментальными реперами. Синие квадратные маркеры – пункты постоянных GPS наблюдений.

Для этих разно ориентированных БЛ по спектрограммам Хаара определена обратная зависимость в проявлении деформации: в северном направлении регулярно проявляется удлинение, а в восточном – укорочение. В среднем начало каждого из деформационных событий приходится на 25 декабря (± 35 дней), среднее окончание событий приходится на 10 мая (± 45 дней). При этом средняя продолжительность деформационного цикла 4-5 месяцев, как правило, с запаздыванием на 20-30 дней событий по восточному направлению (IAT3-5). По направлению С-Ю максимальные приращения длин до 20-22 мм отмечаются в 2008 и 2014 гг., в остальных случаях увеличение длины БЛ в 301 м не превышают 7-10 мм. При этом в направлении В-З длина БЛ в 360 м уменьшалась на 8-16 мм (рис.2).

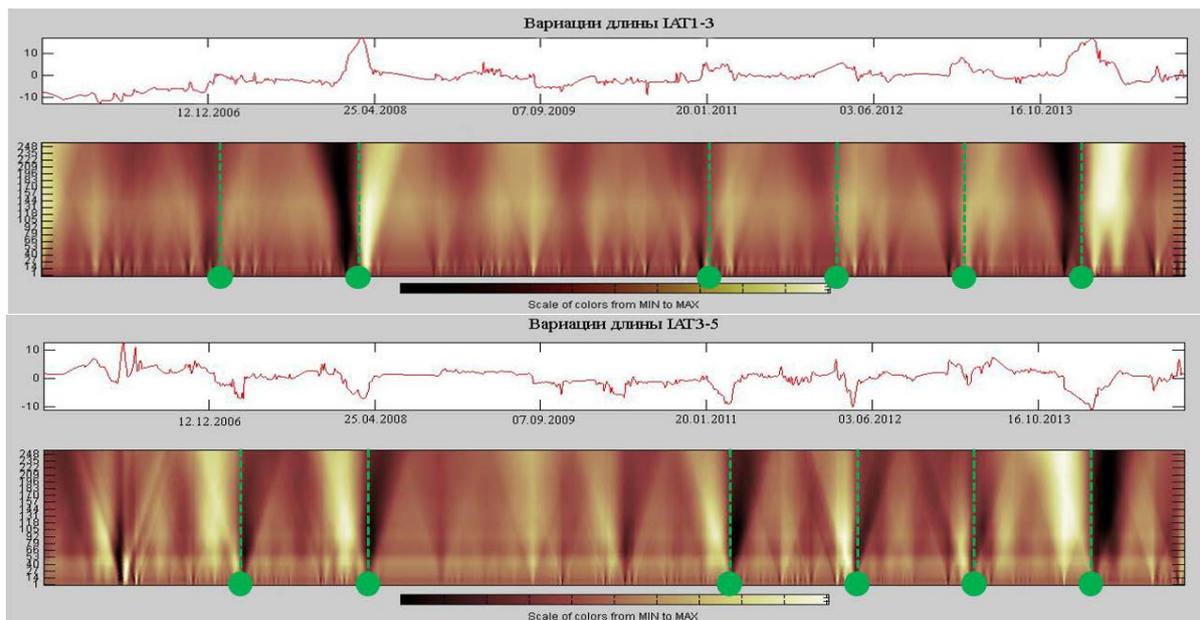


Рисунок 2 – Графики вариаций длин базовых линий совмещенные с вейвлет-спектрограммами (Хаара, MatLab). Верхний – для БЛ ИАТ1-3 (ср. дл. 301486.4 мм, С-Ю). Нижний – для БЛ ИАТ3-5 (ср. дл. 360335.6 мм, В-З). ● – экстремумы деформаций.

Подобный метод анализа позволил обозначить 6 наиболее значимых анизотропных деформационных процессов, повторяющихся с закономерной периодичностью. Но как видно из этих же спектрограмм (рис.2) временной ряд содержит менее значимые всплески с отличными особенностями деформации. Поэтому следующий наш шаг заключается в более детальном исследовании вариаций длин разно ориентированных БЛ площадки Almaly и их взаимосвязей. На пути к этому естественным образом встает задача подбора корректных инструментов для осуществления такого анализа, что и является целью данной работы.

В этой связи целесообразно продолжить анализ представленных ранее временных рядов (рис.3) центрированных длин БЛ, рассчитанных из геоцентрических картезианских координат XYZ, полученных в результате работы программы GAMIT/GLOBK в системе отсчета EURA-2008 за интервал наблюдений 2005-2014 гг.

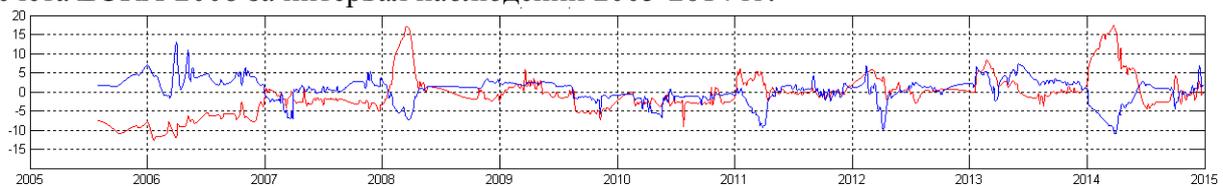


Рисунок 3 – Графическое представление исходных данных. Ось x – время (годы), ось y – вариации центрированных значений длин БЛ (мм). Красным цветом обозначена кривая, соответствующая БЛ ИАТ1-3, синим – БЛ ИАТ3-5.

В качестве основного инструмента анализа взаимосвязей между временными рядами БЛ мы использовали коэффициент корреляции Пирсона (KK), который характеризует меру линейной зависимости между двумя переменными величинами [2]. При этом для временных рядов, у которых вариации частоты и амплитуды проявлены неравномерно (рис.3), встает вопрос о выборе длины временного интервала (TIK) и шага его смещения ($STIK$) для массового расчета корреляции по временной шкале событий. От выбора этих величин будет зависеть вид графика изменения KK вдоль временной оси при сопоставлении вариаций длин БЛ (рис.3).

При одном и том же значении временного интервала корреляции $TIK=90$ дней увеличение $STIK$ уменьшает количество KK и теряется детальность характера линейной зависимости между вариациями длин БЛ (рис.4).

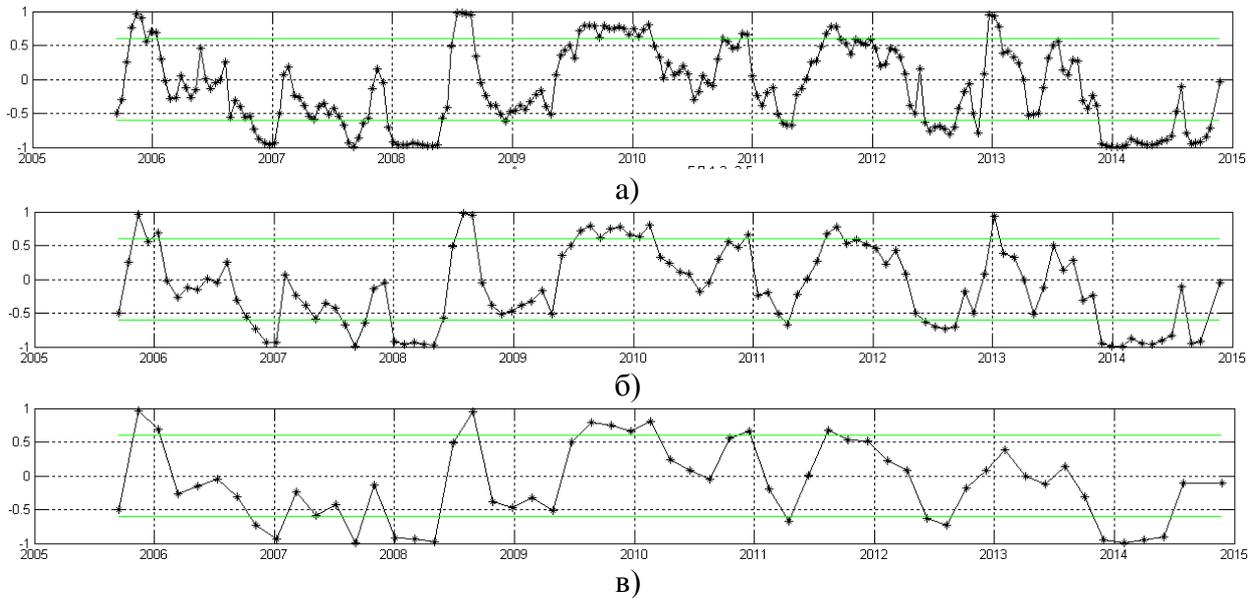


Рисунок 4 – Графики корреляции, рассчитанные на интервале $TIK=90$ дней при значениях шага смещения $STIK$ в днях: а) 15; б) 30; в) 60. Ось абсцисс – время (годы), ось ординат – значения коэффициента корреляции KK .

Из рассмотрения графиков KK рисунка 4 следует, что наиболее оптимальным для дальнейшего анализа представленных данных является шага смещения $STIK=30$ дней. Т.к. меньший диапазон 15 дней не привносит в график существенной детализации, а при большем значении 60 дней в графике теряется детальность.

Если же шаг смещения оставить неизменным $STIK=30$ дней, а при этом варьировать временным интервалом для расчета корреляции, то количество KK остается неизменным, но происходит изменение характера графика линейной зависимости между вариациями длин БЛ (рис.5).

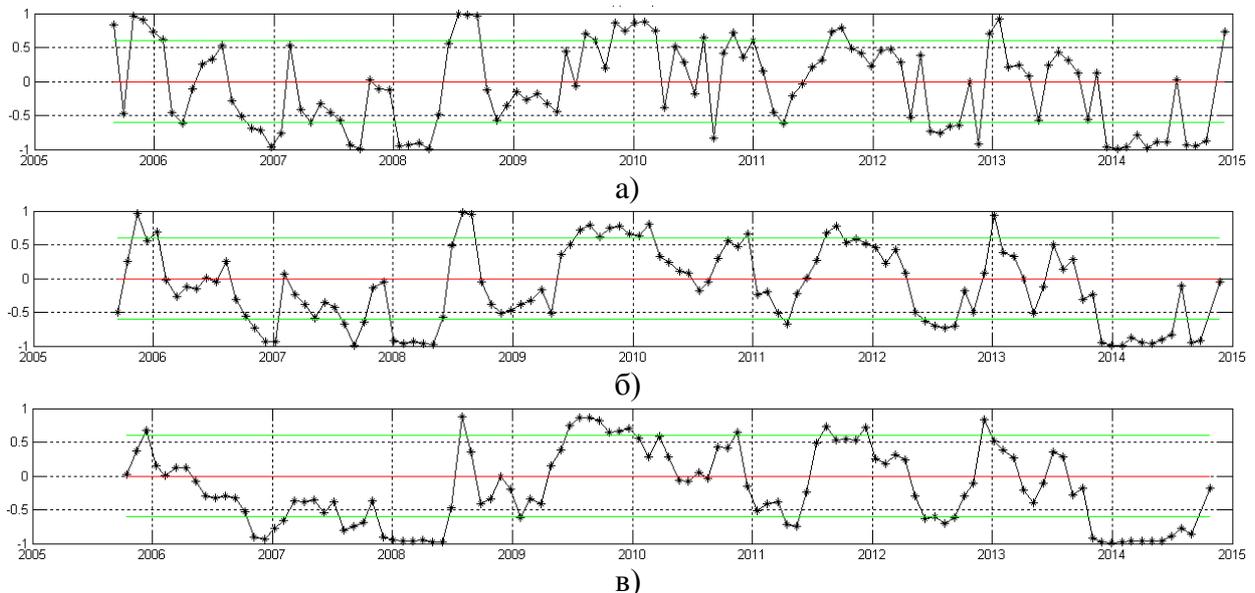


Рисунок 5 – Графики корреляции, рассчитанные для шага смещения $STIK=30$ дней при значениях временного интервала корреляции TIK в днях: а) 60; б) 90; в) 150. Ось абсцисс – время (годы), ось ординат – значения коэффициента корреляции KK .

Из рассмотрения графиков рисунка 5 следует, что с увеличением временного интервала для расчёта единичного KK происходит сглаживание вариаций графиков и

уменьшение экстремальных значений. Выбор одного временного интервала корреляции для дальнейшего анализа не представляется для нас целесообразным, т.к. здесь выделяются различные по длительности участки высоких значений корреляции. При этом уменьшение TIK способствует обозначению короткопериодных синхронных или асинхронных деформаций, но затушевывает более длительные. И наоборот – увеличение TIK обозначит более четко длительные деформации, но не покажет короткопериодные. Поэтому при дальнейшем анализе следует учитывать различные диапазоны TIK .

Следует отметить, что выделение даже целой непрерывной серии высоких значений KK не гарантирует наличие деформационных событий, представляющих интерес для дальнейшего анализа. Известны случаи, когда незначительные по амплитуде вариации длин БЛ имеют высокие значения KK , близкие по модулю к 1. Но такие ситуации не несут важной информации о деформационных процессах (рис.6).

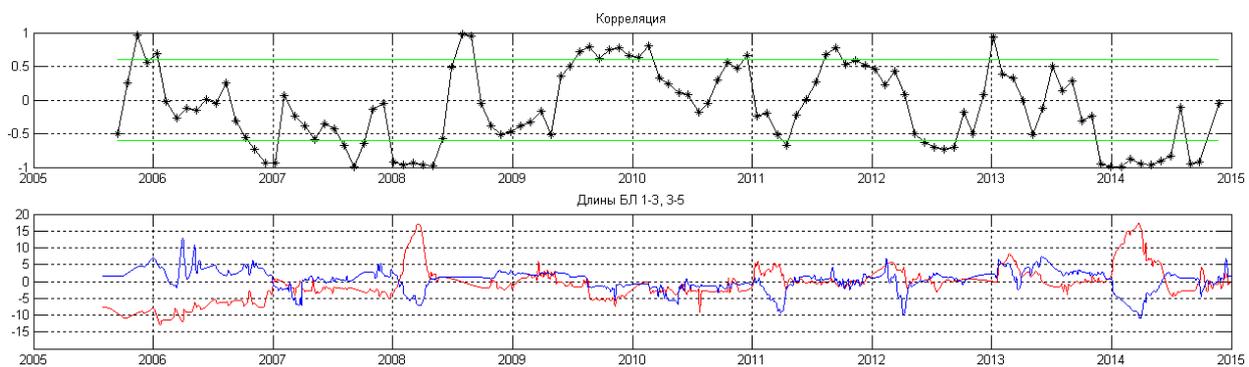


Рисунок 6 – Вертикальными линиями отмечен пример проявления высоких значений коэффициентов корреляции на временном диапазоне, где исходные данные не несут значимых деформационных вариаций.

Чтобы исключить из рассмотрения подобные ситуации необходимо учитывать и амплитудные характеристики исходных данных. Но при этом, можно по-разному рассчитывать параметр амплитудной характеристики. Например, для временного интервала корреляции TIK можно выделить размах между минимальным и максимальным значениями вариаций длин базовых линий. Или суммировать абсолютные приращения амплитуд (например, через 5 дней) на этом интервале корреляции TIK (рис.7).

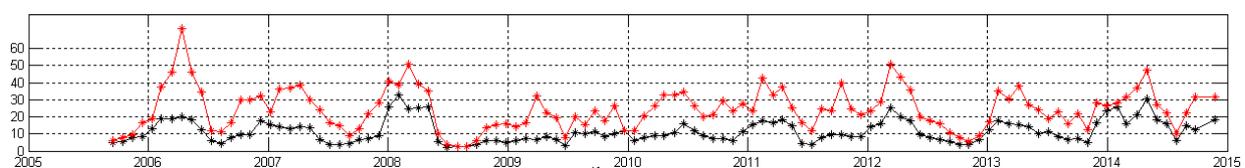


Рисунок 7 – Графики учета суммарного размаха амплитуд для 2-х БЛ при $TIK=90$ и $STIK=30$.

Черный – амплитуда = max – min; красный – сумма модулей амплитуд с шагом в 5 дней.

Из рисунка следует, что суммарное приращение длин дает более исчерпывающую информацию об амплитудных вариациях длин БЛ, чем размах между минимальным и максимальным значениями. Такую амплитудную характеристику вариаций длин БЛ предлагается умножить на соответствующее значение KK (рис.8).

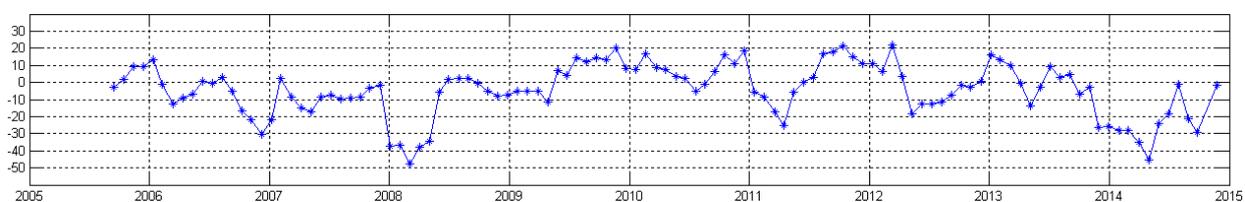


Рисунок 8 – График, полученный путем умножения коэффициентов корреляции (рис.5б) на значения суммарного приращения длин БЛ (рис.7, красный).

Таким образом, нами получен параметр, показывающий влияние не только KK , но и участие амплитудных характеристик изменения длин БЛ. При этом если значение суммарных амплитуд близко к нулю, то полученный коэффициент будет также малым, вне зависимости от значения корреляции. Если же значение корреляции близко к нулю, то полученный коэффициент будет небольшим при любом значении суммарной амплитуды.

Но полученный график (рис.8) отражает мультипликативный параметр (MP) только для одного значения $TIK=90$ дней. Если построить множество точек (аналогичных рис.8) для ряда значений $TIK=30, 60, 90, 120, 150, 180, 210$ дней, то получим облако (точек), отражающее деформационные процессы с учетом коэффициентов корреляции, суммарной величины деформации и временного масштаба рассмотрения (рис.9).

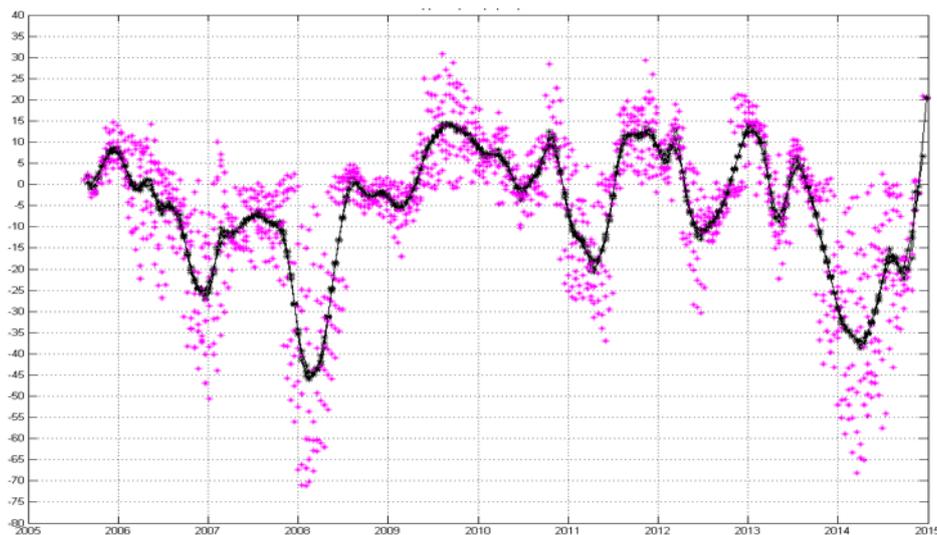


Рисунок 9 – Облако значений параметра MP (сиреневые крестики), учитывающего коэффициент корреляции, суммарную величину деформации и временной масштаба рассмотрения ($TIK=30,60,90,120,150,180,210$ дней). Черным цветом показано среднее параметра MP на интервале в 30 дней и с шагом 15 дней.

На данном рисунке отчетливо выделяются 6 деформационных событий, характеризующихся высокими значениями амплитуд и отрицательных KK , которые были детально описаны в [1]. На основе рисунка 9 можно составить набор количественных характеристик для этих анизотропных обратимых деформационных событий (табл. 1).

Таблица 1 – Количественные характеристики 6 анизотропных обратимых деформационных событий

Базовые линии	$\sum/\Delta A/$, мм	$A_{max} - A_{min}$, мм	MP_{max} , мм* KK	Характеристика деформаций		
				Начало	Экстремум	Окончание
A1-3	43.5	8.6	-50.6	10.06.2006	22.12.2006	21.04.2007
A3-5	53.5	13.3				
A1-3	66.7	22.1	-71.3	21.05.2007	08.02.2008	14.07.2008
A3-5	56.2	12.6				
A1-3	37.0	8.7	-37.0	01.12.2010	15.04.2011	13.07.2011
A3-5	32.0	11.1				
A1-3	24.3	5.6	-30.3	09.04.2012	23.06.2012	19.12.2012
A3-5	24.0	11.4				
A1-3	13.7	7.9	-22.4	05.03.2013	09.05.2013	05.07.2013
A3-5	22.9	9.8				

A1-3	91.1	21.7	-68.2	17.08.2013	30.03.2014	09.12.2014
A3-5	60.2	14.7				
Среднее	43.8	12.3	-46.6	21.04.	29.05.	19.08.

Здесь и далее обозначения параметров для временного интервала деформационного события: $\sum|\Delta A|$ – сумма модулей приращения длины БЛ с шагом в 5 дней; $A_{max}-A_{min}$ – максимальное значение интервала вариаций длины БЛ; MP_{max} – максимальное значение параметра MP . Из таблицы 1 следует, что по максимальному размаху изменения длин БЛ $A_{max}-A_{min}$ не отмечено принципиальных отличий от этого же параметра по всем деформационным событиям, полученным при анализе вейвлет-спектрограмм [1]. Однако по времени начала, экстремума и окончания событий наблюдаются разночтения, которые объясняются принципами выделения выше обозначенных деформационных событий. В [1] мы выделяли начало и окончание события по основному упругому деформационному всплеску. В этой же работе время начала, экстремума и окончания события определяется по параметру MP , который учитывает коэффициент корреляции и сумму модулей приращения длин БЛ. При этом уже не проявляется явно выраженная периодичность для деформационных событий и их длительность от 5 до 15 месяцев (в среднем 9.7).

На рисунке 9 помимо вышеописанных анизотропных событий можно выделить 6 изотропных в плане деформационных событий (табл.2), для которых параметр $MP > 10$ и разнонаправленные БЛ изменяли свои длины с одинаковым знаком.

Таблица 2 – Количественные характеристики для 6 изотропных обратимых деформационных событий

Базовые линии	$\sum \Delta A $, мм	$A_{max} - A_{min}$, мм	MP_{max} , мм*КК	Характеристика деформаций		
				Начало	Экстремум	Окончание
A1-3	10.5	4.9	14.6	28.09.2005	12.11.2006	10.02.2006
A3-5	12.1	5.5				
A1-3	41.3	10.4	30.7	26.04.2009	23.08.2009	20.04.2010
A3-5	30.0	8.4				
A1-3	33.9	9.4	28.4	02.09.2010	17.10.2010	29.01.2011
A3-5	17.4	4.3				
A1-3	28.2	7.5	29.3	30.06.2011	11.11.2011	09.07.2012
A3-5	71.2	16.9				
A1-3	16.6	8.5	21.1	19.10.2012	04.01.2013	04.04.2013
A3-5	24.4	8.9				
A1-3	12.3	6.0	10.5	20.05.2013	18.07.2013	30.09.2013
A3-5	13.1	5.7				
Среднее	25.9	8.0	22.4	27.07.	15.01.	03.05.

Из данных таблицы 2 следует, что изотропные деформационные события также не имеют четко выраженной периодичности, их продолжительность от 4 до 12 месяцев (в среднем 7.3). Помимо этого, средние максимальные амплитуды изменения длин БЛ при изотропных деформационных событиях в 1.5 раза меньше по сравнению с анизотропными деформациями.

Литература

1. Саламатина Ю.М., Кузиков С.И. Особенности проявления деформационных процессов на площадке Almaty по данным GPS наблюдений // Современная техника и технологии в научных исследованиях: Материалы докл. VIII Междунар. конф.

молодых ученых и студентов, г. Бишкек, 24-25 марта 2016 г. Бишкек: НС РАН. 2016. С. 222-227.

2. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. Учеб. пособие для вузов. 10-е изд., стер. М.: Высш. шк. 2004. 479 с.

УДК 550.34

ИЗУЧЕНИЕ СЕЙСМО-МАГНИТНЫХ СВЯЗЕЙ ПО ДАННЫМ ГРУППИРОВКИ СПУТНИКОВ SWARM

INVESTIGATION OF SEISMIC MAGNETIC RELATIONS USING DATA OF SWARM GROUP OF SATELLITES

Сералиев А.М.

alibek-seraliev@mail.ru

Институт ионосферы, Национальный центр космических исследований и технологий
г. Алматы, Казахстан

***Аннотация.** Приведена информация о группировке из трех спутников SWARM, запущенных в ноябре 2013г. Европейским космическим агентством на орбиты высотой ~460 и 530 км для высокоточного мониторинга, в том числе, для изучения структуры и динамики геомагнитного поля. Проанализированы вариации У-компоненты поля над районом эпицентра Каджисайского землетрясения, произошедшего 14 ноября 2014г. на территории Северного Тянь-Шаня. Показано, что спутник зарегистрировал изменение геометрии магнитного поля над районом эпицентра.*

***Ключевые слова:** землетрясение, геомагнитное поле, спутники SWARM.*

Введение. Согласно современным представлениям, процесс подготовки землетрясения связан с деформацией горной породы и накоплением в ней напряжения, мгновенная разрядка которого есть сейсмический толчок. Лабораторные эксперименты показывают [1], что при деформации кристаллической решетки горной породы появляются положительные проводники зарядов (положительные дырки), которые диффундируют из области с высоким напряжением геологической среды в область с низким напряжением и достигают земной поверхности, порождая направленное вверх электрическое поле и направленный вверх электрический ток. Математические модели отклика ионосферы на электрические поля и токи, генерируемые над районом подготовки очага землетрясения, разрабатывались во многих работах, например [2-4]. В ряде работ проведено тестирование разработанных моделей с использованием данных наземных и спутниковых измерений характеристик околоземного космического пространства (ОКП). Одним из недавних космических аппаратов, нацеленных на изучение предвестников землетрясений в характеристиках ОКП, был французский спутник «ДЕМЕТЕР», успешно проработавший в течение 6 лет с 2004 по 2010 гг. на орбите высотой ~660 км. В работе [5] была протестирована модель [3] по данным спутника DEMETER в связи с сильным землетрясением M7.7, произошедшим 5 июля 2008г в Охотском море. Было показано, что наблюдаемые вариации ионосферных параметров находятся в близком согласии с тем, что предсказывает математическая модель [3]. В 2013 г. Европейским Космическим Агентством была запущена на орбиту группировка спутников SWARM (рой, состоящий из трех спутников) для исследования, в том числе, геомагнитного поля. В настоящее время в Институте ионосферы разрабатывается ГИС технология для обработки и анализа спутниковых данных системы SWARM [6]. В этом докладе будет представлена краткая

информация о группировке спутников и приведен пример вариаций Y -компоненты геомагнитного поля над районом эпицентра Каджисайского землетрясения с $M_{pv} = 6.2$ (энергетический класс $K = 13.6$), произошедшего на Северном Тянь-Шане 14 ноября 2014 г. в 01:24:16 по Гринвичскому времени с глубиной гипоцентра 19 км.

Группировка спутников SWARM. Группировка спутников SWARM (рой, состоящий из трех спутников) - это миссия Европейского Космического Агентства для исследования ионосферы, магнитного поля Земли и его взаимодействия с солнечным ветром, а также проведение измерений и идентификация различных магнитных сигналов, которые исходят от земного ядра, земной коры, мантии, океанов, естественных и искусственных электромагнитных источников излучения [7]. Группировка запущена в ноябре 2013 года, предполагаемое время активного существования миссии – 4 года (+3 месяца увода с орбиты). В этой группировке два спутника (SWARM_A и SWARM_B) на одной орбите следуют друг за другом на начальной высоте 460 км и 300 км к концу миссии. Третий спутник (SWARM_C) летает на большей высоте - 530 км с немного другим наклоном орбиты. Орбиты спутников смещаются с течением времени таким образом, что третий спутник будет пересекать орбиты первых двух под углом 90° на третий год работы группировки.

На рис. 1 приведена фотография спутников группировки SWARM. Научные данные спутников загружаются через наземную станцию в Кируне (Швеция). Обработка осуществляется в центре Европейского Космического Агентства ESRIN, Фраскати, Италия. Доступ к данным группировки спутников SWARM организован на интернет портале <https://earth.esa.int/web/guest/swarm/data-access>.



Рисунок 1 – Внешний вид спутников группировки SWARM.

На рис. 2 показаны траектории пролета спутника SWARM-A с 13 по 14 ноября 2014 г., которые проходят последовательно вдоль всех меридианов и один оборот вокруг Земли занимает порядка полутора часов. На рис.3 приведены значения восточной (Y -компоненты) геомагнитного поля, измеренные спутником 13 и 14 ноября 2014 г. Видим, что над планетой на высоте ~ 460 км пространственно-временные вариации Y -компоненты изменяются в пределах от примерно +9000 нТл до -15000 нТл.

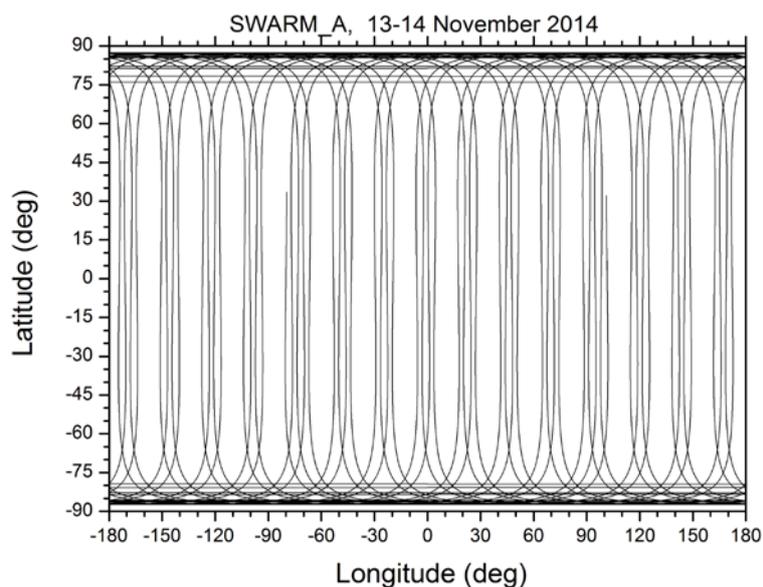


Рисунок 2 – Трассы пролета спутника SWARM-A с 13 по 14 ноября 2014 г.
<https://earth.esa.int/web/guest/swarm/data-access>.

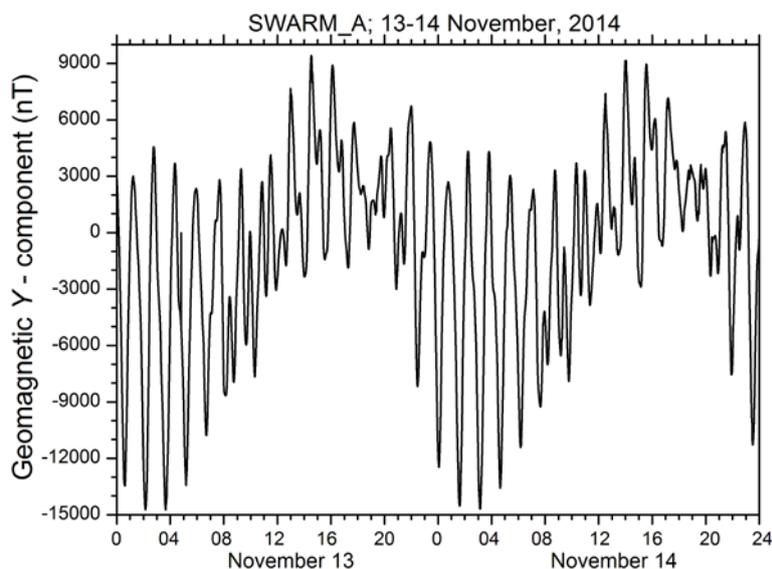


Рисунок 3 – Значения восточной (Y-компоненты) геомагнитного поля, измеренные спутником SWARM_A в период с 13 по 14 ноября 2014 г.
<https://earth.esa.int/web/guest/swarm/data-access>.

Вариации Y-компоненты геомагнитного поля над районом Каджисайского Мрв 6.2 землетрясения, произошедшего 14 ноября 2014 г. Согласно [8], 14 ноября 2014 г. в 07 час. 24 мин. 16,6 сек. по местному времени (01:24:16.6 по Гринвичскому времени) на северном Тянь-Шане на территории Южного Прииссыккуля произошло землетрясение силой 7 баллов – координаты 42.12°N; (77.22°E с энергетическим классом K=13.9 (магнитуда М_{рв} = 6.2) с глубиной очага 19 км. Эпицентр землетрясения был расположен на юго-западном склоне гор Тегерек в 2 км - к юго-востоку от поселка Каджи-Сай, 1,5 км - к юго-западу от вершины горы Санчик и 1 км - от урочища Каджи-Саз. Ощутимые сотрясения охватили значительную площадь Северного Кыргызстана и Казахстана: от города Каракол - на востоке, до города Бишкек – западе; от города Нарын - на юге, до города Алматы - на севере.

На рис. 4 синим кружком указан эпицентр Каджисайского землетрясения, а цветными линиями (с указанием номеров) показаны трассы пролетов спутника SWARM_A 13 и 14

ноября 2014 г. над территорией вблизи эпицентра, ограниченной по широте 35°N - 50°N и по долготе 60°E -100°E. В течение двух суток (13 и 14 ноября) спутник пересекал данную территорию 8 раз, двигаясь либо с севера на юг, либо с юга на север, время каждого пролета над изучаемой территорией составляло примерно 4 минуты. Данные о 8 пролетах спутника SWARM_A приведены в таблице 1.

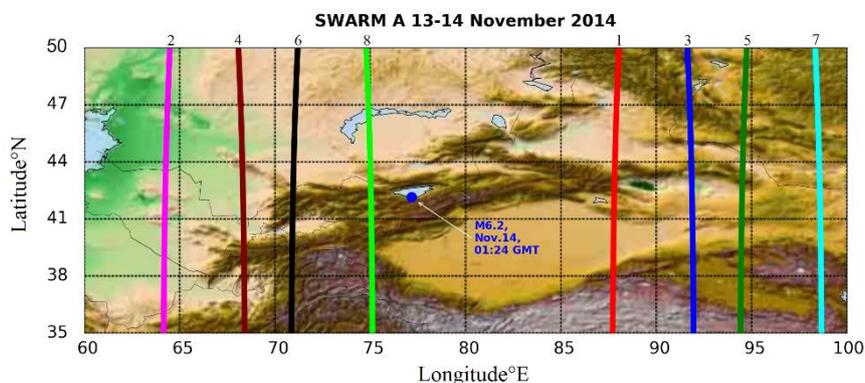


Рисунок 4 – Трассы спутника SWARM_A (цветные линии) 13 и 14 ноября 2014 г. вблизи эпицентра Каджисайского землетрясения (синий кружок).

Таблица 1 – Дата, время, и меридиан пересечения 13 и 14 ноября 2014 г. спутником SWARM_A широтной зоны 35°N-50°N

Номер пролета	Дата, время (GMT), меридиан
1	13 ноября 01:04:54 – 01:08:48; ~88°E
2	13 ноября 02:38:46 – 02:42:39; ~64°E
3	13 ноября 12:26:36 – 12:30:30; ~92°E
4	13 ноября 14:00:28 – 14:04:22; ~68°E
5	14 ноября 00:32:49 – 00:36:43; ~94°E
6	14 ноября 02:06:41 – 02:10:34; ~71°E
7	14 ноября 11:54:31 – 11:58:25; ~98°E
8	14 ноября 13:28:23 – 13:32:16; ~75°E

Сопоставляя данные в табл. 1 с рис. 4 видим, что менее чем за час до сейсмического толчка (14 ноября в 00:32:49 – 00:36:43 GMT) трасса спутника проходила по меридиану ~94°E (пролет № 5), что примерно на 17 градусов восточнее долготы эпицентра (77.22°E). Затем, примерно через полчаса после сейсмического толчка спутник пролетал вдоль меридиана ~71°E (14 ноября в 02:06:41 – 02:10:34 GMT пролет № 6), что примерно на 6 градусов западнее долготы эпицентра. Оба пролета проходили в достаточное близкое время (пересекали широту эпицентра 42.12°N в 00:34:40 и 02:08:32 GMT, соответственно), поэтому временные вариации геомагнитного поля не должны быть слишком значительными. Приблизительно в то же время по Гринвичу проходили пролеты под номерами 1 и 2 (13 ноября в 01:04:54 – 01:08:48 и 02:38:46 – 02:42:39). Как видно из таблицы, долготный диапазон трасс для пролетов 1, 2, 5, 6 составляет порядка 30 градусов, поэтому значения U -компоненты, измеренные восточнее эпицентра (пролеты 1 и 5) могут отличаться от значений, измеренных западнее эпицентра (пролеты 2 и 6). Чтобы проверить это предположение, проанализируем рис. 5, где представлены ежесекундные значения U -компоненты над изучаемой территорией для пролетов 1, 2, 5 и 6. Во-первых, видим, что в каждом пролете значения U увеличиваются с увеличением широты, что отображает эффект широтных вариаций геомагнитного поля. Во-вторых, хорошо заметно, что для пролетов 1 и 2, которые проходили перед землетрясением, т.е. в сейсмически спокойный период, U -компонента с западной стороны от эпицентра (пролет 2) была больше, чем с восточной

стороны от эпицентра (пролет 1) на всех широтах примерно на одну и ту же величину ~1500 нТл. В то же время, если сравнить значения U -компоненты для пролета 5 (до землетрясения) и пролета 6 (после землетрясения), то не трудно заметить, что разность в значениях U не остается постоянной с широтой, а существенно изменяется: южнее эпицентра разность существенно меньше, чем севернее от эпицентра. Этот результат позволяет предположить, что в связи с землетрясением происходило изменение геометрии магнитного поля над районом сейсмического очага.

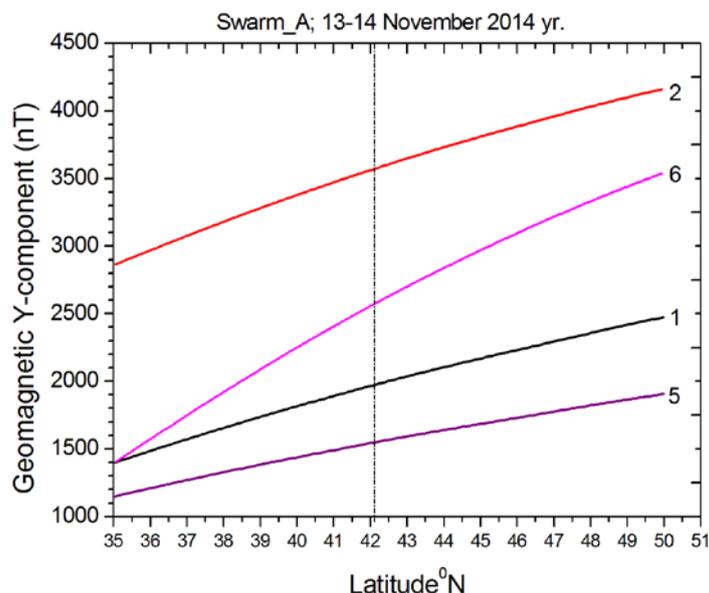


Рисунок 5 – Изменения U -компоненты геомагнитного поля вдоль трасс 1, 2, 5 и 6 пролетов спутника SWARM_A 13 – 14 ноября 2014 г. в широтной зоне 35⁰N-50⁰N.

Из табл. 1 видно, что четыре других пролета спутника SWARM_A (3, 4, 7, 8) примыкали к другому интервалу времени (12-14 GMT). На рис. 6 приведены ежесекундные значения U -компоненты над изучаемой территорией для этих пролетов.

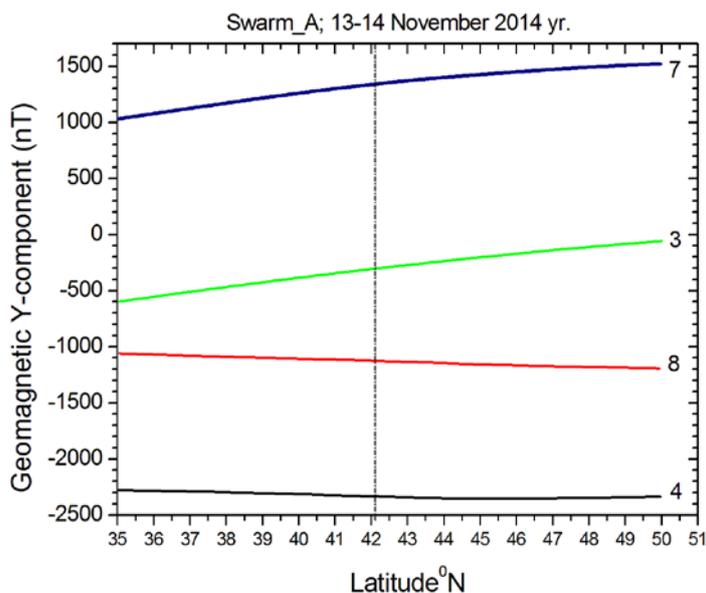


Рисунок 6 – Изменения U -компоненты геомагнитного поля вдоль трасс 3, 4, 7 и 8 пролетов спутника SWARM_A 13-14 ноября 2014 г. в широтной зоне 35⁰N-50⁰N.

Как следует из табл. 1 и рис. 2, пролеты 3 и 7 проходили до землетрясения восточнее его эпицентра. Рис. 6 показывает, что в этой области долгот значения U -компоненты

увеличивались с широтой в положительную сторону, а пролеты 4 и 8 проходили западнее эпицентра и в этой области долгот значения Y увеличивались с широтой в отрицательную сторону. Трассы пролетов 4 и 8 наиболее близко располагались к эпицентру, поэтому широтные вариации Y -компоненты в 4 и 8 пролетах были проанализированы более детально.

На рис. 7 представлены значения производной Y -компоненты ($Y_Differentiate$) для пролетов 4 и 8, которые отображают скорость изменения значений Y с широтой. На рис. 7 вертикальные линии маркируют широту эпицентра на земной поверхности (черная) и проекцию вдоль геомагнитной силовой линии на высоту 460 км (красная). Как видим, проекция эпицентра на высоту орбиты спутника сдвинута по широте к югу от эпицентра примерно на 2 градуса. На рис. 7 заметные расхождения в скорости изменения с широтой значений Y -компоненты до землетрясения (черная кивая) и после (красная). В районе проекции эпицентра на высоту орбиты, скорость широтных вариаций Y -компоненты заметно уменьшилась после землетрясения по сравнению с той, что была до землетрясения. Этот результат также говорит о том, что в связи с Каджисайским землетрясением геометрия магнитного поля над районом эпицентра изменялась.

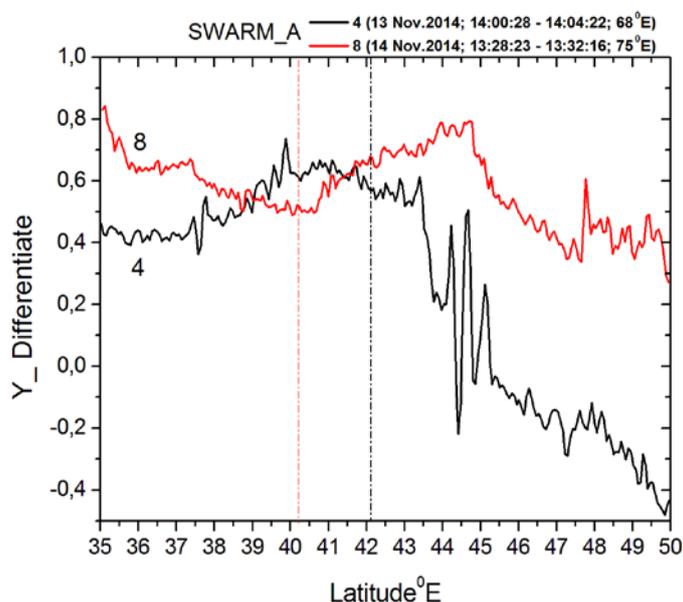


Рисунок 7 – Широтные вариации производной от Y -компоненты геомагнитного поля по данным 4 и 8 пролетов спутника SWARM_A.

Вывод. Высокоточные измерения геомагнитного поля с периодичностью 1 секунда спутником SWARM-A над районом эпицентра Каджисайского землетрясения, произошедшего 14 ноября 2014 г., зарегистрировали изменение геометрии поля в регионе в связи с сейсмическим событием. Результат говорит о целесообразности более глубоких исследований в этом направлении, с включением в анализ данных всех компонент поля (X , Y , Z), измеренных каждым из трех спутников SWARM, что и предполагается делать в дальнейшем.

Благодарности. Выражаем большую благодарность д.ф.-м.н. Хачикян Г.Я. за постановку задачи и курирование работы, и Николаевскому Н. Ф. за методические рекомендации при обработке данных спутника SWARM-A.

Работа выполнена по программе 101 «Грантовое финансирование научных исследований» в рамках темы «Математическое моделирование очаговых зон и литосферно-ионосферных связей с использованием геоинформационных спутниковых технологий» (Грант 0079/ГФ).

Литература

1. Freund, F. Toward a unified solid state theory for pre-earthquake signals // Acta Geophys. – 2010.- V.58. - P. 719–766.
2. Sorokin, V.M., Chmyrev, V.M., Yaschenko, A.K. Theoretical model of DC electric field formation in the ionosphere stimulated by seismic activity // J. Atmos. Sol. Terr. Phys. – 2005. V.67. P. 1259–1268.
3. Kuo C.L., Huba J.D., Joyce G., Lee L.C. Ionosphere plasma bubbles and density variations induced by pre-earthquake rock currents and associated surface charges // J. Geophys. Res. - 2011.-V.116. - A10317. - doi:10.1029/2011JA016628.
4. Namgaladze A.A., Klimenko M.V., Klimenko V.V., Zakharenkova I.E. Physical mechanism and mathematical modeling of earthquake ionospheric precursors registered in total electron content // Geomagnetism and Aeronomy. – 2009. – V.49. -#2. – P.252-262. - doi:10.1134/S0016793209020169.
5. Хачикян Г. Я., Ким А. С., Инчин А.С., Лозбин А. Сейсмо-ионосферные связи: вариации электронной температуры и электронной концентрации по данным ИСЗ DEMETER. // Известия НАН РК. Серия физическая. 2015. №4. С.71-78.
6. Ким А.С., Инчин А.С., Николаевский Н.Ф., Инчин П.А., Сералиев А.М. О геоинформационной системе для исследования предвестников сильных землетрясений по данным группировки спутников SWARM // Вестник КазНИИСА. 2016. №10. С. 34-41.
7. Спутники Swarm следят за изменениями магнитного поля Земли. Интернет ресурс: http://www.bbc.com/russian/science/2016/05/160511_swarm_earth_magnetism 12 мая 2016 г.
8. Гребенникова В.В., Фортуна А.Б. Каджисайское землетрясение 14 ноября 2014 года. Интернет ресурс: http://mes.kg/upload/kniga_2015/book_rus089.html.

УДК 551.243

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ТЕКТОНИЧЕСКИХ РАЗЛОМОВ

THE USE OF REMOTE SENSING TECHNOLOGY TO DETECT TECTONIC FAULTS

Серикбаева Э.Б., Виляев А.В.

Serikbayeva088@gmail.com, vilayev@gmail.com

Национальный центр космических исследований и технологий.

ДТОО «Институт ионосферы», Алматы, Казахстан.

Аннотация: В данной работе представлено исследование линеаментов Северного Тянь-Шаня с использованием мультиспектральных спутниковых изображений Landsat и стандартных географических информационных систем.

Ключевые слова: Дистанционное зондирование, тектонический разлом, линеамент.

Обнаружение тектонических разломов является важным элементом в структурной геологии. Кроме того, активные разломы трассируются линейно ориентированными зонами сосредоточения эпицентров землетрясений, что представляет значительный интерес в изучении сейсмоактивных территорий. Картирование подобных разрывных нарушений возможно методом линеаментного анализа по спутниковым данным. Под линеаментом понимается региональный, линейно ориентированный элемент структуры и рельефа земной коры, длина которого во много раз превышает ширину. Устанавливается по различиям

фототона, обусловленными геологическими, физико-географическими признаками и особенностями ландшафта, выраженными на космическом снимке. Линеаменты рассматриваются как отражение глубинных разломов в земной коре [1].

В работе представлено исследование линеаментов Северного Тянь-Шаня с использованием мультиспектральных спутниковых изображений Landsat и стандартных географических информационных систем (ГИС). Целью работы является опробование методики автоматизированного выделения линеаментов на основе данных дистанционного зондирования [2].

Было опробовано два метода. Первый основан на применении программного модуля автоматического извлечения линеаментов линии PCI Geomatica. Второй метод включал цифровую фильтрацию панхроматической полосы в программе ENVI 4.8 для улучшения отображения границ. Географические информационные системы ArcGIS 11 применялись для геопространственного анализа и подготовки окончательной карты линеаментов. Параметры автовыделения определялись в LINE модуле PCI Geomatica. Алгоритм модуля состоял из выполнения трех этапов: выделение антропогенных объектов для исключения из последующего анализа; определение границ водных поверхностей; выявление линеаментов с конвертацией в векторную форму. Использовались шесть дополнительных параметров РАДИ, GTHR, LTHR, FTHR, ATHR и DTHR, включенных в модуль LINE.

Методика данного исследования состояла из нескольких последовательных шагов: 1) выбор подходящей полосы Landsat ETM+ 2) предварительная обработка 3) выявление направленных линеаментов с использованием свертки Собель фильтра для формирования оценки линеаментов в четырех основных направлениях 4) по выявленным линеаментам расчет их плотности в заданных направлениях 5) анализ полученной линеаментной карты [3].

Установлено, что зоны повышенной плотности линеаментов пространственно совпадают с крупными тектоническими разломами. Дополнительно выделены скрытые предполагаемые разломы, подтверждение которых требует наземных полевых геолого-геофизических исследований.

Разработанная методика на примере Северного Тянь-Шаня показала эффективность применения автоматизированного линеаментного анализа в картировании глубинных разломов. При этом необходимость ручного интерпретационного анализа в автоматизированной обработке сохраняется.

Литература

1. Бондур В.Г., Зверев А.Т. Методы прогнозирования землетрясений на основе линеаментного анализа космических изображений // ДАН. 2004. Т. 402. № 1. С. 1-8.
2. Бондур В.Г., Зверев А.Т. Космический метод прогноза землетрясений на основе динамики систем линеаментов // Исследование земли из космоса. 2005. № 3. С. 1-16.
3. Rayan Ghazi. Thannoun Automatic Extraction and geospatial analysis of lineaments and their tectonic Significance in some areas of Northern Iraq using Remote Sensing techniques and GIS. Iraq 2013. Vol. 2., ISSUE 2.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОЛЯ НАПРЯЖЕНИЙ НА СОЛЯНОМ РУДНИКЕ В СОЛИКАМСКЕ

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF STRESS FIELD PARAMETERS AT THE SALT MINE IN SOLIKAMSK

Скулкин А.А.

chupptt@yandex.ru

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала, г. Новосибирск, Россия

***Аннотация.** Строительство и эксплуатацию современного горного предприятия трудно представить без комплекса геомеханических исследований, важная составная часть которых — изучение напряженного состояния массива горных пород в условиях естественного залегания. Использование частных гипотез А. Гейма, А. Н. Динника и др. о виде напряженного состояния породного массива не всегда оправдано для больших глубин и совершенно неприемлемо в тектонически активных районах. Обширные экспериментальные результаты подтверждают этот, теперь уже общепризнанный факт, натурный эксперимент остается, пожалуй, единственной возможностью количественно оценить напряжения в нетронутым массиве. В настоящей статье приведены результаты экспериментальных исследований по определению параметров действующего поля напряжений, выполненные методом гидроразрыва скважин на руднике СКРУ-2 ПАО «Уралкалий».*

***Ключевые слова:** массив калийных солей, контроль напряжений, гидроразрыв пород в скважине, щелеобразователь.*

Классическая схема определения напряжений по данным гидроразрыва строится на предположении, что ось скважины ориентирована в направлении одного из главных напряжений исходного поля (обычно за главное принимают вертикальное направление) [1]. По величине давлений разрыва пород при первом нагружении, запираения и раскрытия трещины при повторных нагружениях определяют наименьшую и наибольшую компоненты главных напряжений в плоскости, ортогональной оси скважины. Очевидно, что по измерениям в одной скважине не удастся определить все компоненты исходного поля напряжений.

В [2] получены выражения для определения компонент действующих в массиве напряжений по результатам измерительного гидроразрыва в разноориентированных скважинах. Выбор расчетных формул зависит от соотношения вертикальной и горизонтальных составляющих поля напряжений, т.е. необходимо предварительно выполнять серию опытов вне зоны влияния выработки с целью определения величины и ориентации двух главных напряжений, что трудоемко и требует дополнительной оценки достоверности полученных данных. Кроме этого вертикальная составляющая поля напряжений может не являться главной и, как следствие, описанная расчетная схема метода становится неприемлемой.

В связи с вышеизложенным, практический интерес представляет возможность расчета компонент действующих в массиве напряжений по данным направленного гидроразрыва, выполненного в произвольно ориентированных измерительных скважинах.

Постановка задачи. Определение напряженного состояния пород вокруг выработок сводится к вычислению компонент напряжений и перемещений вокруг некоторой полости, находящейся под действием объемных и поверхностных сил. При этом, поскольку один из размеров выработок – их длина, объемная задача может быть сведена к плоской, то есть к рассмотрению распределения напряжений лишь вокруг поперечного сечения выработки [3].

Будем рассматривать выработку круглой формы, которая широко распространена для вертикальных стволов, кроме того, во многих случаях, практически достаточно знать приближенную картину распределения напряжений и тогда вместо реального сечения выработки можно рассматривать окружность.

На рисунке 1 приведена схема измерительного гидроразрыва, в которой из горной выработки круглого сечения радиусом r_0 проведены три скважины. Ориентация векторов главных напряжений p и q неизвестна. Пусть первая скважина составляет с одним из главных напряжений некоторый, заранее неизвестный, угол α . Углы β_1 и β_2 между скважинами известны. Длины скважин от центра выработки до места проведения гидроразрыва и величины давлений, определяемые методом измерительного гидроразрыва, составляют, соответственно, r_1, r_2, r_3 и P_1, P_2, P_3 .



Рисунок 1 – Схема измерительного гидроразрыва с тремя произвольно ориентированными скважинами.

Необходимо определить величину и ориентацию векторов главных напряжений по данным трех измерительных скважин с учетом следующих допущений:

- форма выработки остается симметричной;
- трещина гидроразрыва перпендикулярна оси скважины;
- среда является однородной;
- скважины гидроразрыва не влияют на напряжение в массиве.

Расчет искомых напряжений. В данной постановке задача сводится к определению напряженного состояния вокруг круглой выработки в неравнокомпонентном поле внешних напряжений, решение которой получено Киршем [4]:

$$\sigma_{rr} = \frac{p+q}{2} \left(1 - \frac{r_0^2}{r_i^2}\right) + \left(\frac{p-q}{2}\right) \left(1 - 4 \frac{r_0^2}{r_i^2} + 3 \frac{r_0^4}{r_i^4}\right) \quad (1)$$

где σ_{rr} – компонента напряжения на окружности радиуса r_i , θ_i – угол между направлением одного из векторов главного напряжения и радиусом r_i .

Подставим в уравнение (1) данные по каждой скважине:

$$\begin{cases} P_1 = A a_1 + B b_1 \cos 2\alpha \\ P_2 = A a_2 + B b_2 \cos(2\beta_1 + 2\alpha) \\ P_3 = A a_3 + B b_3 \cos(2\beta_2 + 2\alpha) \end{cases} \quad (2)$$

где $A = \frac{p+q}{2}$, $B = \frac{p-q}{2}$, $a_i = 1 - \frac{r_0^2}{r_i^2}$, $b_i = 1 - 4 \frac{r_0^2}{r_i^2} + 3 \frac{r_0^4}{r_i^4}$, $i = 1, 2, 3$.

При решении системы (2) относительно неизвестных A , B и $\cos 2\alpha$ используем следующие преобразования и замены переменных:

$$\begin{cases} c_1 = a_2 b_3 \sin 2\beta_2 - a_3 b_2 \sin 2\beta_1 \\ c_2 = P_2 b_3 \sin 2\beta_2 - P_3 b_2 \sin 2\beta_1 \\ c_3 = b_3 b_2 \sin(2\beta_2 - 2\beta_1) \end{cases} \quad (3)$$

$$g_1 = \frac{c_2 a_1 - P_1 c_1}{c_3 a_1 - b_1 c_1}.$$

С учетом (3) определяем:

$$A = \frac{P_1 - g_1 b_1}{a_1}.$$

Далее, используя подстановки

$$c_4 = P_2 - A a_2, g_2 = \frac{g_1 b_2 \cos 2\beta_1 - c_4}{b_2 \sin 2\beta_1}$$

получаем:

$$B = \sqrt{g_1^2 + g_2^2} \cdot \cos 2\alpha = g_1 / B.$$

Искомые величины главных напряжений и угол между скважиной 1 и вектором главного напряжения q определяем из выражений:

$$q = A - B, p = A + B, \alpha = \frac{1}{2} \arccos g_1 / B.$$

На основе полученного решения составлена программа в Visual C++, позволяющая по данным измерительного гидроразрыва в трех произвольно ориентированных скважинах определять величину и ориентацию главных напряжений. Выполнены тестовые расчеты, позволившие оценить погрешность определения величины главных напряжений и угла α в зависимости от точности проведения скважин под заданными углами β_1 и β_2 . На рисунке 2, в качестве примера, приведены расчетные значения погрешности при отклонениях угла β_1 между скважинами 1 и 2. Анализ расчетов показывает, что отклонения угла β_1 в пределах $1,2^\circ$ приводят к погрешности определения угла α в пределах 5 %, при этом погрешность определения величин p и q не превышает 3 %.

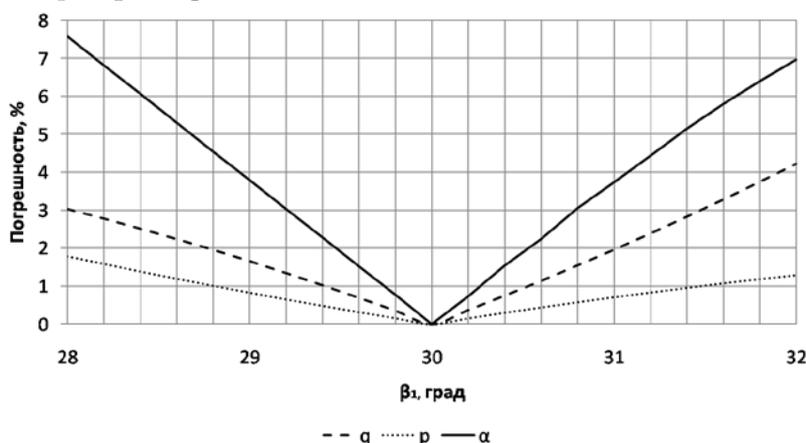


Рисунок 2 – Погрешность определения главных напряжений при отклонениях угла β_1 .

Выбор и испытание специального бурового инструмента для выполнения измерительных скважин. Буровой снаряд для проведения скважин диаметром 76 мм. Как уже отмечалось ранее, буровая скважина в методе гидроразрыва является частью измерительной системы и от ее состояния зависит качество эксперимента. Экспериментальные работы, проведенные на рудниках СКРУ-3 в 2015 г. показали, что выполнить в соляном массиве прямолинейные измерительные скважины с качественной поверхностью и заданными геометрическими параметрами без специального инструмента – проблематично. В связи с этим выполнено проектирование, изготовление и испытание специальных буровых снарядов для проходки измерительных скважин. Были изготовлены два буровых снаряда, отличающиеся расположением шнека и калибратора (рис. 3).

Снаряд состоял из буровой коронки 75 мм, забурника, калибратора на диаметр 76 мм и буровой штанги со шнеком диаметром 74 мм. Испытание этих снарядов проведено на рудниках СКРУ-1 и 2. Результаты испытаний следует признать неудовлетворительными – очистка скважин от штыба получалась не достаточной. По-видимому, калибрующий элемент препятствовал выходу штыба. При испытаниях один снаряд был сломан, второй –

заклинило в скважине. Помимо этого, наличие начального участка скважины большого (до 100 мм) диаметра приводило к биению бурового става при бурении основного участка измерительной скважины и нарушению ее геометрии. Конструкция бурового прибора была упрощена. Дальнейшее успешное применение на рудниках СКРУ-1 и 2 получила конструкция на базе специальной трехпёрой буровой коронки КДС 76/сп33 (разработка ООО «Горный инструмент», г. Новокузнецк) диаметром 76 мм и 60-сантиметровой штанги со шнеком диаметром 74 мм (рис. 4).

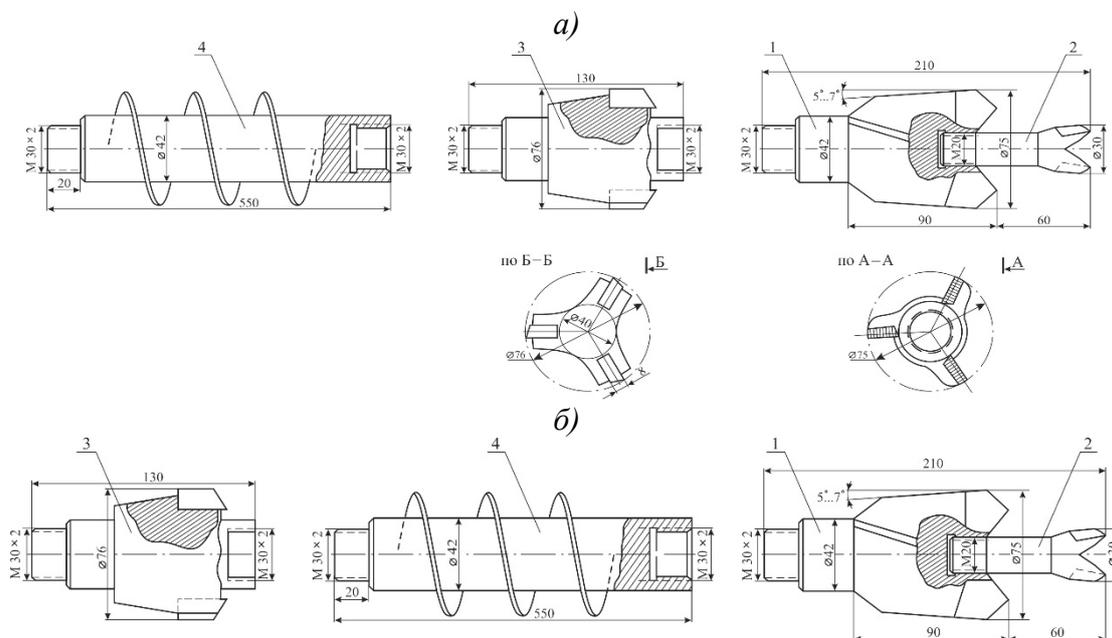


Рисунок 3 – Эскизы вариантов комплектации бурового прибора: 1 – буровая коронка диаметром 75 мм; 2 – забурник; 3 – калибратор диаметра скважины 76 мм; 4 – шнек, расположенный за калибратором (а), перед ним (б).

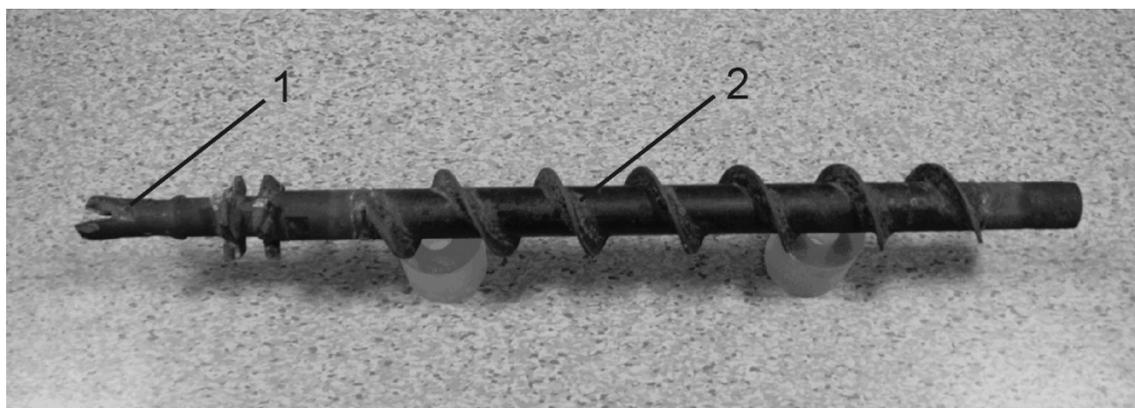


Рисунок 4 – Общий вид бурового прибора: 1 – забурник на базе коронки КДС 76/сп33; 2 – буровая штанга со шнеком.

С использованием этого инструмента выполнен основной объем измерительных скважин.

Устройства для создания инициирующих щелей в скважинах. При экспериментальном определении напряжений была использована технология проведения тестов гидроразрыва, включающая бурение скважин на глубину до 10 метров, нарезание дискообразных инициирующих щелей в стенках скважин, герметизацию их локальных участков специальным уравновешенным пакерным устройством, включая участки с нарезанными щелями. Для нарезания дискообразных инициирующих щелей в стенках скважин применены специальные устройства, в конструкции которых были учтены физико-

механические свойства соляного массива и условия проведения буровых работ. Вариант одного из таких устройств приведен на рис. 5. Оно состоит из корпуса 1, штока 2, ножа 3, оси 4, возвратной пружины 5, окна 6, уклона 7, стопорной гайки 8, регулировочной гайки 9, рабочей пружины 10, шайбы 11, штифта 12, хвостовика 13 и забойного наконечника 14. Выход ножа из корпуса позволяет нарезать дискообразные полости на стенках скважин диаметром до 150 мм.

Работа устройства происходит в следующей последовательности. Хвостовиком 13 устройство навинчивается на штангу бурового станка и, используя осевую подачу, без вращения вводится в скважину до упора забойного наконечника 14 в забой. После досылки устройства в скважину включают вращатель бурового става станка и осевую подачу из расчета 1/50 мм/об. Поскольку забойный наконечник 14 штока 2 неподвижен, корпус 1 с уклоном 7 совершает осевое перемещение, сжимая пружину 10. При этом нож 3 скользит по надвигающемуся в его сторону уклону 7, поворачиваясь на закрепленной оси 4, растягивает пружину 5 и выдвигается из корпуса через окно 6. Выдвижение ножа из корпуса, совмещенное с вращением корпуса, приводит к нарезке в стенке скважины дискообразной инициирующей щели.

После нарезания щели вращение бурового става прекращают и медленно ($V \approx 200$ мм/мин) перемещают его на 0,5 м по направлению к устью скважины. Такое перемещение необходимо и достаточно для втягивания ножа 3 внутрь корпуса 1 под действием пружин 5 и 10.

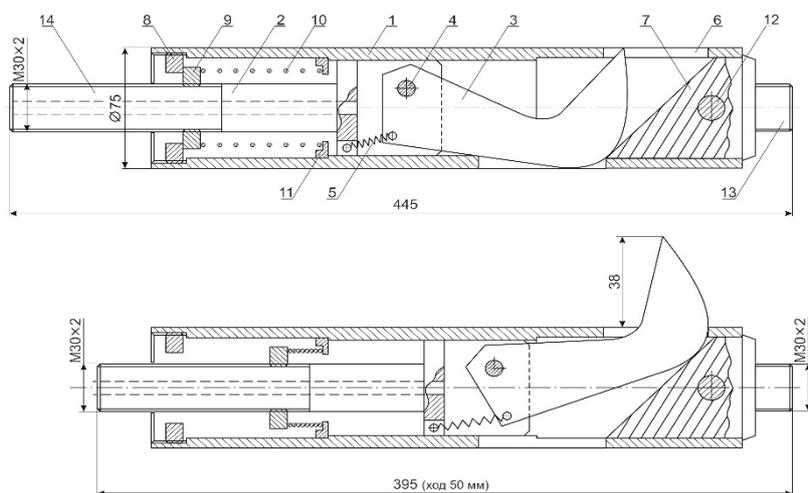


Рисунок 5 – Схема устройства для нарезания дискообразных щелей в стенках скважин: исходное положение устройства (верхняя часть рисунка), положение подвижных частей устройства после выдвижения ножа (нижняя часть рисунка).

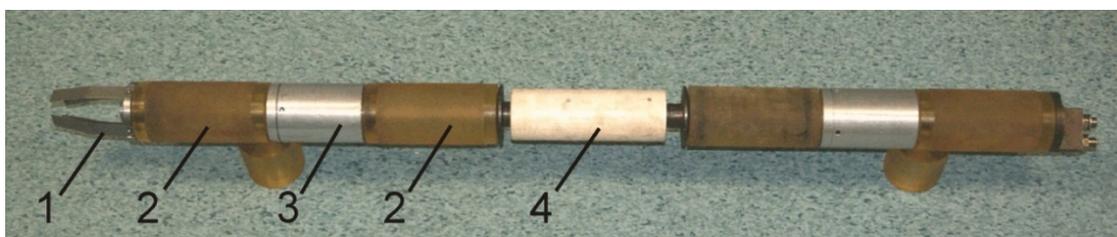


Рисунок 6 – Общий вид измерительного зонда с четырьмя пакерами:
1 – направляющие пластины; 2 – полиуретановые пакеры; 3 – гидроцилиндры;
4 – втулка для заполнения межпакерного пространства.

Место нарезания щели по длине скважины задается установкой проставок различной длины, навинчиваемых на забойный наконечник 14. На рисунке 7 приведены снимки

измерительной скважины с инициирующей щелью, нарезанной при помощи разработанного устройства.



Рисунок 7 – Вид измерительной скважины вблизи забоя (слева), в области нарезанной щели (в середине), на удалении от щели (справа).

Конструкция измерительного зонда. В натуральных экспериментах применялся измерительный зонд с четырьмя пакерующими элементами (рис. 6). В нем предусмотрено два гидроцилиндра, с помощью которых производится их осевое сжатие. Имелась возможность изменять протяженность межпакерного пространства путем замены центральной части несущего стержня. При выполнении тестов гидроразрыва в зоне расположения щелей – концентраторов (в целях получения поперечного разрыва) размер межпакерного пространства составлял 2-3 диаметра скважины; в остальных случаях – 5-6 диаметров. Для беспрепятственной досылки устройства в измерительную скважину диаметром 76 мм (когда она выполнялась с начальным участком большего диаметра) зонд был оснащен направляющими пластинами.

Результаты контроля напряжений в окрестности подземных выработок на руднике СКРУ-2 ПАО «Уралкалий». Две замерные станции были реализованы в главном транспортном штреке на расстоянии 20 м друг от друга. Зона их расположения находилась вдали от фронта очистных работ и соседних выработок. Подработка или надработка данной зоны – отсутствовала. На первой замерной станции были выполнены две измерительные скважины (вертикальная и наклонная под углом 60°); а на второй – три скважины (вертикальная и две наклонные). Во всех скважинах на расстоянии 70 см от забоя были выполнены инициирующие щели. Результаты обработки $P - t$ диаграмм приведены в таблице 1.

Всего было выполнено 24 теста гидроразрыва. В результате обработки $P - t$ диаграмм установлены следующие значения действующих в массиве напряжений: вертикальная компонента – $6,7 \div 7,2$ МПа; горизонтальные компоненты $\sigma_{\min} = 9,6 \div 12,4$ МПа и $\sigma_{\max} = 16,4 \div 19,0$ МПа. Установленные значения вертикальной компоненты близки к расчетной величине от веса налегающих пород ($\approx 5,7$ МПа). Уровень компонент горизонтальных напряжений в 2-3 раза превышает значение вертикальной составляющей.

Таблица 1 – Значения компонент напряжений, установленные в экспериментах на руднике СКРУ-2 (замерные станции 7 и 8)

Индекс измерительной скважины	Расстояние от контура выработки, м	$\sigma_h, \text{МПа}$	$\sigma_{\min}, \text{МПа}$		$\sigma_{\max}, \text{МПа}$	
			a	a	a	a
7. 90°	10,0	7,0-7,2	10,4	–	–	–
7. 60°	10,0	6,7	–	–	–	–
	8,5	–	10,2	–	16,4	–
	8,0	–	12,4	–	19,0	–
8. 90°	10,0	6,8	9,6	–	–	–
	9,5	–	10,0	–	18,8	–

8. 60 ⁰	10,0	–	10,2	17,1
8. 30 ⁰	7,0	–	10,7	16,4

Заклучение. Метод гидроразрыва стенок скважины может быть рекомендован для контроля напряжений, действующих в массиве соляных пород. Он позволяет контролировать напряжения на удалении 10 и более метров от контура подземных выработок. Сопоставимость значений контролируемых напряжений, полученных в однотипных условиях, свидетельствует о достоверности их определения.

В процессе выполнения экспериментальных работ определена оптимальная конструкция бурового снаряжения, который позволяет получать в массиве соляных пород качественные измерительные скважины без признаков искривления с выдержанными геометрическими параметрами.

Установлено, что в массиве соляных пород действует неравнокомпонентное поле напряжений, в котором вертикальная составляющая близка к расчетному значению от веса налегающих пород, а горизонтальные напряжения превышают гравитационные в 2÷3 раза.

Литература

1. Курленя М.В., Леонтьев А.В., Попов С.Н. Развитие метода гидроразрыва для исследования напряженного состояния массива горных пород // ФТПРПИ. 1994. № 1. С. 3-20.
2. Леонтьев А.В., Попов С.Н. Опыт практического применения измерительного гидроразрыва // Горный журнал. 2003. № 3. С. 37-43.
3. Дементьев А.Д., Назаров Л.А., Назарова Л.А. Прикладные задачи теории упругости. Новосибирск: Изд. НГАУ. 2002. 224 с.
4. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости. М.: Наука. 1975. 576 с.

УДК 549.082.537.553.4(571)

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАКРИСТАЛЛОВ ПИРИТА НА МЕСТОРОЖДЕНИИ ТАЛДЫБУЛАК ЛЕВОбЕРЕЖНЫЙ

ELECTRICAL PROPERTIES OF PYRITE DEPOSIT TALDYBULAK LEVOBEREZHZNY

Сулайманов А.Б., Чарский В.П.

jeson_94@mail.ru, taga_21@rambler.ru

Уральский Государственный Горный Университет, г. Екатеринбург, Россия

Институт Геологии НАН КР, г.Бишкек, Кыргызстан

Аннотация. Минералого-физический метод (определение термоЭДС пиритов и др.) позволяет выявлять верхние и нижние границы выклинивания продуктивного оруденения, оценивать эрозионный срез рудных залежей.

Ключевые слова: метакристаллы пирита, термоЭДС, месторождение Талдыбулак Левобережный, р-тип и n-тип проводимости пирита.

Ранее на территории СССР широко изучались электрические свойства пиритов для оценки эндогенных месторождений. Минералого-физический метод (определение термоЭДС пиритов и др.) позволял реконструировать эндогенную локальную зональность по изменению свойств рудных минералов в пространстве и во времени, выявлять верхние и нижние границы выклинивания продуктивного оруденения и прогнозировать такие

параметры, как размах оруденения, глубину его распространения и эрозионный срез [1,2,3,4,5,9].

В 2013-2016 годах на золоторудном месторождении Талдыбулак Левобережный (Кыргызстан) в рудных залежах нами изучались типоморфные особенности пиритов и т.п. [6,7,8]).

В основу построения графиков изменчивости электрических свойств метакристаллов пирита (сопротивления и термоЭДС) была взята методика Горбатого Г.А. [1,9].

Тип проводимости пиритов обусловлен условиями минералообразующей среды. Пириты *n*-типа проводимости образуются в щелочной среде. Они образуются при более высокой температуре, чем пириты *p*-типа. Пириты *n*-типа проводимости характеризуются “недостатком” серы, а пириты *p*-типа проводимости – “недостатком”, железа.

Для пиритов *p*-типа проводимости характерны примеси-акцепторы – Ni, Co. А для пиритов *p*-типа, характерны примеси-доноры – Cu, As.

Электронная проводимость пиритов (*n*-типа) свидетельствует о восстановительном характере минералообразующей среды, а *p*-типа проводимости пиритов – об окислительной. У пиритов, растущих в кислой среде, преобладают гетерополярные связи, а в щелочной – ковалентно-металлические.

Пириты были отобраны из рудных залежей, на месторождения Талдыбулак Левобережный (Кыргызстан), в основном с левого борта. Эти пириты в большинстве случаев по электрическим свойствам относились к *p*- и смешанному типу проводимости. Редкие находки пирита с правого борта месторождения Талдыбулак Левобережный обладали в основном *n*-типом проводимости.

Ниже приводятся графики электрических свойств метакристаллов пирита, взятых из рудных залежей на месторождении Талдыбулак Левобережный. Замеры электрических свойств пирита производились на приборе ЭПОТСМ-2, изготовленном в ВИМСЕ в Лаборатории “Экспериментальной минералогии” в Москве.

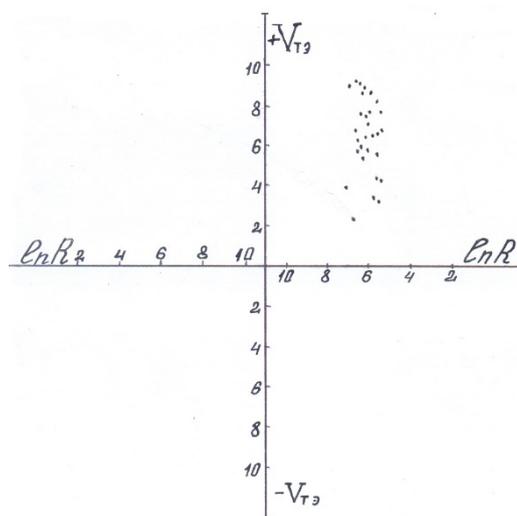


Рисунок 1 – Пирит кубический из кварц-турмалиновой породы. Проба 4.200.

Стат. значения $\ln R=5,6$; $V_{тэ}=+6,4\text{mv}$; $P=100$, $m=30$; при $\Delta T=20^\circ$.

Условные обозначения: R -сопротивление метакристаллов пирита, $V_{тэ}$ – термоЭДС метакристаллов пирита, P - тип проводимости в %, m -количество исследуемых зерен пирита, ΔT - разница между температурой среды и зондом.

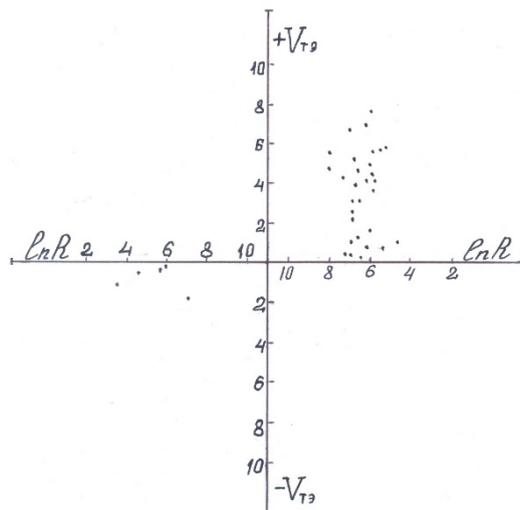


Рисунок 2 – Пирит массивный (кубический?) из кварц-серицитовой породы. Проба 4.201. Стат. значения $\ln R=6,7$; $V_{T3}=+4,1$ mV; $P=96$, $m=30$; при $\Delta T=20^\circ$.

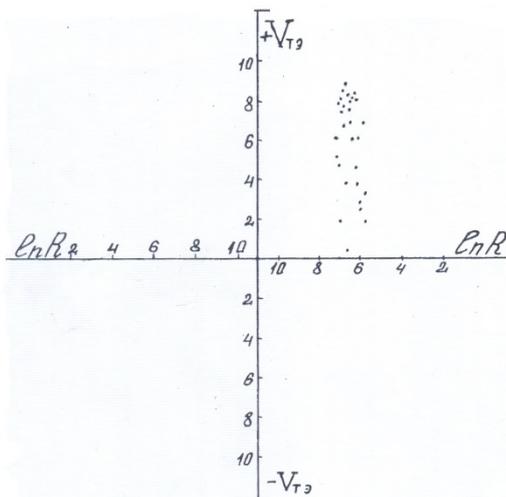


Рисунок 3 – Пирит {111} габитуса из анкеритовой жилы в кварц-серицитовой породе. Проба 4.203. Стат. значения $\ln R=6,0$; $V_{T3}=+6.8$ mV; $P=100$, $m=30$; при $\Delta T=20^\circ$.

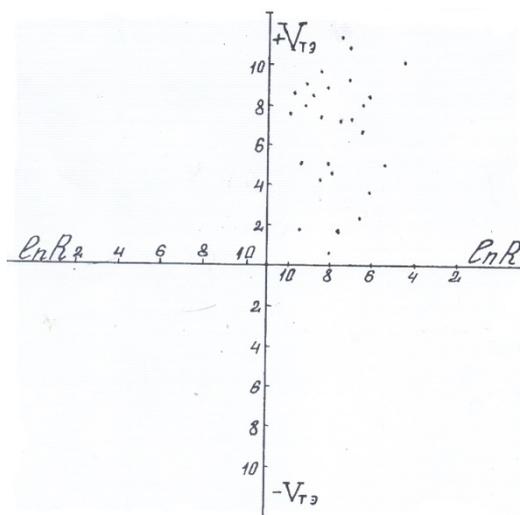


Рисунок 4 – Пирит {210} габитуса из аргиллизитов. Проба 4.204. Стат. значения $\ln R=7.8$; $V_{T3}=+7.0$ mV; $P=100$; $m=30$; при $\Delta T=20^\circ$.

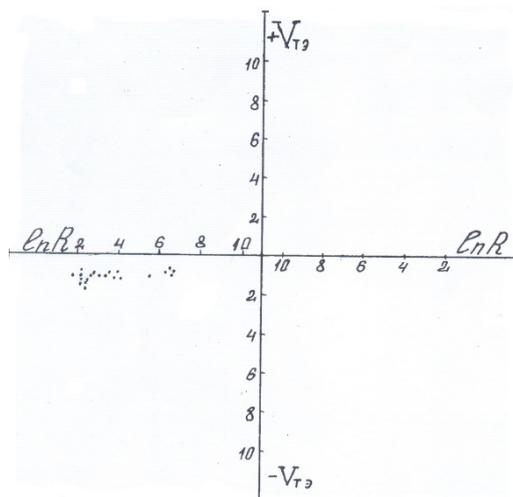


Рисунок 5 – Пирит {210+111} габитуса из ортоклаз-биотитовых метасоматитов. Проба 4.206. Стат. значения $\ln R=1.05$; $V_{T\Delta}=-2,2\text{mv}$; $P=0$; $m=30$; при $\Delta T=20^\circ$.

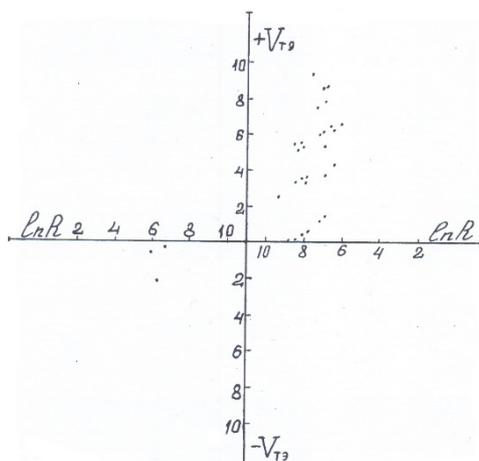


Рисунок 6 – Пирит массивный (кубический?) из кварц-полевошпатовой породы. Проба 4.207. Стат. значения $\ln R=7$; $V_{T\Delta}=+5,3\text{mv}$; $P=97$, $m=30$; при $\Delta T=20^\circ$.

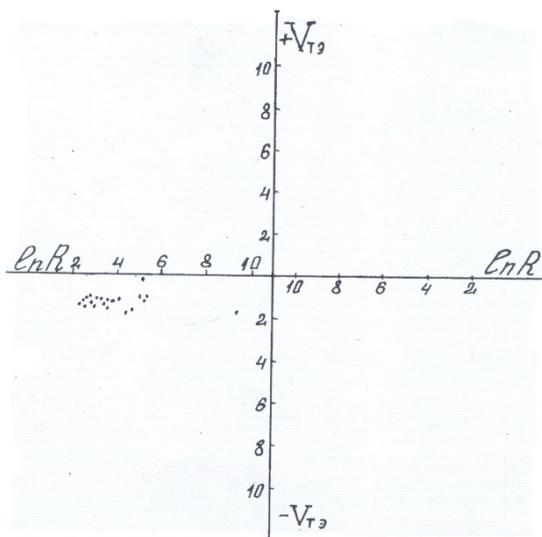


Рисунок 7 – Пирит окисленный кубического габитуса из тальк-карбонатной породы. Проба 4.208. Стат. значения $\ln R=2,6$; $V_{T\Delta}=-1,1\text{mv}$; $P=0$, $m=30$; при $\Delta T=20^\circ$.

Из вышеприведенных графиков видно, что в метакристаллах пирита n -типа проводимости происходит, в основном, изменение сопротивления в каждой последующей

зоне роста метакристаллов пирита, и весьма незначительное изменение их термоЭДС (см. рис. 5)

Для метакристаллов пирита p -типа проводимости, (в процессе их роста), наблюдается обратная зависимость – резкое изменение термоЭДС пирита, и весьма незначительное изменение сопротивления пирита (см. рис. 3).

Литература

1. Горбатов Г.А. Термоэлектрические свойства пирита и галенита и возможная их связь с температурой минералообразования. – Тр. ВИМСа, М., 1957, с. 116-121
2. Лапушков В.М., Романов В.Г., Гурьевич А.С. Полевой прибор для определения типа проводимости полупроводниковых минералов // Геофизическая аппаратура. 1981, вып. 74. С. 91-94.
3. Методические рекомендации по использованию электрических свойств рудных минералов для изучения и оценки эндогенных месторождений / Красников В.И., Фаворов В.А., Суматохин В.А., Гурьевич А.С., Романов В.Г., Лапушков В.М., Зезюлина Э.Д. Л.: ВСЕГЕИ. 1983. 91 с. (Министерство геологии СССР. Заб. компл. науч.-исслед. ин-т).
4. Методические рекомендации по использованию электрических свойств рудных минералов для изучения и оценки эндогенных месторождений, Ленинград, ЗабНИИ, 1983, с. 90
5. Романов В.Г. Принципы построения горно-геологических автоматизированных информационных систем. // Вестн. ЧитГУ № 4 (45). 2007. С. 35-43.
6. Чарский В.П., Яхонтов А.Г.) Об эволюции морфологии кристаллов пирита // Физика диэлектриков и полупроводников // тез. Докл. Ош, Пединститут, 1989, с. 39-40.
7. Чарский В.П. О связи кристаллической решетки пиритов с изменением их габитусов на одном из месторождений Киргизии // Тез. Докл. Ош, Пединститут, 1989, с. 193-194
8. Чарский В.П. Эволюция морфологии кристаллов пирита, поверхностный потенциал и синергетичность пирита на месторождении Талдыбулак Левобережный. В сборнике // Материалы Международной конференции, посвященной 70-летию Института геологии НАН КР. “Геодинамика, оруденение и геоэкологические проблемы Тянь-Шаня”, Бишкек, 2013., с.- 248-253
9. Электрические свойства минералов / В.И. Красников, В.М. Лапушков, В.Г. Романов, В.А. Суматохин, В.А. Фаворов, А.С. Гурьевич, Г.А. Горбатов // Методы минералогических исследований: Справочник [Ред. А.И. Гинзбург]. М.: Недра, 1985. С. 140-177.

УДК 550.348

СВЯЗЬ МЕЖДУ ГЕОМАГНИТНОЙ Z_{GSM} КОМПОНЕНТОЙ И M_{MAX} В РАЗЛИЧНЫХ СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКИХ РАЙОНАХ

LINK BETWEEN GEOMAGNETIC Z_{GSM} COMPONENTS AND M_{MAX} IN DIFFERENT SEISMOTECTONIC REGIONS

Тойшиев Н.С.

toyshiev@yandex.ru

Институт ионосферы, Национальный центр космических исследований и технологий,
г. Алматы, Казахстан

Аннотация. Приведены коэффициенты эмпирических соотношений связи между значениями геомагнитной Z – компоненты в геоцентрической солнечно-магнитосферной системе координат (Z_{GSM}) и максимально возможной магнитудой землетрясения (M_{max}) для территории Альпийско-Гималайского орогенного пояса, ограниченной координатами ($30^{\circ}N$ - $45^{\circ}N$, $0^{\circ}E$ - $110^{\circ}E$), для зоны трансформного разлома Сан-Андреас и Зондской зоны субдукции.

Ключевые слова: Сейсмическая активность, геомагнитное поле, максимально возможная магнитуда землетрясений.

Введение. Несколько лет назад в работе [1] было показано, что значение максимально возможной магнитуды землетрясения в сейсмоактивном районе может быть определено, в первом приближении, по максимально возможной в этом районе величине логарифма абсолютного значения геомагнитной Z_{GSM} -компоненты в геоцентрической солнечно-магнитосферной системе координат $\{\log[\text{abs}(Z_{GSM})]\}$. На основе экспериментальных данных, приведенных на рисунке 1а, было получено эмпирическое соотношение для случая глобальной сейсмичности в виде [1]:

$$M_{max} = (5,22 \pm 0,17) + (0,78 \pm 0,06) \{\log[\text{abs}(Z_{GSM})]\}, \quad (1)$$

с коэффициентом корреляции $R=0.91$, среднеквадратическим отклонением $SD=0.56$, вероятностью 95% (красная линия на рисунке 1а). В работе [2] коэффициенты регрессионного выражения были уточнены для территории Алматинского сейсмоактивного региона по данным о классе землетрясений, представленным на рисунке 1б. Получено эмпирическое соотношение в виде [2]:

$$K_{max} = (5.4 \pm 0.13) + (2.46 \pm 0.05) \{\log[\text{abs}(Z_{GSM})]\}, \quad (2)$$

с коэффициентом корреляции $R=0.999$ и практически нулевым среднеквадратическим отклонением с вероятностью 95%. Расхождение в точности аппроксимационных соотношений на рисунках 1а ($R=0.91$) и 1б ($R=0.999$) может быть обусловлено несколькими причинами: неточностью методического подхода к решению задачи, различием структурно-вещественного состава земной коры в разных сейсмоактивных регионах, ошибкой в экспериментально определенных значениях магнитуд сейсмических событий. В пользу последней возможности говорит факт практически идеальной аппроксимации K_{max} на территории Алматинского прогностического полигона, которая оснащена достаточным количеством сейсмических станций и энергетические характеристики землетрясений определяются с высокой степенью точности. В этой связи представлялось целесообразным продолжить исследования [1, 2] по данным других регионов планеты с заведомо разным типом тектонического строения и оснащенностью аппаратуры. В докладе представлены результаты, полученные в этих исследованиях [3] с участием автора.

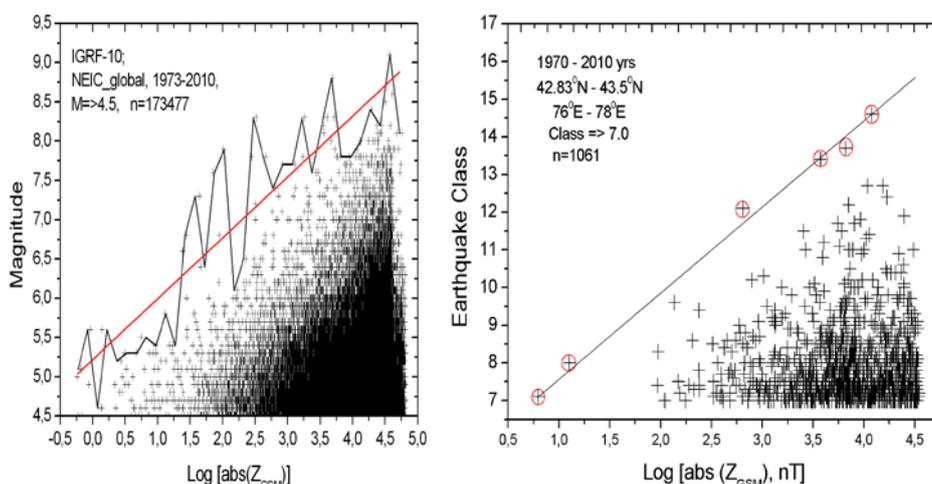


Рисунок 1 – Распределение магнитуд землетрясений в зависимости от величины логарифма абсолютного значения геомагнитной Z_{GSM} -компоненты в геоцентрической солнечно-

магнитосферной системе координат $\{\log[\text{abs}(Z_{GSM})]\}$ для случая всей планеты (а) и Алматинского сейсмоактивного региона (б) из работ [1] и [2], соответственно.

Данные. Использованы данные сейсмологического каталога NEIC для землетрясений с магнитудой $M \geq 4.5$, произошедших на территории Альпийско-Гималайского орогенного пояса, ограниченной координатами ($30^{\circ}\text{N}-45^{\circ}\text{N}$, $0^{\circ}\text{E} -110^{\circ}\text{E}$), для зоны трансформного разлома Сан-Андреас и Зондской зоны субдукции. Анализируемые территории выделены белыми прямоугольниками на рисунке 2. Значения геомагнитной Z_{GSM} -компоненты в эпицентре каждого землетрясения в момент события были определены по компьютерной программе, разработанной ранее в [1].

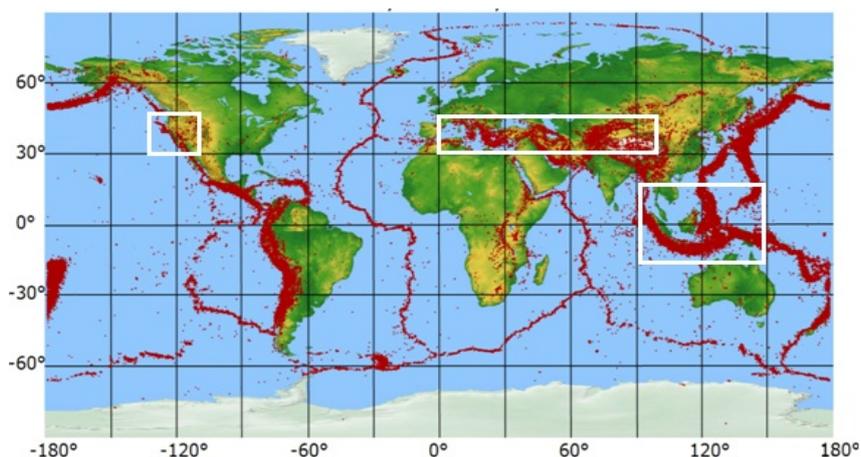


Рисунок 2 – Карта эпицентров землетрясений с магнитудой $M \geq 4.5$ (красные круги), белые прямоугольники – районы исследования.

Результаты. На рисунке 3 представлена зависимость магнитуды землетрясений от параметра $\{\log[\text{abs}(Z_{GSM})]\}$ на территории Альпийско-Гималайского орогенного пояса. Штриховые линии соединяют максимальные значения наблюдаемых магнитуд при разных значениях параметра $\{\log[\text{abs}(Z_{GSM})]\}$, а красная линия есть их аппроксимация уравнением линейной регрессии вида:

$$M_{max} = (12.44 \pm 0.48) + (1,15 \pm 0.2) \log[\text{abs}(Z_{GSM})] \quad (3)$$

с коэффициентом корреляции $R=0.87$, среднеквадратическим отклонением $SD= 0.98$, вероятностью 95%. Красным кругом помечена максимальная в данном регионе магнитуда $M=7.9$, связанная с Сычуаньским землетрясением в Китае 12 мая 2008г.

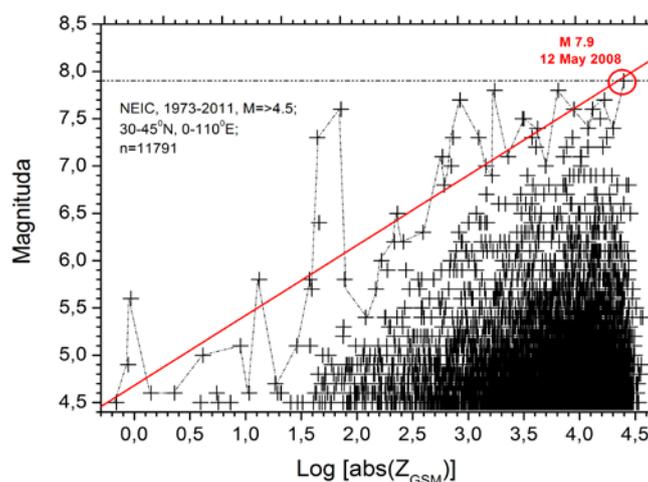


Рисунок 3 – Магнитуда землетрясений, произошедших на территории Альпийско-Гималайского орогенного пояса, ограниченной координатами ($30^{\circ}\text{N}-45^{\circ}\text{N}$, $0^{\circ}\text{E} -110^{\circ}\text{E}$), в зависимости от значения параметра $\log[\text{abs}(Z_{GSM})]$ в эпицентре во время события.

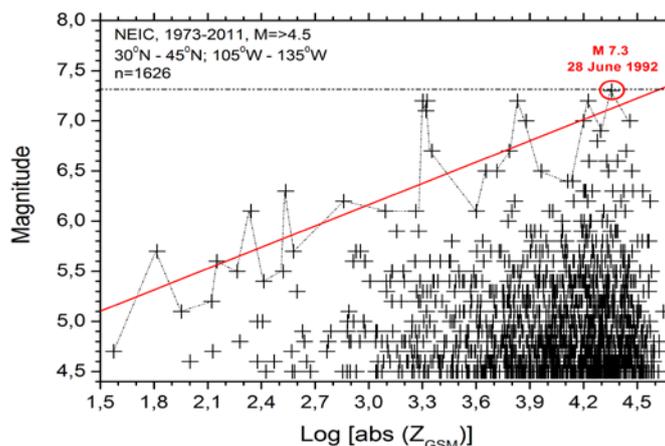


Рисунок 4 – Магнитуда землетрясений, произошедших на территории трансформного разлома Сан-Андреас в зависимости от значения геомагнитного параметра $\log[\text{abs}(Z_{\text{GSM}})]$ в эпицентре во время события.

На рисунке 4 представлена зависимость магнитуды землетрясений от параметра $\{\log[\text{abs}(Z_{\text{GSM}})]\}$ на территории трансформного разлома Сан-Андреас. Штриховые линии соединяют максимальные значения наблюдаемых магнитуд при разных значениях параметра $\{\log[\text{abs}(Z_{\text{GSM}})]\}$, а красная линия есть их аппроксимация уравнением линейной регрессии вида:

$$M_{\max} = (4,04 \pm 0,38) + (0,7 \pm 0,13) \log[\text{abs}(Z_{\text{GSM}})], \quad (4)$$

с коэффициентом корреляции $R=0,91$, среднеквадратическим отклонением $SD=0,34$, с вероятностью 95%. Красным кругом помечена максимальная в данном регионе магнитуда $M=7,3$, связанная с землетрясением 28 июня 1992г. в Калифорнии к востоку от Лос-Анджелеса.

На рисунке 5 представлена зависимость магнитуды землетрясений от параметра $\{\log[\text{abs}(Z_{\text{GSM}})]\}$ на территории Зондской зоны субдукции. Штриховые линии соединяют максимальные значения наблюдаемых магнитуд при разных значениях параметра $\{\log[\text{abs}(Z_{\text{GSM}})]\}$, а красная линия есть их аппроксимация уравнением линейной регрессии вида:

$$M_{\max} = (-17,5 \pm 1,5) + (5,7 \pm 0,4) \log[\text{abs}(Z_{\text{GSM}})] \quad (5)$$

с коэффициентом корреляции $R=0,97$, среднеквадратическим отклонением $SD=0,4$, с вероятностью 95%. Красным кругом помечена максимальная в данном регионе магнитуда $M=9,1$, связанная с катастрофическим Суматринским землетрясением 26 декабря 2004г.

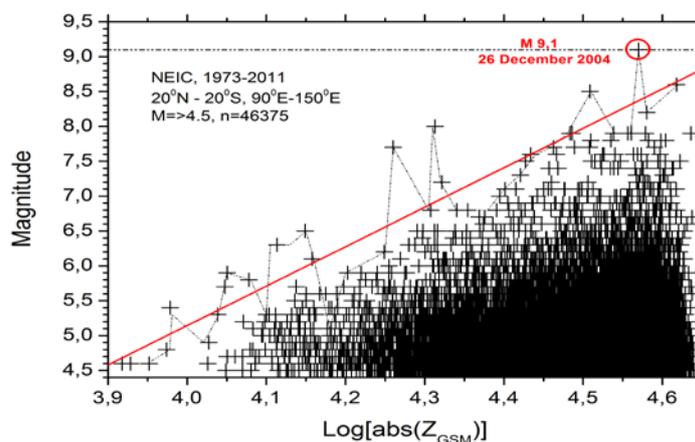


Рисунок 5 – Магнитуда землетрясений, произошедших на территории Зондской зоны субдукции в зависимости от значения геомагнитного параметра $\log[\text{abs}(Z_{\text{GSM}})]$ в эпицентре во время события.

Из приведенных соотношений (3-5) следует, что самая маленькая величина коэффициента корреляции ($R = 0.87$) и при этом самая большая величина среднеквадратического отклонения ($SD = 0.98$) наблюдается для территории Альпийско-Гималайского орогенного пояса. Этот факт вполне может быть связан с ошибкой определения магнитуды землетрясений в этом регионе из-за наличия труднодоступных высокогорных районов, не достаточно оснащенных сейсмическими станциями.

Заключение. Получены коэффициенты эмпирических соотношений связи между значениями геомагнитной Z – компоненты в геоцентрической солнечно-магнитосферной системе координат (Z_{GSM}) и максимально возможной магнитудой землетрясения (M_{max}) для территории Альпийско-Гималайского орогенного пояса, ограниченной координатами ($30^{\circ}N$ - $45^{\circ}N$, $0^{\circ}E$ - $110^{\circ}E$), для зоны трансформного разлома Сан-Андреас и Зондской зоны субдукции. Результаты можно использовать для оценки, в первом приближении, сейсмopotенциала (M_{max}) в конкретном сейсмоактивном регионе по данным о геомагнитной Z_{GSM} -компоненте. Также, полученные эмпирические соотношения можно использовать для коррекции магнитуд землетрясений, происходящих на удаленных территориях, не достаточно оснащенных сейсмическими станциями. Кроме этого, уравнения могут представлять ценность при прогнозе максимально возможной магнитуды землетрясения, если его время и место уже спрогнозированы.

Выражаю большую благодарность д.ф.-м.н. Хачикян Галине Яковлевне и к.ф.-м.н. Жумабаеву Бейбиту Тенеловичу за постановку задачи и курирование работы.

Работа выполнена в рамках проекта РБП-076: «Разработать методические основы оценки сейсмической опасности на основе данных о вариациях солнечной активности, геомагнитного поля и скорости вращения Земли». Регистрационный номер (РН) 0115PK01276.

Литература

1. Khachikyan G., Inchin A., Lozbin A. Spatial distribution of seismicity: relationships with geomagnetic Z-component in geocentric solar magnetospheric coordinate system // International Journal of Geosciences. 2012. V. 3. № 5. P. 1084-1088.
2. Хачикян Г.Я., Садыкова А.Б., Стихарная Г.Г. Об оценке частоты повторяемости и силы землетрясений на основе геомагнитной Z_{GSM} -компоненты (на примере Алматинского региона). Вестник Национальной академии наук Республики Казахстан. 2015. № 2. С. 101-106.
3. Khachikyan G., Zhumabayev B., Toyshiev N., Kairatkyzy D., Seraliyev A., Khassanov E. Seismic zoning (first approximation) using data of the main geomagnetic field. EGU General Assembly 2017 // Geophysical Research Abstracts. 2017. Vol. 19. EGU2017-7350.

УДК 553.41

ИНТЕГРАЛЬНАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ГЕОРИСКАМИ ЗОНЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА КУМТОР

INTEGRATED TRANSFORMATION GEORISK ZONE GOLD DEPOSITS KUMTOR

Усупаев Ш.Э., Мамыров Э.М., Маралбаев А.О., Атыкенова Э.Э., Сычев В.В.
sh.usupaev@caiag.kg, a.shakirov@caiag.kg, e.mamirov@mail.ru, akul62@mail.ru,
elita_kg@mail.ru, v.sichev@mail.ru

Центрально Азиатский институт прикладных исследований Земли, г. Бишкек, Кыргызстан

Аннотация. В статье рассматриваются потенциальные и активизировавшиеся интегральные геориски на полигоне золоторудного месторождения Кумтор в целях снижения воздействия угроз от них и прогнозирования опасных процессов.

Ключевые слова: геориски, месторождение, золото, хвостохранилище, прорывоопасное озеро, обрушение бортов, карьер, многолетняя мерзлота, геокриологические процессы и явления.

В Кыргызстане среди выявленных первых десятков тысяч месторождений и проявлений руд до 200 имеют промышленное значение. Вследствие несовершенства технологий извлечения полезных компонентов в отходы горного производства сбрасываются радиоактивные и токсичные ингредиенты, которые как правило складываются непосредственно вблизи русел стока рек, что создает угрозу их выноса и негативного воздействия на население Кыргызстана и более 5 млн. чел. проживающих в трансграничных районах со странами Узбекистан, Таджикистан, Казахстан [1-8].

В Кыргызстане из 2500 коренных проявлений золота на 1-ом месте находится уникальное месторождение Кумтор с запасами золота более 700 т. Рудник Кумтор разрабатывается Centerra Gold Inc. Активы Кумтора, где запасы золота составляют 700 т. оцениваются в 1,665 миллиарда долларов. Кыргызстан владеет 33% акций компании. "Кумтор" обеспечивает более 95 % золотодобычи в стране [3-6].

Горное предприятие расположено на абсолютной отметке 3600 метров на северном склоне хр. Акшийрак у истоков водной системы рек Арабель и Кумтор на водоразделе между ледниками Давыдова и Лысый и частично покрыт языком ледника Лысый. Строительство рудника началось в 1994 году и в мае 1997 года компания приступила к коммерческому производству золота, а в 1998 году выплавлен первый миллион унций золота. В 2002 г. производство золота на Кумторе превысило 100 т. В 2007 г. проведены подготовительные работы к подземной добыче месторождения. В 2009 г. по результатам геологоразведочных работ срок эксплуатации рудника «Кумтор» продлен до 2019 г. С 1997 г. здесь добыто 264 т. золота. В 2014 году добыто 17,6 т., 2015 году 16,2 т., а в 2017 году планируется извлечь золота 14,5-15,7 т.

Совместное кыргызско-канадское предприятие "Кумтор Голд Компани" расположено на территории Джеты-Огузского района Иссык-Кульской области. Месторождение золота по Богдецкому В.Н. и др., 1981; Асаналиеву У.А. и др., 1985; Никонорову В.В., (1993) локализовано в полого залегающей от 25⁰ до 45⁰ тектонической структуре среди раннепалеозойских филлитов в Кумторской зоне смятия

Главными отличительными особенностями месторождения Кумтор в ряду золоторудных объектов, локализованных в «черносланцевых толщах», являются: 1) преобладание руд пирит-полевошпат-карбонатного состава. До 90% всех золотосодержащих минералов месторождения Кумтор связаны с «рудным» пиритом, средние содержания золота в них варьирует от 0,05 до 280 ppm. Золото высокодисперсное и имеет размеры 1-50 мкм и распределено на гранях кристаллов пирита и в виде пластинчатых выделений по микротрещинам в нём. Наибольшие средние содержания золота характерны для пирит-карбонатных метасоматитов (Никоноров В.В., 1993). Во всех типах руд золото доминирует над серебром и отношение Au/Ag колеблется от 2:1 до 7:1. Теллур в рудах наоборот, доминирует над золотом [1-8].

В связи с технологической трудностью извлечения высокодисперсного золота до 90% руды приходится измельчать до размеров менее 10 микрон. При этом от 16% до 34% золота все равно не удается извлечь из добытой руды в зависимости от типа оруденения. Рентабельно извлекается из руды только 79-83% золота, а остальное микроскопическое вынужденно выбрасывается в хвостохранилища [2-7].

На рисунке 1 представлены «Карты развития опасных участков вдоль автодороги к месторождению Кумтор (а. лавиноопасный) и георисков (б) от потенциально прорывоопасной плотины оз. Петрова (голубой цвет в верхней правой части карты), разрушения

прорывным потоком дамбы цианидо-содержащего хвостохранилища (голубой цвет в верхней левой части карты) и обрушений на мерзлых грунтах низкой прочности в бортах разрабатываемого взрывным способом карьера месторождения (серый цвет по диагонали в центре карты), голубые изолинии на белом фоне – ледники разрушаемые и запыляемые в результате взрывного способа добычи руды» [3-8].

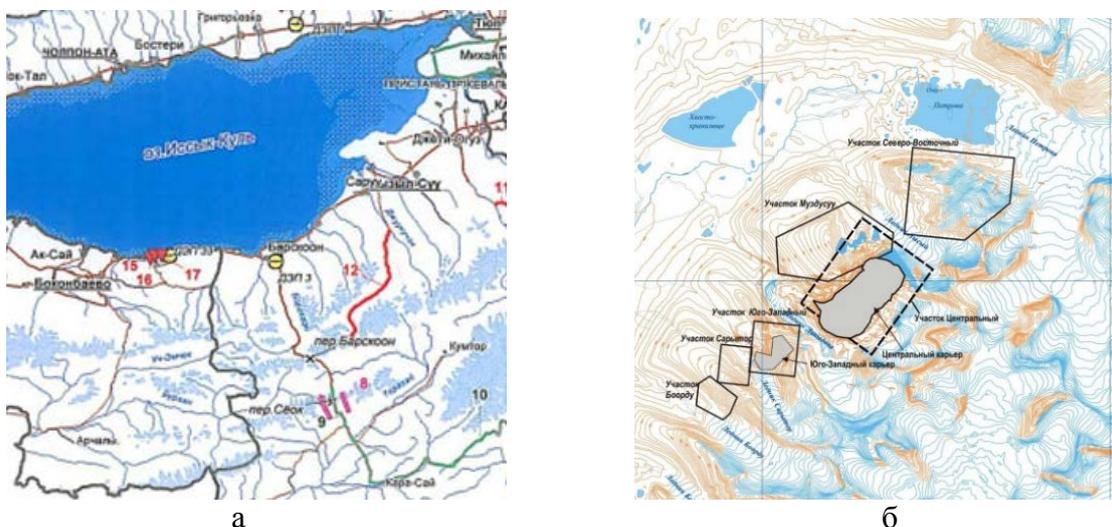


Рисунок 1 – Карты развития опасностей вдоль автодороги, ведущей к месторождению (а) и георисков (б) от хвостохранилища, бортов карьера и прорыво-опасной плотины оз. Петрова на полигоне Кумтор в Джети-Огузском районе, Иссык-Кульской области, КР.

Техногенная авария цианидов 20 мая 1998 г. произошла на пути доставки автомобилем с цистерной заполненной 1,8 т. цианистым натрием. Машина с цистерной заполненной цианидами натрия перевернулась на мосту по р. Барскоон по дороге на рудник. При этом, зараженная вода достигла южного берега акватории оз. Иссык-Куль а по отводным каналам поступила в с. Барскаун и часть с. Тамга, что привело к гибели 1 чел. отравление получили 1161 чел. произошел падеж домашних животных и птиц [3-7].

Отходы от добычи золота на Кумторе складировались в хвостохранилище занимающей площадь 2250,0 тыс. м² с проектным объемом 110 млн. м³. Таяние многолетне-мерзлых грунтов усиливает эрозию у основания клина под дамбой хвостохранилища удерживающей отходы. Дамба имеет длину 2 км., ее ширина 10 м., высота до 34 м. Дно хвостохранилища покрыто специальной высокопрочной пленкой, здесь накоплено более 55 млн. т. отходов. Отходы содержат золото – до 40 т. Извлечение золота из отходов нерентабельно. Объем гидротехнического сооружения овражно-балочного типа требует увеличить высоту дамбы на 6,5 м. для заполнения дополнительно 45 млн. м³, тогда общий объем составит 110 млн. м³ [3, 5-7].

Основным загрязняющим ингредиентом является цианид натрия, с 3-им классом опасности (токсичные, умеренно опасные). Отходы в хвостохранилище защищены от попадания в русло рек по проекту грунтовой дамбой длиной около 2000 метров и высота 28 метров, с шириной гребня 10 м, максимальной отметкой гребня дамбы 3651,5 м, заложением откосов дамбы 3:1. Геориски начали активизироваться когда защитная дамба хвостохранилища с 1999 г. и начала смещаться по кровле многолетней мерзлоты по аллювиальным отложениям, который не был удалён до начала строительства пионерной дамбы. За период с 1999 по декабрь 2006 г. по данным мониторинга рудника «Кумтор», смещение дамбы составило 283 мм (среднегодовое 30-35 мм). В 2003 г. разработан проект и выполнен упорный клин с возведением упорной призмы в западной части дамбы. Построенные в 2003 г. клин и упорная призма, в связи с тем, что не достигли прочного грунта, ожидаемого эффекта не дали. С 1999 по 2006 гг. по данным мониторинга рудника «Кумтор», смещение дамбы составило 283 мм (среднегодовое -30-35 мм). Смещение дамбы с

января по июль 2007 года составило 3,7мм, что свидетельствует об уменьшении скорости смещения и является следствием естественной консолидации дамбы (уплотнения). С целью обеспечения устойчивости дамбы в целом, был разработан дополнительный проект по усилению упорного клина и призмы по всей длине дамбы. В апреле 2007 г. проведены работы по изучению мест под резервное хвостохранилище [3].

В хвостохранилище из-за несовершенства технологии извлечения высокодисперсного золота в отходах содержатся: золото – 0,9 г/т, серебро – 1,7г/т, триоксид вольфрама – 0,03%, теллур – 9,5г/т, сера пиритная – 4,1%. Геологические запасы полезных компонентов в хвостохранилищах составляют золото – 34,1 т., серебро – 47 т., триоксид вольфрама – 11 тыс.т., теллур 350 т., сера пиритная 1509 млн.т. [5-7].

Из озера перекачивается до 11 млн. м³/год. 97% воды расходуется для переработки руды, а оставшиеся 3% для хозяйственно – санитарных нужд лагеря.

Достаточно высоки потенциальные геориски разрушения дамбы цианидосодержащего хвостохранилища вследствие прорыва моренно-ледово-мерзлотной плотины озера Петрова. Имеется потенциальная угроза прорыва плотины оз. Петрова, площадью 89 тыс. м², глубина 20 м, объемом 20 млн. м³, расположенного от рудника в 7 км, при оттаивании естественной моренной плотины. В связи с потеплением климата, площадь таянья оз. Петрова за последние 10 лет увеличилась на треть. При прорыве плотины катастрофический паводок приведет к разрушениям сооружений, снесет содержимые в хвостохранилищ цианиды в пойму р. Кумтор.

Термо-эрозийные процессы в связи с потеплением климата и техногенным нарушением баланса на оз. Петрова, откуда берется вода для питья и технологического процесса, ускоряют разгерметизацию плотины озера в районе голубого залива. «Голубой залив», является возможным местом прорыва, поскольку плотина в этом месте самая узкая. Протяжённость этого участка – приблизительно 30 метров.

Геориски от низкой прочности массива горных пород, также создает условия неустойчивости бортов карьера, что требует выполаживания его бортов под углом 30° - 32° градуса, в зависимости от факторов, как прочности грунтов, тектонических условий, так и влияния ледников и роста глубины карьера.

С целью снижения георисков систематически проводится бурение скважин для отвода рудничных вод от затопления на бортах карьера, при этом дренаж воды уменьшает гидростатическое давления на бортах карьера. Карьерные воды сбрасываются без очистки в р. Кумтор и её притоки.

Геориски техногенного характера, имеют место от ежесуточного взрыва от 300 до 400 тыс. т. пород, из которых извлекается 15-17 тыс. т. руды в т.ч. до 13% льда. После первых циклов замораживания и оттаивания прочность филлитов, слагающих месторождение Кумтор снижается с 80,0 МПа до 41,5 МПа [2, 3].

Геориски имеют место также от максимального расхода реки Кумтор - 66,2 м³/с. При этом, речной сток с июня по сентябрь варьирует от 2,9 до 25,2 м³/с.

Волна прорывного потока по расчетам В.А. Кузьмиченка достигнет объектов «Кумтора»; дороги, мосты, и гидрологическая станция, которые расположены прямо в пойме реки Кумтор. Результаты моделирования по 3 сценариям пикового расхода (3000, 8000 и 20000 м³/с), показали, что прорывная волна наводнения достигает нижней границы модели в пределах от 1 до 2 часов. Высота прорывного потока может в ряде участков будет достигать 10 м. а скорость потока воды в пределах значения 6-9 м/с., что разрушит очистные сооружения хвостохранилища. Мост через р. Кумтор и её берега будут препятствием для волн наводнения [4].

Обрушения сильноизменённых филлита-мелонитов которые крошатся под воздействием горных работ и оттаивании бортов в С-В борту Центрального карьера привело к обвалу в августе 2001 г. 8 июля 2002 г., через 1,5 часа после очередного взрыва, произошло следующее обрушение между уступами 4298 4018 м, по высоте составила 280 м, ширина -

270 м, глубина отрыва от борта составила 40 м. Основной выступ пород, продолжал обваливаться до 14 июля 2002 г. Погиб 1 чел. и была остановка работы.

Геориски от искусственной нагрузки и бронирования поверхности ледника Давыдова отвалами из южной части Центрального карьера привели к оползанию участка карьера 1100 м. со скоростью от 5 мм/ч до 80 мм/ч в летние месяцы, что стало причиной разрушения зданий, административной и технической служб.

Отступление и сокращение площади ледников вследствие потепления климата в южной части Ак-Шийракского горного массива имеющей площадь 1000 км² составляет 21,9 км², или 5,9%. По Петракову Д.А., Алейникову А.А., Шпунтову А.М., Усубалиеву Р.А., за период с 2003 по 2013 гг. общая площадь массива сократилась с 373,2 до 351,2 км², потеря льда в связи горными работами составило 1,9 км² т.е. 0,5% от общей ледниковой площади, а ежегодный объем потерь льда оценен в 220 млн. м³.

Угроза обрушения ледника на производственные строения требует разгрузки до 2018 г. породных отвалов и подстилающего льда, с целью остановки сползания ледника Давыдова в Центральный карьер.

На инженерно-геоморфической карте представлены (Рис.2-б) ориентированные с севера на юг структуры с шириной зон в км. с запада на восток: V-41, VI-83 км (Рис.1). Сейсмоактивная зона с шириной 41 км. характеризуется эрозионно-тектоническими уступами, линеаменты выражены в виде непротяженных прямолинейных отрезков долин, здесь происходит разворот меридионально герцинских складчатых структур. Западнее зоны находится хвостохранилище Каджи-Сая, а восточнее цианид содержащее хвостохранилище Кумтора (Рис.2).

Зона шириной 83 км. характеризуется выходами щелочных интрузивов, множеством фрагментарных линеаментов и узлов пересечения разломов. В восточной части указанной зоны находятся отходы месторождения Атжайляу (Рис.1.).

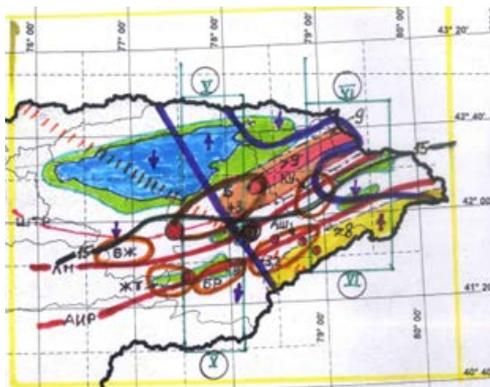
На рисунке 3 представлены интегральные ИГН карты типизации и прогноза георисков в зоне золоторудного полигона Кумтор: а. прорыво-опасное оз. Петрова и цианидосодержащее хвостохранилище; б. интегральные геориски (1. региональный разлом-Линия Николаева, 2. Иссык-Кульский линеамент; 3. меридиональные сейсмоактивные секущие структуры; 4. районы ожидаемых землетрясений-РОЗ, 5. эпицентры произошедших землетрясений); 6. изолиния актуотектонических движений 15 см/год; 7. интенсивность землетрясений от 8 до 9 и более баллов.

На составленной интегральной инженерно-геоморфической карте типизации и прогноза георисков (Рис.2-б) видно, что полигон месторождения Кумтор находится в сфере влияния границ северо-и южно-моновергентных новейших тектонических движений, на транс Иссык-Кульском линеаменте в восточной части меридиональной секущей сейсмоактивной зоны. Трансформация кровли литосферы происходит севернее полигона Кумтор интенсивностью землетрясений более 9 и 9 баллов, южнее более 8 баллов и находится в 8 балльной зоне сейсмической опасности, на фоне вертикального поднятия со скоростью более 3 мм в год.

Исследуемый полигон сжимается с юга на север современными движениями со скоростью более 15 см/год и полигрунты месторождения находятся в состоянии накопления остаточных напряжений готовых разгрузиться при создании благоприятных условий в виде сейсмических явлений и горных ударов. Вокруг полигона Кумтор расположены 4 ближайших районов ожидаемых землетрясений (РОЗ): 1. Б- Барскаунский 1-ой категории опасности с классом меньше 15 и больше 12 и вероятностью ожидаемого проявления 60-70% расположенной на севере от месторождения; 2. Аш - Акшийракский-2 ой категории опасности с классом меньше 15 и больше 12 и вероятностью ожидаемого проявления 50-60% расположенной на юге от месторождения; 3. соответственно с востока и запада расположены Куйлюкский и Жетимский РОЗ-ы со 2-ой категории сейсмической опасности с классом меньше 15 и больше 12 и вероятностью ожидаемого проявления землетрясений 50-60%.



а.



б.

Рисунок 2 – ИГН карты типизации и прогноза георисков в зоне золоторудного полигона Кумтор: а. прорыво-опасное оз. Петрова и цианидо-содержащее хвостохранилище; б. интегральные геориски (1. региональный разлом-Линия Николаева, 2. Иссык-Кульский линеамент; 3. меридиональные сейсмоактивные секущие структуры; 4. районы ожидаемых землетрясений-РОЗ, 5. эпицентры произошедших землетрясений).

Таким образом, нижеследующие геориски природного, техногенного и экологического характера негативно влияют на полигон добычи золота Кумтор: 1. деградация вечной мерзлоты и связанные с ней процессы фильтрации вод; 2. термопросадки; 3. термоэрозии в зоне влияния отводного канала реки Арабель, проложенного в обход хвостохранилища, 4. осадки грунта под зданиями и сооружениями; 5. активизация процессов термокарста на дамбе моренно-ледникового происхождения, ограждающей прорывоопасное озеро Петрова, расположенного выше хвостохранилища; 6. процессы солифлюкции и оплывания на участках на участках горных склонов, подрезанных технологической дорогой и пульпопроводом; 7. изменение режима ледников Давыдова и Лысый за счет складирования на них отвальных пород; 8. оползание и обрушение бортов карьера в виде внезапного падения скальных блоков, вызванное процессами промерзания-оттаивания приповерхностных слоев массива горных пород, его сотрясения при буровзрывных работах; 9. наличие в хвостах серы приводит к образованию серной кислоты, участвующей в кислотных дождях; 10. описанные на (рис.3-б) серии ИГН георисков от разломов, вергентных нео- и актуотектонических движений, РОЗ (районов ожидаемых землетрясений).

Выводы.

1. Составлена впервые интегральная ИГН карта типизации и прогноза георисков, позволяющая учитывать взаимообусловленные и индуцируемые опасности природного, техногенного и экологического характера,
2. ИГН карты позволяют повысить потенциал планирования и обеспечить упреждающую геоинформационную безопасность для добычи и освоения месторождения золота на полигоне Кумтор.

Литература

1. Асаналиев У.А., Богдецкий В.Н. и др. Геологическое строение и закономерности формирования стратиформного золото-редкометального оруденения Кумторского рудного района. Отчёт ПНИЛСМ ФПИ. Фрунзе. 1984.
2. Асаналиев У.А., Богдецкий В.Н., Тордукеев И.Д. Закономерности распределения золота и сопутствующих элементов в вендских углеродистых отложениях Тянь-Шаня // Металлогения Киргизии. Фрунзе: Илим. 1985. С. 77-79.

3. Торгоев И.А., Алёшин Ю.Г., Айтматов И.Т. Оценка рисков и прогноз развития гляциальных процессов на высокогорном руднике Кумтор (Кыргызстан) // Проблемы снижения природных опасностей и рисков: Материалы Междунар. науч.-практ. конф. «ГЕОРИСК-2012». Т. 2. М.: РУДН. 2012. С. 72-77.
4. Кузьмичёнок В.Е. Отвалы горной породы на леднике Давыдова (хр. Акшыйрак, Тянь-Шань) // Лёд и снег. 2012. № 1 (117). С. 95-104.
5. Государственный кадастр отходов горной промышленности Кыргызской Республики (хвостохранилища и горные отвалы) / Усупаев Ш.Э., Карпачев Б.М., Менг С.В. и др. Бишкек. 2006. 290 с.
6. Усупаев Ш.Э., Атыкенова Э.Э., Мамбеталиев Э.Д. ИГН карты оценки георисков от радиоактивно и токсично опасных природно-техногенных источников на население Кыргызстана и трансграничные страны Центральной Азии // Актуальные вопросы мирного использования атомной энергии. Междунар. конф. молодых ученых и специалистов, посвященная 20-летию образования НЯЦ РК и 55-летию образования ИЯФ НЯЦ РК, (г. Алматы, 6-8 июня 2012 г.). Алматы. 2012. С. 214–215.
7. Едигенов М.Б., Усупаев Ш.Э., Маралбаев А.О., Туркбаев П.Б. Перспективы освоения месторождений полезных ископаемых Кыргызстана и Казахстана // Горный журнал. 2016. № 8. С. 10-15.
8. Усупаев Ш.Э., Маралбаев А.О. Законодательные и нормативно-правовые основы недропользования в Кыргызстане и пути их совершенствования // Горный журнал. 2016. № 8. С. 28-32.

УДК 551.263

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОНОМИЧЕСКАЯ ТИПИЗАЦИЯ ГЕОРИСКОВ ЛИТОСФЕРЫ ДАГЕСТАНА

ENGINEERING GEONOMICHSKAYA TYPIFICATION GEORISK LITOSPHERE DAGESTAN

Усупаев Ш.Э., Айтеков М.-П.Б.

sh.usupaev@caiaq.kg, m.aytekov37@mail.ru

Центрально Азиатский институт прикладных исследований Земли, г.Бишкек, Кыргызстан,
ИГ ДНЦ РАН, г.Махачкала, Россия

***Аннотация.** В статье приводится составленная впервые инженерно-геономическая карта типизации, прогноза и ИГН модели трансформации георисками кровли литосферы на территории Дагестана Российской Федерации.*

***Ключевые слова:** инженерная геономия, типизация, трансформация, кровля литосфера, геономы, геориски, оползни, сели, карст, заболачивание, сейсмическая опасность.*

Республика Дагестан имеет площадь 50,3 тыс. км² расположена на северо-восточных склонах Большого Кавказа и на юге Прикаспийской низменности, вдоль западного побережья Каспийского моря. Страна, простираясь с севера на юг на 414 км. и с запада на восток на 222 км. территориально входит в Северо-Кавказский Федеральный округ (СКФО) и граничит с Южной Осетией, Грузией и Азербайджаном на юге, и с Южным Федеральным округом на западе и на севере. Численность населения на 2010 год составляла – 2 910 249 чел. (городского 1 315 882 чел., сельского 1 594 367 чел.), 41 сельский район, 1 участок - Бейтинский и 10 городов. В столице страны г. Махачкала проживает 578,0 тыс. чел. Особенности физико-географического положения, геологического и сейсмогенотектонического

строения, а также размещение на территории потенциально-опасных природных, техногенных, химически-опасных и других объектов вызывают риски возникновения стихийных бедствий и чрезвычайных ситуаций [1-6].

В Республики Дагестан имеют место возникновение георисков метеорологического характера связанные с понижением температуры воздуха ниже нормы, выпадением осадков в виде снега, сильного ветра в приморских районах республики и г. Махачкала, гололедных явлений на федеральной трассе М-29 «Кавказ».

В январе-апреле сезонно активизируются геориски от снежных лавин в районах Ахтынский, Рутульский, Тляратинский, Чародинский, Цумадинский, Цунтинский, Гумбетовский районы и Бежтинский участок. Лавинная опасность в Республике Дагестан несет угрозу в 9 горным районам страны - Цунтинский, Цумадинский, Тляратинский, Рутульский, Чародинский, Ахтынский, Догузпаринский, Гумбетовский районы, Бежтинский участок, где выявлены наиболее опасных 32 лавинных участков [5].

Геориски от активизации оползней и селей вызываются в связи с таянием снега, затяжных атмосферных осадков, антропогенного воздействия в горных и предгорных районах Республики. Активизация селей сезонно проходит в Цунтинском, Гумбетовском, Цумадинском, Табасаранском, Новолакском, Ахвахском, Казбековском, Кайтагском, Ахтынском, Лакском, Агульском, Левашинском, Гунибском, Догузпаринском, Ботлихском, Шамильском, Карабудахкентском (береговая зона Каспийского моря), Буйнакском районах, г.г.Буйнакск и Махачкала. Максимальная активность селей и оползней сезонно проявляются в марте-мае месяцах в Предгорном Дагестане и в июне-августе в области Среднегорного и Высокогорного Дагестана [5].

Основными факторами развития оползней являются гидрометеорологические (атмосферные осадки), техногенные (строительство дорог, подрезка склонов) и неотектонические условия. В 2012 г. наблюдались год активности схода оползней до 4 шт. Всего в стране насчитывается 221 оползней создающий угрозу 222 населенным пунктам, где общая численность населения в зоне риска составляет 120 тыс. чел. (или 29 тыс. жилых домов). Речная сеть Дагестана представлена такими крупными водными артериями как Терек, Сулак, Самур. Геориски от оползней несут угрозу населённым пунктам Шамильский район с. Ратлуб, г. Буйнакск, Ахвахский район с. Карата, Местерух, Лологонитель, г. Махачкала, пос. Тарки, а от селевых потоков- 5 населённым пунктам и 3 объектам транспортной инфраструктуры по автодорогам Унцукульского и Цумадинского района (с. Хварши, с. Агвали, с. Верхний инхоквари, с. Качали, с. Гакко) и Цунтинского района между с. Шаури и с. Мокок [5].

Обвальнo-осыпные процессы ежегодно активизированы в летне-осенний период при прохождении ливневых дождей в областях Высокогорного, Среднегорного Дагестана и в Предгорном Дагестане. Активизация от воздействия гидрометеорологических, неотектонических, техногенных (подрезка склонов при строительстве автодорог) георисков происходит в Ахтынском, Чародинском, Ахвахском, Агульском, Курахском, Дахадаевском, Кулинском, Гунибском, Тляратинском, Шамильском, Гумбетовском, Цумадинском, Цунтинском районах, г.Махачкала (пос. Тарки) [5].

С июня по август месяцы сезонно проявляются геориски от паводков и затопления на территории Бабаюртовского и Кизлярского районов вследствие высокого прохождения уровня воды в р.Терек. Оттаивание значительных снего-запасов при резком потеплении активизирует геориски от половодья с превышением уровней воды в малых реках Дагестана на 30-40% от нормы [5].

Селевые процессы имеют сезонный характер активизации с пиками роста их активности в бассейне рек: Андийское Койсу, Казикумухское Койсу, Аварское Койсу, Уллучай, Кара-Койсу, Курах-чай, Акташ, Аксай, Чирагчай, Самур в паводковый период (апрель-июнь) и в период ливневых дождей весенне-летний период (июнь-сентябрь).

В республике выделено 37 селеопасных участков, создающих угрозу 37 населенным пунктам, где в зоне опасности проживают 5050 чел. (1056 жилых домов).

Например, в г. Дербент в результате прошедших ливневых дождей 10 октября 2012 года сход селевых потоков привел к подтоплению приусадебных участков и подвальных помещений 320 частных жилых домов с населением 1120 чел. Одновременно произошло повреждение участка газопровода низкого давления длиной около 250 м (диаметр 57 мм) и было нарушено газоснабжение 200 домовладений с населением 2500 человек. Вследствие подтопления насосной станции нарушено водоснабжение 5 373 домов с населением 27 000 чел. Погибло 6 человек [5].

По данным Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений и Дагестанского филиала ГС РАН в ближайшие 3-5 лет сохраняется вероятность возникновения ощутимого сейсмического события. Северо-Кавказский регион относится к одному из наиболее сейсмоактивных регионов России, где возможны катастрофические землетрясения с магнитудой 8 и более. Высокая сейсмичность определяется геологическим строением исследуемой территории, где на Кавказе в земной коре накапливаются значительные напряжения на границе столкновения 2-ух крупных литосферных плит - Скифско-Туранской и Аравийской. В течение последних 30 лет в пределах СКФО проявились 6 катастрофических землетрясений: 1976, 1986, 1988, 1991, 1992 и 2000 гг. В 1988 г. произошло Спитакское землетрясение магнитудой $M=6,9$ и в 1991 году Рачинское магнитудой $M=7,1$. В зоне возможных землетрясений интенсивностью до 8–9 баллов входят территории Дагестана. Ежегодно землетрясения, интенсивностью до 4–5 баллов проявляются на территории Дагестана. Согласно разработанного сотрудниками Координационного прогностического центра Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской Академии наук прогноза в Восточном Дагестане высока вероятность возникновения сильного землетрясения с $5,8 < M_s < 6,2$ в т.ч. в районе г. Махачкалы или г. Дербента [5].

На составленной ИГН карте типизации и прогноза георисков видно, что кровля литосферы территории Дагестана подвержена трансформации тектонического и сейсмического характера (Рис.1) [1-6].

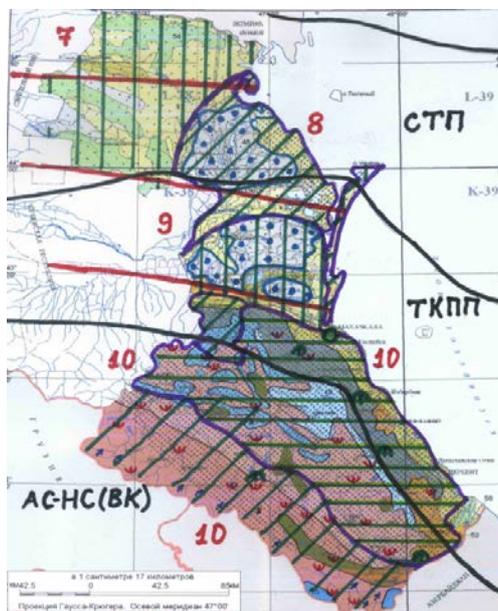


Рисунок 1 – Интегральная ИГН карта типизации и прогноза георисков на территории Дагестана.

Из ИГН карты следует, что максимальные по интенсивности сейсмического воздействия в 10 баллов трансформации происходят в южной части страны в пределах альпийского складчато-надвигового горного сооружения Восточного Кавказа АС-НС (ВК), включая южную зону Терско-Каспийского передового прогиба, представленного Южно-Дагестанской тектонической ступенью, Терско-Сунженской Зоной, Дагестанским клином и

Нараттюбинской складчато-надвиговой зоной. Данная зона характеризуется максимальным развитием георисков от оползней, обвалов, карста, селей и лавин (Рис.1).

Трансформация кровли литосферы Дагестана сейсмичностью в 9 баллов субширотно охватывает срединную часть страны в пределах северной части Терско-Каспийского передового прогиба (ТКПП) и охватывает Терско-Сулакскую депрессию.

На ИГН карте в пределах 9 балльной зоны контуром и крапом синего цвета выделены районы заболачивания и засоления, которые создают эффект приращения сейсмической балльности (рис.1) [1, 2, 6].

На ИГН карте трансформация кровли литосферы сейсмичностью в 8 баллов охватывается субширотная южная часть Скифско-Туранской плиты, где контуром и крапом синего цвета выделены районы заболачивания и засоления, которые создают эффект приращения сейсмической балльности. В северной части Скифско-Туранской плиты кровля литосферы трансформируется сейсмичностью в 7 баллов (Рис.1) [1, 2, 6].

Таким образом, закономерно по субширотной зависимости последовательно с севера на юг происходит увеличение трансформации кровли литосферы на территории Дагестана. При этом максимальные геориски склонового экзогенного характера приурочены к зонам повышенной сейсмичности в 9 и 10 баллов (Рис.1) [1, 2, 6].

На интегральной инженерно-геономической карте типизированы и выделены штрихами территории по коэффициенту пригодности для проживания населения. Горизонтальные штрихи указывают на наиболее пригодные условия $K=0,42-0,67$; диагональные штрихи на пригодные условия с $K=0,28-0,42$; и горизонтальной штриховкой наименее пригодные обстановки с $K=0,14-0,28$ (Рис.1) [1, 2, 6].

На рисунке 2 приведены составленные «Инженерно-геономические модели закономерности латерального по-широтного (а) и вертикального по-высотного (б) распределения геономов (территориальности, орогенности, долинности, густоты числа населенных пунктов), типизации и прогноза георисков в Дагестане (Рис.2) [1, 2, 6].

Из ИГН модели латерального по-широтного распределения геономов (а) видно, что густота населенных пунктов имеет максимальный пик, совпадающий с высотой от 1,5 до 4 км и одновременно совпадает с 10 балльной зоной сейсмической опасности.

На ИГН модели вертикального по-высотного распределения геономов территориальности Дагестана, пики максимального распределения количества георисков и густоты концентрации населенных пунктов коррелируют между собой и совпадают с максимальными пиками сейсмичности в 10 баллов (Рис.2) [1, 2, 6].

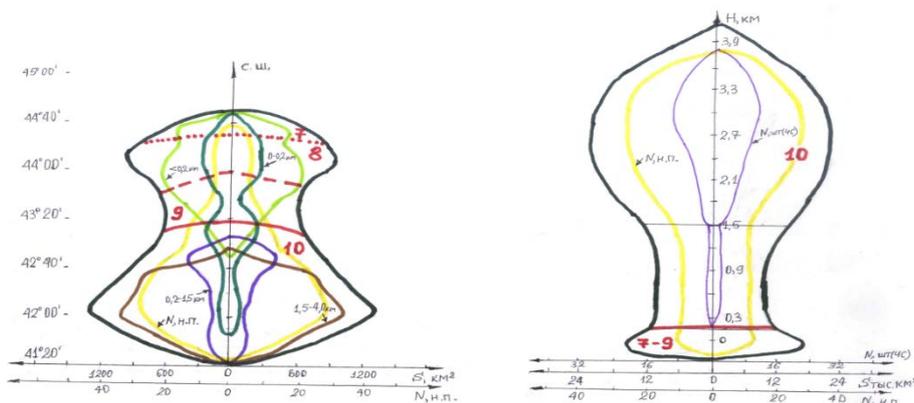


Рисунок 2 – Инженерно-геономические модели закономерности латерального по-широтного (а) и вертикального по-высотного (б) распределения геономов (территориальности, орогенности, долинности, густоты числа населенных пунктов), типизации и прогноза георисков в Дагестане.

Из ИГН карты и моделей видно, что наиболее высоко-сейсмические районы являются по био- климатическим обстановкам наиболее пригодными для проживания, что требует

организации высокого уровня системы предупреждения и раннего оповещения населения от георисков природного, техногенного и экологического характера.

Выводы.

1. Составлена интегральная ИГН карта типизации и прогноза георисков природного характера для территории Дагестана.
2. ИГН карты преобразованы в геоним-модели закономерностей латерального по широтного и по высотного распределения компонентов природной среды, типизации и прогноза георисков от сейсмичности, оползней, селей и заболоченности.

Литература.

1. Сабанаев К.А., Черкашин В.И., Шалбузова А.В. Схема тектонического районирования Дагестана. Масштаб 1:500 000. 2012 г.
2. Карта современных экзогенных геологических процессов. Составлена на основе карты экзогенных процессов России масштаба 1:2 500 000. ВСЕГИНГЕО. 2004 г.
3. Айтеков М-П.Б., Газалиев И.М., Пирилова М.М. Методы повышения экологического благополучия на объектах нефтегазодобычи // Материалы респ. науч.-техн. конф. «Istiqlob» «Геотехнология: инновационные методы недропользования в XXI веке». (Москва – Навоий, 25–27 сентября 2007 г.). Навоий: НавГГИ. 2007. С. 299-300.
4. Закон РЕСПУБЛИКИ ДАГЕСТАН от 24 декабря 2007 года № 72 «Об утверждении республиканской целевой программы "Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Республике Дагестан до 2010 года". ЗАО "Кодекс" Дагестанская правда. № 366-369. 25.12.2007.
5. Прогноз вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций природного, техногенного и биолого-социального характера на территории Северо-Кавказского федерального округа. Главное управление МЧС России по Республике Дагестан. 2012-2017 гг.
6. Усупаев Ш.Э. ИГН карта и модели прогноза сейсмогеорисков, трансформирующие литосферу Узбекистана // Актуальные проблемы современной сейсмологии. Сб. докл. Междунар. конф., посвященной 50-летию Ин-та сейсмологии им. Г.А. Мавлянова АН РУз (12-14 октября 2016 г., г. Ташкент, Узбекистан). Ташкент. 2016. С. 727-734.

УДК 550.348.436

К ВОПРОСУ О РЕЖИМЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВИЗАЦИИ В ОБОБЩЕННОЙ ОКРЕСТНОСТИ СИЛЬНОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ (ПО ДАННЫМ КАТАЛОГА ТАДЖИКИСТАНА)

TO ISSUE OF SEISMIC ACTIVATION AROUND THE GENERALIZED VICINITY OF STRONG EARTHQUAKE (ON EXAMPLE OF TAJIKISTAN EARTHQUAKE CATALOGUE)

Шозиёев Ш.П., Айдаров Ф.А.

shokarim@mail.ru

Московский Государственный Университет, г. Москва, Россия

Аннотация. Исследуя закономерности спада афтершоковой и рост форшоковой активности по натурным данным, мы сильно ограничены в информации о геодинамических

условиях. Также нам неизвестны под какими напряжениями находится горная порода. Во многих случаях ничего не известно о действующих напряжениях, всестороннем сжатии породы, роль флюидов в формирование сейсмического процесса. Несмотря на это, в работе в рамках идеи «наложение эпох», изучаются поведение форшоков и афтершоков в обобщенной окрестности сильных землетрясений по данным каталога Таджикистана.

Ключевые слова: форшок, афтершок, наложение эпох, Таджикистан.

Землетрясения могут сопровождаться предшествующими толчками, получившими название форшоков. Многими исследователями форшоки рассматриваются в качестве предвестников землетрясений. Однако в среднем они отмечаются для очень небольшого количества сильных землетрясений. Так, например, по районам Японии только пятая часть крупных землетрясений предваряются наличием форшоков. При анализе данных Таджикистана наблюдалось, что перед некоторыми главными событиями наблюдался всплеск событий типа «форшок» за несколько суток до основного события. С приближением к главному толчку количество и энергетический класс форшоков возрастают.

Форшоковая активность многими авторами признана коротко-срочным предвестником главного толчка. Главное свойство афтершоков является то, что они со временем мигрируют (стягиваются) к эпицентру главного толчка [1,2,3], их число возрастает и это приводит к уменьшению значения b -value. Однако, эти пространство–временные модели проверены только для немногих отдельных случаев, главным образом из-за недостаточности данных и плохой представительности каталога землетрясений. [2].

Краткосрочные форшоки, предшествующих главному событию и время изменения, которых составляет от часа до 5-6 месяцев, вызвали интерес для исследования с 1960-х годов прошлого столетия [4-8]. Согласно авторам [9] форшоки увеличивают вероятность возникновения будущих сильных событий в краткосрочном смысле и являются хорошим предвестником землетрясений [10] не зависимо от различных возможных механизмов генерации форшоков [11,12]. Например, один из краткосрочных предвестников большого землетрясения 4 февраля 1975 года в городе Хайчэн (7.2 М), Китая был основан на анализе форшоков [13]. Главной проблемой является то, что некоторым событиям предшествуют форшоки, а другим нет. Больших внутри-плитовых землетрясений предшествует форшоковая последовательность [14]. С другой стороны, форшоки представляют большой интерес для изучения распределения форшоковой последовательности в пространстве и во времени. Исследования по сейсмическому режиму показали, что краткосрочная форшоковая активности увеличивается при приближении к главному событию, другими словами наблюдается инверсия закона Омори [6, 7,15].

Афтершоковые последовательности были рассмотрены в качестве доказательства релаксационных процессов в регионе после сильного землетрясения [16-18]. Пшеников [16] используя реологическую модель Максвелла, анализировал релаксации деформации при условии, что напряжения являются постоянными. Но такое представление является сильным ограничением для афтершоковых последовательностей.

Основная цель в этой работе сосредоточено на изучении форшоков и афтершоков в обобщенной окрестности сильных землетрясений по данным каталога Таджикистана. Основными инструментами исследования, являются установленные в настоящее время закономерности развития афтершоковой активности, например, закон Гутенберга-Рихтера [19], закон Омори [20] для обобщенной окрестности сильного землетрясения.

Методика и результаты. *О режиме сейсмической активизации в обобщенной окрестности сильного землетрясения.* В последние годы в работах [21, 22,] широко обсуждается режим сейсмической активизации в обобщенной окрестности сильного землетрясения. В работах уточняется поведение форшоков и афтершоков степенного каскада землетрясений, а также слабовыраженной сейсмической активизации в окрестности главного события. Для проведения такого анализа были выбраны события из пространственно-временных областей, окружающих гипоцентры семнадцати наиболее сильных землетрясений

из каталога Таджикистана с афтершоковыми последовательностями длительной продолжительностью (от одного года до двух лет и количеством афтершоков более ста событий). Пространственные размеры событий в расчете принимались 2L размера очага [18,]. При выборе временной окрестности землетрясений основанием была принята критерия слабой независимости длительности цикла разрушения от магнитуды [17]. Поэтому, выборку землетрясений по времени составляет два года до и после главного толчка. Забегая вперед нужно отметить, что для идентификации афтершоков был использован алгоритм [23], запрограммированный Смирновым [24].

При анализе данных наблюдалось, что всем главным толчкам в области два размера очага (2L) наблюдалось непрерывная сейсмичность (фоновая). Период нашей выборки до основного события составляет 730 дней (два года). С приближением к главному толчку количество и энергетический класс форшоков возрастают. Например, от 730 дней до 60 дней до главного толчка произошли 10 землетрясений с энергетическим классом $K > 14$, а в течение 40 дней произошли 8 событий с указанным энергетическим классом. Интенсивность событий 8-10 энергетического класса перед главным ударом за несколько дней уменьшается, а сильных увеличивается (Рис. 1а).

Ускорение процесса трещинообразования до главного события также подтверждается лабораторными экспериментами по теории разрушения материалов [4, 25] и аналитическим моделированием механических разрушений [26]. Все это свидетельствует, что форшоки представляют собой неотъемлемое свойство процесса зарождения очага главного толчка. Существует экспериментальное подтверждение, что форшоковый и афтершоковый режим имеют ровно выраженный уровень [27]. Принцип наложение эпох по натурным данным показывает обратное, т.е. перед землетрясениями форшоки в разы меньше афтершоков.

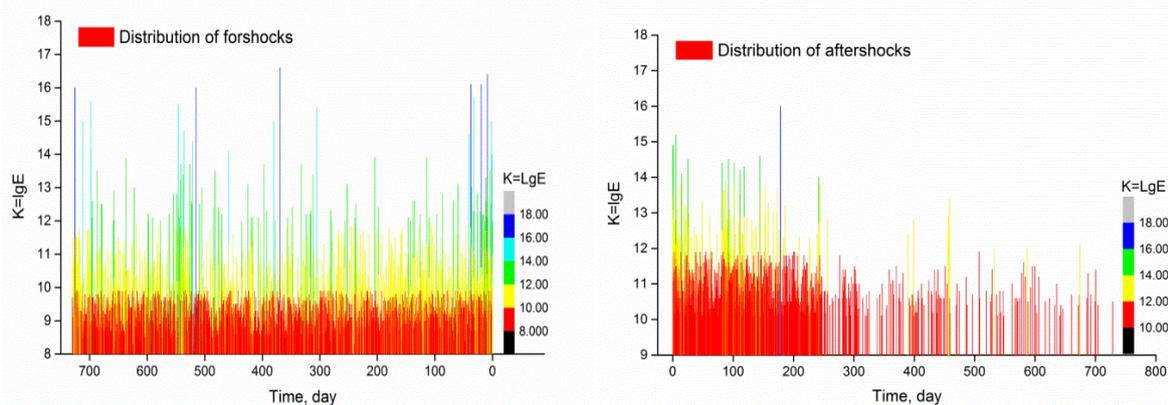


Рисунок 1 – Изменение интенсивности потока событий для форшоковой (а) и афтершоковой(б) процессов в обобщенной окрестности 17 сильных событий на территории Таджикистана и прилегающих стран. Изменение интенсивности потока событий в области +/-730 дней от момента главного толчка.

Как правило, афтершоки возникают сразу во всей очаговой области главного события, несмотря на то, что можно было бы ожидать сосредоточения афтершоков в местах высокой концентрации напряжений, вызванной разрывом в очаге главного события. Распределение афтершоков в пространстве для обобщенной окрестности в течение всего времени также спадает и по количеству, и по интенсивности, как наблюдается в каждом отдельном акте

Оценка закона Омори в обобщенной окрестности сильного землетрясения. Оценки показывают, что величины параметров закона Омори s и p варьируют в определенном интервале. Для землетрясений ($M > 5$) были получены оценки параметров закона Омори p - и s -value. Интервал изменения p -value: $0.3 < p < 1.4$ и интервал изменения s -value: $0.001 < s < 1.96$ день или $0.02 < s < 42$ часов [28]. Параметры p и s модифицированного закона Омори также оценивались методом, предложенным в [29], с использованием программного обеспечения,

разработанного авторами метода и свободно доступного на их сайте [<http://www.agnld.uni-potsdam.de/~hols/software/patate/>].

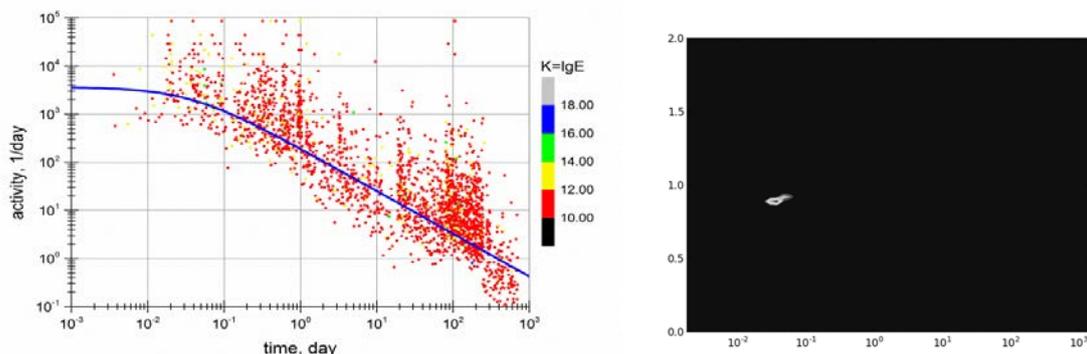


Рисунок 2 – Интенсивность афтершоковых событий в зависимости от времени для обобщенной окрестности сильного землетрясения (а). Линией (левая графика) и белое пятно на черном фоне (на правом графике) изображен аппроксимации, рассчитанные по наивероятнейшим значениям, полученным из двумерных функций плотности вероятности (б).

Параметры закона Омори с учетом их 95% доверительным интервалом в обобщенной окрестности сильного землетрясения по афтершокам имеет следующее значения: $c=0.04$ день и $p=0.89$ соответственно, что лежит в интервал изменения этих параметров, оценённые по отдельным афтершокам в район наших исследований. Ранее в работах [21, 22] по данным каталога USGS/NEIC для последовательности афтершоков также было получено значение $p=0.81$ (с учетом их 95% доверительным интервалом).

Наложение фоновой сейсмичности на форшоков усложняло проверку инверсии закона Омори, предложенное в работе [7]. Согласно их утверждению, увеличение скорости форшоков тоже следует закону Омори, с некоего момент времени до главного события. Таким образом, вопрос выделения форшоков из фоновой сейсмичности остается открытым. Инверсия закона Омори по нашим данным наблюдалось только за несколько месяцев до главного события. Параметры закона Омори с учетом их 95% доверительным интервалом в обобщенной окрестности сильного землетрясения для форшок изменяется следующее значения: $c=0.02$ день и $p=0.2$ соответственно (Рис.3.). Значение в район наших исследований p в 3 раза меньше значения, полученное в [21, 22], по данным которых $p=0.6$. Эти указывает на то, что скорость нарастание форшок для обобщенной окрестности сильного землетрясения по данным каталога Таджикистан, идет намного медленнее относительно значения p -value по данным каталога USGS/NEIC.

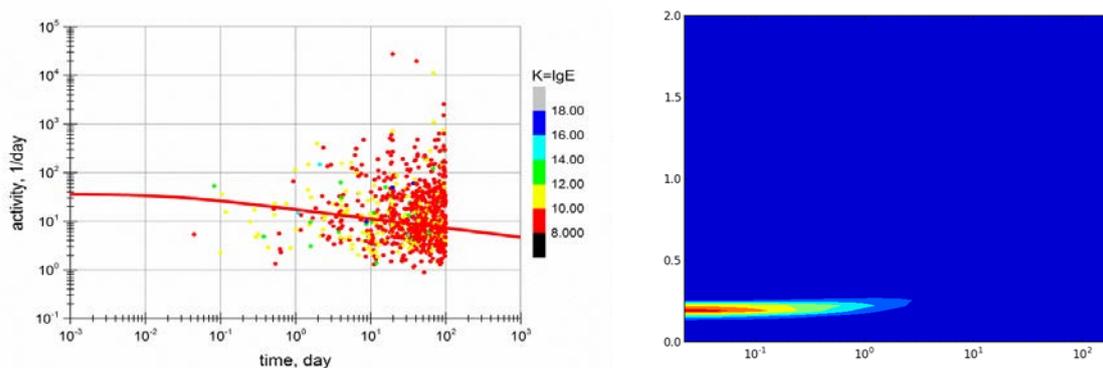


Рисунок 3 – Интенсивность форшоковых событий в зависимости от времени для обобщенной окрестности сильного землетрясения (а). Приведен график оценки по наивероятнейшим

значениям (p и c) закона Омори, полученным из двумерных функций плотности вероятности (б).

Обсуждение и заключение. Комплексный подход к изучению по предлагаемым в работе подходам позволяло выявлению некоторых свойств форшокового и афтершокового процесса. Практическая значимость выполненных исследований позволило получить более точных статистических оценок текущей сейсмической опасности, т.е. прогноза сейсмической опасности после крупных землетрясений для регионов с разной геодинамической ситуацией.

Распределение очагов афтершоков вблизи обобщенной окрестности сильного землетрясения показывают высокую вероятность возникновения сильного землетрясения район наших исследований. Принимая во внимание, что участок главного толчка сохраняет активность сильных событий в течение полугода. Таким образом, это говорит о сохранения напряжённого состояния среды долгое время в очаговой зоне. Очевидно, подобные исследования необходимо провести для разных районов и разных диапазонов энергии землетрясений.

Нарастание и спад потока событий до и после для обобщенной окрестности сильного землетрясения происходит по степенному закону Омори. Вопрос о механизмах фор- и афтершоковой активности обсуждается в литературе (см., например, [11, 21, 30, 31]). Полученный в настоящей работе результат свидетельствует в пользу гипотезы о наличии общих механизмов в фор- и афтершоковой последовательности.

Литература

1. Chen Y., Liu J., Ge H. Pattern Characteristics of Foreshock Sequences // *Pageoph*. 1999. 155. 2–4. P. 395–408.
2. Papadopoulos G.A., Minadakis G. Foreshock Patterns Preceding Great Earthquakes in the Subduction Zone of Chile // *Pure Appl. Geophys.* 2016. Springer International Publishing. DOI 10.1007/s00024-016-1337-5
3. Lippiello E., Marzocchi W., de Arcangelis L., Godano C. Spatial organization of foreshocks as a tool to forecast large earthquakes // *Scientific Reports*. 2012. doi:10.1038/srep00846.
4. Mogi K. The fracture of a semi-infinite body caused by an inner stress origin and its relation to the earthquake phenomena (second paper). *Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo*, 41, (1963a). 595–614.
5. Ishida M., Kanamori H. The foreshock activity of the 1971 San Fernando earthquake. California // *Bulletin of the Seismological Society of America*. 1978. 68. P. 1265–1279.
6. Kagan Y., Knopoff L. Statistical study of the occurrence of shallow earthquakes // *Geophys. J. Roy. Astr. Soc.* 1978. 55. P. 67–86.
7. Jones L.M., Molnar P. Some characteristics of foreshocks and their possible relationship to earthquake prediction and premonitory slip on faults // *Journal Geophysical Research*. 1979. 84. P. 3596–3608
8. Dodge D.A., Beroza G.C., Ellsworth W.L. Foreshock sequence of the 1992 Landers, California, earthquake and its implications for earthquake nucleation // *Journal Geophysical Research*. 1995. 100 (B6). P. 9865–9880.
9. Michael A. Fundamental questions of earthquake statistics, source behavior, and the estimation of earthquake probabilities // *Bulletin of the Seismological Society of America*. 2012, doi:10.1785/0120090184.
10. Wyss M. Nomination of precursory seismic quiescence as a significant precursor // *Pure Appl. Geophys.* 1997. 149. P. 79–114.
11. Helmstetter A., Sornette S., Grasso J.-R. Main shocks are aftershocks of conditional foreshocks: how do foreshock statistical properties emerge from aftershock laws // *Journal Geophysical Research*. 2003, doi:10.1029/2002JB001991.

12. Peng Z.G., et al. Seismicity rate immediately before and after main shock rupture from high-frequency waveforms in Japan // *Journal of Geophysical Research-Solid Earth*. 2007. 112 (B3).
13. Scholz C.H. A physical interpretation of the Haicheng earthquake prediction // *Nature*. 1977. 267. P. 121–124.
14. Bouchon M., Durand V., Marsan D., Karabulut H., Schmittbuhl J. The long precursory phase of most large interplate earthquakes // *Nature Geoscience*. 2013. 6(4). P. 299–302. doi:10.1038/ngeo1770.
15. Papadopoulos G.A., Charalampakis M., Fokaefs A., Minadakis G. Strong foreshock signal preceding the L'Aquila [Italy] earthquake [M w 6.3] of 6 April 2009. *Natural Hazards & Earth System Science* 10. (2010). 19–24.
16. Пшенников К.В. О природе последующих толчков землетрясений // *Динамика земной коры*. М.: Наука. 1965. С. 27–32.
17. Смирнов В.Б., Пономарев А.В. Закономерности релаксации сейсмического режима по натурным и лабораторным данным // *Физика Земли*. 2004. № 10. С. 26–36.
18. Соболев Г.А., Пономарев А.В. Физика землетрясений и предвестники. М.: Наука. 2003. 270 с.
19. Gutenberg B., Richter C.F. Frequency of earthquakes in California // *Bull. Seismol. Soc. Am.* 1944. V. 34. P. 185–188.
20. Utsu T. Statistical study on the occurrence of aftershocks // *Geophys. Mag.* 1961. V. 30. P. 521–605.
21. Родкин М.В. О режиме сейсмической активизации в обобщенной окрестности сильного землетрясения // *Физическая мезомеханика*. 2008. № 11. С. 74–79.
22. Rodkin M.V., Tikhonov I.N. The typical seismic behavior in the vicinity of a large earthquake // *Physics and Chemistry of the Earth*. 2016. Pp. 1–12.
23. Молчан Г.М., Дмитриева О.Е. Идентификация афтершоков: обзор и новые подходы // *Вычислительная сейсмология*. 1991. Вып. 24. С. 19–50.
24. Смирнов В.Б. Прогностические аномалии сейсмического режима. Методические основы подготовки исходных данных // *Геофизические исследования*. 2009. Т. 10. № 2. С. 7–22.
25. Scholz C.H. Microfractures, aftershocks, and seismicity // *Bulletin of the Seismological Society of America*. 1968. 58. P. 1117–1130.
26. Main I. Apparent breaks in scaling in the earthquake cumulative frequency-magnitude distribution: fact or artifact // *Bulletin of the Seismological Society of America*. 2000. 90(1). P. 86–97.
27. Потонин А.В. Акустический шум образца горной породы при одноосном нагружении // *Геофизические исследования*. Вып.4. М.: ГЕОС. 2005. С. 65–72.
28. Шозиёев Ш.П., Айдаров Ф.А. К вопросу о значениях параметра Омори в афтершоковых последовательностях землетрясений Таджикистана // Четвертая тектонофизическая конф. (Москва, 3–8 октября 2016 г.). М.: ИФЗ РАН. 2016.
29. Holschneider M., Narteau C., Shebalin P., Peng Z., Schorlemmer D. Bayesian analysis of the modified Omori law // *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* (1978–2012), 117(B6). 2012
30. Родкин М.В. Модель сейсмического режима как совокупности эпизодов лавинообразной релаксации, возникающих на множестве метастабильных состояний // *Физика Земли*. 2011. № 10. С. 18–26.
31. Малышев А.И., Тихонов И.Н. Нелинейные закономерности развития сейсмического процесса во времени // *Физика Земли*. 2007. № 6. С. 37–51.

ВОЗМОЖНОСТИ ИЗУЧЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ДВИЖЕНИЙ ВОСТОЧНОГО УЗБЕКИСТАНА С ПРИМЕНЕНИЕМ GPS-ТЕХНОЛОГИЙ

POSSIBILITIES OF STUDYING OF MODERN MOVEMENTS OF THE EASTERN UZBEKISTAN WITH THE USE OF THE GPS-TECHNOLOGY

Эргешов И.М., Хамидов Х.Л., Хусомидинов А.С.

hamidov_1@mail.ru

Национальный центр геодезии и картографии при Государственном комитете
«Ергеодезкадастр» Республики Узбекистан,
Институт сейсмологии АН РУз, г. Ташкент, Узбекистан

***Аннотация.** Внедрение GPS в геодезическую практику позволило выйти на новые рубежи в области сейсмотектоники и оценки упругих напряжений, следовательно, и сейсмической опасности. Возможности изучения современных движений Восточного Узбекистана с применением GPS-технологий в данной работе проводилось для ограниченной территории Тянь-Шанской горной системы.*

***Ключевые слова:** смещение, деформация, GPS измерение, полигон, инструментальный, наблюдение.*

Изучение геодинамических движений с применением GPS технологий для Ферганского геодинамического полигона и примыкающим к ним территориях изложены в работах многих исследователей. Наиболее важные результаты опубликованы в работах ведущих ученых ИС РАН в г.Бишкеке, ИФЗ РАН, ИС НАН КР, ИС АН РУз и др [1,2,3].

В настоящем в Восточном Узбекистане, особенно в Ферганском геодинамическом полигоне, развивается инструментальные наблюдения по оценке смещений земной поверхности с применением GPS технологий. Они преследуют цель поиска геодинамических предвестников землетрясений. В данной зоне 2015-2016 годах нами проведены тестовые инструментальные GPS измерения, первичные оценки смещений и собраны количественные данные по возможным движениям земной коры. Для обеспечения возможности сравнительного анализа дополнительный стационарный GPS приемник установлен на обсерватории Янгибазар. Он также работает в стационарном режиме. В субширотной станции Китаб в Кашкадарьинской области работает опорный GPS приемник. Все измерения уравниваются с этим опорным приемником. Кроме них были включены на определенный этап станции Ташкент, Наманган и др. Вышеуказанные приборы работают при одинаковых интервалах времени и параметрах [4].

Восточно-Узбекистанская и Ферганская сеть заложена в 2010-2015 годах и состоит из 4х пунктов: Наманган (NAMF), Фергана (FERG), Ташкент (TASH) и Янги-Базар (YNGB). Наиболее постоянно действующая Ферганская и Наманганская станции. В 2015 проведено расширение и составлены профили уплотнения локальной сети с нестационарными точками временных измерений в пределах 2-3 сутки. В настоящее время регулярно изменению подлежат 3 пунктов 2-3 месяца в каждом в интервале срочных опросов, что было проведено в июне-августе 2015 и июле-августе 2016 года. В разнице длин векторов определены смещения по отношению выбранных опорных. Данные по реализованной схеме вводились в СУБД базу данных ARC-GIS. Оценка скоростей современных движений для изучения проявления сильных землетрясений и других геодинамических явлений в периферийных границах тектонических блоков Центральной части Ферганской долины на фоне измеренных смещений строилась по результатам наблюдений на четырех стационарных GPS станциях Восточного Узбекистана. В основу оценки скоростей положен анализ временных рядов координат GPS станций, вычисляемых из первичных данных, которые представляют собой

наборы фазовых и кодовых измерений на двух частотах продолжительностью 24 часа с интервалом регистрации 30 с.

К набору измерений на станциях NAMF, TASH, FERG добавлены данные двух близко расположенных опорных станций сети. Выбранные опорные станции с указанной кодировкой входят в реализацию международной земной отсчетной основы. Проведены тестовые измерения с 30 секундным интервалом. В это период дополнительный стационарный GPS приемник установленная ИС АН РУз на Янги-Базарской обсерватории, тоже работал в указанном режиме. В субширотной станции Китаб (KITB) Кашкадарьинской области в это время работал опорный GPS приемник. Выше указанными приемниками проведено GPS измерения при одинаковых интервалах времени и параметрах. Первичные оценки компонент скоростей и векторов горизонтальных движений в указанных выше GPS станциях Восточного Узбекистана и опорных станций сети IGS, расположенных на Тянь-Шаньском орогене показали, что временные ряды могут характеризоваться сезонными вариациями, наиболее выраженными для вертикальных компонент. Характерным аспектом движений периферийной зоны блоков Ферганской долины является возможное ускоренное горизонтальное смещение в северо-восточном направлении практически с одинаковыми скоростями. Подобными движениями характеризуются Северо-Ферганский разлом и субширотная часть Южно-Ферганского разлома, примыкающая к Сохской зоне. Пункты станций в центральной части полигона также движутся в северо-восточном направлении, однако скорость их несколько меньше, 18–20 мм/год. Скорость движения опорной станции FERG значительно превышает все остальные (38 мм/год).

Для кинематического анализа приведенных различий скоростей движений всех указанных станций соотнесено с движением Западно-Чаткальской периферийной зоны представленной станцией YNGB. Для определения параметров движения YNGB использован набор опорных станций по SAMR (Самарканд), TASH и FERG. Движение опорных станций TASH и YNGB, расположенных к западу Чаткальского хребта, похоже, соответствует кинематике Восточного Узбекистана (в пределах погрешностей измерений), так как эти станции входят в число опорных станций, определяющих ее стабильную внутреннюю часть. В то же время станции внутреннего поля Ферганской долины, а также станция YNGB при совмещении, характеризуются избыточными значениями скоростей 4–8 мм/год по отношению к расчетным значениям. Данные отличия, проявляются в виде остаточных смещений пунктов GPS, т.к. эти значения скоростей определены относительно SAMR, принятого нами как неподвижной. Современное относительно более быстрое смещение периферийных границ тектонических блоков Центральной части Ферганской долины, видимо, обусловлены основным полем тектонических движений Восточного Узбекистана.

Литература

1. Zubovich A.V., Yarmukhamedov A.P., Kuzikov S.I., Mosienko O.I., Radjabov Sh.S., Щелочков Г.Г. Современные деформационные процессы в Западном Тянь-Шане // Проблемы оценки сейсмической опасности, сейсмического риска и прогноза землетрясений. Материалы междунар. науч. конф., (г. Ташкент, 7-8 октября 2004 г.). Ташкент. 2004. С. 238-240.
2. Zubovich A.V., Makarov V.I., Kuzikov S.I., Mosienko O.I., Щелочков Г.Г. Внутриконтинентальное горообразование в Центральной Азии по данным спутниковой геодезии // Геотектоника. 2007. № 1. С. 16–29.
3. Zubovich A.V., Mukhamediev Sh.A. A method of superimposed triangulations for calculation of velocity gradient of horizontal movements: application to the Central Asian GPS network // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2010. V. 1. № 2. P. 169–185.
4. Эргешов И.М., Хамидов Л.А., Хусомиддинов А.С., Хамидов Х.Л. Морфогенетические особенности Восточной части Западного Тянь-Шаня для организации GPS измерительных пунктов // Доклады АН РУз. 2016. № 2. С. 49-54.

**ИССЛЕДОВАНИЕ АНОМАЛЬНЫХ ВАРИАЦИЙ ЕСТЕСТВЕННОГО
ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ**

**STUDY ANOMALOUS VARIATION NATURAL PULSED ELECTROMAGNETIC
FIELD OF THE LAND**

Юсупов В.Р.

valijon.yusupov@mail.ru

Институт сейсмологии АН РУз, г. Ташкент, Узбекистан

***Аннотация.** В статье приведены вариации импульсного электромагнитного поля на магнитно-ионосферной обсерватории «Янгибазар», суточные, сезонные вариации, электротеллурического поля, наблюдаемые в Узбекистане и других сейсмоактивных регионах, а также краткосрочные аномальные вариации импульсного электромагнитного поля, связанные с землетрясениями.*

***Ключевые слова:** амплитуда, вариации, электромагнитное поле, геодинамический полигон, эпицентр, прогностические станции, импульсное электромагнитное поле.*

Среди электрометрических предвестников землетрясений (вариации электрического сопротивления горных пород, теллурических токов, атмосферного электричества и др.) наиболее перспективным, но еще малоисследованным является естественное импульсное электромагнитное излучение земной коры. О возможности накопления и разряда электричества в недрах Земли писал в 70-х годах прошлого столетия Воробьев А.А. [1].

Аномальные вариации электромагнитного излучения (ЭМИ) земной коры, связанные с землетрясением, впервые зарегистрированы в Приташкентском районе в штольне Чарвакского водохранилища [2]. Этот метод быстро распространился: на Ташкентском, Ферганском и Кызылкумском полигонах открыты семь стационарных станций импульсного ЭМИ. Обширные исследования организованы также в эпицентрах произошедших сильных землетрясений. В течение короткого времени в Узбекистане обнаружили многочисленные краткосрочные аномальные изменения, связанные с землетрясениями [3-6].

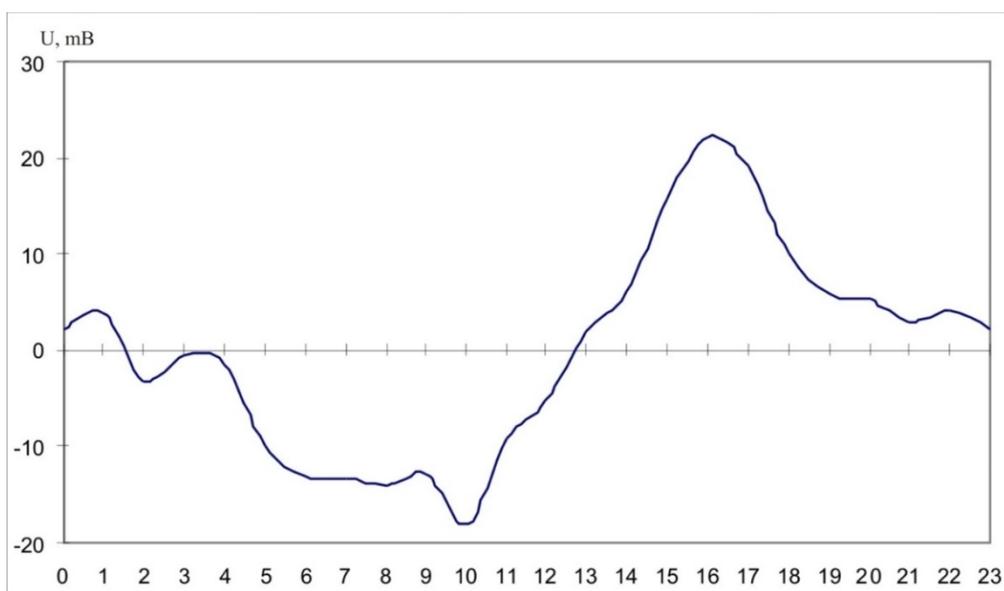
В настоящее время этот метод широко применяется во многих странах Мира (Россия, Япония, Китай, США, Греция и др.) [7-9]. Вариации импульсного ЭМИ, теллурических токов, метеорологических и других параметров регистрировались отдельно. Это вызывало неудобства при интерпретации результатов измерений, так как они могли быть следствием не только сейсмических событий, но и ряда метеорологических и других явлений. Учитывая это обстоятельство, под руководством С.С. Хусамиддинова в 2013- 2014 гг. был разработан Кустовой центр и на территории Узбекистана установлены 6 комплектов, позволяющих одновременно регистрировать 18 параметров: вариации ЭМИ на частотах 2 и 12 кГц в направлениях север-юг, восток- запад, теллурических токов также в двух направлениях, почвенного радона, температуру и влажность воздуха и др. Исследовались суточные, сезонные, периодические и аperiodические вариации параметров.

Так на территории Магнитно-ионосферной обсерватории Янгибазар с помощью кустового центра организованы круглосуточные электрометрические наблюдения.

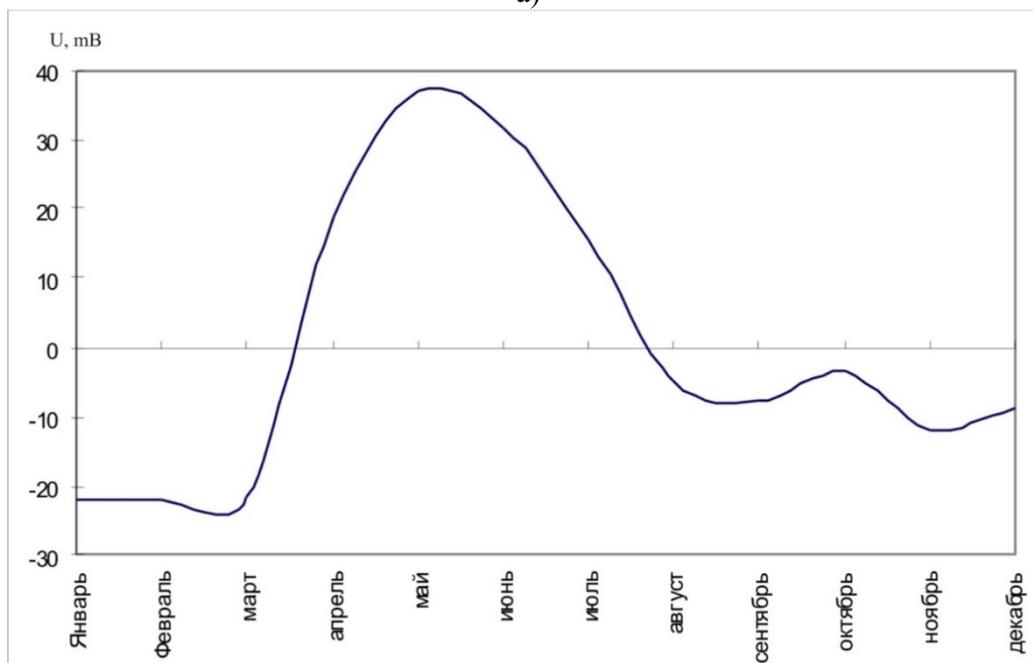
На рис.1а приведены среднесуточные вариации ЭМИ в обсерватории Янгибазар, вычисленные путем осреднения данных 365 дневных измерений интенсивности поля. Как видно из рисунка, интенсивность поля в первой половине суток отрицательная, а во второй-положительная.

На рис.1б отражены годовые вариации импульсного ЭМИ в обсерватории Янгибазар. Так, интенсивность ЭМИ в летные месяцы высокая, а в зимние низкая.

Теллурические токи (ТТ) - естественные токи, протекающие на глубинах 50-100 метров от поверхности Земли. Природой и распространением ТТ занимались Хусомиддинов С.С., Мороз Ю.Ф., Мороз Т.А., Дещеревский А.В., Сидорин А.Я., Попруженко С.В., Трубников В.М., Кузнецова В.П., Вершинин Е.Ф., Назарец В.П., Моги Т. И и др.) [8]. В прежних станциях ТТ регистрировались только в одном направлении: восток- запад или север-юг. В кустовом центре они фиксируются в обоих направлениях и синхронно с остальными параметрами (ЭМИ, метеорологические параметры, почвенный радон и т.д). Расстояние между электродами колеблется от 2 до 500 метров. Измеряется разность потенциалов между электродами. Исследованы также техногенные и естественные факторы, существенно искажающие напряженность поля.



а)



б)

Рисунок 1 – Вариации импульсного электромагнитного излучения в обсерватории Янгибазар за 2014 год. а) среднесуточные б) сезонные.

На рис. 2 приведены вариации электротеллурического поля за 2013-2015 гг., зарегистрированные в кустовом центре Янгибазар. В весенние месяцы наблюдается понижение поля, а в летние повышение.

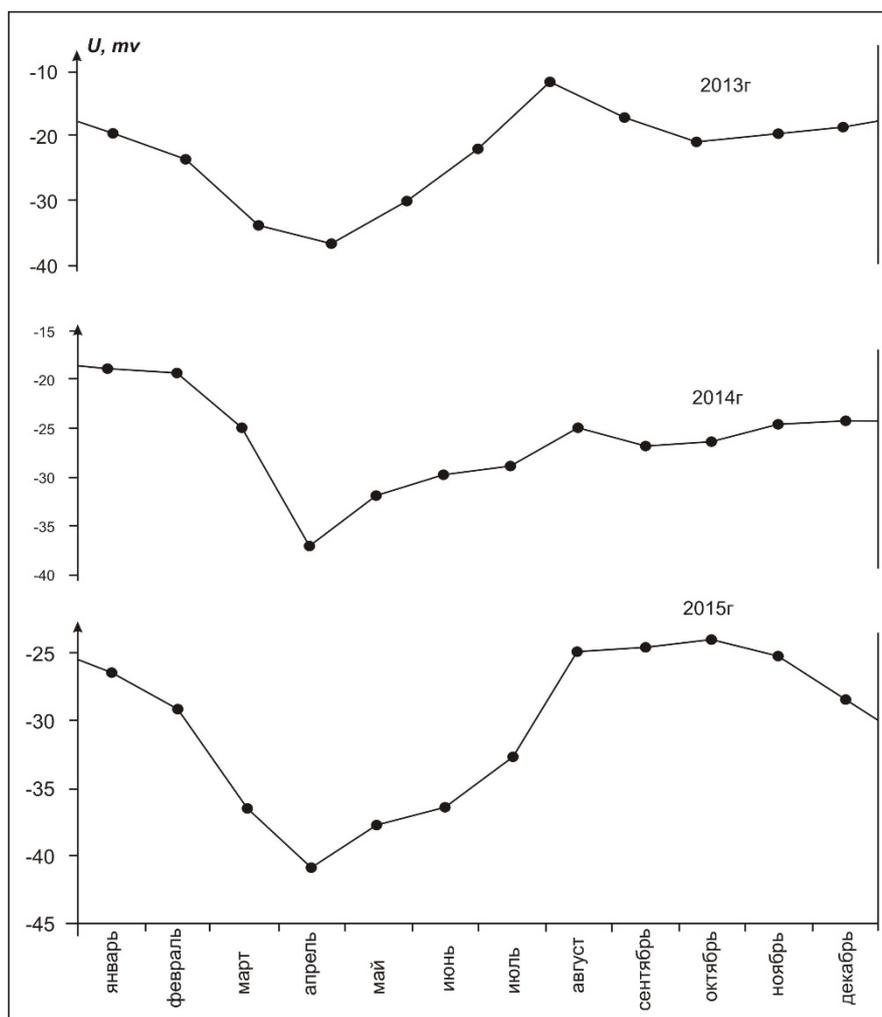


Рисунок 2 – Вариации электротеллурического поля в обсерватории Янгибазар, год.

Аномальные изменения импульсного электромагнитного поля и ТТ выделяются после учета периодических и аperiodических вариаций естественного и искусственного происхождения.

Как видно из рис. 1 и 2, сезонный ход ЭМИ и ТТ противофазного характера: в ЭМИ с апреля по июль наблюдается повышение поля, а в ТТ наоборот, в эти месяцы аномальное понижение интенсивности поля.

Выявленные аномальные изменение импульсного электромагнитного излучения земной коры, связанные с сильными Туябугузским (M=6,2) и Маржанбулакским (M=5,5) землетрясениями 25 и 26 мая 2013 г. приведены на рис.3. Предвестники ЭМИ проявляются в виде двух мощных аномальных всплесков, первый за 7 суток, а второй за сутки до толчков.

В настоящее время на территории Узбекистана продолжается мониторинг комплексных сейсмопрогностических наблюдений методами геофизики, гидрогеосейсмологии, деформометрии и т.д.

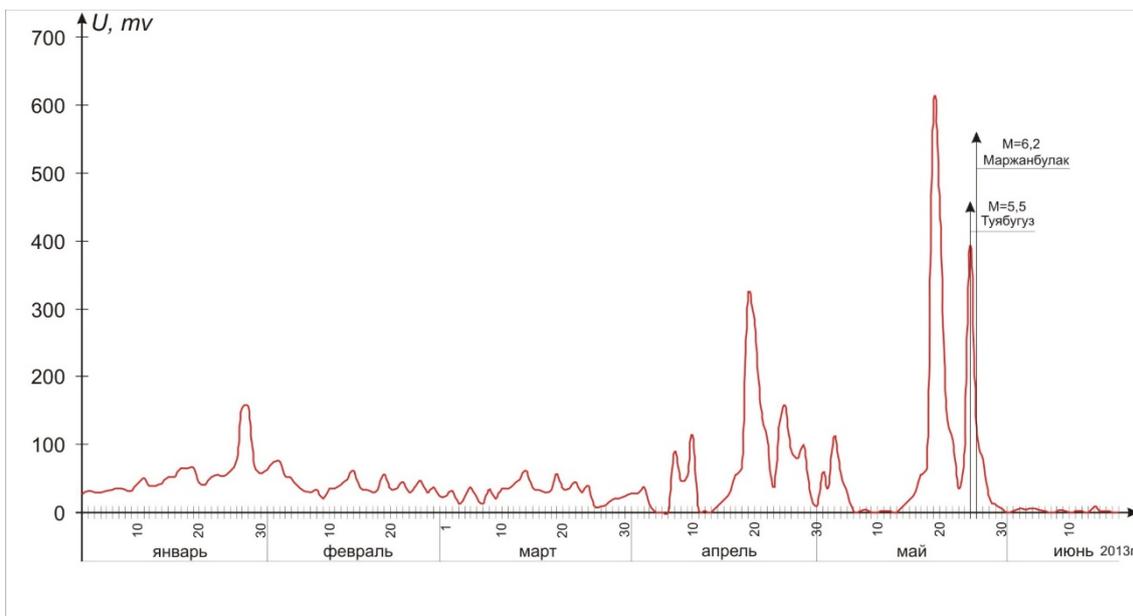


Рисунок 3 – Аномальные вариации импульсов электромагнитного поля, связанные с Туябугузским и Маржанбулакским землетрясениями в обсерватории Янгибазар.

Литература

1. Воробьев А.А. О возможности электрических разрядов в недрах Земли // Геология и геофизика. 1970. № 12. С. 3-13.
2. Мавлянов Г.А., Уломов В.И. Поиски предвестников землетрясений в Узбекистане // Поиски предвестников землетрясений. Ташкент: Фан. 1976. С. 25-33.
3. Мавлянов Г.А., Уломов В.И., Абдуллабеков К.Н., Хусамидинов С.С. Исследование вариаций параметров электромагнитных полей в целях прогноза землетрясений // Узб. геол. журн. 1979. № 5. С. 11-15.
4. Электромагнитные предвестники землетрясений / Под ред. М.А. Садовского. М.: Наука. 1982. 188 с.
5. Хусамиддинов С.С. Закономерности аномальных вариаций геофизических полей в сейсмоактивных зонах Узбекистана. Автореф. дис. ... д-ра физ.-мат. наук. Ташкент: Фан. 1990. 46 с.
6. Абдуллабеков К.Н. Электромагнитные явления в земной коре. Ташкент: Фан. 1989. 232 с.
7. Гохберг М.Б., Гуфельд И.Л., Добровольский И.П. Источники электромагнитных предвестников землетрясений // ДАН СССР. 1980. Т. 250. № 2. С. 323-328.
8. Дещеревский А.В., Лукк А.А., Сидорин Я.Я. Природа временных вариаций геофизических полей // Геофизика на рубеже веков. М.: ОИФЗ РАН. 1999. С. 194-215.
9. Соболев Г.А., Демин В.М. Механоэлектрические явления в Земле. М.: Наука. 1980. 215 с.

ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ ОПАСНОСТИ

УДК 624.131

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ И ИНФРАСТРУКТУРЫ ОТ ОПОЛЗНЕЙ НА ТЕРРИТОРИИ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

SAFETY STANDARDS AND INFRASTRUCTURE FROM LANDSLIDES IN THE KYRGYZ REPUBLIC

Айдаралиев Б.Р., Садабаева Н.Дж.

nakujan87@mail.ru

Кыргызско – Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызстан

***Аннотация.** В статье рассмотрена программа действий по обеспечению безопасности от оползней населения и инфраструктуры на территории Кыргызской Республики.*

***Ключевые слова:** оползневые процессы, чрезвычайная ситуация, предупреждение, ущерб.*

На территории Кыргызской Республики в настоящее время имеется не менее 5000 оползней, от древнего до более молодого и современного возрастов, в свою очередь получили свое развитие преимущественно в низко и среднегорных ярусах рельефа, редко в высокогорной зоне, число которых ежегодно возрастает в связи с активизацией взаимодействующих современных геодинамических движений, сейсмичности, подъемом уровня грунтовых вод, аномальным количеством выпадающих атмосферных осадков, а также инженерно-хозяйственной деятельностью человека, нарушающей баланс устойчивости склона в горных зонах [1].

Ущерб от оползней активизирующихся ежегодно в связи с проявлением вышеуказанных причин неуклонно возрастает, а число отселенных жилых домов из зоны оползневого поражения за последние 12 лет достигло 7873, т. е., по среднестатистическим данным составляет 656 жилых домов ежегодно. Оползни на территории нашей Республики не только приводят к разрушениям жилых домов и инфраструктуры населенных пунктов вследствие их расположении вблизи опасных склонов, даже удаленные в ущельях горных сооружений оползни представляют угрозу перекрытия русел рек и их притоков, что сопровождается формированием прорывоопасных плотин запрудных озер, которые, в случае прорыва, ударной гидродинамической волной несут селе-паводковые бедствия расположенным ниже по руслу реки домам, мостам, ЛЭП и другим объектам [2].

Оползневые процессы наиболее активно проявляются в низко и среднегорных ярусах рельефа и имеют место в высокогорных зонах. Современные активные оползни проявляются преимущественно по наиболее неустойчивым к факторам поверхностного и подземного увлажнения, приводящим к катастрофическим процессам и явлениям лессовым грунтам четвертичного возраста. Последние также обладают способностью, при землетрясениях и технических вибрациях от взрывов или при движениях тяжелого транспорта, терять резко прочность и переходить в тикструпное (текучее) состояние. В основании (зеркало скольжения) оползней особенно в южных районах как правило наряду с лессовыми породами, оказываются более древние отложения мезокайнозойского возрастов, представленные увлажненными по разломам оперяющей их трещиноватости и годизьюктивными дислокациям глинистыми и алевроитовыми породами, мергелями, гипсами и известняками.

К числу наиболее активных оползневых районов Джалал-Абадской области относятся бассейны рек Кугарт, Майлуу-Суу, Кара-Ункур, Кара-Суу, Сумсар и Чаткал. Ошской области наиболее оползнеопасные районы сосредоточены в бассейнах рек Яссы, Кара-Кульджа, Тар, Гульча, Ак-Буура и Кыргыз-Ата, оползни также имеются на территории г. Ош.

Оползни Баткенской области имеют активные проявления юго-западнее г. Кызыл-Кия и в районе г. Сулюкта.

Активные оползни имеют место в предгорной зоне Чуйской области, особенно в черте агломерации города Бишкек. Оползни в Чуйской области зафиксированы в Сусамырской, Чон-Кеминской долинах и Боомском ущелье, где несут угрозу автомобильной, железной дорогам, и запруживанию русел рек при проявлении сильных землетрясений.

В Иссык-Кульской области активный оползень угрожает жилым домам в пгт. Пристань-Пржевальск, а также широко развиты в горной зоне хребтов Тескей и Кунгей Ала-Тоо, и на берегах рек Тон и Джергалан.

Оползни в Нарынской области расположены на берегах реки Нарын и ее притоков в бассейне рек Ак-Сай и Сары-Жаз.

В Таласской области оползни имеют место в верховье левобережного притока реки Чимташ.

Можно привести несколько примеров, так например в марте 1994 года оползень, сошедший на жилые дома селе Тосой Узгенского района Ошской области, унес жизни 50 человек, разрушено было 12 жилых домов, на реке Зергер образовалось запрудное озеро, которое в последующем прорвало. Аналогичный случай в том же районе был 26 марта 1994 года в бассейне реки Кандава на село Комсомол упал оползень, при этом погибло 26 человек, 7 домов было разрушено, на реке было образовано запрудное озеро. 20 апреля 2003 года внезапный сход оплзня объемом 1,5 млн. куб. метров у села Кара-Тарык на участке Согот в Жалпак-Ташском айыл окмоту Узгенского района привел к гибели 38 человек, разрушено 13 домов, сотни людей остались без крова [2].

Оползни “Тектоник”, “Изолит” и ряд других, расположенных в районе г. Майлуу-Суу Джалал-Абадской области, ежегодно в течении последних лет предствояют опасность разрушения для зданий заводууправления, лабораторий и складских помещений завода “Кыргызэлектроизолит”, а также при обрзовании по реке Майлуу-Суу запрудного прорывоопасного озера, селе-паводковую угрозу затопления населения г. Майлуу-Суу и расположенных ниже вдоль русла реки домов. Одновременно образование запрудного озера может привести к размыву и разрушению дамб радиоактивных хвостохранилищ и трансграничной экологической катастрофе для более 2 млн. жителей Ферганской долины, проживающих в Кыргызстане и Узбекистане [2].

Оползни природного и техногенного характера имеют различные по времени образования, площади поражения, формам, пути транзита, трансформации объема, скорости движения, внезапности проявления и разрушительной особенности характеристики [3].

Как правило, на оползнеопасных склонах при влиянии благоприятных для нарушения природного равновесия опасных предвестников (землетрясений, современных геодинамических движений, аномального выпадения осадков, подъема уровня подземных вод, ликвидации растительности, строительстве трубопровода (водопровода, установка ЛЭП, возведение хозяйственных сооружений) формируются оползни, как правило, по нижеследующим стадиям (оползневым циклам):

- первая стадия, это подготовительный цикл, когда образуются условия нарастания деформации на склоне, приводящие к уменьшению коэффициента устойчивости склона и началу вязкопластического их течения;
- вторая стадия, цикл основного смещения, когда вслед за разрушением пород по поверхности скольжения за достаточно короткий срок времени проявляется значительная часть оползневого смещения;
- третья стадия, цикл вторичных смещений, при этом участки оползневого склона, оставшиеся в неустойчивом состоянии, в результате локальных смещений пытаются достичь базиса устойчивости (стабилизации).

Для решения проблем обеспечения безопасности от оползней, специалистами министерства чрезвычайных ситуаций Кыргызской Республики, разработана программа,

предусматривающая осуществления комплекса превентивных, в. т. ч. профилактически-пассивных и инженерно-активных специальных мероприятий:

Профилактически-пассивные мероприятия, предусматривающие на законодательно-нормативной базе исключать или ограничивать возможности:

- подрезки и подсыпки склонов;
- проведение полива и сброса вод;
- уничтожение растительности;
- распашки склонов;
- уменьшение скорости движения транспорта;
- уменьшение интенсивности вмешательства инженерно- хозяйственной деятельности;
- нарушающая устойчивость склонов;
- инженерно- активные противооползневые мероприятия;
- сооружение стенок на набережных;
- устройство коллекторов;
- строительство струенаправляющих дамб и поперечных запруд;
- отвод водооттоков;
- спрямление русел рек;
- переустройство склонов и откосов;
- механическое удерживание оползающих масс;
- дренирование горизонтов подземных вод;
- укрепление склонов и откосов специальными сортами кустарников и деревьев;
- разгрузка с одновременным удерживанием оставшейся части оползня сваями, инъекционными преградами и подпорными стенками [4].

Также, серьезного внимания требует вопрос обучение населения республики, по принятию ими превентивных мер по предупреждению стихийных бедствий на местном уровне самоуправления, чаще практиковать выездные обучающие семинары по изучению нормативно-правовых актов, своих обязанностей и прав. В этой связи актуальным на сегодняшний день стал вопрос ведение в штаты органов местного самоуправления, единицы заместителя главы местного самоуправления [5].

Для восстановления работ по изучению и прогнозированию оползневых процессов нужны согласованные действия геологов-производственников, ученых и подразделений МЧС. Для этого необходима разработка единой для нашего среднеазиатского региона концепции изучения и прогнозирования оползневых процессов с четким разделением функции и задач Национальной Академии наук, производственных геологических организаций и Министерства чрезвычайных ситуаций. В настоящее время из-за отсутствия оползневой службы Министерство чрезвычайных ситуаций финансирует работы по привлечению других организаций (в частности южного филиала института «КыргызГИИЗ», Института геомеханики и освоения недр НАН КР) по определению устойчивости склонов и опасности некоторых новых оползней.

Сложившаяся ситуация требует незамедлительно проводить весенние периодические наблюдения за оползневыми процессами сотрудниками отделов МЧС и местной госадминистрации. Основным видом работ для сохранения жизней людей в каждом селе должен быть назначен ответственный человек по осмотру примыкающих к селу склонов. При обнаружении каких-либо деформаций на склонах необходимо отселить людей из возможной оползнеопасной зоны и незамедлительно сообщить о случившемся в районные отделы МЧС КР.

Литература

1. Мониторинг, прогнозирование опасных природных явлений на территории Кыргызской Республики. Бишкек: Салам. 2016. 714 с.

2. Основы проектирования и рекомендации по инженерной защите территорий, зданий и сооружений от подтоплений и затоплений. Учеб.-метод. пособие / Айдаралиев Б.Р., Ордобаев Б.С., Супаналиев Р.С. и др. Бишкек: КРСУ. 2014. 150 с.
3. Национальный доклад о состоянии окружающей среды Кыргызской Республики за 2006-2011 годы. Бишкек. 2012. 196 с.
4. Ибатулин Х.В. Оползни Киргизии, их типы, условия образования и меры борьбы с ними. Материалы науч.-техн. совещ. по вопросам методики изучения и прогноза селей, обвалов и оползней. Душанбе. 1970. С. 11-13.
5. Ибатулин Х.В. О влиянии подземных вод на образование оползней юга Киргизии // Проблемы инженерной геодинамики. Ташкент. 1974. С. 27-31.

УДК 502/504:550.34

ЗАЩИТА НАСЕЛЕНИЯ ПРИ УГРОЗЕ И ВОЗНИКНОВЕНИИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

PROTECTION OF POPULATION IN THREAT AND OCCURRENCE OF EARTHQUAKES

Алдыраман кызы Айкерим, Иманбеков С.Т.

Aku.akmatova@mail.ru, Ist14@mail.ru

Кыргызско – Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызстан

***Аннотация.** В данной статье освещаются вопросы характеристики землетрясений, причины их возникновения, последствия, и заблаговременная защита населения от возможного землетрясения.*

***Ключевые слова:** землетрясение, очаг, магнитуда, интенсивность, шкала, прогноз, правила поведения.*

Землетрясение – подземные толчки и колебания земной поверхности, передающиеся на большие расстояния в виде упругих колебаний, возникающие в результате разрывов в земной коре или верхней части мантии Земли и внезапных смещений пород. Сильные землетрясения вызывают опустошительные разрушения на огромных пространствах, в результате гибнут и получают ранения люди. Иногда нарушается целостность грунта, появляются трещины, разрывы земной поверхности. При этом разрушаются и повреждаются жилые дома, здания и сооружения, выводятся из строя коммунальные, энергетические, информационные сети [1].

Существуют четыре группы землетрясений [2]:

1. Тектонические землетрясения – вызываются движением тектонических плит и смещением континентальных платформ. Под действием сил, обусловленных глубинными тепловыми процессами в мантии Земли и в литосфере, а также вследствие вращения планеты, тектонические плиты движутся с незначительной скоростью – порядка нескольких миллиметров в год. В результате расхождения и схождения плит на границах возникают сильнейшие механические напряжения. При высвобождении этих напряжений и происходят тектонические землетрясения.
2. Вулканические землетрясения – случаются в регионах расположения действующих или потухших вулканов и могут прогнозироваться с определенной степенью вероятности. Происходят они редко и ущерб от них менее значителен, поскольку строительство в таких зонах ограничено и учитывает возможность возникновения катастрофических ситуаций.

3. Обвальные землетрясения происходят при разрушении сводов шахт, рудников, подземных карстовых пустот, при обвалах горных пород.
4. Техногенные землетрясения – вызываются деятельностью человека – строительство водохранилищ, откачка нефти, газа и подземных вод, сильные взрывы.

Очаг землетрясения – область возникновения подземного удара, представляет собой некоторый объем в толще Земли, в пределах которого и происходит процесс высвобождения накапливаемой длительное время энергии. Размеры очага землетрясения могут быть от нескольких десятков метров до сотен километров.

В геологическом смысле очаг – это разрыв или группа разрывов, по которым происходит почти мгновенное перемещение масс, быстрое смещение участка земной коры. Скольжению пород вдоль разлома вначале препятствует трение. Вследствие этого, энергия, вызывающая движение, накапливается в форме упругих напряжений пород. Когда напряжение достигает критической точки, превышающей силу трения, происходит резкий разрыв пород с их взаимным смещением и накопленная энергия, освобождаясь, вызывает волновые колебания поверхности земли землетрясения.

Землетрясения могут возникать также при смятии пород в складки, когда величина упругого напряжения превосходит предел прочности пород и они раскалываются, образуя разлом. В центре очага условно выделяется точка, именуемая *гипоцентром*. Проекция гипоцентра на поверхность Земли называется *эпицентром*. Вокруг него располагается область наибольших разрушений [1, 2].

Для оценки и сравнения землетрясений используются шкала магнитуд и шкала интенсивности. Шкала магнитуд различает землетрясения по величине магнитуды, которая является относительной энергетической характеристикой землетрясения. Существует несколько магнитуд и соответственно шкал: локальная магнитуда (ML); магнитуда, определяемая по поверхностным волнам (Ms); магнитуда, определяемая по объемным волнам (mb); моментная магнитуда (Mw). Наиболее популярной шкалой для оценки энергии землетрясений является локальная шкала магнитуд Рихтера. По этой шкале возрастанию магнитуды на единицу соответствует 32-кратное увеличение освобожденной сейсмической энергии. Землетрясение с магнитудой 2 едва ощутимо, тогда, как магнитуда 7 отвечает нижней границе разрушительных землетрясений, охватывающих большие территории. Интенсивность землетрясений (не может быть оценена магнитудой) оценивается по тем повреждениям, которые они причиняют в населённых районах [4].

Интенсивность является качественной характеристикой землетрясения и указывает на характер и масштаб воздействия землетрясений на поверхность Земли, на людей, животных, а также на естественные и искусственные сооружения в районе землетрясения. В мире используется несколько шкал интенсивности: в США — Модифицированная шкала Меркалли (MM), в Европе — Европейская макросейсмическая шкала (EMS), в Японии — шкала Шиндо (Shindo). С 1996 года в странах Европейского союза применяется современная Европейская макросейсмическая шкала (EMS). В 1964 году была разработана 12-бальная шкала Медведева-Шпонхойера-Карника, которая получила широкое распространение в Европе и СССР. Шкала Медведева-Шпонхойера-Карника (MSK-64) лежит в основе СНиП II-7-81 «Строительство в сейсмических районах» и продолжает использоваться в России и странах СНГ [4].

В таблице 1 приведено описание и краткая характеристика землетрясений.

Таблица 1 – Краткая характеристика землетрясений

Балл	Сила землетрясения	Краткая характеристика
1	Не ощущается.	Отмечается только сейсмическими приборами.
2	Очень слабые толчки	Отмечается сейсмическими приборами. Ощущается только отдельными людьми, находящимися в состоянии полного покоя в верхних этажах зданий, и очень чуткими домашними

		животными.
3	Слабое	Ощущается только внутри некоторых зданий, как сотрясение от грузовика.
4	Умеренное	Распознаётся по лёгкому дребезжанию и колебанию предметов, посуды и оконных стёкол, скрипу дверей и стен. Внутри здания сотрясение ощущает большинство людей.
5	Довольно сильное	Под открытым небом ощущается многими, внутри домов - всеми. Общее сотрясение здания, колебание мебели. Маятники часов останавливаются. Трещины в оконных стёклах и штукатурке. Пробуждение спящих. Ощущается людьми и вне зданий, качаются тонкие ветки деревьев. Хлопают двери.
6	Сильное	Ощущается всеми. Многие в испуге выбегают на улицу. Картины падают со стен. Отдельные куски штукатурки откалываются.
7	Очень сильное	Повреждения (трещины) в стенах каменных домов. Антисейсмические, а также деревянные и плетневые постройки остаются невредимыми.
8	Разрушительное	Трещины на крутых склонах и на сырой почве. Памятники сдвигаются с места или опрокидываются. Дома сильно повреждаются.
9	Опустошительное	Сильное повреждение и разрушение каменных домов. Старые деревянные дома кривятся.
10	Уничтожающее	Трещины в почве иногда до метра шириной. Оползни и обвалы со склонов. Разрушение каменных построек. Искривление железнодорожных рельсов.
11	Катастрофа	Широкие трещины в поверхностных слоях земли. Многочисленные оползни и обвалы. Каменные дома почти полностью разрушаются. Сильное искривление и выпучивание железнодорожных рельсов.
12	Сильная катастрофа	Изменения в почве достигают огромных размеров. Многочисленные трещины, обвалы, оползни. Возникновение водопадов, подпруд на озёрах, отклонение течения рек. Ни одно сооружение не выдерживает.

Сейсмические волны (рис. 1) делятся на волны сжатия и волны сдвига. Волны сжатия, или продольные сейсмические волны, вызывают колебание частиц пород, сквозь которые они проходят вдоль направления распространения волны, обусловлены чередованием участков сжатия и разрежения в породах. Скорость распространения волн сжатия в 1,7 раза больше скорости волн сдвига, поэтому их первыми регистрируют сейсмические станции. Волны сжатия также называют первичными (Р-волны). Скорость Р-волн составляет более 15 Гц, эти волны могут быть восприняты на слух как подземный гул и грохот. Волны сдвига, или поперечные сейсмические волны, заставляют частицы пород колебаться перпендикулярно направлению распространению волны. Волны сдвига также называют вторичными (S-волны).

Существует еще третий тип упругих волн – длинные или поверхностью волны (L-волны). Именно они вызывают самые сильные разрушения [3].

Мероприятия по сохранению зданий от разрушений подземных толчков заключаются в обеспечении высокого качества строительства, в укреплении стен поэтажными железобетонными поясами [4].

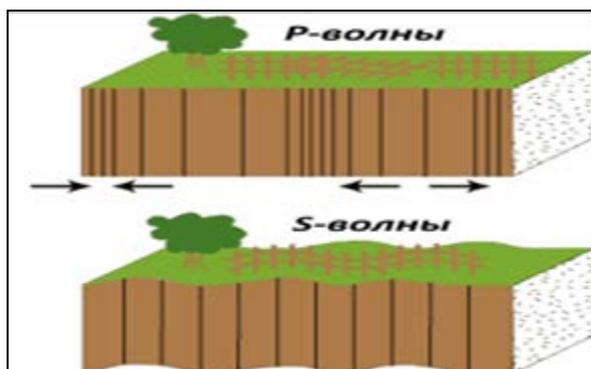


Рисунок 1 – Типы сейсмических волн.

Тщательный анализ имеющихся данных позволят предвидеть, в каких районах и с какой силой могут проявляться землетрясения в будущем.

Методы прогноза землетрясения основываются на наблюдениях аномалий геофизических полей, измерении значений этих аномалий и обработки полученных данных. Прогноз землетрясений бывает [1]:

- Долгосрочный - дает возможность планировать землепользование и застройку в сейсмических районах.
- Среднесрочный - позволяет привести в готовность аварийные службы, накопить материальные средства.
- Краткосрочный - может быть использован для принятия чрезвычайных мер, начиная от остановки особо опасных производств и кончая эвакуацией населения.

Если землетрясение застало вас в помещении, постарайтесь как можно скорее покинуть его и оказаться на улице, желательно подальше от зданий.

Когда выбраться из дома по каким-либо причинам невозможно (обвалилась лестница, завалило выход и т.д.), укройтесь под столом или под кроватью, либо встаньте в дверном проеме, в углу, который образуется капитальными стенами.

Правила поведения при землетрясении:

- Держитесь подальше от окон, они могут не выдержать вибрации, и вы поранитесь битыми стеклами.
- Нельзя пользоваться лифтами, они в любой момент могут выйти из строя, и вы можете в них застрять.
- Не пользуйтесь спичками, свечами и зажигалками, поскольку из-за утечки газа из разрушенных и поврежденных коммуникаций, может произойти взрыв.
- Если землетрясение застало вас на улице, держитесь подальше от домов, линий электропередач и вообще от всяких непрочных построек, которые могут рухнуть.
- Не укрывайтесь в подвалах, подземных переходах и тоннелях. Перекрытия могут обрушиться.
- Немедленно отключите электроэнергию, газ, откройте входные двери.
- Пресекайте давку в дверях.
- Останавливайте тех, кто собирается прыгать с балконов и окон этажей, выше первого.
- Не теряйте контроль над детьми.

Если вы оказались в завале:

- Не тратьте силы на панику. Без воды и пищи вы можете продержаться достаточно долго, но первое условие – твердость духа.
- Постарайтесь определить, где вы находитесь, нет ли рядом других людей: прислушайтесь, подайте голос.
- Помните, что зажигать огонь нельзя, что в бачке вашего унитаза есть вода, что трубы и батареи – это возможность подать о себе сигнал. Ищите одежду и одеяла.
- Надеемся на помощь и боритесь за свою жизнь сами.

Что делать после землетрясения?

- Осмотрите себя и окружающих – не ранены ли.
- Освободите попавших в легкоустраиваемые завалы.
- Успокойте детей, больных, стариков.
- Не занимайте без крайней нужды телефон – станции будут перегружены.
- Проверьте водопровод, газовую и электрическую сети.

Если во время первого, самого сильного толчка (5-40 секунд) вы не смогли по разным причинам (сон, паника, сборы детей и т.д.) быстро выйти из дома (помещения), внимательно осмотрите свое жилище. При отсутствии внешних конструктивных повреждений (трещины, перекос потолков, перекрытий, стен), можно остаться дома и не выходить на улицу. Последующие (через несколько часов) подземные толчки всегда будут слабее [4].

В заключение хотелось бы привести важные слова опытного сейсмолога В.И.Уломова: «Жители сейсмоопасных районов, по меньшей мере, должны знать, что разрушение здания или иного сооружения при землетрясении обычно происходит не мгновенно, а в течение десятков секунд, необходимых для накопления повреждений, которые и ведут к последующему разрушению объекта. Важно знать, что и наиболее интенсивные сотрясения возникают не сразу, а лишь с приходом поперечных волн, которые распространяются почти в два раза медленнее, чем продольные волны, с которых и начинаются все землетрясения. Этими десятками секунд и нужно воспользоваться, спасаясь от гибели!» [5]. Как же лучше всего использовать эти драгоценные секунды? Кардинальное решение - покинуть здание, что реально, в случае нахождения в малоэтажном здании или на нижних этажах многоэтажных. Если путь эвакуации далек, нужно найти укрытие в данном помещении. Залезть под массивный стол, кровать. Встать в угол комнаты или дверной проем. Надеть толстую одежду и головной убор, накинуть одеяло. Все это способно, в какой-то мере, защитить вас от падающих предметов.

Литература

1. Основные характеристики землетрясений [Электронный ресурс] // Информационный бюллетень. Сер. Атомная энергетика. 2011. № 1-2. Режим доступа: www.sonny.bas-net.by
2. Опасные природные процессы в Кыргызской Республике. Учебник / Б.С. Ордобаев, К.А. Боронов, Д.Н. Мусуралиева и др. Бишкек: Изд-во КРСУ. 2015. 292 с.
3. Сеитов Б.М., Ордобаев Б.С. Сейсмическая защита и ее организация. Учебник для вузов. Бишкек: Айат. 2015. 288 с.
4. Ордобаев Б.С., Бактыгулов К.Б. Опасные природные процессы. Учебник для вузов. Бишкек: Айат. 2014. 244 с.
5. Сычев Ю.Н. Безопасность жизнедеятельности в чрезвычайных ситуациях. Учеб. пособие. М.: Финансы и статистика. 2007. 224 с.
6. Зубков С.И. Предвестники землетрясений. М.: ОИФЗ РАН. 2002. 140 с.

УДК 355.58:550.34

СИСТЕМА РАННЕГО ОПОВЕЩЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ ПРИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ

SYSTEM OF THE EARLY NOTIFICATION OF THE POPULATION AT EARTHQUAKES

Биримкулов Т.Р., Мамбетов А.М.

tilekmat94@mail.ru, freedom.fighters.talas@gmail.com

Кыргызско – Российский Славянский университет, г Бишкек, Кыргызстан

Аннотация. В данной работе рассматривается обоснование системы раннего оповещения при землетрясениях. Решаемыми вопросами по ликвидации последствий стихийного бедствия, таких как: своевременность и не достаточность информации о ЧС. Приведены рекомендации по совершенствованию системы оповещения при землетрясении. Идея работы заключается в использовании комплексного подхода, реализующего минимизацию временных показателей за счет технического оснащения и применения современных технологий.

Ключевые слова: система оповещения, землетрясение, эпицентр, CARAVAN, SEISCOMP3, японская система раннего оповещения, метеорологическое агентство.

Кыргызстан занимает большую часть Тянь-Шаня и северные районы Памира и является одним из сейсмоопасных регионов Центральной Азии. Землетрясения по своим разрушительным последствиям и числу человеческих жертв занимают одно из первых мест среди природных катастроф.

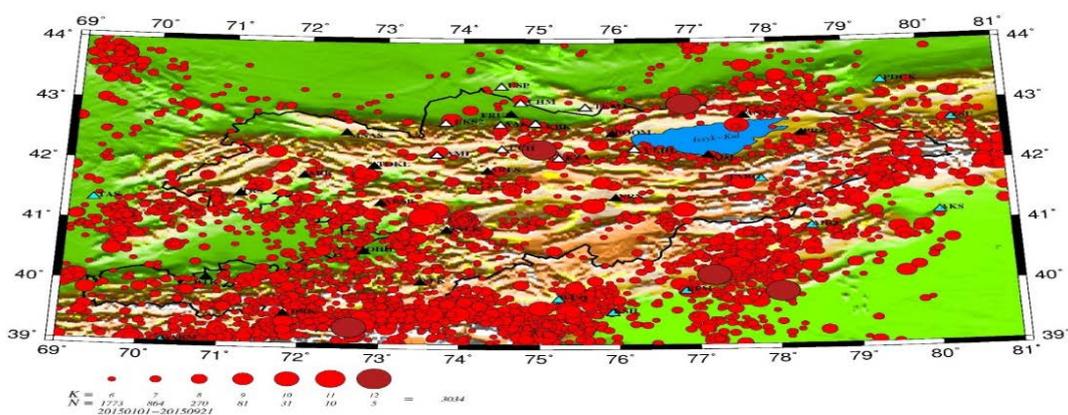


Рисунок 1 – Карта эпицентров землетрясений на территории Кыргызстана с 01.01.2015 г. по 21.09.2015 г. [1]

По данным Института сейсмологии Национальной академии наук Кыргызской Республики ежегодно на территории страны происходит около 3000 землетрясений. В среднем из них 5-10 ощутимых и сильных землетрясений, а через каждые 65-75 лет происходят разрушительные события. Согласно карте сейсмического районирования Кыргызской Республики на 95% ее территории могут произойти землетрясения силой до 8-9 баллов и только 5% ее площади относится к 7-балльной зоне по шкале MSK-64 [1,2].

Оповестить население – предупредить его о надвигающемся землетрясении или о другом стихийном бедствии, передать информацию о случившейся аварии или катастрофе, или же сообщить о возможных поражающих факторах при применении оружия массового уничтожения в условиях военного времени. Для этого используются все средства проводной, радио- и телевизионной связи.

В Кыргызстане, как ни в какой другой стране, широко распространена радиотрансляционная сеть. Нет ни одного города, крупного населенного пункта, где бы отсутствовал радиотрансляционный узел. Подавляющее большинство предприятий, объектов сельского хозяйства, учебных заведений имеют свои местные радиоузлы.

Платформа CARAVAN. Платформа CARAVAN была разработана, чтобы предоставить ответственным лицам и органам защиты, быструю оценку воздействия землетрясения. Платформа может быть использована, чтобы простым и интуитивно понятным способом оценить масштабы и количество потерь, связанных с возникновением опасных природных событий.

Примечание: Платформа CARAVAN находится еще в стадии разработки и тестирования. Таким образом, некоторые из описанных функциональных возможностей могут быть неполными или могут предоставить неожиданные результаты [3].

SEISCOMP3. Представлена концепция системы мониторинга ЦАИИЗ за опасными природными процессами и явлениями в Центральной Азии. Система состоит из сети комплексных (смарт) станций переменной конфигурации, позволяющей регистрировать разнородную информацию (сейсмические сигналы, смещения земной поверхности, гидро- и метеопараметры и др.) и передавать ее в центр сбора, обработки и анализа данных в режиме, близком к реальному времени, комбинируя оптимальным образом радио и спутниковую связь. В 2008 году установлено три таких станции наблюдения, включающих сейсмо-, метео- и GNSS оборудование. Описаны особенности пакета программ SEISCOMP3, предназначенного для обмена, сбора и анализа сейсмологических данных. Сеть мониторинга ЦАИИЗ будет служить основой для создаваемой региональной системы раннего предупреждения опасных процессов и явлений в Центральной Азии. [3]

SEISCOMP3 автоматически определяет эпицентр и силу землетрясения в режиме реального времени, составляет каталог зарегистрированных событий и создает архив, волновых форм сейсмических записей.

Первая версия SEISCOMP3 была разработана в GeoForschungsZentrum (GFZ), Потсдам, Германия для сети GEOFON и затем расширена внутри проектов MERIDIAN и GITEWS. Программный пакет SEISCOMP3 обеспечивает следующие функции: сбор и хранение данных, контроль их качества, регистрация данных, обмен данными в реальном режиме времени, контроль статуса сети, автоматическая обработка данных в реальном времени с возможностью ручной обработки, объявление тревоги по событию, архивирование волновых форм, распределение данных волновых форм, автоматическое обнаружение события и определение его местоположения, интерактивное обнаружение события и определение его местоположения, архивирование параметров события, свободный доступ к соответствующей информации о станциях, волновых формах и последних землетрясениях.[3,4]

Японская Система раннего оповещения о землетрясении. Вся Япония покрыта станциями, которые круглосуточно регистрируют и передают информацию о сейсмической активности. Каждая станция при регистрации сейсмической волны, передает информацию в Метеорологическое агентство Японии, откуда она распространяется в интернет, на телевидение, мобильные телефоны и на устройства раннего оповещения в домах и учреждениях.

Землетрясение можно разделить на первичную (P-волна, быстрая и слабая) и вторичную (S-волна, медленная и сильная) волны. Когда станция регистрирует первичную волну, начинается распространение информации о приближении землетрясения. К тому моменту прихода вторичной волны, население уже предупреждено. Данная система ежегодно спасает сотни жизней.

В Японских школах, домах, больницах и т.д. имеются устройства, сообщающие о землетрясении. На телефоны от Метеорологического агентства приходят сообщения с надписью поверх трансляции, таблицей или картой сообщается о землетрясении, при этом звучит характерный сигнал. Если на ПК установлена специальная программа, на рабочем столе появится предупреждение и обратный отсчет до начала землетрясения в местоположении пользователя [5].

Первичная волна слабая и её чаще всего её нельзя заметить, не находясь в полной тишине, или можно спутать со вторичной. Землетрясение движется по нарастающей, а система раннего предупреждения рассчитывает силу землетрясения и передаёт сигнал не только туда, где уже была первичная волна, а везде где землетрясение ожидается.

Новая система раннего оповещения предупреждает население Японии о землетрясении за несколько секунд до его начала. Этого промежутка времени достаточно, чтобы, например, выключить газовую плиту и избежать угрозы пожара [5].



Рисунок 2 – Система раннего оповещения [5].

Система, которая годами разрабатывалась японскими метеорологическими службами, уникальна. Она реагирует на первичные сейсмические волны, так называемые волны сжатия. Скорость волн сжатия больше, чем у волн сдвига, которые и вызывают разрушения при землетрясении.

За секунды, которые отделяют регистрацию волн сжатия от начала сильных толчков, могут быть спасены многие жизни. Этого времени достаточно, чтобы приостановить работу атомных реакторов, строительных кранов, остановить скоростной транспорт. Один из концернов по производству электроники уже разработал систему защиты дома, которая при сигнале об опасности автоматически отключает газ и опускает шторы, чтобы защитить людей от осколков стекла. Согласно подсчетам эксперта по безопасности из университета Токио Кимио Мегуро (Kimio Meguro), оповещение о землетрясении за 10 секунд до его начала сократит число жертв на 90%. [5]

Выводы.

1. Система предупреждения может помочь спасти жизнь в случае крупного землетрясения, давая городов, школ и больниц возможность подготовиться и отдельным лиц шанс укрыться.
2. Несомненно, финансирование и реализация такой программы существенно снизит риски, связанные с человеческим фактором, при подготовке общества к реалиям природных и техногенных катастроф, особенно в горных условиях такой страны, как Кыргызстан.
3. Помимо внедрения системы раннего оповещения, для этого необходимо обучить население правильно реагировать на сигнал об опасности. Нужно использовать выигранные секунды максимально эффективно.

Литература

1. Молдобеков Б.Д., Орунбаев С.Ж., Усупаев Ш.Э., Раббаниев Ж., Parolai S., Bindi D., Picozzi S.M., Pilz M., Камчибеков М.П., Камчибеков Ы.П. Мониторинг и предварительная оценка сайт-эффекта в целях сейсмического микрорайонирования для территории города Каракол // Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и

- явлений на территории Кыргызской Республики. 9-е изд. Бишкек: МЧС КР. 2012. С. 681-682.
2. Сеитов Б.М., Ордобаев Б.С. Сейсмическая защита и ее организация. Учебник для вузов. Бишкек: Айат. 2015. 288 с.
 3. Усупаев Ш.Э., Орунбаев С., Токмулин Ж.А., Абдыбачаев У.А., Мелешко А.В., Parolai St., Strollo A., Bindi Dr.D., D'Alema E., Augliera P. Сейсмическое микрорайонирование территории г. Бишкек // Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики. 6-е изд. Бишкек: Ос ОО «Салам». 2009. С. 604.
 4. Parolai S., Orunbaev S., Bindi D., Strollo A., Usupaev S., Picozzi M., Di Giacomo 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 the Seismological Society of America. Vol. 100. No. 6. Pp. 3068–3082. December 2010, doi: 10.1785/0120100044
 5. Японская система раннего оповещения о землетрясениях [Электронный ресурс] // Режим доступа:
http://pikabu.ru/story/yaponskaya_sistema_rannego_opoveshcheniya_o_zemletryasenyakh_1663967.

УДК 550.343.9

КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ СЕЙСМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ В РАЗЛИЧНЫХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

QUANTITATIVE ANALYSIS OF SEISMIC VIBRATIONS IN DIFFERENT ENGINEERING-GEOLOGICAL CONDITIONS

Камчыбеков М.П., Егембердиева К.А., Камчыбеков Ы.П., Кынатова З.Р.
murataly@rambler.ru

Институт сейсмологии НАН КР, Бишкек, Кыргызстан
Научно-исследовательский институт сейсмостойкого строительства

***Аннотация.** В работе приведены результаты количественного анализа сейсмических колебаний на отдельных площадках вдоль линии прохождения ответственного объекта - магистрального газопровода по территории Кыргызстана в целях уточнения влияния различных грунтов на сейсмические воздействия.*

***Ключевые слова:** землетрясение, сейсмические колебания, инженерно-геологические условия, амплитудно-частотный спектр.*

При сейсмическом микрорайонировании территорий и площадок важных объектов строительства следует проводить инструментальные наблюдения с целью определения количественных характеристик сейсмических колебаний на отдельных типичных участках, выделенных предварительно на основании инженерно-геологических данных [1,7,9]. Сейсмическое микрорайонирование направлено на решение проблем оценки ожидаемых разностей в амплитудах и частот колебаний, так как именно эти данные более всего влияют на степень разрушения сооружений.

Территория исследования по карте сейсмического районирования территории Кыргызской Республики масштаба I:100000 расположена в зоне с сейсмичностью 9 баллов [2]. За средние или эталонные грунты, исходя из геолого-структурных и геоморфологических особенностей, а также инженерно-геологических и гидрологических условий территории

исследования, приняты галечниковые отложения. Эти грунты в полной мере соответствует требованиям «Рекомендации по сейсмическому микрорайонированию (РСМ-85)» и СНиПа П-7-81, СНиП КР 20-02:2009 [4,5,6]. Для принятых эталонных грунтов – галечниковых грунтов уточненный сейсмический бал данного подрайона согласно равен 8 [5.6].

Рельеф площадей развития грунтов на исследуемой территории (Рис.1) относительно спокойный, с незначительным уклоном с юга на север. Отрицательно влияющих на инженерно-геологические условия строительства зданий и сооружений физико-геологических процессов и явлений, кроме просадочности лессовидных суглинков, здесь не наблюдается. Песчаные, супесчаные и суглинистые грунты, имеющие грунтовые воды на глубине от 1,2 до 4м, и крупнообломочные грунты, имеющие грунтовые воды от 3 до 6м, относятся к III категории по сейсмическим свойствам (в зависимости от особенностей рельефа, условий залегания пластов, выветренности пород, близости плоскостей сброса и тому подобных факторов).

Дифференцированный сейсмический бал инженерно-геологических районов и участков территории определен согласно установленным и принятым нами эталонных грунтов.

Геологическое строение и гидрогеологические условия района исследования. В инженерно-геологическом отношении на участке предположительно с поверхности залегают верхнечетвертичные современные отложения пролювиально-аллювиального генеза (раQIII-IV), представленные на западе трассы преимущественно лессовидными глинистыми грунтами, в центральной части и на востоке – крупнообломочными грунтами, перекрытыми с поверхности маломощным чехлом покровных суглинков. Подземные воды

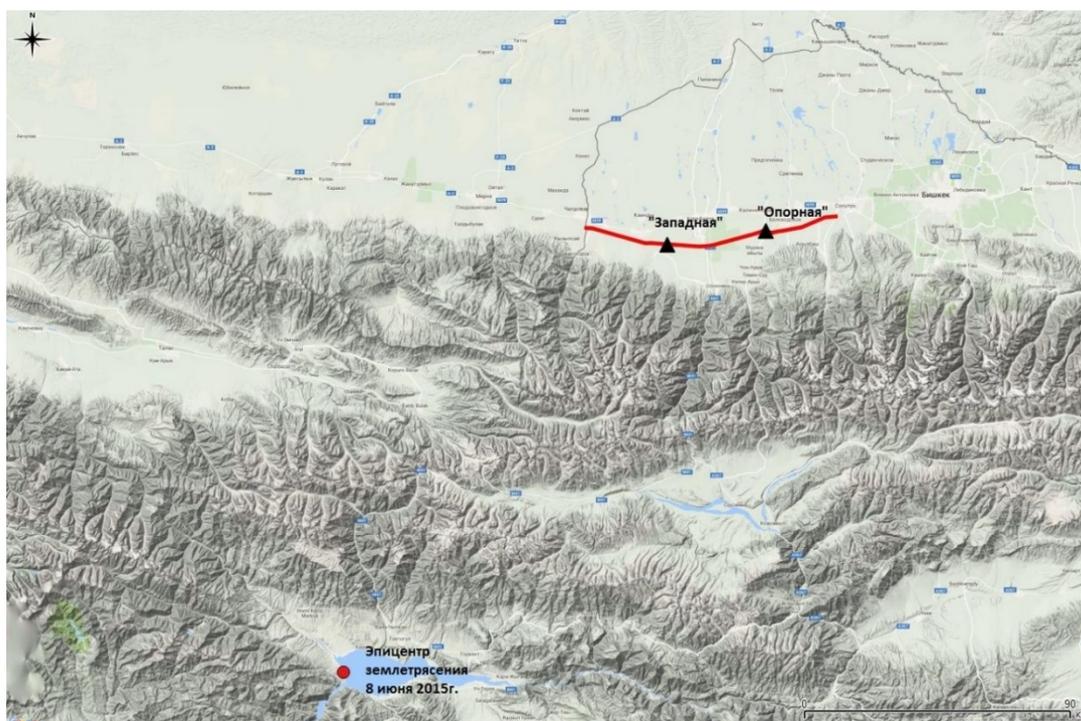


Рисунок 1 – Карта-схема расположения сейсмических станций вдоль трассы газопровода на территории Чуйской впадины Кыргызстана.

Красной линией показан магистральный газопровод; черными треугольниками – сейсмические станции; красным кружочком – эпицентр землетрясения 8 июня 2015г.

в районе распространены на глубинах от 2-3 до 10 м и более, приурочены к верхнему, как правило, безнапорному водоносному горизонту, а в отдельных случаях - слабо напорному.

Инструментальные сейсмологические наблюдения проводились на участках трассы газопровода по территории Чуйской впадины с помощью сейсмических станций, расположение которых показано на рисунке 1. Первый пункт наблюдения – опорная сейсмическая станция «Опорная», второй пункт – передвижная сейсмическая станция «Западная» размещалась вблизи магистральной линии на западной стороне линии магистрали. Запись сейсмического события получена на Опорном и Западном пунктах наблюдения за 8 июня 2015г.

Наблюдения велись широкополосными сейсмологическими станциями фирмы REFTEK 130S-01. Запись колебаний на пунктах наблюдений проводилась при частоте оцифровки сигнала 200 Гц, что обеспечивало уверенное выявление колебаний грунтов с частотами до 16 Гц и надежное измерение амплитуд микроколебаний с частотами до 10 Гц. В целях безопасности станции размещались в специально отведенных местах на ровной горизонтальной поверхности в углублениях. Ориентация сейсмоприемников была следующей: горизонтальная компонента X ориентировалась вдоль восток-запад направления, горизонтальная компонента Y – вдоль направления север-юг, и вертикальная компонента Z – вверх.

Географическая привязка пунктов наблюдений произведена с помощью GPS-приемника (долгота и широта в системе координат WGS-84). Время регистрации на сейсмостанции синхронизировалось так же по сигналам GPS-приёмника.

Методика расчета приращений балльности следующая. Из отобранных для обработки записей сейсмических событий, полученных синхронно в фиксированном и перемещаемых пунктах, выбираются для дальнейших расчетов участки записи колебаний по трем составляющим волны, а также запись всего события до затухания амплитуд колебаний до уровня, несколько превышающего уровень фоновых колебаний. Затем вычисляются спектры Фурье вертикальных и горизонтальных компонент колебаний по последовательностям отрезков в зависимости от длительности колебаний.

08 июня 2015 года в 04 часа 50 минут 18,1 секунд по Гринвичу произошло землетрясение с силой в эпицентре 4-4,5 балла, $K=10,6$, магнитудой $M_{pV}=4,7$, глубиной $H=18$ км. Координаты эпицентра землетрясения: $\varphi = 41,80$, $\lambda = 72,77$. Очаг землетрясения располагается: на территории Кыргызстана. Эпицентральные расстояния до станций: «Опорная» ≈ 207 км, «Западная» ≈ 182 км.

Приращения сейсмической интенсивности ΔI в каждом исследуемом пункте вычисляются относительно эталонного пункта по формуле, применяемой для расчета ΔI по наблюдениям сейсмических колебаний при землетрясениях и взрывах [3]:

$$\Delta I(f) = 3.31 \lg(A_i/A_0).$$

где A_i – средняя амплитуда колебаний в пределах отрезка записи $A \geq 1/3 A_{max}$, на исследуемом участке, а A_0 – средняя амплитуда колебаний на грунтах эталонного участка.

В соответствии с действующими нормативами и рекомендациями по сейсмическому микрорайонированию [3,4] приращения сейсмической интенсивности рассчитывались как для всего частотного диапазона 0,5 - 10 Гц, так и для диапазонов низкочастотных (0,5-2 Гц), среднечастотных (2-4 Гц) и высокочастотных (4-10 Гц) колебаний.

На рисунках 2-4 и 5-7 представлены соответственно записи и спектры скорости землетрясения 8 июня 2015г., зарегистрированного станциями «Опорный» и «Западный»

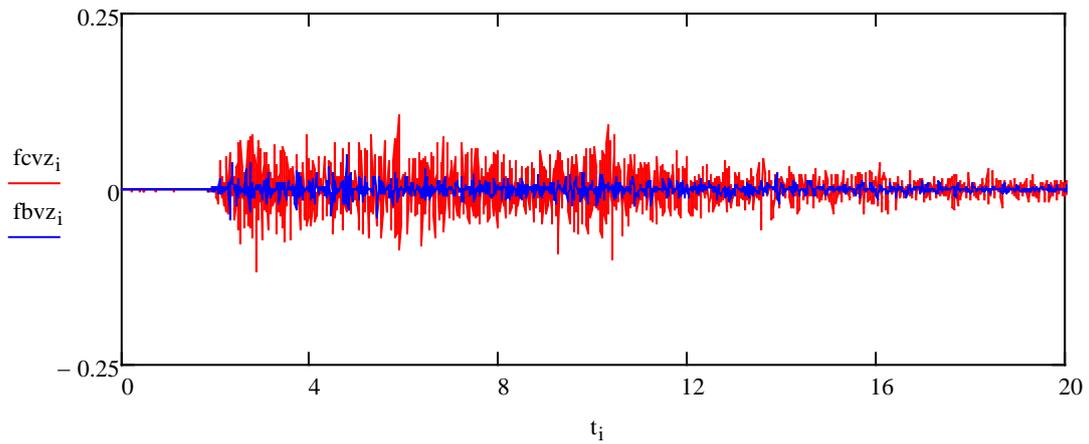


Рисунок 2 – Запись скорости землетрясения 8 июня 2015 г. для Z (вертикальной) составляющей. Условные обозначения: $fcvz_i$ - запись на Западном сейсмопункте (красная линия); $fbvz_i$ - запись на Опорном пункте (синяя линия); t_i - секунды.

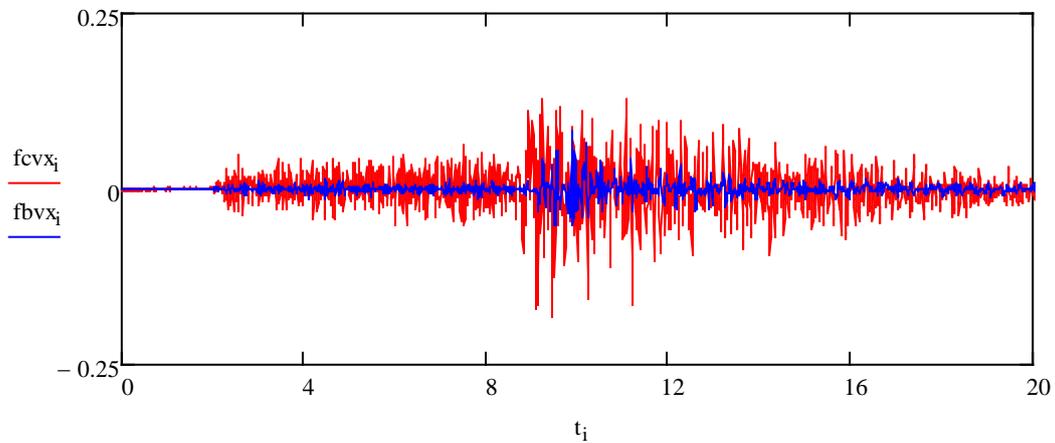


Рисунок 3 – Запись скорости землетрясения 8 июня 2015 г. для В-З (восток-запад) составляющей. Условные обозначения: $fcvx_i$ - запись на Западном сейсмопункте (красная линия); $fbvx_i$ - запись на Опорном пункте (синяя линия); t_i - секунды.

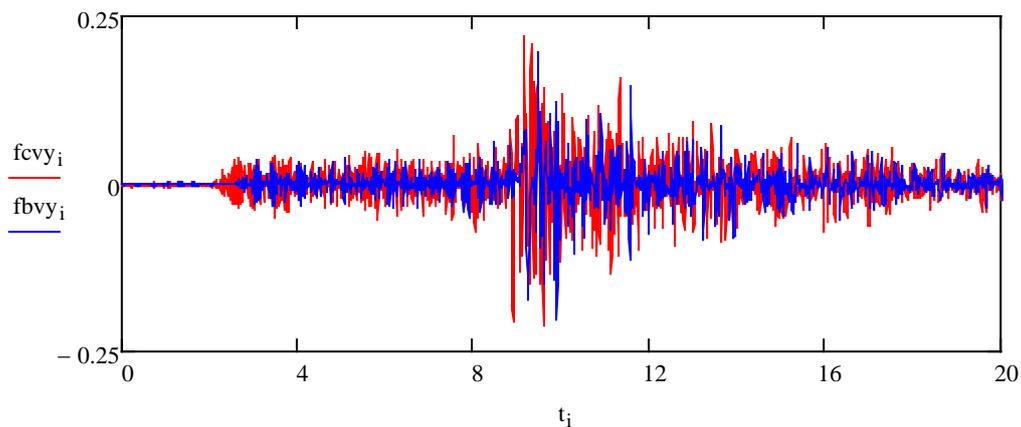


Рисунок 4 – Запись скорости землетрясения 8 июня 2015 г. для С-Ю (север-юг) составляющей. Условные обозначения: $fcvy_i$ - запись на Западном сейсмопункте (красная линия); $fbvy_i$ - запись на Опорном пункте (синяя линия); t_i - секунды.

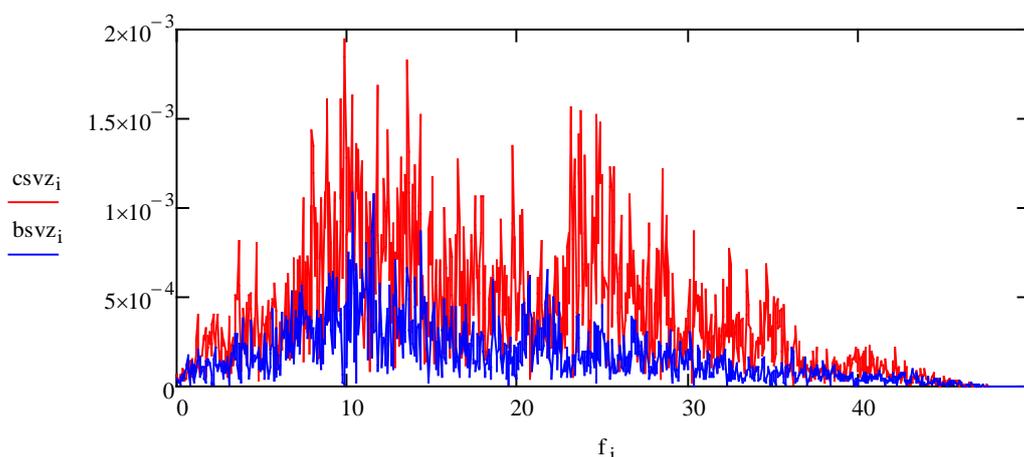


Рисунок 5 – Спектры скорости по составляющей Z (вертикальной). Условные обозначения: csvz_i - спектр на Западном сеймопункте (красная линия); bsvz_i - спектр на Опорном пункте (синяя линия); f_i - частота в гц.

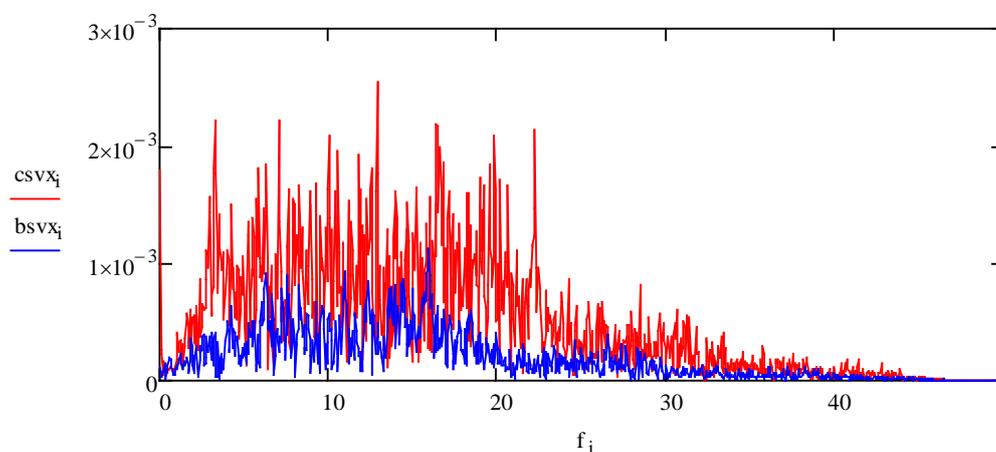


Рисунок 6 – Спектры скорости по составляющей В-З (восток-запад). Условные обозначения: csvx_i - спектр на Западном сеймопункте (красная линия); bsvx_i - спектр на Опорном пункте (синяя линия); f_i - частота в гц.

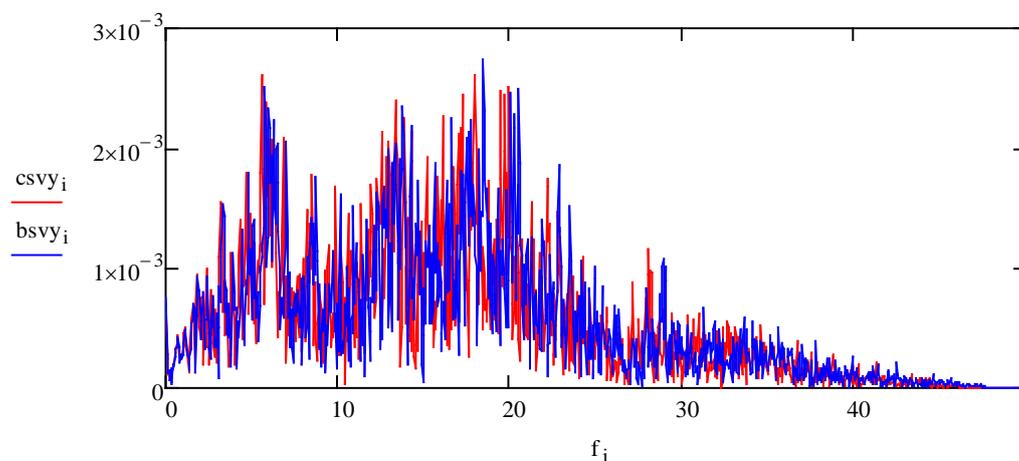


Рисунок 7 – Спектры скорости по составляющей С-Ю (север-юг). Условные обозначения: csvy_i - спектр на Западном сеймопункте (красная линия); bsvy_i - спектр на Опорном пункте (синяя линия); f_i - частота в гц.

В таблице 1 приведены значения приращения сейсмической интенсивности, определенные для территории исследования – линии прохождения газопровода по Чуйской впадине.

Таблица 1 – Значения приращения сейсмической интенсивности на Западном пункте наблюдения, относительно Опорной сейсмической станции

Составляющие	Приращение балльности	Среднее значение балльности
С-Ю	0,5	0,6
В-З	0,6	
Z	0,7	

По записям спектра скорости для сеймопункта «Опорный» по вертикальной компоненте Z (Рис.5) видно, что преобладающие частоты лежат в диапазоне частот $f=7,4-14$ гц; по компоненте В-З (Рис.6) – $f=6,3-16,0$ гц; по С-Ю составляющей (Рис.7)- $f=4,8-22,8$ гц. Для пункта наблюдения «Западный» по вертикальной компоненте Z (Рис.5) преобладающие частоты находятся в пределах $f=7,4-17,9$ гц; по компоненте В-З (Рис.6), $f=3,3-22,3$ гц; С-Ю составляющей (Рис.7) – $f=5,6-20,0$ гц.

Выводы. Землетрясения с эпицентральным расстоянием 207 км, магнитудой $M_{pv} = 4,7$, энергетическим классом $K = 10,6$, глубиной $H = 18$ км может оказать сейсмический эффект в зависимости от грунтовых условий.

Литература

1. Камчыбеков М.П., Егембердиева К.А., Камчыбеков Ы. Сейсмомикрорайонирование отдельных участков Верхне-Нарынского каскада ГЭС // Вестник института сейсмологии НАН КР. 2015. № 5. С. 35-45.
2. Карта сейсмического районирования территории Кыргызской Республики (объяснительная записка) / Под ред. К.Е. Абдрахматова; НАН КР, Ин-т сейсмологии. Бишкек. 2013. 51с.
3. Медведев С.В. Инженерная сейсмология. М.: Стройиздат. 1962. 283с.
4. Рекомендации по сейсмическому микрорайонированию при инженерных изысканиях для строительства. М.: РСМ-85. 1985. 73с.
5. СНиП II-81* Строительство в сейсмических районах/ Госстрой СССР. М.: АПП ЦИТП. 1991. 50 с.
6. СНиП КР 20-02:2009 Сейсмостойкое строительство. Нормы проектирования. Бишкек. 2009. 103 с.
7. Турдукулов А.Т., Камчыбеков М.П., Егембердиева К.А., Камчыбеков Ы.П. Теоретические основы сейсмического микрорайонирования на примере проведенных работ в Кыргызстане // Вестник института сейсмологии НАН КР. 2013. № 2. С. 106-112.
8. Турдукулов А.Т., Камчыбеков М.П., Егембердиева К.А., Камчыбеков Ы.П. Результаты исследований лаборатории инженерной сейсмологии и сейсмического микрорайонирования // Вестник Института сейсмологии НАН КР. 2014. № 4. С. 87-95.
9. Sokolov V.V. Chernov Y.K. On the correlation of seismic intensity with Fourier amplitude spectra. Earthquake Spectra 1998. 14. 679-94.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ МАССОВЫХ ВЗРЫВАХ С УЧЕТОМ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ ГОРНОГО МАССИВА

SIMULATION OF THE SEISMIC ACTION DURING MASS EXPLOSION CONSIDERING GEOLOGICAL HETEROGENEITY OF THE ROCK MASS

Коваленко В.А., Воробьёв Д.А., Райымкулов М.А., Борисенко В.А.
borisenko@istc.kg

Институт коммуникаций и информационных технологий Кыргызско-Российского
Славянского Университета, г. Бишкек, Кыргызстан

Аннотация. В статье приводятся результаты численного моделирования сейсмического воздействия массового взрыва на горный массив.

Ключевые слова: моделирование, сейсмическое воздействие, массовые взрывы, геологическая неоднородность.

Взрывные работы на карьерах часто проводятся в условиях близкого расположения различных гражданских объектов. В результате взрыва возникают сейсмические волны, воздействие которых на технические сооружения может негативно сказаться на их прочностных характеристиках и со временем может привести их к непригодности для дальнейшего использования. Поэтому здания и сооружения должны находиться от мест проведения взрывов на безопасных расстояниях.

Помимо обеспечения безопасности, задача моделирования сейсмических процессов, возбуждаемых при ведении взрывных работ на карьерах, также актуальна в случаях, когда в непосредственной близости от мест проведения взрывов находятся подземные выработки шахт. При проведении массового взрыва без учета сейсмического воздействия имеется вероятность обрушения шахт, что может повлечь экономические потери и даже привести к человеческим жертвам.

В связи с актуальностью данной задачи, в Институте коммуникаций и информационных технологий проводятся исследования по моделированию сейсмического воздействия массового взрыва. Сотрудниками коллектива была разработана математическая модель сейсмических процессов, возбуждаемых массовым взрывом [1-3]. Данная модель была реализована в программе "BlastMakerWave".

В рамках данной работы проведено численное моделирование процесса массового взрыва в неоднородной структуре горного массива. Рассмотрим и приведём для сравнения две модели массового взрыва. В первом случае рассматриваемая геологическая структура горного массива была взята однородной, во втором - слоистый массив из различных пород (рисунки 1,2). Данные взяты из проекта на взрыв, предоставленного САПР "BlastMaker". Модели имеют одинаковую геометрию поверхности и одинаковое пространственное расположение скважин (рисунок 3).

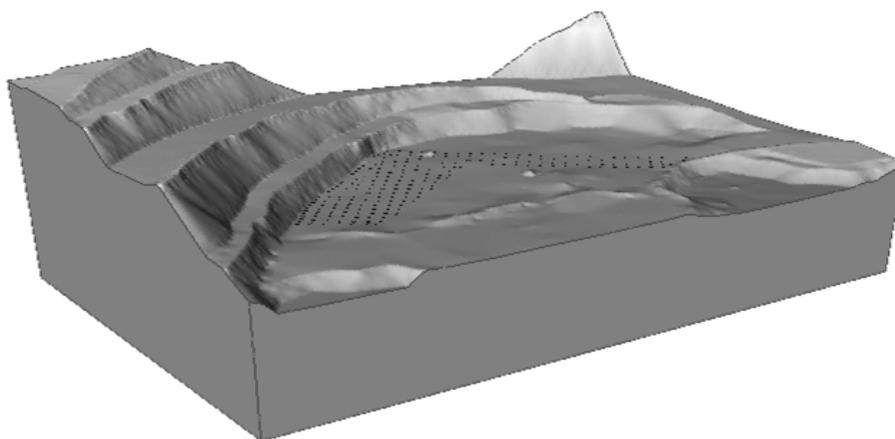


Рисунок 1 – Трехмерная модель однородного массива.

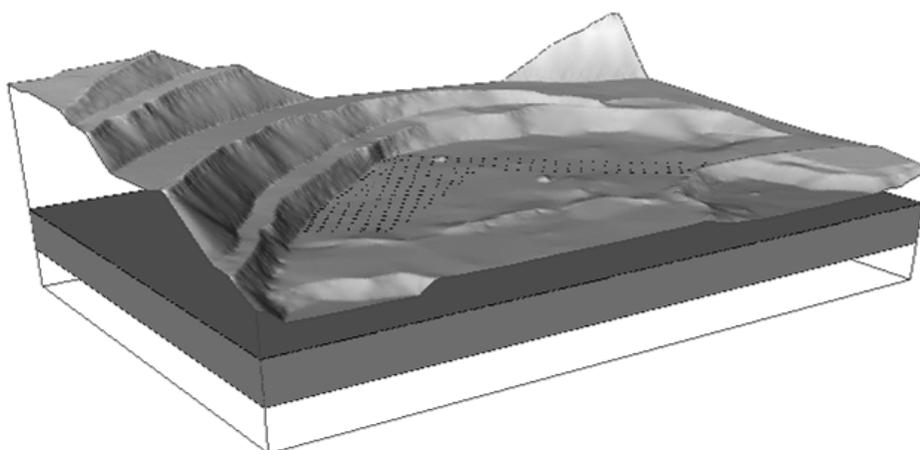


Рисунок 2 – Трехмерное изображение расположения прослойки породы в неоднородном массиве.

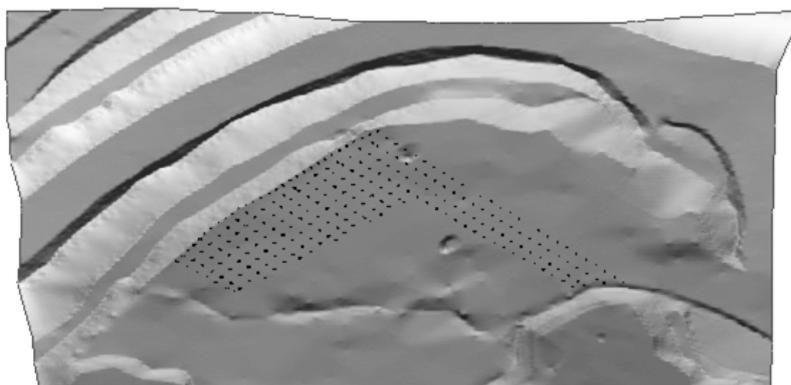


Рисунок 3 – Поверхность рельефа модели и расположение скважин.

На рисунках 4 и 5 представлен вид сечения вдоль ряда скважин, на котором можно наблюдать эффекты преломления сейсмической волны вблизи границы разделения двух сред. По рисункам видно, что в модели с однородной геологической структурой волна имеет сферический характер, в то время как в модели с неоднородностью волна спрямлена.

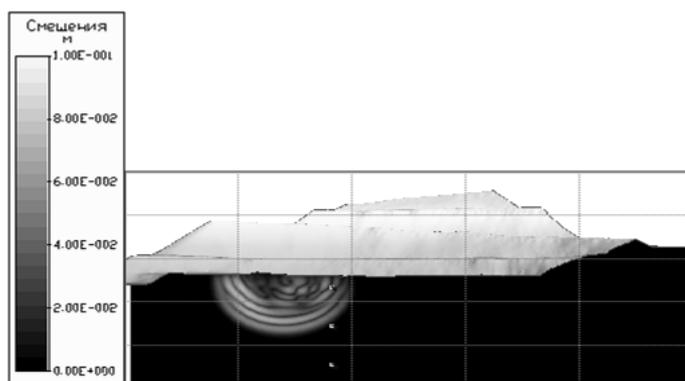


Рисунок 4.а – Сечение модели взрыва (4 мс) – однородная структура.

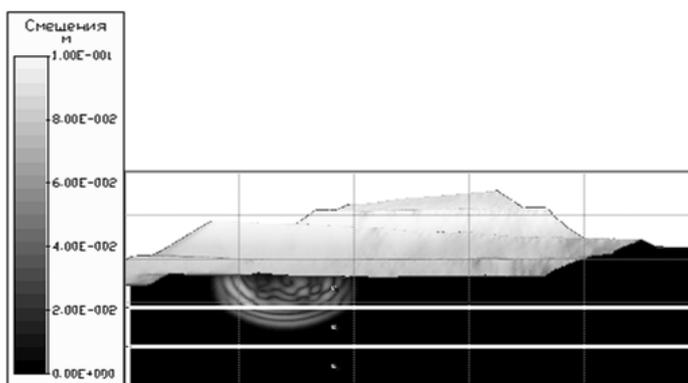


Рисунок 4.б – Сечение модели взрыва (4 мс) – гео-механическая неоднородность.

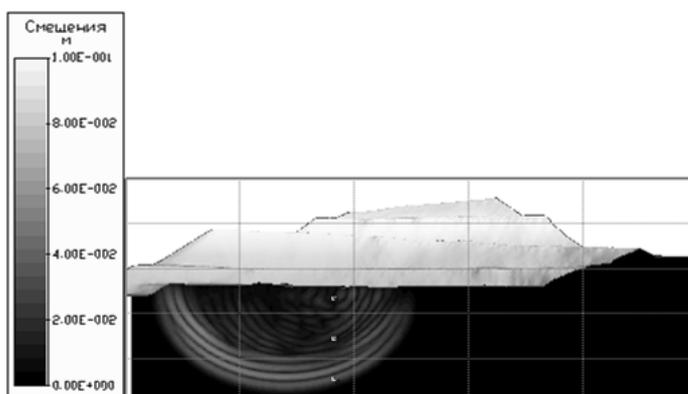


Рисунок 5.а – Сечение модели взрыва (8мс) – однородная структура.

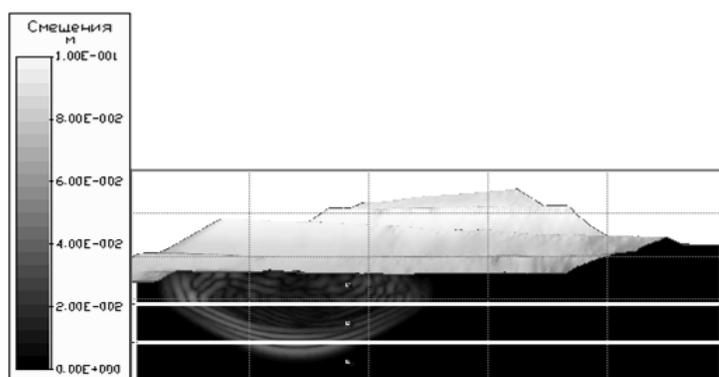


Рисунок 5.б – Сечение модели взрыва (8мс) – неоднородный массив.

На рисунках 6-8 изображены сейсмограммы, снятые в трех различных точках (линии черного цвета – для модели с однородной структурой, серым цветом – для модели со слоистой структурой). На рисунке 6 представлен график смещений в контрольной точке 1. Видно, что амплитуды смещений схожи между собой. На рисунке 7 заметно, что график функции смещения в однородном массиве выше чем непосредственно в измененном слое из неоднородного массива. Из графика смещений на рисунке 8 следует, что изменения смещений не так заметны, но наблюдается задержка по времени прихода сейсмической волны, что объясняется меньшей акустической жесткостью прослойка.

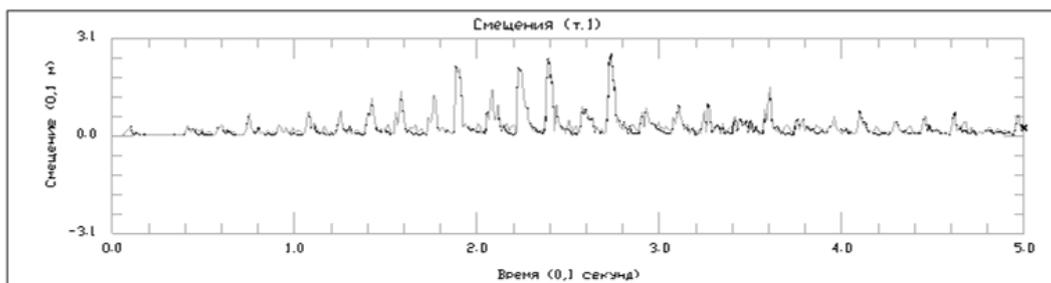


Рисунок 6 – Диаграммы смещений в точке 1 над прослойком.

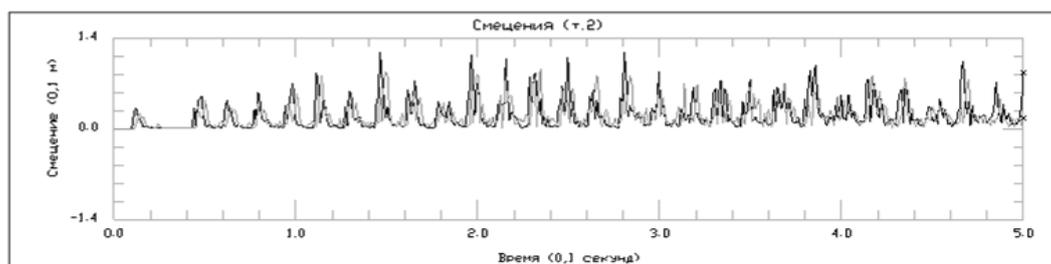


Рисунок 7 – Диаграммы смещений в точке 2 в породном слое.

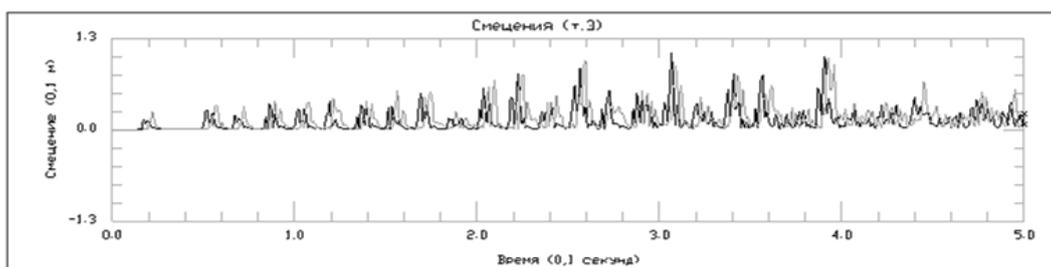


Рисунок 8 – Диаграммы смещений в точке 3 под прослойком.

Выводы. Наличие слоистой структуры оказывает существенное влияние на результаты моделирования сейсмической активности. Учет геологической неоднородности является важным фактором, влияющим на точность моделирования. Однако в виду сложности определения геологического состава моделируемого горного массива, возможно возникновение проблем, связанных с нехваткой информации о пространственном расположении слоев горных пород и о физических свойствах пород, составляющих основу того или иного слоя.

Литература

1. Райымкулов М.А., Воробьев Д.А., Борисенко В.А. Метод конечных элементов для расчета сейсмического воздействия при массовом взрыве // Передовые технологии на карьерах. Бишкек: КРСУ. 2012. С. 112-115.
2. Коваленко В.А., Райымкулов М.А., Воробьев Д.А. Сравнительный анализ сейсмического воздействия взрывных работ на карьере на подземные горные

выработки методом численного моделирования // Вестник КРСУ. 2015. Т. 15. № 3. С. 116-119.

3. Райымкулов М.А. Численное моделирование влияния взрывных работ на охраняемые сооружения // Современная техника и технологии в научных исследованиях. Материалы докл. VII Междунар. конф. молодых ученых и студентов, (г. Бишкек, 25-26 марта 2015 г.). Бишкек. 2015. С. 111-112.

УДК 622.235

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗРЫВА РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ СКВАЖИННОГО ЗАРЯДА В МАССИВЕ

MODELLING OF BLAST OF THE BLASTHOLE CHARGE VARIOUS CONSTRUCTIONS IN MASSIVE

Коваленко В.А., Райымкулов М.А., Воробьев Д.А.
rmarat@istc.kg

Институт коммуникаций и информационных технологий Кыргызско-Российского Славянского Университета, г. Бишкек, Кыргызстан

***Аннотация.** В статье представлены результаты численного моделирования влияния конструкции скважинного заряда на дробление и сейсмическое действие в горном массиве. **Ключевые слова:** сейсмика, зоны разрушения, конструкция скважинного заряда, воздушный промежуток.*

Интенсификация добычи полезных ископаемых приводит к неизбежному росту массы взрывааемых взрывчатых веществ (ВВ) во время проведения открытых горных работ. В связи с этим возрастает риск разрушения технологических сооружений, находящихся в непосредственной близости от места проведения массового взрыва. Обостряется проблема устойчивости охраняемых сооружений, например, близлежащих подземных горных выработок. Все чаще вызывает опасение устойчивость городских сооружений.

В Институте коммуникаций и информационных технологий проводятся исследования по подбору и обоснованию соответствующих параметров взрывных работ для уменьшения динамических нагрузок на охраняемые объекты. Такими параметрами могут быть тип взрывчатых веществ, массы взрывчатых веществ, размеры скважин, схемы короткозамедленного взрывания, время замедления, конструкция заряда и т.д. Данные параметры экспортируются в виде проекта на взрыв из САПР "Blast Maker" [1-3].

Особый интерес представляет исследование влияния конструкции заряда на сейсмическое воздействие взрыва с учетом характера зон разрушения. В горном производстве активно применяются воздушные промежутки в конструкциях заряда, в том числе, для снижения сейсмического эффекта от взрыва [4-6]. Предполагается, что заряд переменной энергии позволяет сократить удельный расход ВВ без снижения качества дробления, при этом уменьшив сейсмическое действие взрыва. Данный эффект может быть достигнут за счет рационального распределения энергии в разрушаемом массиве.

В данной работе представлены некоторые результаты проведенных экспериментов по численному моделированию взрывных процессов различных конструкций зарядов (сплошной, рассредоточенный заряды, заряд с воздушным промежутком и т.д.). В качестве модели среды рассматривался неоднородный массив, состоящий из верхнего слоя пород средней крепости (коэффициент крепости по проф. М.М. Протодяконову - 3,5) и нижележащего слоя крепких пород (коэффициент крепости по проф. М.М. Протодяконову -

14). На открытых горных работах верхний слой представляет собой, как правило, породы, раздробленные взрывом вышележащего горизонта. При взрыве сплошного заряда большая часть энергии продуктов детонации растрачивается на работу по разрушению верхней прослойки средней крепости пород, что приводит к нерациональному использованию энергии. Для более равномерного распределения зоны разрушения предлагается конструкция заряда с воздушным промежутком, установленным между зарядом и забойкой. Равномерность зоны разрушения обеспечивается механизмом запирания продуктов детонации в скважине верхним воздушным промежутком, в результате чего энергия продуктов детонации больше распределяется на разрушение нижележащего слоя массива (рисунок 1).

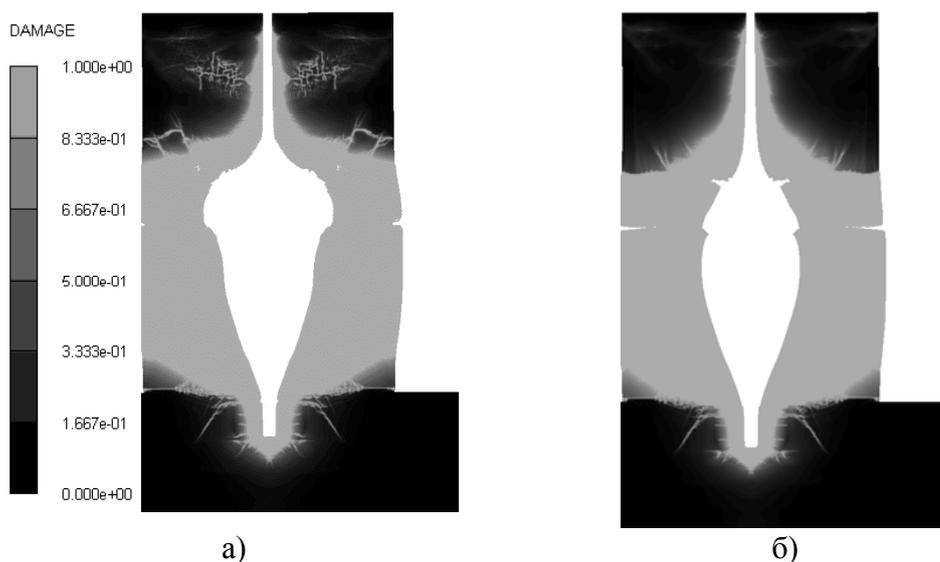


Рисунок 1 – Сравнение областей разрушения в результате действия сплошного и составного заряда в массиве: верхний слой - породы средней крепости (коэффициент крепости по проф. М.М. Протодьяконову - 3,5), нижний слой крепких пород (коэффициент крепости по проф. М.М. Протодьяконову - 14):

а) сплошной заряд - 6м, б) заряд - воздушный промежуток - 1м.

Как показывает численное моделирование, для неоднородного массива, состоящего из нижнего прослойка крепких пород с коэффициентом крепости по проф. М.М. Протодьяконову - 7 и верхнего прослойка средней крепости пород с коэффициентом крепости по проф. М.М. Протодьяконову - 3,5 надежнее конструкция заряда с воздушным промежутком на дне скважины. Как показывает сравнение областей разрушения такая конструкция обеспечивает более равномерное разрушение горного массива (Рисунок 2).

Также была проведена серия численных экспериментов при варьировании параметров массива (крепости пород, геометрии откоса борта карьера), положения и размера воздушной подушки в скважине. Так, при взрыве вблизи откоса боковые стенки разрушаются быстрее, таким образом, энергия взрыва больше распределяется на разрушение, а воздушная подушка смягчает сейсмическое действие на массив (рисунки 3 и 4). Такая конструкция оптимальна для пород средней крепости. Для крепких пород воздушная подушка может привести к ухудшению проработки подошвы. При камуфлетном взрыве, как показывают численные эксперименты, оптимальной конструкцией является рассредоточенный заряд с инертным промежутком. Эффект достигается уменьшением массы одновременно взрываемого ВВ приводящим к ослаблению сейсмического действия, что соответствует формуле Садовского, в то время как наличие воздушной подушки не играет существенной роли на дальних расстояниях.

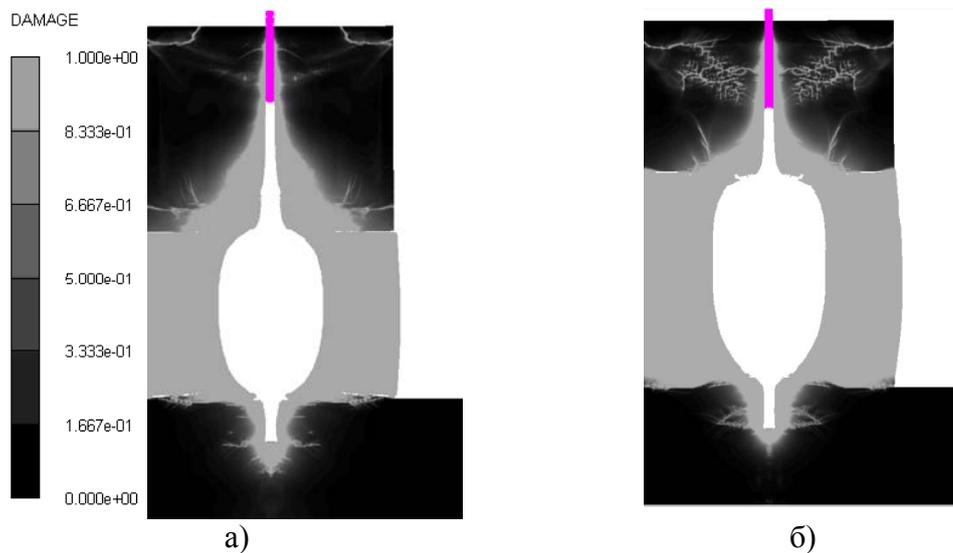


Рисунок 2 – Сравнение областей разрушения в результате действия различных конструкций заряда в массиве: верхний слой - средней крепости породы (коэффициент крепости по проф. М.М. Протодьяконову - 3,5) и крепкие породы (коэффициент крепости по проф. М.М. Протодьяконову - 7): а) заряд - воздушный промежуток - 1 м, воздушная подушка - 0,5 м, б) заряд - воздушная подушка - 1 м.

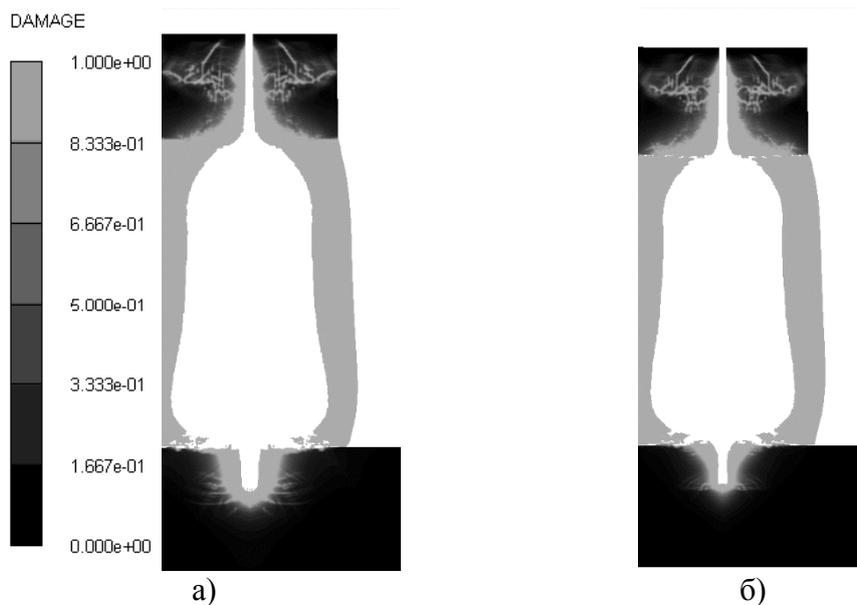


Рисунок 3 – Области разрушения при различных конструкциях заряда для средней крепости пород (предел сжатия - 35 МПа) а) сплошной заряд - 11 м, б) заряд- 10 м - воздушная подушка - 1 м.

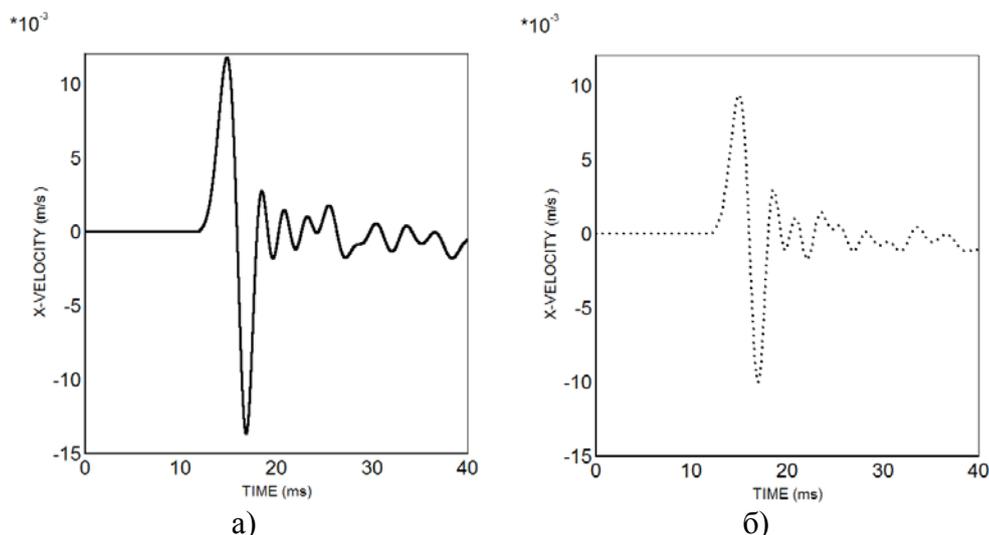


Рисунок 4 – Велосиграммы в контрольной точке на расстоянии 95 м. от дна скважины при различных конструкциях заряда: а) сплошной заряд, 11 м, б) заряд - 10 м, воздушная подушка, 1 м.

Таким образом, методы численного моделирования позволяют рассмотреть подробнее механизм влияния воздушного промежутка на перераспределение энергии в массиве. В итоге удастся подтвердить некоторые интуитивные предположения о действии воздушного промежутка на дробление и сейсмическое действие взрыва [4-6]. Путем варьирования месторасположение и параметры воздушного промежутка, учитывая при этом свойства горного массива, ВВ и влияние свободной поверхности, можно управлять распределением энергии взрыва скважинных зарядов и направлять его в нужные участки массива.

Как известно, применение воздушных промежутков затруднено усложнением процесса заряжания и забойки скважин. Однако, несмотря на эти неудобства, есть большие надежды, что технологически они будут решены и, если будет показана их эффективность, то обязательно будут использоваться на практике.

Литература

1. Коваленко В.А., Райымкулов М.А., Воробьев Д.А. Сравнительный анализ сейсмического воздействия взрывных работ на карьере на подземные горные выработки методом численного моделирования // Вестник КРСУ. 2015. Т. 15. № 3. С. 116-119.
2. Коваленко В.А., Григорьев В.В. О численном моделировании разрушения горных пород динамическим нагружением // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 1991. № 5. С. 71-77.
3. Райымкулов М.А. Численное моделирование влияния взрывных работ на охраняемые сооружения // Современные техника и технологии в научных исследованиях. Материалы докл. VII Междунар. конф. молодых ученых и студентов, (г. Бишкек, 25-26 марта 2015 г.). Бишкек. 2015. С. 111-112.
4. Шевкун Е.Б., Лещинский А.В., Добровольский А.И. Совершенствование взрывных работ на разрезе «Буреинский-2» ОАО «Ургалуголь» // Уголь. 2014. № 1. С. 11-14.
5. Мельников Н.В. Использование энергии взрывчатых веществ и кусковатость пород при взрывных работах. Открытая разработка месторождений. М. 1985. 280 с.
6. Жунусов К. Отбойка скальных пород зарядами с воздушной подушкой. Алма-Ата: Наука. 1979. 120 с.

УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ В ДЖУМГАЛЬСКОМ РАЙОНЕ НАРЫНСКОЙ ОБЛАСТИ

EMERGENCY RISK MANAGEMENT IN JUMGAL AREA OF NARYN REGION

Кумарбекова Ж.К.

zhanylai_kumarbekova@mail.ru

Кыргызско – Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызстан

Аннотация. В статье рассмотрена новая методика управление рисками при чрезвычайных ситуациях.

Ключевые слова: землетрясения, последствия, оценка, методика.

Джумгалский район Нарынской области Кыргызской Республики был образован в 1935 году. Район занимает площадь 5221 км². Численность постоянного населения по итогам переписи населения 2009 года составляет 40 718 человек, в том числе пгт. Мин-Куш 3 353 человек. Средняя плотность населения составляет 8,2 человек на 1 км². На территории района 1 поселок городского типа и 27 сельских населенных пунктов, относящихся к 1 поселковому и 12 аильным аймакам. Административный центр района – с. Чаек с постоянным населением 7 009 человек.

Джумгалский район расположен в северо-западной части территории Нарынской области и ограничивается с севера Джумгал-Тооским, Сандыкским, с запада Суусамыр-Тооским и Сары-Камышским, с юга Кабак-Тооским и Сон-Кельским, и с востока Кызартским хребтами. Горная территория характеризуется высокой расчлененностью рельефа и большой гравитационной энергией склонов. Перепад абсолютных отметок днища впадины изменяется от 1500 до 2600 м, горной зоны от 2600 м до 4185 м. Минимумы температуры воздуха могут достигать -25°C в равнинной и -35°C в горной зоне, а максимумы температуры воздуха от +34°C в долинной до +20°C в горной зонах района. Суточный максимум осадков 1% обеспеченности изменяется от 40 мм в равнинной части до 40-50 мм в горной зоне. Среднегодовое количество осадков изменяется от 300 мм в долинной части, до 600 мм в горной зоне.

Зоны опасности и прогнозы возможной активизации опасных процессов и явлений. Заметим, что под природным риском понимается возможность нежелательных последствий от опасных природных процессов и явлений, а под техногенным - от опасных техногенных явлений (аварий и катастроф на объектах техносферы), а также ухудшения окружающей среды из-за промышленных выбросов в процессе хозяйственной деятельности (является сферой деятельности экологической безопасности и охраны окружающей среды). Под социальным же риском понимается возможность негативных последствий от опасных социальных процессов (ухудшение социально-экономического положения страны, дифференциация населения по доходам, появление значительных групп населения, живущих ниже черты бедности) и явлений (преступность, наркомания, алкоголизм, терроризм и др.).

В Джумгалском районе около 89% территории обладает горным рельефом, поэтому для этого района характерны практически все виды чрезвычайных ситуаций (в частности, землетрясения, сели, лавины, подтопления, крупные пожары и т.д.), определенные в классификации, которая утверждена постановлением ПКР от 22 августа 2011 № 475.

Независимыми переменными, по которым оценивается риск, являются время и ущерб, а для оценки (прогноза) риска определяется частота реализации опасных событий и ущерб от них. Оценки частот некоторых опасных событий на территории Джумгалского района за последние 10 лет приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Частоты опасных событий в Джумгалском районе Нарынской области

Опасное событие	Частота, год
Сели	1420
Поводки	487
Лавины	553
Землетрясения	375
Подтопления	168
Ливневые дожди	110
Крупные пожары	393

В качестве одной из мер для прогноза возможного риска стал переход к применению методов управления, основанных на анализе и оценке риска как количественной характеристики опасности для населения и окружающей среды от того или иного объекта повышенной опасности, к управлению рисками чрезвычайных ситуаций. При этом риск должен оцениваться не только при нормальных условиях (при безаварийной эксплуатации), но и при реализации аварий и катастроф с разрушением систем защитных оболочек и сооружений, выходом в окружающую среду опасных веществ, затоплением огромных территорий и т.п. [1].

По данным из таблицы 1 составим распределение количества чрезвычайных ситуаций за последний 10 лет (с 2005 по 2015гг.) (рисунок 1).

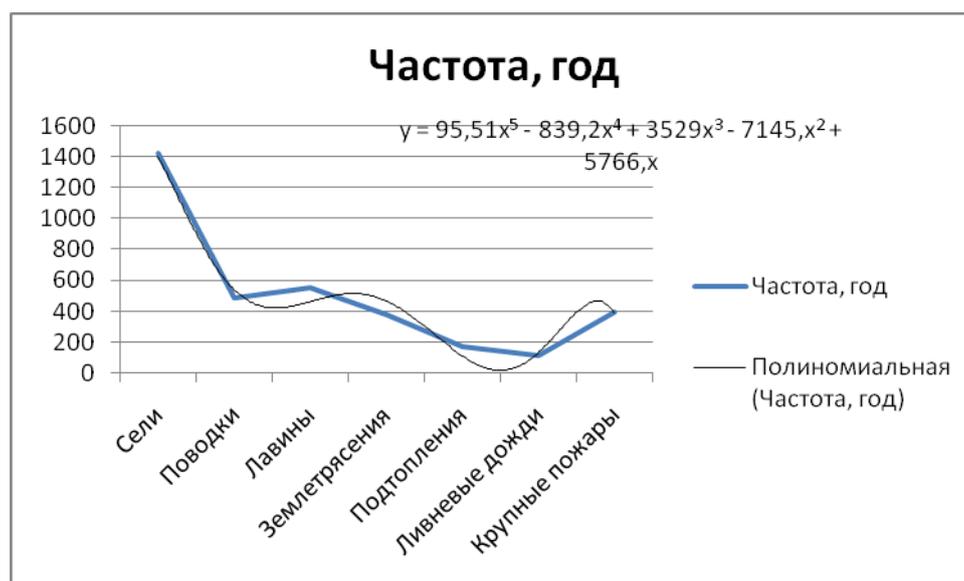


Рисунок 1 – Количество чрезвычайны ситуации за период с 2005 по 2015гг.

Подход к анализу риска, как к некоторой количественной оценке, особенно важен на региональном уровне, и в первую очередь – для регионов, где сосредоточен значительный потенциал опасных производственных объектов в сочетании со сложной социально-политической обстановкой и недостаточным финансированием.

Следует подчеркнуть, что в рамках технократической концепции природный и техногенный риски измеряются вероятной величиной потерь за определенный промежуток времени. Заблаговременное предвидение (прогноз) риска, выявление влияющих факторов, принятие мер по его снижению путем целенаправленного изменения этих факторов с учетом эффективности принимаемых мер и составляет управление риском.

В общем случае управление риском – это разработка и обоснование оптимальных программ деятельности, призванных эффективно реализовывать решения в области

обеспечения безопасности. Главный элемент такой деятельности - процесс оптимального распределения ограниченных ресурсов с целью снижения различных видов риска и достижения такого максимального уровня безопасности населения и окружающей среды, какой только возможен с точки зрения экономических и социальных факторов. Этот процесс основан на мониторинге окружающей среды и анализе риска.

Согласно другому определению, управление риском - это основанная на оценке риска целенаправленная деятельность по реализации наилучшего из возможных способов уменьшения рисков до уровня, который общество считает приемлемым, исходя из существующих ограничений на ресурсы и время.

Важной составной частью этого управления является система управления рисками чрезвычайных ситуаций (или управления природной, техногенной и социальной безопасностью населения). Для управления рисками чрезвычайных ситуаций следует развивать:

- систему мониторинга, анализа риска и прогнозирования чрезвычайных ситуаций, как основы деятельности по снижению рисков чрезвычайных ситуаций;
- систему предупреждения чрезвычайных ситуаций и механизмы государственного регулирования рисков;
- систему ликвидации чрезвычайных ситуаций, включая оперативное реагирование на чрезвычайные ситуации, технические средства и технологии проведения аварийно-спасательных работ, первоочередного жизнеобеспечения и реабилитации пострадавшего населения;
- систему подготовки руководящего состава органов управления, специалистов и населения в области снижения рисков и уменьшения масштабов чрезвычайных ситуаций [3].

Анализ риска осуществляется путем: идентификации опасностей, мониторинга окружающей среды - анализа (оценки и прогноза) угрозы, анализа уязвимости территорий, анализа риска чрезвычайной ситуации на территории, анализа индивидуального риска для населения. В дальнейшем необходимо провести сравнение предполагаемого риска с приемлемым риском и принять решение о целесообразности проведения мероприятий по защите: обосновать и реализовать рациональные меры по защите, по подготовке сил и средств для проведения аварийно-спасательных работ, по созданию необходимых резервов для уменьшения масштабов чрезвычайных ситуаций [1].

Процедуру оценки техногенного риска для региона можно представить следующими этапами:

1. Создание базы данных для изучаемого региона, в которую входит информация о географии региона, метеорологии, топологии, инфраструктуре, распределении населения и демографии, а также о расположении промышленных и иных потенциально опасных производственных объектов, основных транспортных потоков, хранилищ, промышленных и бытовых отходах и т.д.
2. Идентификация и инвентаризация опасных видов хозяйственной деятельности, выделение приоритетных объектов для дальнейшего анализа. На этом этапе выявляются и ранжируются по степени опасности виды хозяйственной деятельности, присутствующие в регионе.
3. Количественная оценка риска для окружающей среды и здоровья населения, включающая: количественный анализ воздействия опасностей в течение всего срока эксплуатации предприятия с учетом риска возникновения аварийных выбросов опасных веществ; анализ воздействия опасных отходов; анализ риска при транспортировке опасных веществ.

4. Анализ инфраструктуры и организации систем обеспечения безопасности. Включает: анализ и планирование действий в случае чрезвычайных ситуаций с учетом взаимодействия различных служб с органами государственного управления и контроля, а также с представителями общественности и населением; анализ систем и служб противопожарной безопасности с учетом пожароопасности предприятий, объектов повышенной опасности, систем транспортировки энергии и энергоносителей; анализ структуры контроля качества окружающей среды в регионе; экспертизу и анализ нормативных и законодательных документов.
5. Разработка и обоснование стратегий и оперативных планов действий, призванных эффективно реализовывать решения в сфере безопасности и гарантировать достижение поставленных целей.

Формулировка интегральных стратегий управления и разработка оперативных планов действий, включающая: оптимизацию затрат на обеспечение промышленной безопасности; определение очередности осуществления организационных мероприятий по повышению устойчивости функционирования и снижения экологического риска при нормальной эксплуатации объектов региона, а также в чрезвычайных ситуациях [1].

Система управления риском должна содержать технические, оперативные, организационные и топографические элементы.

Прогнозная методика оценки ущерба от чрезвычайных ситуаций. Оценка ущерба, возникающего в результате: хозяйственной деятельности, нарушения законодательства, чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера становится крайне актуальной задачей в условиях перехода к гражданско-правовым формам ответственности во всех сферах хозяйственной деятельности, а в особенности в сфере природопользования. В этой связи эта методология прогнозной оценки ущерба становится одним из важнейших инструментов по снижению и смягчению последствий ЧС.

Данная методика предназначена, чтобы определить возможный ущерб при ЧС на прогнозный год – аналитическим и экспертным путем с помощью компьютерного моделирования, что позволит нам проработать эффективные мероприятия по минимизации ущерба.

Экономический ущерб бывает:

- 1) Прямой;
- 2) Косвенный;
- 3) Полный.

Таким образом, в случае отсутствия фактических экономических показателей, или фактический ущерб за 1 год, можно получить алгоритм расчета:

- 1) Проводим анализ динамики потребительских цен или ВВП по Кыргызской Республике по имеющимся данным.
- 2) Строим график и с помощью математической модели уравнения (линии Тренда) получаем уравнение для расчета динамики потребительских цен или ВВП прогнозируемые.
- 3) По фактическим данным потребительских цен или ВВП находим коэффициенты динамики потребительских цен в КР (прогнозируемые).
- 4) Умножаем фактические данные прямого ущерба на коэффициент прогнозируемого года, получаем данные, по которым строим график и получаем уравнение прямого ущерба.
- 5) Умножаем фактические данные косвенного ущерба на коэффициент прогнозируемого года, строим график и получаем уравнение косвенного ущерба.

- 6) Вычисляем среднее арифметическое значение прямого и косвенного ущерба.
- 7) Суммируем прямой и косвенный ущерб, получаем ущерб полный, далее строим график и получаем уравнение полного ущерба.
- 8) По фактическим данным потребительских цен или ВВП находим коэффициенты динамики потребительских цен в КР (прогнозируемые).
- 9) Умножаем фактические данные прямого ущерба на коэффициент прогнозируемого года, получаем данные, по которым строим график и получаем уравнение прямого ущерба.
- 10) Умножаем фактические данные косвенного ущерба на коэффициент прогнозируемого года, строим график и получаем уравнение косвенного ущерба.
- 11) Вычисляем среднее арифметическое значение прямого и косвенного ущерба.
- 12) Суммируем прямой и косвенный ущерб, получаем ущерб полный, далее строим график и получаем уравнение полного ущерба.
- 13) По фактическим данным потребительских цен или ВВП находим коэффициенты динамики потребительских цен в КР (прогнозируемые).
- 14) Умножаем фактические данные прямого ущерба на коэффициент прогнозируемого года, получаем данные, по которым строим график и получаем уравнение прямого ущерба.
- 15) Умножаем фактические данные косвенного ущерба на коэффициент прогнозируемого года, строим графи и получаем уравнение косвенного ущерба.
- 16) Вычисляем среднее арифметическое значение прямого и косвенного ущерба.
- 17) Суммируем прямой и косвенный ущерб, получаем ущерб полный, далее строим график и получаем уравнение полного ущерба [3].

Построение графиков зависимости чрезвычайных ситуаций от продолжительности события по данным айыл окмоту [4].

Виды чрезвычайных ситуаций, приведенные в исходных данных (таблица 1), приняты согласно отчетных данных государственных статистических учреждений Джумгальского района Нарынской области, а также постановления Правительства Кыргызской Республики от 17 ноября 2011 года № 733.

Анализ данных таблицы 1 показывает, что для Нарынской области чрезвычайные ситуации за №№ 1, 2, 3,4,5,6 и 7 имеют приоритеты по сравнению с другими видами чрезвычайных ситуаций, как по частоте, так и по последствиям и жертвам. При этом для Джумгальского района из указанных приоритетных видов чрезвычайных ситуаций следующие виды имеют первостепенное влияние: сели, лавины, землетрясения, подтопления, крупные пожары.

Далее используя программное обеспечение и данные программы «Excel», по фактическим сведениям, полученным от айыл окмоту, определяем математические модели фактических, прогнозных и перспективных уровней рисков чрезвычайных ситуаций для оценки экономического ущерба и разработки методов управления рисками на примере чрезвычайной ситуации вида «Землетрясение» и его влияния на мелиоративные системы. Вначале следует определить математическую зависимость между частотой происшествия землетрясений на фактических данных, так и на перспективных.

1-й Этап. Определяем математическую зависимость между частотой происшествия чрезвычайных ситуаций на фактических данных, так и на перспективных.

Используя математическое уравнение, при коэффициенте аппроксимации (величина достоверности аппроксимации) $R^2 = 0,495$, полученное в результате обработки данных $N_{\text{землетрясений}}$ и T вычисляем прогнозные данные по возможным чрезвычайным ситуациям за период с 2013 по 2022 годы (где «х» - годы).

$$Y = 0,000 * x^6 - 0,007 * x^5 + 0,153 * x^4 - 1,471 * x^3 + 7,089 * x^2 - 15,9 * x + 13,33 \quad (1)$$

Расчетные данные сведены в таблице 2.

Таблица 2 – Количество землетрясений за период 2013-2022 гг

Годы	Расчетные данные	N _{зем} летрясений
2013		3,995
2014		4,12
2015		4,32
2016		4,68
2017		4,998
2018		5,01
2019		5,23
2020		5,456
2021		5,65
2022		5,81

2-й Этап. Определяем математическую зависимость между частотой происшествия землетрясений на перспективу.

Таблица 3 – Данные по экономическому ущербу от произошедших землетрясений на период 2000-2011 годы

Годы	N землетрясений (данные из таблицы)	Экономический ущерб (млн.сом)
2000	3	25
2001	1	3
2002	0	0
2003	0	0
2004	2	10
2005	1	2
2006	1	03.фев
2007	0	0
2008	1	2
2009	1	4
2010	5	35
2011	1	2

Используя математическое уравнение, при коэффициенте аппроксимации (величина достоверности аппроксимации) $R^2 = 0,985$, полученное в результате обработки данных N_{землетрясений} и T возможно вычислять прогнозные данные по возможным землетрясениям планируемые годы.

$$Y = 0,208 * x + 3,78 \quad (2)$$

Далее следует определить математическую зависимость между показателями экономического ущерба «U» и периодом «Т», когда произошли землетрясения, с учетом частоты землетрясений «N».

Приведены отчетные сведения о фактических экономических ущербах, в результате произошедших землетрясений за период с 2000 года по 2011 год.

Используя математическое уравнение (2), при коэффициенте аппроксимации (величина достоверности аппроксимации) $R^2 = 0,985$, полученное в результате обработки данных $N_{\text{землетрясений}}$ и T возможно вычислять прогнозные данные по возможным землетрясениям планируемые годы.

$$Y = 0,208 * x + 3,78 \quad (3)$$

Далее следует определить математическую зависимость между показателями экономического ущерба «U» и периодом «Т», когда произошли землетрясения, с учетом частоты землетрясений «N».

3-й Этап. Определяем математическую зависимость между показателями экономического ущерба, частотой происшествий землетрясений на фактических данных, и в зависимости от времени.

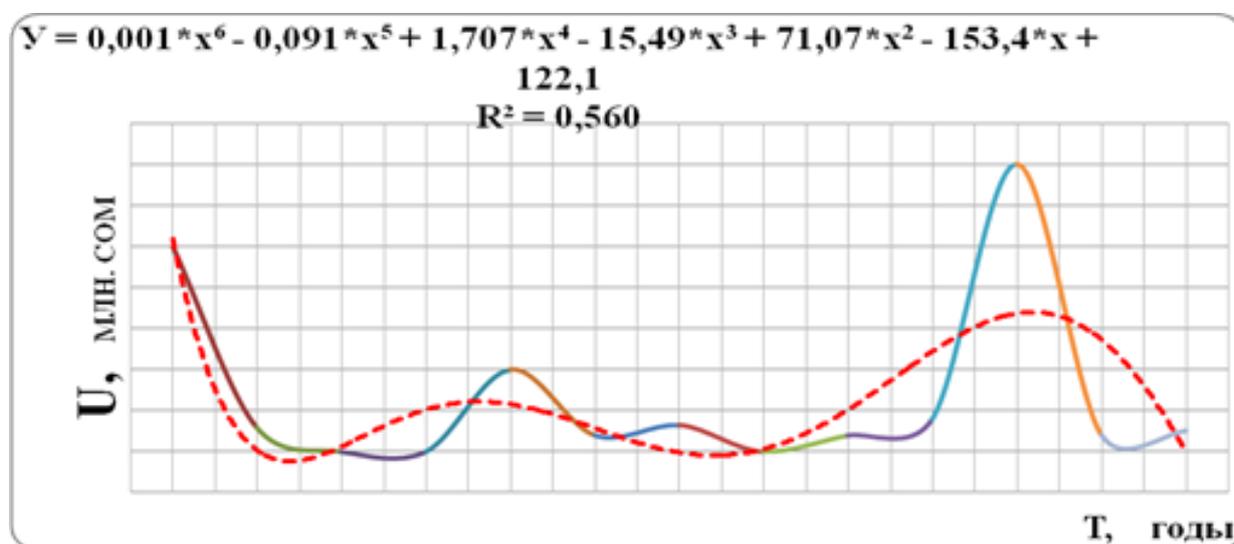


Рисунок 2 – График зависимости показателя экономического ущерба (U) от произошедших землетрясений ($N_{\text{землетрясений}}$) по годам (T).

Используя математическое уравнение (4), при коэффициенте аппроксимации (величина достоверности аппроксимации) $R^2 = 0,56$, полученное в результате обработки данных $N_{\text{землетрясений}}$ и T возможно вычислять прогнозные данные по возможным экономическим ущербам при землетрясениях на планируемые годы.

$$Y = 0,001 * x^6 - 0,091 * x^5 + 1,707 * x^4 - 15,49 * x^3 + 71,07 * x^2 - 153,4 * x + 122,1 \quad (4)$$

Таким образом, используя математические выражения (2), (3) и (4) возможно рассчитать в прогнозном выражении наступление чрезвычайной ситуации при землетрясении и определить усредненно ожидаемый уровень экономического ущерба.

Максимальный уровень экономического ущерба пришёлся на 2010 год, когда произошло 5 землетрясений, а общий экономический ущерб по району составил в размере 35,0 млн. сом.

Сопоставляя и анализируя данные можно заключить, что при землетрясении имеет место значительный экономический ущерб. В связи с этим практически целесообразно его предупредить. Для этого следует разработать методику управления рисками, по ниже приведенной схеме на рис.3.

Применение этой методики позволяет уменьшить возможный экономический ущерб с 35 млн. сом до 2 млн. сом в течение фиксированного (запланированного времени).

Аналогичную методику рекомендуется разработать для всех видов чрезвычайных ситуации, характерных для Джумгальского района.

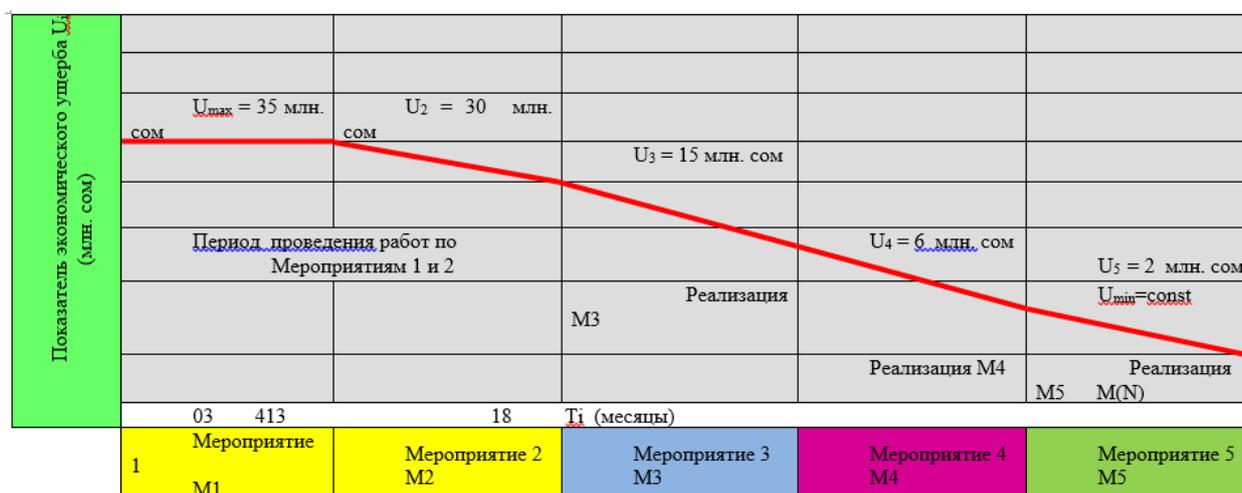


Рисунок 3 – Методика управление рисками в Джумгальском районе при чрезвычайной ситуации «Землетрясение».

Литература

1. Шойгу С.К. Основы государственного регулирования мероприятий по обеспечению сейсмической безопасности России. М.: РЭФИА. 1997. 144 с.
2. Иманбеков С.Т., Бозов К.Д. Управление рисками в инженерных системах. Бишкек: Изд-во КРСУ. 2011. 180 с.
3. Иманбеков С.Т. Управление безопасностью функционирования инженерных систем в кризисных ситуациях природного и техногенного характера // Вестник КРСУ. 2012. № 7. С. 61-64.
4. Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики. 12-е изд. с изм. и доп. Бишкек: МЧС КР. 2015. 711 с.

УДК 553.98.2:550.832

ПОИСК ЗАЛЕЖЕЙ НЕФТИ И ГАЗА В РАЗРЕЗАХ СКВАЖИН ПО ДАННЫМ КАРОТАЖА

SEARCH OF OIL AND GAS DEPOSITS IN THE OPENCASTS OF WELLS ACCORDING TO LOGGING

Скакальська Л.В., Назаревич А.В.

skakalska.sbigph@gmail.com, nazarevych-a@cb-igph.lviv.ua

Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, г. Львов, Украина

Аннотация. Математическая методика прогноза углеводородов и воды в породах разрезов скважин имеет в основе систему теоретических и эмпирических уравнений, адекватно описывающих нелинейную модель слоистой изотропной квазиоднородной горной среды. Апробированы данные акустического, сейсмического, гамма, электрического каротажей

для исследований традиционных и нетрадиционных пород-коллекторов, прогнозирования их пористости, упругих характеристик, типа заполнителя пор.

Ключевые слова: порода-коллектор; упругие характеристики; карттаж; эмпирические зависимости; керновые исследования; нефтегазоводонасыщенность.

Введение. Повышение точности и эффективности прогнозирования пористости и типа флюидонасыщения пород в разрезах скважин при поиске залежей нефти и газа в коллекторах со сложным строением особо актуально.

Методика. Наша комплексная математическая методика предлагает достоверное решение этой задачи (рис. 1). Она отображает соответствие реальной горной породе.

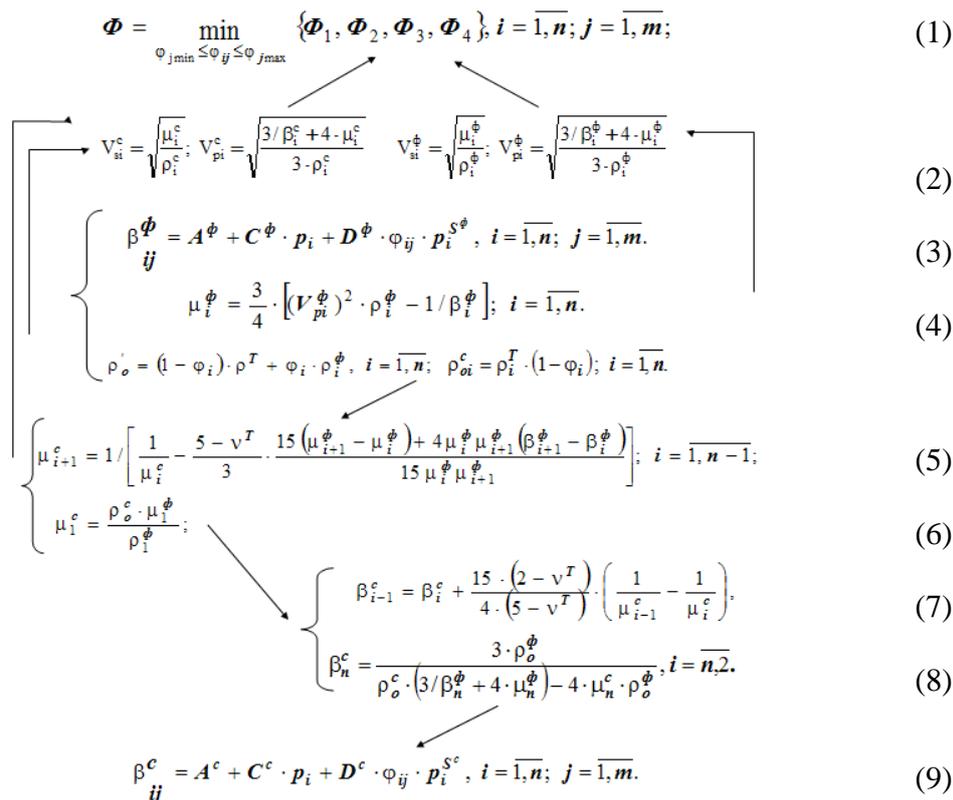


Рисунок 1 – Схема работы методики по системе теоретических (4)-(6) и эмпирических (3), (7) уравнений физической модели пористой двухфазной слоистой флюидонасыщенной изотропной квазиоднородной твёрдой среды и системы теоретических и эмпирических соотношений между параметрами сжимаемости, сдвига, пористости, давления для определения наличия и типа нефтегазоводонасыщенности их пор [1-4].

Теоретические уравнения системы накапливают поочередно свойства энергетической модели Дж. Эшелби для флюидонаполненных сферических пор, Дж. Волша – для пустот, З. Хашина и С. Штрикмана – для произвольных сферических включений; модели Г. Кастера и М. Токсуза – для усреднённых констант твёрдой матрицы, уточнений Френкеля для модели Био частотного диапазона зондирующих волн; модели Ф. Гассмана для определения скоростей упругих волн в изотропной среде с ограничениями (6), (8); итоговой модели, применяемой О. Федоришиным и Т. Вербицким [1], в виде (5), (7), для неоднородностей произвольных форм и концентраций, готовых для получения объективного прогноза типа наполнителя пор и усреднённых упругих констант, эффективной пористости, давления по прослоям и слоям горной породы. Эмпирические зависимости между упругими параметрами и коллекторскими характеристиками пород строятся по данным модулей сжатия и сдвига, пористости, давления слоёв пород региона или месторождения с помощью метода

наименьших квадратов (соотношения (3), (9) на рис. 1).

Прогнозирование типа флюида в порах пород выполняется по функции минимизации модуля отклонения скорости, рассчитанной согласно физико-математической модели, от скорости, полученной по данным интервального времени (формула (1) для Φ на схеме выше), где:

$j = \overline{1, m}$ – количество значений пористости, измеренных в однородном i -м прослое;

$i = \overline{1, n}$ – количество прослоев или значений интервального времени для отдельного разреза;

$\beta_i, \mu_i, \varphi_{ij}, p_i$ – параметры сжимаемости, модуля сдвига, пористости, давления, приведённые к безразмерным величинам;

v_i^T – коэффициент Пуассона твёрдой матрицы породы;

$\rho_i^\phi, \rho_i^T, \rho_o'$ – плотность флюида, матрицы, объёмная плотность двухфазной среды;

$v_{AK(CK)}, v_p$ – скорости продольных волн: по каротажу АК/СК, рассчитанная по прогнозной методике;

c, ϕ, T – указатели сухой породы, флюида, твёрдой матрицы горной породы.

Если минимальным окажется четвёртый модуль функционала Φ – наиболее вероятным наполнителем пор прогнозируется жидкий флюид [5]. В методике предусмотрено проведение исследования по различению типа жидкого флюида (нефти и воды) в порах породы-коллектора [4]. Методика реализуется программным обеспечением, разработанным в средах Fortran и Excel.

Результаты. Апробация методики на данных акустического (базового для методики) и других каротажей разрезов скважин ряда структур Украины показала удовлетворительные результаты по всем исследуемым параметрам. Относительные отклонения в расчёте скоростей упругих волн от каротажных – 4,3÷5,5 % даже при непрямых данных. Созданы расширения методики для исходных данных гамма-каротажа, данных самопроизвольной поляризации, сейсмокаротажа в случаях отсутствия базовых. По анализу рассчитанных по методике упругих характеристик, имеющих в разрезах исследуемых скважин пород послойно (от 0,1 м) прогнозируется пористость и тип заполнителя пор. Прослежены отличия в упругих и коллекторских характеристиках пород разного типа и геодинамического генезиса. Впервые спрогнозированы в разрезах ряда скважин тонкие нефте-, водо- и газонасыщенные слои и прослои, их упругие характеристики. Таким образом, методика позволяет искать ловушки неструктурного типа, эффективно определять слои с газом, водой или нефтью.

Литература

1. Вербицкий Г.З., Починайко Р.С., Стародуб Ю.П., Федоришин О.С. Математическое моделирование в сейсморазведке. Киев: Наук. Думка. 1975. 275 с.
2. Скакальська Л.В. Прогнозирование физических и коллекторских свойств пород-коллекторов для поиска нетрадиционного газа // Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКАР. 2014. № 1. С. 4-10.
3. Скакальська Л.В. Назаревич А.В. Прогнозирование нефтегазоводонасыщенности пород разной литологии и геодинамического генезиса в разрезах скважин // Геодинамика. 2015. № 1 (18). С. 102-119 (на украинском языке).
4. Скакальська Л.В., Назаревич А.В. Методика прогнозирования нефтегазоносности пород разрезов скважин // Нефть, газ и бизнес. 2016. № 3. С. 38-44.
5. Скакальська Л.В., Назаревич А.В. Обобщённые соотношения для методики прогнозирования водонефтегазонасыщенности пород разрезов скважин // Висник КНУ им. Тараса Шевченко. Геология. 2016. № 1 (72). С. 60-69 (на украинском языке).

О МЕХАНИЗМЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ГРУНТА

ABOUT THE MECHANISM OF SEISMIC GROUND MOTION

Смирнов С.Б., Ордобаев Б.С., Абдыкеева Ш.С.
ordobaev@mail.ru

Кыргызско – Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызстан

***Аннотация.** В работе вскрыт реальный механизм сейсмических колебаний грунта и изложен способ получения достоверной информации о реальных параметрах сейсмических воздействий.*

***Ключевые слова:** сейсмический, колебания, грунт, акселерометр.*

Здесь и в работах [1,2] мы впервые выявили реальную причину появления сейсмических колебаний в поверхностном грунте и строго описан процесс этих колебаний.

Итак, эти колебания являются результатом циклических сдвигов и распрямлений поверхностной толщи грунта глубиной порядка $l_T = 100$ м, которая при этом наносит мягкие удары по фундаментам зданий, создавая волны сдвига в колоннах и стенах зданий, которые срезают эти элементы.

Циклический сдвиг поверхностной толщи производят вторичные волны сдвига, порожденные продольными волнами сжатия, которые проходят под зданиями с большой скоростью на глубине свыше ста метров.

Как известно, рабочий орган акселерометра представляет собой маятник с массой m , закрепленной на конце относительно жесткого упругого стержня или пружины, которые зацеплены другим концом в жестком основании.

При квазистатическом однократном смещении маятник в акселерометре будет колебаться за счет изгибных деформаций своего упругого консольного стержня, имеющего изгибную жесткость EI , где E - это модуль Юнга для материала стержня, I – момент инерции поперечного сечения $h \times h$, тогда имеем

$$I = \frac{1}{12} h^4 \text{ (см}^4\text{)}$$

Собственная круговая частота изгибных колебаний такого стержня равна $\omega = \frac{2\pi}{T_u}$ – это период изгибных колебаний маятника.

Изгибная частота колебаний маятника ω_u пропорциональна изгибной жесткости его стержня EI и обратно пропорциональна его массе m и кубу длины стержня l . Легко найти, что для консоли

$$\omega_u^2 = 3EI/ml^3 \text{ [1/сек}^2\text{]}$$

В акселерометрах маятник обычно имеет малый период колебания T_u порядка $T_u = 0,15$ сек. и соответственно высокую частоту порядка

$$\omega_u = \frac{2\pi}{T} = \frac{6,28}{0,15} \approx 42 \frac{1}{\text{сек}}$$

Следует подчеркнуть, что при землетрясении акселерометр записывает вовсе не ускорения грунта a . Он всего лишь записывает график взаимных смещений своего маятника и его основания Δ_m .

Сами искомые величины ускорений грунта, затем находятся путем весьма специфического пересчета. При этом пересчете специалисты исходят из дифференциального уравнения изгибных колебаний маятника, к основанию которого приложено ускорение грунта $a(t)$.

После волевого и весьма нестрогого упрощения этого уравнения специалисты получают следующую приближенную формулу для определения, сейсмических ускорений грунта $a(t)$:

$$a(t) = \Delta_m(t) \cdot \omega_u^2 \quad (1)$$

На этой базовой формуле (1) строятся все официальные подсчеты ускорений, т.е. официально считается, что для получения графика реальных ускорений грунта при землетрясении $\mathbf{a}(t)$ достаточно умножить график изгибных смещений маятника относительно его основания $\Delta_m(t)$, записанный акселерометром на величину ω_u^2 , т.е. на квадрат круговой частоты изгибных собственных колебаний маятника ω_u . Именно так и поступают на практике все специалисты.

Например, если $\Delta_m = 0,3$ см, а $\omega_u = 42^2 \frac{1}{\text{сек}^2} = 1760 \frac{1}{\text{сек}^2}$, то тогда $\alpha = \Delta_m \omega_u^2 = 0,3 \text{ см} \cdot 1760 \frac{1}{\text{сек}^2} = 528 \approx 0,52g$

Еще в 1995 году в работе [3] мы подробно указали на ряд погрешностей, которые содержит этот официальный подход к вычислению ускорения грунта $\mathbf{a}(t)$ и которые он вносит в реальную величину $\mathbf{a}(t)$.

Однако главную ошибку, которая всегда присутствует в официальной трактовке акселерограмм, мы смогли обнаружить лишь теперь, когда нами была вскрыта сдвиговая природа сейсмических колебаний грунта [1,2]. Именно в анализе, описании и устранении этой ошибки состоит основная цель этой работы. Только исключив ошибку, мы сможем найти реальные величины ускорений, скоростей и перемещений грунта при землетрясениях. Ниже мы покажем, как и где это можно применить на практике.

В работах [1-5] было доказано, что вдали от эпицентра на границе зоны размещения зданий эти разрушения производятся вторичными волнами сдвига, которые порождены глубинными продольными волнами. В зонах, близких к эпицентру, разрушения производят уже первичные волны сдвига вместе с продольными волнами [4,5]. То есть во всей активной зоне землетрясения в разрушениях играют важную роль волны сдвига, которые проникают в колонны и стены и срезают их [4,5]. До сих пор никто не учитывал тот важнейший факт, что эти же волны сдвига проникают внутрь акселерометров и сейсмометров и производят сдвиг стержней в их маятнике. То есть смещения маятников в этих приборах происходят не только за счет изгиба их стержней, но так же и за счет их кратковременного волнового сдвига, создаваемого сдвиговой волной. То есть стержень в акселерометре претерпевает не только изгиб, но и сдвиг. При этом точное соотношение величин изгиба и сдвига в общем случае не известно. Это важное открытие, так как сдвиговая жесткость у стержня маятника, равная величине GF , намного больше, чем его изгибная жесткость EJ , где G – модуль сдвига материала стержня, причем $G \approx \frac{1}{2,5} E$, F – это площадь сечения стержня, например $F = h^2$ для квадратного сечения.

Из сказанного следует, что частота сдвиговых колебаний маятника ω_c также намного выше, чем частота его изгибных колебаний ω_u . Докажем это на конкретном примере. Для сдвиговой частоты колебаний маятника ω_c имеем ω_c^2 , а для изгибной частоты имеем $\omega_u^2 = \frac{3EI}{ml^3}$.

Найдем, каков порядок величины соотношения этих двух частот, что принципиально важно для определения реальной величины ускорения грунта \mathbf{a} по официальной методике.

Имеем

$$\frac{\omega_c^2}{\omega_u^2} = \frac{GF}{ml} \cdot \frac{ml^3}{3EI} = \frac{1}{3} \frac{GF}{EJ} \cdot l^2 \quad (2)$$

Учитывая, что $G/E \approx 0,4$; $F=h^2$; $J=1/12h^4$, находим, что $F/I = \frac{12}{h^2}$. Тогда из (2) получаем следующие ключевые соотношения частот:

$$\frac{\omega_c^2}{\omega_u^2} = \frac{1}{3} \cdot 0,4 \frac{l^2}{h^2} \cdot 12 = 1,6 \frac{l^2}{h^2},$$

т.е. $\frac{\omega_c^2}{\omega_u^2} = 1,6 \frac{l^2}{h^2}$ (3)

очевидно, что в формуле (3) отношение $\frac{l^2}{h^2} > 100$ и тогда в формуле (3)

$$\omega_c^2 > 160 \omega_u^2 \quad (4)$$

Это принципиально важное соотношение (4) говорит о том, что если в базовой формуле (1) потребуется заменить сомножитель ω_u^2 и ω_c^2 , то тогда ускорения грунта, замеренные

акселерометром, возрастут более чем в 100 раз. Это произойдет при чисто сдвиговых смещениях маятника, что возможно лишь гипотетически при скорости грунта $V > 10$ м/сек.

В реальности мы будем иметь некоторую неизвестную комбинацию сдвиговых и изгибных смещений маятников в акселерометрах. Дело в том, что доля сдвиговых деформаций в стержне маятника пропорциональна скорости грунта в сдвиговой волне. То есть это доля сдвиговых деформаций нарастает вместе с ростом силы землетрясения. То есть чем сильнее землетрясение, тем сильнее стандартный акселерометр занижает реальную величину ускорения грунта.

Поэтому определить точную величину ускорения грунта a на основе используемой ныне официальной формулы (1) практически невозможно.

Однако несомненно, что использование этой формулы (1) существенно занижает реальную величину сейсмического ускорения грунта a , и что на самом деле величина, a значительно выше.

То же самое, очевидно, справедливо и для реальных сейсмических смещений грунта $\Delta(t)$ и для его реальных скоростей $V(t)$. В действительности они должны оказаться значительно больше, чем те величины, что показывают официальные маятниковые приборы.

Все это нам удастся установить раз и навсегда, когда мы поставим в одной из сейсмоактивных зон Кыргызстана сразу 3 разных прибора.

Во-первых, это будет стандартный сейсмометр, фиксирующий "официальные" смещения грунта. Во-вторых, это будет стандартный акселерометр, фиксирующий официальные ускорения грунта. И в-третьих, это будет настоящий измерительный прибор (а не маятник), который сможет измерить величину Δ_p ; время t и частоту ω_p реальных сейсмических смещений грунта. При сопоставлении полученной стандартной сейсмограммы и акселерограммы с графиками, полученными на основе показаний реального измерительного прибора, мы ожидаем получить следующие результаты:

- 1) Построенный по показаниям измерительного прибора график реальных сейсмических смещений $\Delta_p(t)$ должен располагаться выше нулевой линии в отличие от сейсмограммы, выданной стандартным сейсмометром.

При этом величины реальных смещений грунта $\Delta_p(t)$ должны оказаться в 2 и более раз выше тех, что покажет официальная сейсмограмма в виде $\Delta_c(t)$.

- 2) Реальная величина ускорения грунта a_p , найденная нами как

$$a_p = \Delta \cdot \omega_p^2,$$

должна оказаться в 1,5 и более раз выше, чем величина ускорения, показанная акселерометром.

- 3) Реальная величина скорости грунта V_p , подсчитанная как

$$V_p = \Delta_p \cdot \omega_p$$

должна оказаться в 3 и более раз выше, чем скорость V_c , найденная как

$$V_c = \Delta_c \cdot \omega_p,$$

где $\Delta_c(t)$ – это перемещения на сейсмограмме, данной сейсмометром.

Литература

1. Смирнов С.Б. Упругая отдача сдвигаемой толщи грунта как реальная причина сейсмического среза зданий // Объединенный научный журнал. 2008. № 11. С. 57-60.
2. Smirnov S. Seismic shears of buildings are the result of output of soil thickness, displaced by abyssal seismic waves // The integrated scientific Journal. Moscow, Russia. 2009. № 7. P.p. 64-68.
3. Смирнов С.Б. О принципиальной ошибке в традиционной трактовке записей инерционных сейсмических приборов // Жилищное строительство. 1995. № 1. С. 23-25.
4. Смирнов С.Б. Исследование аномальных форм в сейсмических разрушениях зданий, противоречащих официальной теории сейсмозащиты и опровергающих официальный взгляд на причины разрушения зданий при землетрясениях // Объединенный научный журнал. 2008. № 9. С. 51-59.

5. Смирнов С.Б. Ударно-волновая концепция сейсмического разрушения сооружений // Энергетическое строительство. 1992. № 9. С. 70-72.
6. Смирнов С.Б., Ордобаев Б.С., Айдаралиев Б.Р. Сейсмические разрушения – альтернативный взгляд. Сборник научных трудов. Ч. I. Бишкек: Айат. 2012. 138 с.
7. Смирнов С.Б., Ордобаев Б.С., Айдаралиев Б.Р. Сейсмические разрушения – альтернативный взгляд. Сборник научных трудов. Ч. II. Бишкек: Айат. 2013. 144 с.

УДК 699.841

ОСОБЕННОСТИ СЕЙСМОЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

FEATURES SEISMIC PROTECTION OF BUILDINGS AND STRUCTURES

Смирнов С.Б., Ордобаев Б.С., Абдыкеева Ш.С., Султанова А.М.
ordobaev@mail.ru

Кыргызско – Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызстан

Аннотация. Приведены основные принципы сейсмозащиты зданий и сооружений.

Ключевые слова: сейсмозащита, здания, сооружения, принципы, сейсмостойкое строительство.

Причины всех недавних катастрофических разрушений “сейсмостойкой” застройки состоят в том, что официальная сейсмическая наука до сих пор не имеет информации о тех сейсмических воздействиях, которые разрушают здания и сооружения во время сильных землетрясений.

При этом она категорически отказывается признать эту реальность. Официальной науке пока не известно о механизме сейсмических разрушений, а также о свойствах и параметрах порождающего их воздействия.

Об этом говорит множество очевидных фактов и явлений. Главными из них являются необъяснимые перманентные разрушения современных “сейсмостойких” зданий, вопреки всем “нормам” и расчетам, а также полное несоответствие формы всех видов сейсмических разрушений зданий тем низкочастотным колебанием грунта, которые в течение последнего столетия официально считаются единственной причиной разрушений зданий при землетрясениях.

Полное отсутствие информации об истинных причинах сейсмических разрушений диктует необходимость перехода к качественно новой стратегии сейсмозащиты, которая может гарантировать успех даже в нынешней неблагоприятной ситуации.

Эта стратегия должна базироваться на следующих восьми принципах, смысл и содержание которых автоматически гарантирует неразрушимость зданий при землетрясениях [1].

Принцип 1. Отбор, анализ и “принятие на вооружение” всех позитивных практических приемов и конструктивных решений по успешной сейсмозащите зданий, которые были выработаны веками методом проб и ошибок, а также категорический отказ от использования тех конструкций и материалов, которые всегда проявляют низкую сейсмостойкость.

Принцип 2. Использование только “многовязных” строительных конструкций и элементов, имеющих максимум запаса прочности и надежности при минимуме их стоимости.

Принцип 3. Использование только нехрупких строительных материалов (в том числе армированных), обладающих достаточной ударной вязкостью, пластичностью и прочностью

при сдвиге и растяжении, и одновременно категорический отказ от использования хрупких и полухрупких строительных материалов.

Принцип 4. Обеспечение плавности форм строительных конструкций, а также исключение в них и в их элементах резких скачков жесткости, острых углов и зон концентрации напряжений.

Принцип 5. Замена сварных соединений на заклепочные и болтовые.

Принцип 6. Использование особых фундаментов, имитирующих скальное основание.

Принцип 7. Частичное или полное отсечение зданий от их подземной части за счет введения надземной опорной плиты, резко повышающей многосвязность зданий.

Принцип 8. Ограничение высоты зданий для повышения их устойчивости.

На базе развития, конкретизации и детализации этих принципов могут и должны быть разработаны строительные “Нормы” и “Коды” нового поколения, регламентирующие строительство сооружений в сейсмоактивных регионах, которые позволят гарантировать сейсмостойкость зданий [2].

Главные усилия здесь необходимо направить на поиски, открытие и полное описание неизвестного пока разрушительного сейсмического воздействия.

При этом надо в первую очередь завершить те исследования, которые уже были начаты в этом направлении. Речь идет об исследованиях В.И. Шарова (ГЕОН), С.М. Крылова, А.С. Белякова, Е.В. Барковского (ОИФЗ РАН), Б.У. Родионова (МИФИ). Если результаты этих исследований будут недостаточны, то станет необходимым проведение качественно новых исследований в этом направлении [3].

Успешное решение данной задачи, наконец, позволит проводить целевую узконаправленную сейсмозащиту зданий, что должно существенно удешевить сейсмостойкое строительство.

Литература

1. Смирнов С.Б. Причины разрушения сейсмостойких, железобетонных зданий и принципы их эффективной сейсмозащиты. Бетон и железобетон. 1994. № 3. С. 13-16.
2. Смирнов С.Б., Ордобаев Б.С., Айдаралиев Б.Р. Сейсмические разрушения – альтернативный взгляд. Сборник научных трудов. Ч. I. Бишкек: Айат. 2012. 138 с.
3. Смирнов С.Б., Ордобаев Б.С., Айдаралиев Б.Р. Сейсмические разрушения – альтернативный взгляд. Сборник научных трудов. Ч. II. Бишкек: Айат. 2013. 144 с.

УДК 622.831

ИССЛЕДОВАНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ И ИХ ПРОЯВЛЕНИЙ

RESEARCH OF RESIDUAL STRESS AND THEIR APPEARANCES

Тажобаев К.Т., Султангазиев Б.У.

Kushbak@yandex.ru

Институт геомеханики и освоения недр Национальной академии наук Кыргызской Республики, г. Бишкек, Кыргызстан

Аннотация. В статье приводятся краткие сведения о природе остаточных напряжений в твердых материалах и горных породах. Рассмотрены формы проявления остаточных напряжений в массиве горных пород при разработке рудных месторождений. Приведены результаты определения остаточных напряжений в горных породах удароопасных месторождений.

Ключевые слова: остаточные напряжения, выработки, массив, горные породы, деформация, разрушения, горный удар.

Остаточными напряжениями называют напряжения, существующие в конструкциях или природном теле при отсутствии внешних силовых, тепловых и других воздействий. По признаку протяженности силового поля различают остаточные напряжения трех видов [1]:

- 1-го рода зональные (макронапряжения) которые являются охватывающими большую часть обрабатываемой заготовки (трещины, искривление, а также другие виды искажения формы);
- 2-го рода напряжения образуются в микроскопических объемах - в зернах, в кристаллах и т.д.;
- 3-го рода напряжения возникают в ячейках кристаллической решетки.

Остаточные напряжения могут быть одной из главных причин техногенных аварий при ведении горных работ и разрушений, надежных на первый взгляд конструкций. И, тем не менее, ни один стандарт в настоящее время не устанавливает предельно допустимых значений для таких напряжений. Не существует нормативных документов по учету остаточных напряжений при разработке полезных ископаемых, при проектировании и прочностных расчетах конструкций. В технических устройствах достаточно примеров разрушений, вызванных большими технологическими напряжениями. Одни из наиболее частых разрушений со значительными экологическими последствиями - это разрушения трубопроводов, в которых иногда образуются трещины длиной до нескольких десятков километров.

Связи с этим разработка методов определения остаточных напряжений в настоящее время является насущной и актуальной задачей. В последние десятилетия в результате усилий ученых России, США, Германии и других стран положение с измерительными методами и средствами существенно улучшилось и началось активное экспериментальное изучение таких напряженных состояний. Но многое еще не сделано: для получения достоверных результатов о влиянии остаточных напряжений на прочность горных пород необходимо проводить теоретические и экспериментальные научные исследования, так как именно в этом направлении остаточные напряжения недостаточно изучены. Например, основной причиной возникновения внезапных горных ударов и обрушений считаются повышенные остаточные напряжения в горных породах. Они представляют серьезную опасность для работающих, бывают причиной больших неприятностей, при горных ударах происходят разрушения и выбросы значительных объемов породы или полезного ископаемого в выработку, вызывающие воздушную волну, нарушения крепи, завалы выработок на протяжении нескольких метров, смещение и передвижение машин и оборудования находящихся на пути воздушной волны. Восстановительные работы требуют больших затрат. К сожалению, горные удары иногда уносят даже жизнь горняков.

Рассматривая остаточные напряжения как фактор динамического разрушения, необходимо отметить, что они сами по себе не могут вызвать разрушение горных пород, так как в нетронутых зонах массива они взаимно уравновешены, хотя их уровень достигает значительных величин. Остаточные напряжения проявляются только в случае нарушения их относительного равновесия, в частности при образовании новой поверхности, например, при проходке подземных выработок, выемке пород и трещинообразовании. Сжимающие остаточные напряжения при образовании новой поверхности проявляются в виде деформации растяжения, а растягивающие напряжения – в виде деформации сжатия.

В Институте геомеханики и освоения недр НАН КР остаточные напряжения более подробно изучались в гранитных блоках месторождения Восточный – Коунрад (Казахстан). Эти исследования остаточных напряжений были вызваны необходимостью выяснения причин горных ударов, имевших место на руднике.

Северо-Коунрадское вольфрамомолибденовое месторождение входит в Восточно-Коунрадскую группу рудообразований и располагается в пределах гранитного массива.

Гранитный массив на участке месторождения сложен в основном среднезернистыми, иногда порфировидными разностями, среди которых залегают участки мелкозернистых биотитовых и аллитовых разностей. Глубокие части массива сложены главным образом средне- и мелкозернистыми гранитами.

В пределах Коунрадского гранитного массива выделяются следующие разновидности пород:

- 1) крупнозернистые слабопорфирные биотитовые граниты;
- 2) среднезернистые слабопорфирные биотитовые граниты;
- 3) мелкозернистые аллитовые граниты;
- 4) жильные породы: кварцы, грейзены.

Крупнозернистые порфировидные биотитовые граниты являются господствующей разновидностью. В периферийной части массива в кольце эллиптической формы шириной от 1 до 4 км встречаются только крупнозернистые граниты. Это кольцо прерывается в районе Восточно-Коунрадского месторождения. На противоположной стороне массива кольцо достигает максимальной ширины 4 км. Внутри кольца, на площади эллиптической формы длиной 12 км и шириной 7 км выходы крупнозернистых гранитов разбщены между собой выходами мелкозернистых аллитовидных и среднезернистых биотитовых гранитов. Эта эллиптическая площадь сдвинута к востоку по отношению к геометрическому центру массива и прижата к его восточному контакту. Центральная часть массива сложена среднезернистыми биотитовыми гранитами и также смещена по отношению к геометрическому центру массива к востоку и прижата к его восточному контакту. Длинная ось этой площади равна 6 км, короткая - 3 км. Она имеет также грубо-эллиптическую форму.

Распределение разновидностей гранитов в вертикальной плоскости изучено значительно хуже. Мелкозернистые граниты, судя по колонкам буровых скважин и естественным обнажениям, образуют пологие пластообразные залежи мощностью до 50 м, которые подстилаются крупнозернистыми или среднезернистыми гранитами. Наиболее верхняя пологая залежь мелкозернистых гранитов выходит на дневную поверхность и частично уничтожена эрозией. До глубины 250 м буровыми скважинами установлено еще два горизонта мелкозернистых гранитов.

На Восточно-Коунрадском руднике применялась система разработки с магазинированием руды и оставлением надштрековых целиков. Расстояние между люками принято 6-7,5 м. Отработка жил велась спаренными блоками по 60 м. Таким образом, общая протяженность отрабатываемого спаренного блока 120 м. При отработке блока оставляется потолочина высотой 4 м, которая поддерживает штрек вышележащего горизонта, служащего для выноса исходящей струи загрязненного воздуха. После отработки горизонта потолочина погашается.

Особенностью отработки месторождения являлось отсутствие закладки выработанного пространства после выпуска руды из магазинов. Оставление постоянных целиков для поддержания выработанного пространства также не предусматривалась, а существующие оставшиеся целики являлись следствием того, что или их оказалось невозможно вынуть (надштрековые, междублоковые), или участок жилы был некондиционным. В результате отработки большие площади обнажений находились в не поддержанном состоянии. Так, площадь обнажения шахтных полей шахт № 10, 11 и 12 в вертикальной плоскости составила 120 тыс. м², в то время как суммарная площадь целиков не превышала 9100 м².

При отработке в шестидесятых годах западного участка месторождения происходили стрельяния горных пород и внезапные обрушения горных пород, большинство из них реализовывалось в виде горных ударов. Происходили выбросы породы в основном из кровли и забоя выработок, сопровождаясь звуковым эффектом, подобным взрыву. Объемы выброшенной горной массы достигали 25-50 м³. Во всех случаях после выброса в течение 1-

2 суток отмечалось интенсивное потрескивание разрушившихся пород в стенках и кровле выработок, в обнажениях произошедшего отрыва.

Результаты измерения остаточных напряжений в породных блоках, отобранных из удароопасных участков массива Восточно-Коунрадского рудника с размерами приблизительно 50×50×50 см показали, что в породах данного рудника, действительно имеются как сжимающие, так растягивающие остаточные напряжения [2]. Измерения остаточных напряжений в блоках проводились в лабораторных условиях, методом полной разгрузки путем измерения деформаций торца керна. При этом использовались розетки тензометрических резисторов с углами 45°. Блоки отбирались со стенок выработок и в груди забоев с привязкой граней блоков по сторонам света. Блоки бурились в вертикальном и горизонтальном направлениях. Результаты измерения остаточных напряжений в блоках горных пород приведены в таблицах 1, 2.

Таблица 1 – Данные остаточных напряжений блока гранита (рудник Восточный Коунрад, ш.№6, горизонт 80)

Порода и место отбора	Глубина бурения, мм	Относительная деформация разгрузки, $\varepsilon \times 10^5$			Главные напряжения, МПа	
		$\varepsilon_1(0)$	$\varepsilon_2(45)$	$\varepsilon_3(90)$	$\sigma_1(\max)$	$\sigma_2(\min)$
1	2	3	4	5	6	7
Горизонтальная плоскость (вертикальная скважина)						
Гранит, Горизонт 80	15	5	-4	-8	-2,8	0,9
	25	5	17	-7	-15,7	2,5
	35	10	5	-5	-5,9	-0,7
	45	3	7	-11	-9,2	2,9
Вертикальная плоскость (горизонтальная скважина)						
	10	-6	-43	-49	7,7	22,9
	20	-31	-28	-45	13,5	23,3
	30	-6	-26	-50	9,0	11,0
	40	-11	-36	-51	12,2	17,1
	50	-7	-30	-50	10,8	12,3

Таблица 2 - Результаты измерения остаточных напряжений методом полной разгрузки в блоках горных пород удароопасных месторождений

Порода, Место отбора, размер блока	Глубина измерения, мм	Деформация разгрузки в розетке под углом 45° $\varepsilon \times 10^5$			Главные напряжения, МПа	
		$\varepsilon_1(0)$	$\varepsilon_2(45)$	$\varepsilon_3(90)$	$\sigma_1(\max)$	$\sigma_2(\min)$
1	2	3	4	5	6	7
Мелкозернистый Гранит (Восточный Коунрад), шт.№6, блок 25×10×7см	10	8	28	-1	-4,6	0
	20	8	28	-1	-4,7	0
	30	9	28	-2	-4,8	0
	40	10	28	-3	-4,9	0
Мрамор №52 (Ингичке), Блок 40×30×25см	10	-3	5	2	-2	1,1
	20	-5	6	2	-2,4	2
	30	-5	7	2	-2,9	2
	40	-5	7	2	-2,9	2
Мрамор №51	10	1	4	-8	-3,5	1,2

(Ингичке), блок 40×30×20см	20 30	-8 -9	14 16	0 0	-6,3 -7,2	3,5 4
Гранит серый (Ингичке), №50 блок 30×20×10см	5 10 15	2 4 5	4 5 8	0 1 1	-2,5 -3,2 -3,3	-0,5 -1,3 0,3

Из данных деформаций разгрузки остаточных напряжений следует, что по взаимно перпендикулярным (главным) направлениям деформации (напряжения) имеют либо разные знаки, либо экстремальные значения. Установленные на участках рудника Восточный Коунрад направления действия главных остаточных напряжений свидетельствуют о том, что в перпендикулярном к простиранию жил (горизонтальном) направлении действуют сжимающие остаточные напряжения, а по направлению простирания жил - растягивающие напряжения [3].

Литература

1. Биргер И.А. Остаточные напряжения. М.: Недра. 1963. 232 с.
2. Айтматов И.Т., Тажибаев К.Т. Результаты определения остаточных напряжений в гранитах Восточно-Коунрадского месторождения // Напряженное состояние горных пород и их разрушение. Фрунзе: Илим. 1986. С. 74-77.
3. Тажибаев К.Т., Богрояков В.А., Первых В.И. Результаты измерения напряжений в горных породах рудника Восточный Коунрад // Физика и механика разрушения горных пород. Фрунзе: Илим. 1987. С. 13-21.

УДК 622.235

СИСТЕМА СИГНАЛИЗАЦИИ О РАЗРУШЕНИИ КРЕПИ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ

SIGNALING SYSTEM OF EXCAVATION TIMBERING DESTRUCTION

Тамбовцева А.Е., Молдоканов К.С., Степанов С.Г.

gornyaki@inbox.ru, tae-08-96@mail.ru, moldokanov_kani.kg@mail.ru

Кыргызско – Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызстан

***Аннотация:** Представлена система сигнализации о разрушении крепи горной выработки, которая обеспечит дистанционный контроль целостности крепи горной выработки. Рассмотрено решение проблемы хранения газа, токсичных и радиоактивных материалов в сейсмоактивных зонах.*

***Ключевые слова:** система сигнализации, разрушение крепи, горная выработка, хранение токсичных и радиоактивных материалов, дистанционный контроль.*

В сейсмоактивных районах возможно разрушение крепи горных выработок под воздействием смещения пород горного массива. В связи с этим, необходим непрерывный контроль работоспособности (целостности) крепи горной выработки для исключения сообщения полости выработки с горным массивом. В представленной работе предлагается вариант решения задачи, связанной с проблемами хранения токсичных и радиоактивных материалов в горных выработках, расположенных в сейсмоактивных зонах, а также использования горных выработок, как газовое хранилище.

Известно устройство для измерения смещения массива горных пород [1], состоящее из глубинного репера, контурного репера, установленных в скважине и связанных между собой тягой, комплекта отсчетных устройств, установленных на тяге.

Недостаток известного устройства заключается в том, что смещение участков горного массива визуально наблюдается в выработке по отсчетным устройствам, расположенным непосредственно у пробуренной скважины, т.е. дистанционное (за пределами выработки) наблюдение смещений невозможно конструктивно. Также, недостаток устройства заключается в необходимости выполнения скважины с поверхности выработки, что приводит к разрушению поверхности выработки в месте бурения скважины и, соответственно, сообщению пространства выработки с горным массивом через полость скважины. Названные недостатки известного устройства не позволяют применять его для наблюдения состояний поверхностей горных выработок, используемых для хранения опасных материалов.

Известно устройство контроля расслоения приконтурного массива горных выработок [2], состоящее из опорного репера, соединенного гибкой подвеской с опорным индикатором; контрольного репера, соединенного гибкой подвеской с контрольным индикатором; промежуточных реперов, соединенных гибкими подвесками с индикаторами.

К недостатку известного устройства относится визуальный контроль расслоения приконтурного массива горной выработки, выполняемый непосредственно у скважины, пробуренной с поверхности контура выработки, что не позволяет выполнять дистанционный контроль вне выработки расслоения приконтурного массива. Также, недостатком устройства является необходимость бурения скважины с поверхности контура выработки, что приводит к сообщению полости выработки с горным массивом через полость скважины. Приведенные недостатки не позволяют применять известное устройство в горных выработках, используемых как хранилище опасных материалов.

Известен способ дистанционного измерения смещения пород кровли [3]. Способ реализуется посредством системы, включающей гибкий проводник, установленный на блоках, которые закреплены на поверхности выработки, и измерительное устройство, содержащее упор и включатель аварийной сигнализации, размещенное за пределами выработки. При этом проводник одним концом связан с упором измерительного устройства, а другим концом соединен со штырем, закрепленным в шпуре, пробуренным с поверхности выработки.

Недостатком известного способа является необходимость выполнения шпура с поверхности выработки, что обуславливает сообщение полости выработки с горной породой через полость шпура и, соответственно, исключает возможность применения способа для контроля рабочего состояния (работоспособности) крепи горных выработок, используемых для хранения экологически опасных материалов. Кроме этого, к недостатку способа относится механический способ передачи информации о смещении пород кровли через гибкий проводник к измерительному устройству, чем исключается возможность применения способа для контроля состояния крепи в горных выработках, используемых как хранилище опасных материалов. Способ неприменим в хранилищах из-за невозможности соблюсти герметичность выработок при механическом способе передачи информации от поверхности выработки к измерительному устройству.

Предлагаемое изобретение относится к горной промышленности и может быть использовано для дистанционной сигнализации о разрушении крепи подземных горных выработок.

Задача изобретения – обеспечение дистанционного контроля рабочего состояния крепи горных выработок и дистанционной сигнализации о разрушении крепи.

Поставленная задача решается тем, что система сигнализации о разрушении крепи горной выработки (далее - система сигнализации), включающая измерительное устройство и связанное с ним устройство сигнализации, снабжена пластинами, расположенными на поверхности крепи, и рамой, секции которой жестко установлены по контуру выработки с

зазором от пластин. При этом измерительное устройство выполнено в виде упругих элементов, размещенных между пластинами и секциями рамы, и датчиков, закрепленных на секциях рамы с обеспечением контакта с упругими элементами и соединенных с устройством сигнализации.

Снабжение системы сигнализации пластинами, расположенными на поверхности крепи, и рамой, секции которой жестко установлены по контуру выработки с зазором от пластин, позволяет фиксировать посредством измерительного устройства смещение поверхности крепи (приконтурного слоя крепи) при ее разрушении. В месте разрушения крепи происходит смещение ее приконтурного слоя, который надвигает пластины за счет оставленного зазора на секции рамы, что фиксирует измерительное устройство за счет его конструктивного выполнения в виде упругих элементов, размещенных между пластинами и секциями рамы, и датчиков, закрепленных на секциях рамы и контактирующих с упругими элементами. При надвиге пластин упругие элементы сжимаются и давят на датчики. Соединение датчиков с устройством сигнализации, обеспечивает возможность непрерывного дистанционного наблюдения за состоянием крепи и приема сигнализации о ее разрушении.

Система сигнализации показана на чертеже, где на рис.1 представлен поперечный разрез горной выработки с расположенной на ее крепи системой сигнализации.

Система сигнализации включает раму, состоящую из секций 1, жестко установленных по контуру выработки (рис.1) и размещенных на расстоянии друг от друга по длине выработки (рис.2).

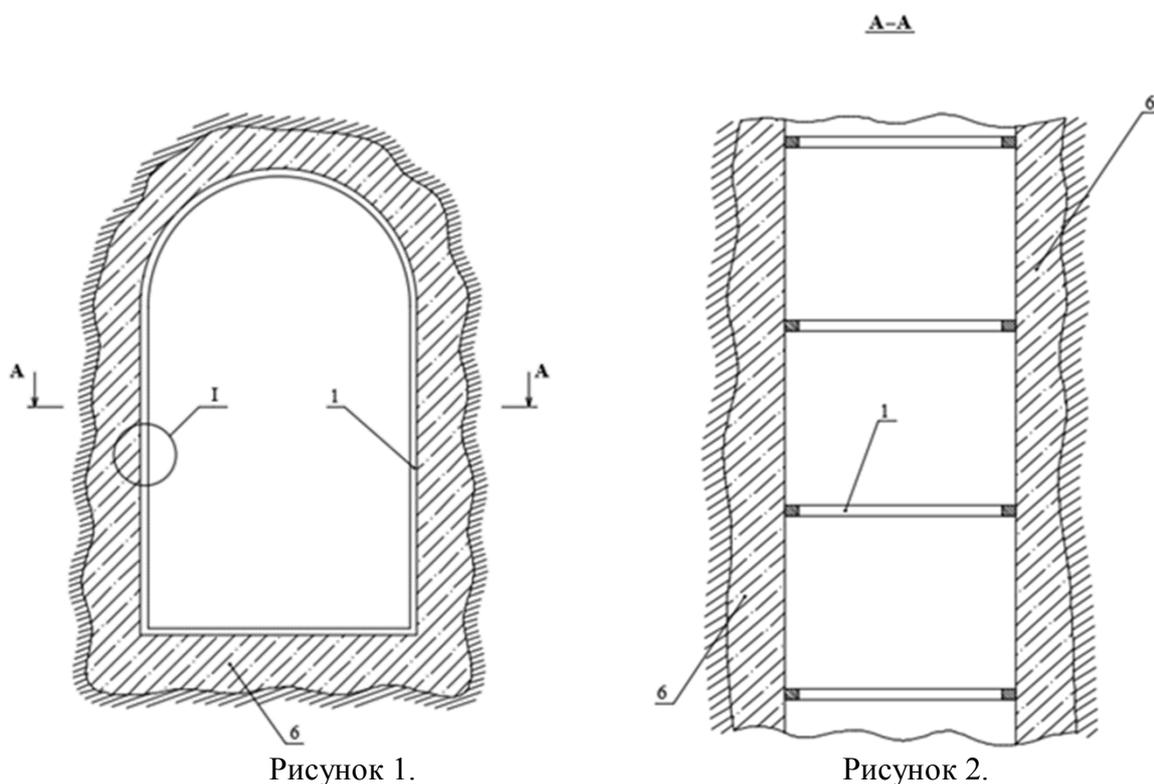


Рисунок 1.

Рисунок 2.

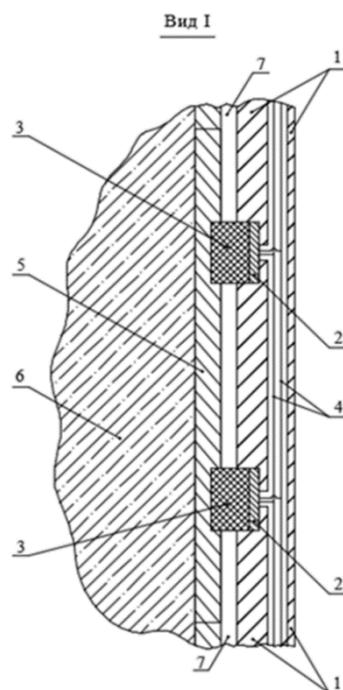


Рисунок 3.

В секциях 1 выполнены углубления, в которых закреплены датчики 2 (рис.3) и упругие элементы 3, контактирующие одной стороной с датчиками 2. Датчики 2 связаны электропроводами 4 с устройством дистанционной сигнализации (на рисунках не показано). Электропровода 4 протянуты в полости секций 1. Упругие элементы 3 со стороны, противоположной стороне контакта с датчиками 2, закреплены в углублениях, выполненных в пластинах 5, которые расположены на поверхности крепи 6 с покрытием всей ее поверхности. При этом, секции 1 установлены по контуру выработки с зазором 7 между ними и пластинами 4. Зазор 7 необходим, чтобы обеспечить смещение (надвиг) пластин 5 на неподвижные секции 1 и тем сжатие упругих элементов 3.

Система сигнализации работает следующим образом. В рабочем состоянии крепи 6 ее поверхность, контактирующая с пластинами 5, неподвижна. Соответственно, пластины 5 неподвижны, упругие элементы 3 не сжаты и не воздействуют на датчики 2, с которых сигнал на устройство сигнализации не поступает, что соответствует рабочему состоянию крепи 6.

При разрушении крепи 6 ее приконтурный слой выдавливается (в зоне разрешения) под воздействием горного давления в полость выработки и пластины 5 смещаются (надвигаются) на секции 1, сжимая упругие элементы 3, которые передают давление на датчики 2. Датчики 2 воспринимают изменение величины давления и посылают сигнал по электропроводам 4 на устройство сигнализации, которое фиксирует зону разрушения крепи 6.

Таким образом, применение предложенной системы сигнализации о разрушении крепи горной выработки позволит обеспечить дистанционный контроль рабочего состояния крепи выработки и дистанционную сигнализацию о разрушении крепи. С соответствующими конструктивными доработками, система может быть использована в подземных хранилищах газа, токсичных и радиоактивных материалов.

Литература

1. А.с. СССР 473014, E21C39/00, 30.01.1975. Устройство для измерения смещения массива горных пород.
2. Патент RU 2206740, E21C39/00, 20.06.2003. Устройство контроля расслоения приконтурного массива горных выработок.

3. Патент RU 2299324, E21C39/00, 20.05.2007. Способ дистанционного измерения смещения пород кровли.
4. Решение о выдаче патента № 3141 от 21.01.2017 по заявке № 20160008.1 от 21 января 2016 года, «Система сигнализации о разрушении крепи горной выработки» Авторы: Степанов С.Г., Шамсутдинов М.М., Тамбовцева А.Е., Молдоканов К.С.

УДК 550.34:624.131

КАРТЫ САЙТ-ЭФФЕКТА И РАННЕЕ ОПОВЕЩЕНИЕ НАСЕЛЕНИЯ ГОРОДОВ О ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

SITE MAP EFFECT AND EARLY NOTIFICATION OF URBAN POPULATION OF EARTHQUAKE IN CENTRAL ASIA

Усупаев Ш.Э., Молдобеков Б.Д., Орунбаев С.Ж.

sh.usupaev@caiaag.kg, b.moldobekov@caiaag.kg, s.orunbaev@caiaag.kg

Центрально Азиатский институт прикладных исследований Земли г. Бишкек, Кыргызстан

***Аннотация.** В статье приведены составленные на базе инструментальных измерений инновационные первые карты сайт-эффектов для городов стран Центральной Азии и созданные основы системы раннего оповещения населения и территории от сильных землетрясений на примере г. Бишкек Кыргызстана.*

***Ключевые слова:** карта, сайт-эффект, сейсмическое микрорайонирование, уязвимость населения, раннее оповещение, сейсмические шумы (микросейсмы).*

Инструментальные измерения сейсмических шумов и реальных землетрясений для составления инновационных карт сайт-эффектов проводились на территории густонаселенных городов: Бишкек, Каракол, Нарын (Кыргызстан), Душанбе, Хорог (Таджикистан), Ташкент (Узбекистан), Алматы (Казахстан) в регионе Центральной Азии.

Исходная интенсивность землетрясений определяется на основе карты общего сейсмического районирования (ОСР) и детального сейсмического районирования (ДСР). Территории выше указанных городов расположены в районах с интенсивностью возможных землетрясений 8-9 и более баллов, в связи с этим, для инженерного проектирования и строительства необходимо составление карты сейсмического микрорайонирования (СМР). Указанная интенсивность землетрясений, является “эталонным” по отношению к грунтам I или II категорий (СНиП-II-7-81) [1-5].

Также нами решались задачи инженерной сейсмологии, на основе инструментальной оценки роли грунтовых условий в изменении сейсмического эффекта на поверхности земли и их воздействия на жилые дома и здания соцкультбыта. В качестве новейших технологий зондирования для получения микросейсм, использовалась современная цифровая аппаратура станции Mark 1Hz + EDL, сенсоры Mark L4C-3D, Lennartz LE3D-5s, дигитайзеры Earth Data Recorder PR6-24, GPS антенны. Инновационная методика использования европейских инструментальных измерений для составления карт сайт-эффектов заключалась в проведении следующих 3-ех различных схем зондирования и получения записей: 1. площадные измерения сейсмических шумов в пределах репрезентативных массивов грунтов (Array measurement); 2. записи в течении 2-3 месяцев реальных землетрясений; 3. мобильные точечные измерения микросейсм на территории исследуемых городов (single measurements) [2-5].

1. Площадные записи сейсмических шумов (микросейсмов), проводились в городах на полигонах с различными величинами сейсмической интенсивности. Записи шумов велись на

протяжении четырех часов, для получения скоростного разреза верхних слоев грунтов по записям поперечных волн и поверхностных волн Лява и Рэлея и, определения глубины залегания кристаллического фундамента.

2. Мобильные точечные измерения микросейсм, проводились в течение 30-минут измерений в отдельных участках, с учетом границ раздела территории по интенсивности землетрясений по картам СМР, и существующей площади планируемой застройки на 10-15 лет. Полученные записи сейсмических шумов, анализировались и отобранные записи микросейсм были обработаны методом Накамура для определения резонансной частоты верхнего слоя и его мощности.

3. Запись реальных землетрясений, получены установленными на 3 месяца сейсмическими станциями, размещенными в пунктах, охватывающих все основные грунтовые комплексы, «эталонные» пункты, а также зоны влияния активных разломов.

Так, например, площадные съемки микросейсм на территории г. Бишкек были выполнены на 4-ех полигонах: а. в районе расположения ЦАИИЗ; б. в северном крыле активного Иссык-Атинского разлома восточнее села Орто-Сай; в. площадь центрального стадиона им. Д. Омурзакова; г. экспериментальный полигон института биологии НАН КР.

На каждом полигоне измерения микросейсм осуществлялись в течение 1-го дня, одновременно комплектом из 20 сейсмостанций. Получасовые точечные измерения сейсмических шумов выполнены в 208 пунктах, с учетом плана застройки г. Бишкек до 2025 г. Для обеспечения сейсмостойкости сооружений необходимые параметры ускорений колебаний грунтов были определены путем экстраполяции осредненных спектральных характеристик, полученных по записям слабых в нескальных грунтах и сильных землетрясений на скальном основании. По результатам измерения шумов определялись Н/V отношение (Н/V ratio). Спектральное отношение между компонентами двух близких станций. Для СПО дистанция между двумя станциями устанавливается более чем в 5 раз меньше, по отношению к гипоцентральному расстоянию. При условии невыполнимости вышеуказанных требований, используется метод без опорной точки.

Метод без опорной точки имеет собственную зону отклика (site response), оцениваемая с помощью способа без опорной точки (Н/V) (Рис.3 и 4).

Для территории городов Бишкек и Каракол были составлены карты сайт-эффектов т.е. с учетом резонансной характеристики грунтов (рис. 1а, б) [2-3].

Общее уменьшение основной резонансной частоты колебаний частиц грунтов варьирует от 0.3 Гц на севере и до 0.1 Гц на юге г. Бишкек, что согласуется с геологическим строением Чуйской впадины, где в разрезе происходит рост мощности четвертичных грунтов и подстилаемых третичными осадочными отложениями к югу.

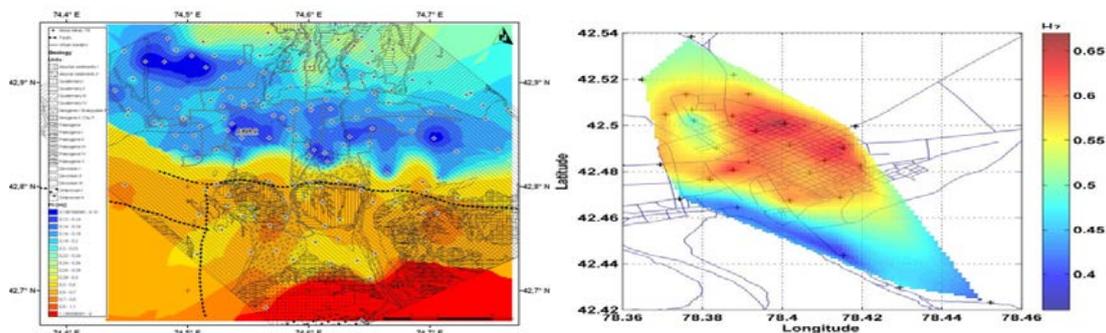


Рисунок 1 – Карты сайт-эффекта для территории городов: Бишкек (а), Каракол (б).

В течение 2014-2015 гг. на территории г. Нарын были проведены комплексные полевые работы с помощью установленных 16 современных сейсмостанций (стационарные измерения реальных землетрясений в течение 4 месяцев), площадные 1-часовые одновременные измерения 16 сейсмостанциями в трех полигонах зондирования (Стадион, Аэропорт, Кампус Университета фонда Ага Хана) для определения глубины залегания

кристаллического фундамента, а также 134 мобильных 35-40 минутных измерений сейсмических шумов (рис.7). На базе обработки записей микросейсм по 194 пунктам измерений впервые составлена карта сайт-эффекта для территории г. Нарын (рис.2) [1, 5].

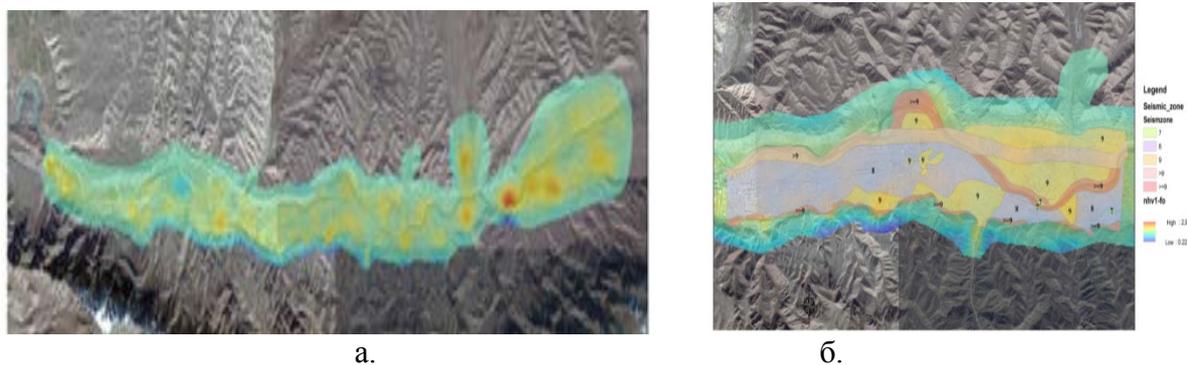


Рисунок 2 – Карты сайт-эффектов для г. Нарын (а) и его центральной его части (б).

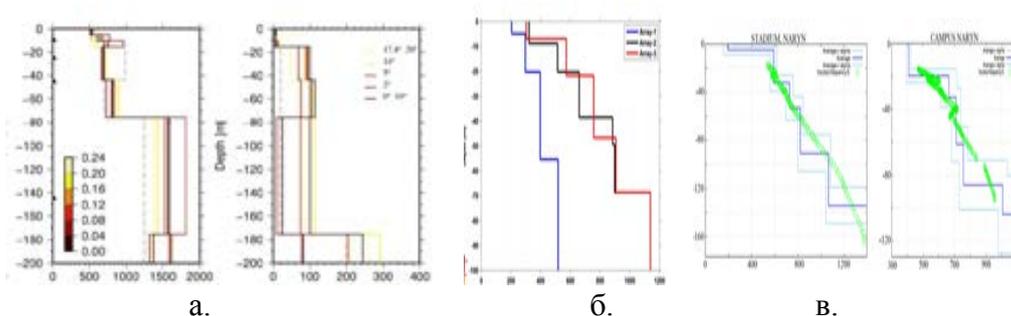


Рисунок 3 – Графики сейсморазрезов для определения глубины залегания кристаллического фундамента полученных при площадных измерениях сейсмических шумов под городами: Бишкек (а), Каракол (б) (рис. 1-а, б) и Нарын (в) (рис. 2-в).

На территории г. Каракол были выполнены работы с использованием записей микросейсм и составлена карта частотно резонансных характеристик грунтов. По результатам площадных измерений составлены скоростные разрезы на 3-ех участках г. Каракол для различных сейсмических и инженерно-геологических условий. Сейсмическое зондирование проведено с использованием 22-х сейсмических станций, 17 из которых были установлены в пределах г. Каракол, а 5 станций по периметру города. Записи землетрясений велись в течение 5 месяцев года приборами Mark C34L+ EDL и Guralp CMG3D + EDL. Список зафиксированных реальных землетрясений по данным ISC разбит был на 3 группы. Это локальные события (эпицентральные расстояния в диапазоне 0-300 км), региональные (эпицентральные расстояния в пределах 300-500 км) и телесеизмические события (эпицентральные расстояния, превышающие 1000 км). Всего было отобрано репрезентативных 56 землетрясений. Для дальнейшего анализа были оставлены землетрясения, зарегистрированные не менее чем 12-ью сейсмическими станциями для составления карты сайт-эффекта, таких событий оказалось 24 (Рис.2, 3-б).

В соответствии с сотрудничеством между ЦАИИЗ, ИС РК и GFZ инструментальные зондирования микросейсм для оценки влияния грунтовых условий (site-effect) на территории г. Алматы проводятся с 2014 года. На карте СМР г. Алматы делится на 3 зоны: I – сейсмичностью 8 баллов, II - 9 баллов, III - сейсмичностью 10 баллов, каждая из которых разделена на подзоны по инженерно-геологическим условиям (рис.4) [4].

Зондирование микросейсм и реальных землетрясений проводилось 19 сейсмическими станциями, установленными на выбранных участках с разными инженерно-геологическими условиями с помощью 2-ух видов датчиков: короткопериодные (Mark) и широкополосные

(Guralp). Одновременно были использованы записи измерений стационарными сейсмическими станциями Казахстана.

Все работы по установке и обслуживанию и работоспособности сейсмических станций выполнялись сотрудниками ЦАИИЗ.

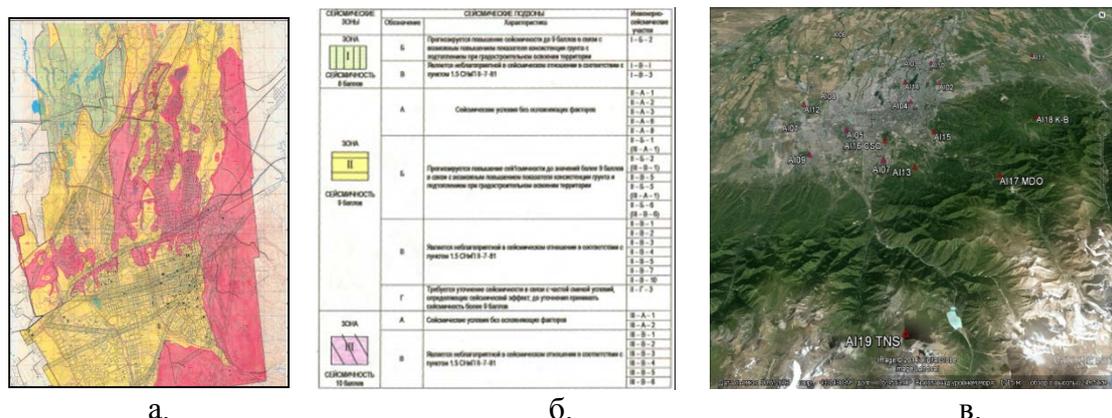


Рисунок 4 – Карта СМР (а) условные обозначения (б) и схема размещения сейсмостанций для составления карты сайт-эффекта территории города Алматы.

Карта СМР (а) условные обозначения (б) составлены Гесско Е.А., Чехович О.К.

В настоящее время проводится обработка сейсмических шумов, площадных записей микросейсм, записи реальных землетрясений, для составления карты сайт-эффекта для территории г. Алма-Аты (рис.4) [4].



Рисунок 5 – Карта СМР (а) и схема размещения сейсмостанций (б) на территории г. Ташкент.

На территории г. Ташкент проведены были инструментальные измерения и получены записи микросейсм и реальных землетрясений по представленной схеме размещения сейсмостанций (рис.5) [1, 4].

На рисунке 6 показаны результаты обработки данных площадных измерений микросейсм для г. Хорог (а) и элементов сайт-эффекта (б) для г. Душанбе (Рис.6).

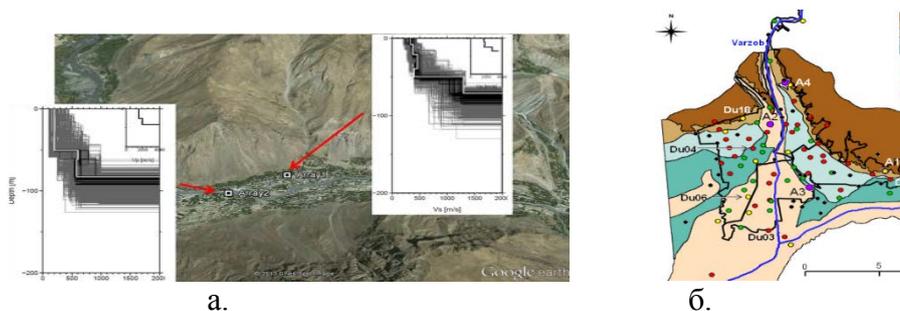
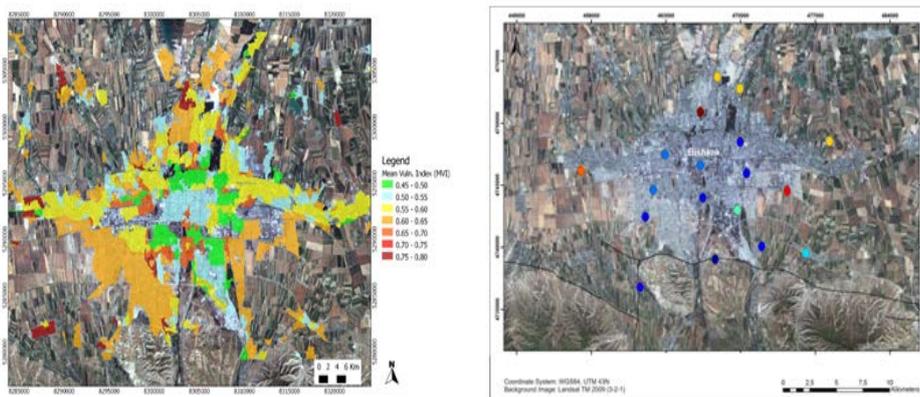


Рисунок 6 – Космоснимок размещения полигонов площадных измерений микросейсм в г. Хорог (а) и карта измерений сайт-эффектов (б) для территории г. Душанбе.

Проведены были для г. Бишкек комплексные исследования по оценки уязвимости зданий, по стохастическому моделированию землетрясений с магнитудой $M=7,5$ при прогнозе ожидаемых рисков от сильного землетрясения интенсивностью 9 баллов.

На высокоточном космическом снимке были выбраны репрезентативные по типам конструкций здания 26 площадок, где проведены объемные панорамные кино съемки с оценкой сейсмостойкости и степени уязвимости зданий в г. Бишкек и его агломераций.

Сейсмический риск требует определения частотных характеристик зданий. Оценка собственных частот зданий осуществлена записями микросейсм в 163 зданиях Бишкека. Акселерометры устанавливались в подвальном помещении, и/или на первом этаже, на чердаке здания и/или на последнем этаже. Для оценки динамического поведения зданий во время землетрясения в 10-ти типовых зданиях г. Бишкек установлены были акселерометры на каждом этаже. Наиболее сейсмостойкими по данным Кыргыз-НИИП-строительства и «Международного университета инновационных технологий» отнесены 1-2-этажные застройки советского времени, также весьма уязвимы беспорядочно застраиваемые новые высокоэтажные здания в г. Бишкек. Поведения здания к воздействиям сейсмических волн определяли инструментально на выбранных типовых 6 зданиях г. Бишкек, где на разных этажах были установлены 45 датчиков Sosewin, оснащенных беспроводной системой связи. SOSEWIN, это само-организующая информационная сейсмическая сеть раннего оповещения, где каждый элемент этой сети является узлом SOSEWIN (рис.7).



а.

б.

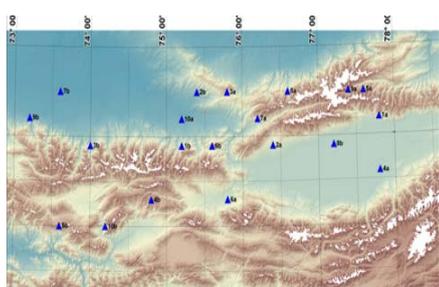
Рисунок 7 – Карта сейсмической уязвимости зданий (а) и расчета сценария интенсивности возможных разрушений (б) для территории г. Бишкек.

В соответствии с Европейской Макросейсмической Шкале EMS-98 и программой CREST используется 6-классовая система уязвимости зданий от А до F для г. Бишкек. Здания наибольшей чувствительности к разрушениям относятся к классу А, а к F с наименьшей чувствительностью. По г. Бишкек, классификация уязвимости составляет соответственно [12%, 33%, 16%, 27%, 11%, 1%] для классов от А до F.

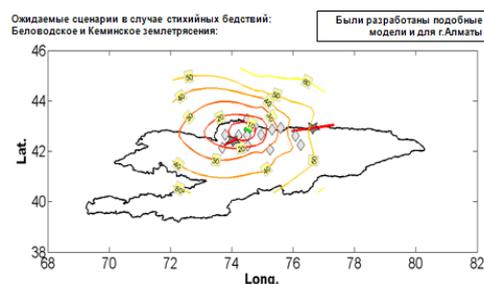
В 2005 году в Бишкеке насчитывалось 77150 зданий, где проживало 849200 чел.

В созданной модели уязвимости СКР равен 36,5, при общем количестве зданий равно 77148 шт., а жителей г. Бишкек до 849204 чел., расчетное число поврежденных и разрушенных зданий составляет соответственно 48410 шт. и 22219 шт., 93447 чел. пострадавших и 16624 потери [1-4].

Наряду с оценкой уязвимости зданий и картами сайт-эффекта была создана сеть мониторинга для раннего оповещения населения и инфраструктуры г. Бишкек и его агломераций от сейсмокатастроф, которая состоит из 50 акселерометров в виде сети станций сильных движений грунтов, записи от которых в режиме реального времени поступают в ЦАИИЗ (Рис.8).



а.



б.

Рисунок 8 – Карты размещения сети акселерометров системы раннего оповещения (а) в Северном Тянь-Шане и времени упреждения землетрясений (б) для жителей г. Бишкек.

Выводы.

1. На основе применения инновационных технологий зондирования микросейсм и обработки записей сейсмических шумов составлены ГИС карты сайт-эффектов с резонансными значениями грунтов для территории городов (Бишкек, Каракол, Нарын, Душанбе, Хорог, Алматы, Ташкент) Центральной Азии.
2. Проведены измерения резонансных явлений в зданиях разного типа и высоты характерных для сооружений с учетом близости собственных периодов грунта и здания. Высокие здания в резонансных условиях испытывают повреждения на 1-2 степени выше, чем такие же здания вне этих условий, а средняя повреждаемость высотных сейсмостойких зданий близка к повреждаемости малоэтажных не сейсмостойких.
4. Установлены акселерометры фиксации сильных землетрясений и создана основа системы раннего оповещения населения г. Бишкек на территории Северного Кыргызстана.
5. Исследования позволяют с учетом резонансных явлений рекомендовать повысить на 1 балл сейсмостойкость возводимых в г. Бишкек объектов строительства.

Литература

1. СНиП КР 31-02:2007. Проектирование и застройка территорий, примыкающих к Исык-Атинскому разлому г. Бишкек. Бишкек. 2007. 11 с.
2. Усупаев Ш.Э., Молдобеков Б.Д., Орунбаев С.Ж., Мелешко А.В., Токмулин Ж.А., Абдыбачаев У.А., Жусупова К., Dr. Parolai St., Strollo A., Dr. Bindi D., D'Alema E., Auglie P. Сейсмическое микрорайонирование территории города Бишкек с учетом развития его до 2025 года // Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики. 8-е изд. Бишкек: МЧС КР. 2011. С. 675–679.
3. Молдобеков Б.Д., Орунбаев С.Ж., Усупаев Ш.Э., Раббаниев Ж., Parolai S., Bindi D., Picozzi S.M., Pilz M., Parolai S., Камчибеков М.П., Камчибеков Ы.П. Мониторинг и предварительная оценка сайт-эффекта в целях сейсмического микрорайонирования для территории города Каракол // Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики. 9-е изд. Б.: МЧС КР. 2012. С. 5.
4. Pilz M., Abakanov T., Abdrakhmatov K., Bindi D., Voxberger T., Moldobekov B., Orunbaev S., Silacheva N., Ullah S., Usupaev S., Yasunov P., Parolai S. An overview on the seismic microzonation and site effect studies in Central Asia // Annals of Geophysics. 2015. 58. 1. S0104, doi. 10. 4401/ag-6662. 1-14.
5. Орунбаев С.Ж., Усупаев Ш.Э., Молдобеков Б.Д. Карта сейсмо-сайт-эффектов г. Нарын и его агломераций // Мониторинг и прогноз возможной активизации

УДК 622.831.244

УПРАВЛЕНИЕ ГОРНЫМ ДАВЛЕНИЕМ ПРИ ОЧИСТНОЙ ВЫЕМКЕ НА РУДНИКАХ КЫРГЫЗСТАНА

ROCK PRESSURE CONTROL AT STOPING ON MINES OF KYRGYZSTAN

Ялымов Р.Н., Токтогул уулу Эльдияр

eldiyar1024@mail.ru

Институт геомеханики и освоения недр Национальной академии наук Кыргызской Республики, г. Бишкек, Кыргызстан

***Аннотация.** В статье приводятся сведения о влиянии горного давления на горные работы. Рассмотрены особенности напряженного состояния в массиве горных пород рудных месторождений республики. Предложено осуществлять управление горным давлением при очистной выемке с помощью закладки выработанного пространства.*

***Ключевые слова:** горное давление, рудник, месторождение, закладка, выработка, напряжения, горная порода, хвосты, отвалы.*

Характерной чертой современного развития горнодобывающей промышленности Кыргызстана является интенсивное углубление подземных работ и как следствие этого, значительное возрастание горного давления. Рост горного давления в свою очередь порождает существенные технические трудности: увеличение потерь руды в недрах, удорожание разработки месторождений и повышение опасности ведения горных работ. Поэтому проблема эффективной разработки месторождений в республике на глубоких горизонтах напрямую связана, в первую очередь, с безопасным ведением подземных горных работ.

Одним из направлений повышения безопасности ведения горных работ на глубоких горизонтах является управление горным давлением с помощью закладки выработанного пространства. Эффективность применения закладки может быть значительно повышена в том случае, когда для приготовления закладки используются местные материалы и отходы горно-металлургического производства: отвальные породы, хвосты обогатительных фабрик, огарки и шлаки металлургических заводов.

За всю историю разработки рудных месторождений Кыргызстана способ управления горным давлением с помощью закладки выработанного пространства не применялся. Поэтому все вопросы, связанные с исследованием свойств закладочных материалов и условий применения технологических схем ни в научном, ни в практическом отношении в настоящее время не проработаны в должной мере. В связи с этим исследования, посвященные обоснованию способа управления горным давлением с помощью закладки на подземных рудниках Кыргызстана, являются актуальными. Для этого необходимо выполнить обобщение опыта разработки рудных месторождений, провести анализ ранее проведенных экспериментальных исследований в лабораторных и шахтных условиях.

Одной из особенностей месторождений Кыргызстана является неравномерное распределение исходных полей напряжений в массиве пород. Обычно считалось, что естественное напряженное состояние массива обуславливается весом налегающей толщи пород. В горно-складчатых областях естественное поле напряжений в земной коре обуславливается не только весом налегающих горных пород, их физико-механическими

свойствами и глубиной от поверхности, но и рядом других факторов. К ним относятся рельеф земной поверхности, тектонические движения, геофизические и геохимические процессы и связанные с ними закономерности распределения температур и масс, строение геологических структур, наличие в массиве воды, газа и прочие факторы. Наиболее существенное влияние на напряженное состояние массива оказывает рельеф местности и тектоника, поэтому для месторождений Кыргызстана характерно повышенное напряженное состояние горного массива. Величины горизонтальных напряжений, как правило, больше вертикальных и значительно превышают величину геостатического давления [1].

Глубина разработки рудных месторождений Кыргызстана и способы их разработки представлены в таблице 1.

Таблица 1

№	Месторожд-е	Рельеф поверхности, высоты, м	Мощ-ть оруд-я, м	Угол паден., град	Способ разработки	Глубина оруденения, м
1	Хайдаркан	Горный 1600	До 20	0-90	Открыто-подземный	до 1200
2	Кадамжай	Горный 2500	5-15	10-90	Открыто-подземный	до 1300
3	Терексай	Горный 1500	5-10	10-30	Подземный	до 500
4	Кумтор	Горный 4000	40-60	50-80	Открыто-подземный	до 1100
5	Макмал	Горный 2500	10-15	10-60	Открыто-подземный	до 500
6	Талды-Булак Левобережный	Горный 2900	20-100	45	Подземный	до 600
7	Джеруй	Горный 3700	5-30	40-90	Открыто-подземный	до 1000

В качестве закладочного материала для закладки выработанного пространства на подземных рудниках в разных странах, в настоящее время широко используются хвосты обогатительных фабрик, реже – дробленые породы, природные пески, гравий.

На рудниках Кыргызстана также можно использовать отходы горного производства в качестве закладочного материала. Например на Хайдарканском ртутном комбинате отходами производства являются хвосты обогащения, огарки и отходы отвальной породы от вскрышных, проходческих работ и попутной добычи, количество которых в настоящее время исчисляются более 60,0 миллионов м³. Так, например, объем хвостов составляет более 2,5 млн. м³, огарков и шламов около 7,0 млн. м³. Породные отвалы составляют более 50,0 млн.м³. Указанные отходы производства не перерабатываются и не используются, их складирование занимает большие полезные площади региона, отрицательно влияют на окружающую среду, загрязняя почву, воду и атмосферу. Огромные скопления отходов производства и большие запасы известняка как основного компонента вполне могут обеспечить сырьем производительность завода по производству закладочного материала порядка I млн. т в год. С использованием отходов положительный эффект может быть получен не только от внедрения безотходной технологии с получением закладочных материалов, но и от снижения расходов на содержание отвалов, хвостохранилищ и резкого улучшения экологии промышленного региона. Анализ свойства указанных отходов проводился с целью определения возможности их использования в качестве компонентов твердеющих закладок, в составе которых на долю заполнителя - чаще всего хвостов

обогажительных фабрик и дробленых отвальных пород от проходки выработок - обычно приходится 60-70%. Остальное - вяжущий материал. Но вскрышные породы от проходки выработок отличаются разнообразием состава и свойств, следовательно, неодинаково влияют на прочностные, реологические и другие показатели твердеющих закладок, что в конечном итоге определяет расход дорогого и дефицитного цемента, а хвосты обогажительных фабрик часто содержат много ценных компонентов и, следовательно, являются потенциальным сырьем для их извлечения. Поэтому для решения вопроса о возможности использования отвальных пород и хвостов обогажительных фабрик в составах закладочных смесей необходимо всякий раз проводить специальные исследования [2]. С целью снижения расхода цемента и в зависимости от конкретных горно-геологических условий и назначения закладки в качестве вяжущего материала в горнорудной промышленности используют известь, гипс, тонкомолотые гранулированные шлаки, золунос ТЭЦ и даже в некоторых случаях пиротин содержащие хвосты обогажительных фабрик.

Вяжущие свойства материала определяются наличием и соотношением основных окислов. К главным или основным окислам относятся те, которые непосредственно участвуют в процессах гидратации – Al_2O_3 , SiO_2 , MgO , Fe_2O_3 . К второстепенным относятся те, которые не принимают непосредственного участия в реакциях гидратации, но влияют на интенсивность их прохождения – MgO , TiO_2 , P_2O_5 , Na_2O , и другие. Известно, что вода поглощается в процессе реакции превращения окислов кальция, алюминия и магния в гидраты окислов



и обезвоженный таким образом закладочный массив отвердевает. Из основных окислов CaO и Al_2O_3 повышают, кремнезем SiO_2 понижает вяжущую активность материала. Действие MgO такое же, как и CaO , если окиси магния содержится 4-6%, и приводит к снижению вяжущей активности, если Mg в материале свыше 15%. Таким образом, по количеству окислов кальция, алюминия, магния и кремнезема можно судить о качестве материала как заполнителя или вяжущего в твердеющих закладках. Основными критериями являются коэффициент качества K , модуль основности M_0 и модуль активности M_a . Эти показатели химических свойств материалов определяются по формулам:

$$K = \frac{CaO + Al_2O_3 + MgO}{SiO_2 + MnO} \quad (4)$$

$$M_0 = \frac{CaO + MgO}{SiO_2 + Al_2O_3} \quad (5)$$

$$M_a = \frac{Al_2O_3}{SiO_2} \quad (6)$$

Причем известно, что отходы производства при соответствующем помоле можно использовать в качестве вяжущего материала в смесях твердеющих закладок, если коэффициент качества $K = 1,6$, модуль основности $M_0 = 0,6$, модуль активности $M_a = 0,17 - 0,20$ [18].

К закладочным материалам предъявляются особые требования. К наиболее важным из них относятся:

- Экономическая целесообразность, обусловленная горно-геологическими и горнотехническими условиями разработки месторождения;
- Твердеющая закладка должна соответствовать нормативной прочности, т.е. прочность на одноосное сжатие в возрасте, определяемым сроками отработки рудных массивов;
- Обеспечивать способность транспортировки без расслоения, сохранить однородность структуры во время укладки в выработанное пространство;

- Иметь минимальную усадку при твердении.

Исходя из вышесказанного можно отметить то, что материалы для закладочных смесей не должны содержать вредных веществ для окружающей среды в количествах, превышающих санитарно-гигиенические нормы, и иметь соответствующие прочностные свойства. Кроме того, закладочная смесь должна быть водостойкой и иметь срок до начала схватывания не менее 30 минут, обеспечивать дренаж избыточной воды из закладочного массива при его возведении.

Изучение сырьевой базы отходов производства показало, что на рудниках Кыргызстана отходами горно-металлургического производства являются отвалы пород от вскрышных и проходческих работ, хвосты обогащения и огарки от металлургического производства, количество которых в настоящее время исчисляются десятками млн. тонн. Использование для закладочных работ местных материалов позволит снизить затраты на приготовление закладочных смесей, а также обеспечит организационную независимость работы предприятия от посторонних поставщиков.

Литература

1. Тажибаев К.Т., Абдибаитов Ш.А., Ялымов Р.Н. Исследование напряжений массива горных пород на ртутно-сурьмяных месторождениях Кыргызстана // Вестник КРСУ. 2013. Т. 13. № 7. С. 104-107.
2. Разработка рекомендаций по освоению рудных месторождений Кыргызстана. Отчет о НИР / Институт геомеханики и освоения недр НАН КР; Рук.: Тажибаев Д.К.; Отв. исполн.: Ялымов Р.Н. [и др.]. Бишкек. 2016. 130 с. № ГР 0007148. Инв. № 04534333943.

МЕХАНИКА

УДК 669.14

К ЗАДАЧЕ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ ЭФФЕКТОВ СТАРЕНИЯ МАТЕРИАЛА

THE PROBLEM OF OPTIMAL DESIGN OF STRUCTURES FOR THE EFFECTS OF AGING OF THE MATERIAL

Адигамов Н.С. Дьяченко Е.И.

nikadigamov@mail.ru, diachenko1995@mail.ru

Кыргызско – Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызстан

***Аннотация.** В работе рассмотрена приспособляемость стержневой конструкции с учетом эффектов старения материалов. Описать деформирование конструкций в рамках классических теорий наедаается, т.к. они оперируют представлениями стабильных физико-механических свойств материалов. Рассматриваются так называемые “нестабильные” материалы у которых проявляются эффекты старения и открываются новые возможности для использования при работе упруго-пластических систем.*

***Ключевые слова:** напряжения; деформации; приспособляемость; эффекты старения материалов; прочность.*

Теория оптимального проектирования рассматривает ситуации в которых скрещиваются противоречивые требования проектирования, и преследует цель получить в этих условиях наиболее эффективное решение. Отметим, что главным образом, решаются задачи о минимуме веса и стоимости несущих конструкций. В математическом отношении задача оптимального проектирования сводится к определению условного экстремума функции. При этом ограничивающие условия представляются не только уравнениями, но и неравенствами. Немногие из таких задач могут быть решены классическими методами и требуют применения современных методов, к которым относятся линейное и нелинейное программирование, динамическое программирование и применение методов исследования операций [1, 2]. Целью данной работы является продолжение исследований [3], в которых рассмотрена приспособляемость простой стержневой конструкции с учетом эффектов старения материалов. В работе [4] опытным путем (на трехстержневой системе) показано экспериментально, что для материалов, склонных к проявлению эффектов старения (так называемые “нестабильные” по физико-механическим свойствам материалы) открываются новые возможности для длительной работоспособности упруго-пластических систем.

Очевидно, что эти результаты невозможно описать в рамках классических теорий пластичности, которые оперируют, понятием стабильного материала. В работах [5, 6, 7] развивается указанное направление исследований, вводится функция пластичности и формируются уравнения течения для стареющей среды. В работе [3] предлагается проводить учет эффектов старения (для рассматриваемых одномерных задач) по следующей простой схеме: путем повышения заданного предела текучести материала на 10-15%, что для многих низкоуглеродных строительных сталей подтверждаются многочисленными опытными данными [5].

В качестве примеров в работах [3, 4] рассмотрены простые одномерные задачи, предназначенные в основном для иллюстрации техники определения допускаемых границ, в условиях приспособляемости конструкций, подверженным циклическим нагрузкам с учетом эффектов старения материалов. Проблема прочности конструкций, испытывающих

повторные воздействия нагрузок, приобретают все большую актуальность в связи с разнообразными инженерными приложениями [8].

Характерной особенностью рассматриваемых систем [3, 4] является тот факт, что пластическая деформация существенно зависит от истории нагружения. При повторных нагружениях конструкции за пределами упругости возможны следующие три случая деформирования какого-либо из ее элементов [9]:

- 1) Знакопеременная пластическая деформация;
- 2) Нарастание с каждым циклом постоянной пластической деформации;
- 3) Прекращение после одного или нескольких первых циклов роста пластической деформации и первых циклов роста пластической деформации и переход конструкции к чисто-упругому поведению.

В первом случае результатом повторных нагружений может быть разгрузка усталостного характера (малоцикловая усталость). Неограниченный рост односторонней пластической деформации (второй случай) при большом числе циклов делает недопустимо большую суммарную деформацию, что может привести к нарушению условий эксплуатации конструкций или к исчерпанию пластических свойств материала и к разрушению.

Явление приспособляемости (третий случай) состоит в том, что после некоторого числа цикла изменение нагрузки, в отдельных элементах (сечениях, точках и т.п.) упругопластического тела (конструкций) происходит пластические деформации, порождающие в теле такое поле остаточных напряжений, что его сумма с напряжениями возникающих в упругом теле при любых значениях заданной нагрузки, остаются безопасными.

Иначе говоря, в третьем случае конструкция как бы приспособляется к чисто упругому деформированию. Это явление называется приспособляемостью. Приспособляющей нагрузкой называется такая совокупность максимальных и минимальных значений нагрузок, которые при любой последовательности их приложения вызывают лишь ограниченную по величине пластическую деформацию. Конструкции, таким образом, будут упруго сопротивляться нагрузке.

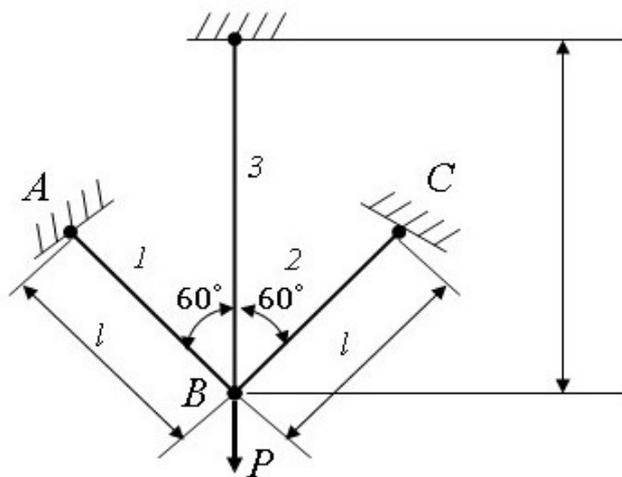


Рисунок 1 – Равнопрочная ферма.

Рассмотрим пример приспособляемости простейшей стержневой фермы, приведенной на рисунке 1. Как показали расчеты приведенные в [3], в зависимости от отношения длин стержней l_2/l_1 для одних значений приспособляемость возможна а для отношения $l_2/l_1 = 2$ приспособляемости не существует. Существование нулевых остаточных усилий тривиально, но в определенной смысле может использоваться для обозначения границы области приспособляемости. Тот факт, что приспособляемость не проявилась в равнонапряжённой ферме [3], свидетельствует о неординарности рассмотренного случая [9].

Рассмотрим изменение знака и величины остаточных усилий

$$N^0 = N_{AB}^0 = N_{BC}^0 = -N_{BD}^0$$

в функции от относительной длины $L = l_2 / l_1$

Верхним индексом в дальнейшем будем обозначать остаточные усилия и напряжения. Очевидно, что при максимальной нагрузке

$$N_{AB} = N_{BC} = N_{BD} = T$$

Так как примем, что EF всех стержней равны между собой полагаем их равными 1. Тогда в стадии упругой работы фермы, а, следовательно, и при разгрузке, усилия в стержнях определяются по описанному алгоритму [3]:

$$\delta_{xx} = 2 + L; \Delta = -2P;$$

$$X = \frac{2P}{2+L}; N_{AB} = N_{BC} = \frac{PL}{2+L}; N_{BD} = \frac{2P}{2+L}$$

В момент разгрузки $P = -2T$. Соответственно

$$N_{AB}^0 = N_{BC}^0 = T - \frac{2TL}{2+L} = T \frac{2-L}{2+L};$$

$$N_{BD}^0 = T - \frac{4T}{2+L} = T \frac{L-2}{2+L}$$

Графики изменения остаточных усилий N^0 в стержнях фермы, приведенный на рисунке 2 подтверждает исключительность такого соотношения длин в рассматриваемой схеме фермы, при котором действие квазистатической нагрузки, близкой к предельной не вызывает в ферме состояние приспособляемости. При $L=2$ ферма не обладает особенностью приспособляющейся конструкции.

Следует отметить, что приведенный на рисунке 2 график действителен лишь для фермы из идеально упруго пластического материала.

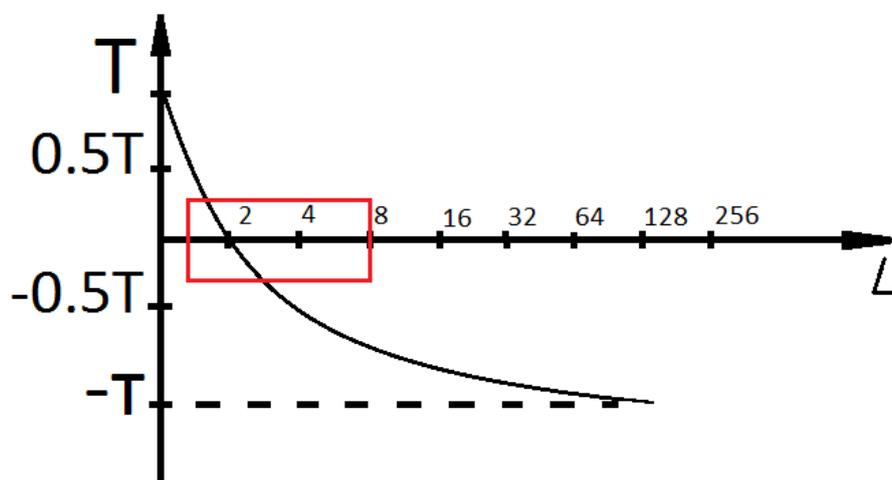


Рисунок 2 – Изменение остаточных усилий.

При случае учета упрочнения материала в материалах конструкций будут значительные резервы прочности, резерв эффективности приспособляемых конструкций очевиден.

Литература

1. Сергеев Н.Д., Богатырев А.И. Проблемы оптимального проектирования конструкций. Л.: Стройиздат. 1971. 136 с.
2. Гимади Э.Х. Математические модели и методы исследования операций. Учеб. пособие. Новосибирск: СибГУТИ. 2009. 122 с.

3. Адигамов Н.С., Дьяченко Е.И. О приспособляемости конструкций при упруго-пластическом деформировании с учетом эффектов старения // Механика твердых, жидких и газообразных сред. Междунар. науч. конф., посвящ. 80-летию профессора Рудаева Я.И., (г. Бишкек, 2-3 декабря 2016 г.).
4. Арутюнян Р.А., Трошин Д.Е. О влиянии деформационного старения на процессы приспособляемости и усталостного разрушения упруго-пластических систем // Проблемы оптимального проектирования сооружений. Сб. докл. IV Всерос. семинара. Новосибирск: НГАСУ. 2002. С. 38-47.
6. Арутюнян Р.А. Проблема деформационного старения и длительного разрушения в механике материалов. СПб.: СПбГУ. 2004. 252 с.
7. Арутюнян Р.А., Вакуленко А.А. К теории пластичности нестабильных сплавов // Изд. АН ССР. Механика. 1965. Т. 4. С. 53.
8. Адигамов Н.С. О прогнозировании процессов пластического деформирования материала с учетом эффектов старения // Доклад на II Междунар. конф. «Проблемы управления информационных технологий». Бишкек. 2015. С. 193-196.
9. Почман Ю.М., Пятигорский З.И. Расчет и оптимальное проектирование конструкций с учетом приспособляемости. М: Наука. 1979. 208 с.
10. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. Учебник для студентов вузов. М.: Машиностроение. 1968. 400 с.

УДК 624.012.45

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАСЧЕТА ПЛОСКОСТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НЕСУЩИХ СИСТЕМ МНОГОЭТАЖНЫХ ДОМОВ МЕТОДОМ СОСРЕДОТОЧЕННЫХ ДЕФОРМАЦИЙ

SUMMARY OF THE CALCULATION OF BEARING PLANAR MEMBER MULTISTORY BUILDINGS SUPPORTED BY STRAIN

Зулпуев А.М., Абдыкеева Ш.С.

shirin_280990@mail.ru

Кыргызско – Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызстан

***Аннотация:** Приведены сущность и преимущества метода сосредоточенных деформаций для сборных железобетонных плит перекрытий многоэтажных зданий и сооружений.*

***Ключевые слова:** сборные железобетонные плиты, метод сосредоточенных деформаций, многоэтажные здания*

Сборные железобетонные плит перекрытий многоэтажных зданий и сооружений, входят как части плоскостных элементов несущих систем многоэтажных зданий и сооружений. Изгибное напряженное деформированное состояние пространственных работающих несущих систем многоэтажных зданий и сооружений, сопровождается компонентами плоского напряженного деформированного состояния.

Плоского напряженного деформированного состояния в изгибаемых сборных железобетонных плит перекрытий многоэтажных зданий и сооружений, развиваются вследствие нагрузок в плоскости плит, а также при граничных условиях опирания и развития

физической и геометрической нелинейности.

Из различных методов для расчета изгибаемых сборных железобетонных плит перекрытий многоэтажных зданий и сооружений, наибольшей универсальностью и полнотой обладает метод конечных элементов [1, 3].

По сравнению перед ним имеет преимущества метод сосредоточенных деформаций [2, 4].

В данной работе формируется плоская и изгибная напряженная расчетная модель, для сборной железобетонной плит перекрытий многоэтажных зданий и сооружений, а также учитывалась нелинейная работа сборных железобетонных плит перекрытий многоэтажных зданий и сооружений.

Метод сосредоточенных деформаций является одним из численных методов расчета статически неопределимых стержневых и плоскостных несущих систем многоэтажных зданий и сооружений. Идея метода сосредоточенных деформаций раскрывается вначале на упругих стержневых элементах, имеющих постоянные поперечные сечения с плоскостью симметрии, в которой влияют векторы внешних усилий. В методе сосредоточенных деформаций условия закрепления на опорах по длине и на концах могут быть произвольными, в том числе и податливыми с известными характеристиками жесткости опорных устройств.

Сущность метода сосредоточенных деформаций состоит в том, что исходный деформируемый стержень разделяется на некоторые элементы, по плоскостям деления между которыми сосредотачиваются деформации прилегающих элементов. С другой стороны, следует сказать так, что исходный деформируемый стержень разделяется на некоторые элементы, превращаемые в жесткие и соединенные между собой податливыми фиктивными связями, при этом характеристики податливости (жесткости) т.е. фиктивные связи, которых должны сохранять свойства исходного деформируемого стержня [3,5].

Первостепенным преимуществом метода сосредоточенных деформаций – является простота формирования матриц внутренней жесткости сечений, элементов, стержневых несущих систем из них; при этом элементами матриц внутренней жесткости сечений служат как характеристики балочных жесткости (изгибная, крутильная, осевая и другие).

Вторым преимуществом метода сосредоточенных деформаций - является отчетливое разделение сложного напряженно-деформированного состояния конструкций на элементарные составляющие (изгиб, сжатие-растяжение и другие).

Третьим преимуществом метода сосредоточенных деформаций - является простота учета податливости, т.е. фиктивные связи и соединений между элементами или в условиях закрепления опорных устройствах, это имеет значительное преимущество при расчете сборно-монолитных или составных конструкций несущих систем многоэтажных зданий и сооружений.

Четвертым преимуществом метода сосредоточенных деформаций - является широкое использование гипотезы плоских сечений для сборных железобетонных плит перекрытий многоэтажных зданий и сооружений. Данный фактор позволяет резко уменьшить количество элементов метода сосредоточенных деформаций по сравнению с обычными применяемыми числами метода конечных элементов без потери точности расчета, в описании напряженно-деформированного состояния на участках значительной протяженности.

Тем не менее, метод сосредоточенных деформаций ориентирован, в общей сложности на расчет элементов с учетом реальных диаграмм деформирования бетона и арматуры при различных длительностях действия внешней нагрузки; в данном случае необходимо для учета меняющейся по длине жесткости делить стержни так же, как метода конечного элемента; благодаря этому метод сосредоточенных деформаций и метод конечных элементов близки между собой в значении необходимой степени дискретизации.

Вместе с тем, при учете нелинейности железобетонных стержней в методе конечных элементов, элементы матрицы внутренней жесткости приходится искать в главных центральных осях, изменяющих свое положение в зависимости от уровня напряженно-

деформированного состояния и длительности действия внешней нагрузки. В методе сосредоточенных деформаций матрицы внутренней жесткости элементов формируется прямо на основании матриц жесткости сечений в неизменных координатных осях без перехода к центральным осям сечений [6].

Это условие свидетельствует о значительном достоинстве метода сосредоточенных деформаций.

Литература

1. Городецкий А.С. Применение метода конечных элементов к физически нелинейным задачам строительной механики: Дис. ... д-ра техн. наук. Киев. 1978. 286 с.
2. Додонов М.И. Расчет изгибаемых пластин методом сосредоточенных деформаций // Строительная механика и расчет сооружений. 1986. № 2. С. 22–25.
3. Карпенко Н.И., Мухамедиев Т.А., Петров А.Н. Исходные и трансформированные диаграммы деформирования бетона и арматуры // Напряженно-деформированное состояние бетонных и железобетонных конструкций НИИЖБ. М. 1986. С. 7–25.
4. Ржаницын А.Р. Расчет сплошных конструкций методом упругих сосредоточенных деформаций // Строительная механика и расчет сооружений. 1980. № 5. С. 15–20.
5. Зулпуев А.М., Ордобаев Б.С., Абдыкеева Ш.С. Результаты эксперимента фрагмента перекрытия на вертикальные нагрузки и расчетов по методу сосредоточенных деформаций // Вестник МУК. Бишкек. 2015. № 1 (27). С. 27-32.
6. Зулпуев А.М., Абдыкеева Ш.С. Теоретические исследования при вертикальных нагрузках на перекрытия по методу сосредоточенных деформаций // Наука и культура стран Центральной Азии: традиции и современные проблемы. Междунар. сб. науч. тр. / Под ред. Р.С. Мукимова. Душанбе: ICOMOS в Таджикистане. 2015. Вып. 16. С. 67–74.

УДК 621.86.078

СИСТЕМА ОЧИСТКИ И СМАЗКИ ТЯГОВОГО КАНАТА ШАХТНОЙ ПОДЪЕМНОЙ УСТАНОВКИ

SYSTEM OF PURIFICATION AND GREASE OF MINE LIFTING INSTALLATION PULLING ROPE

Кибницкая А.С., Аскербек И.Н.

gornyaki@inbox.ru

Кыргызско – Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызстан

Аннотация. В статье рассматривается актуальная на сегодняшний день проблема очистки и смазки тягового каната шахтной подъемной установки. Авторами предложено устройство, которое позволит улучшить качество очистки каната, а также повысит надежность оборудования в работе при снижении эксплуатационных затрат.

Ключевые слова: тяговый канат, очистка и смазка тягового каната, шахтные подъемные установки.

Канат в горном производстве – это металлическое изделие в виде жгута, свитого из нескольких прядей, свитых из нитей проволоки. Канат применяется как грузонесущий, тяговый элемент различных грузоподъемных систем. Для повышения сроков эксплуатации необходима периодическая его очистка и смазка. В представленной работе предлагается устройство для очистки и смазки тяговых канатов шахтных подъемных установок.

Задача разработки - повышение качества очистки каната и надежности оборудования в работе при снижении эксплуатационных затрат.

Система очистки и смазки тягового каната шахтной подъемной установки включает две группы оборудования. Оборудование первой группы расположено за стенкой (снаружи) машинного отделения подъемной машины, оборудование второй группы размещено за стенкой (снаружи) копра. Обе группы состоят из устройств нагрева, очистки и смазки каната. Кроме приведенных устройств, система снабжена роликом, вспомогательным барабаном для навивки каната, оснащенного приводом, направляющим устройством. Ролик направляет канат на устройство нагрева. На вспомогательный барабан навивается канат с устройства смазки, установленного за стенкой копра. Направляющее устройство направляет канат на устройство нагрева, установленное за стенкой машинного отделения.

Устройство нагрева каната (рис.1) включает спирали 1 нагрева, размещенные в корпусе 2 и крышке 3 корпуса 2. Крышка 3 установлена на корпусе 2 посредством шарнирного соединения 4 и закреплена фиксатором 5, выполненным, например, в виде болтового соединения. Корпус 2 установлен на штоке гидроцилиндра 6, закрепленного на основании 7, размещенного на поверхности земли. Спирали 1 соединены проводом с электросетью.

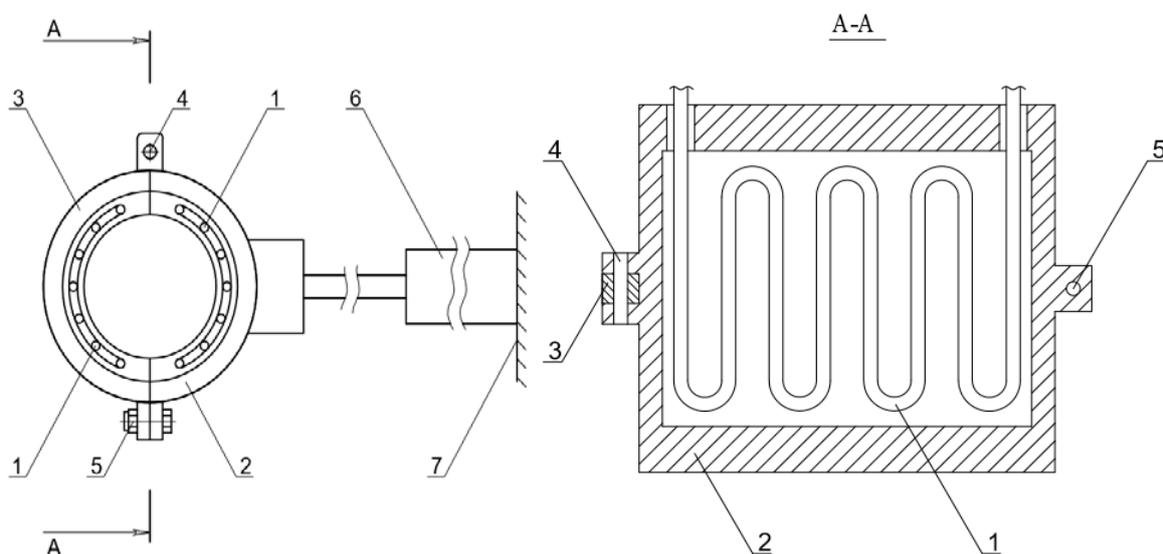


Рисунок 3 – Устройство нагрева каната.

Устройство очистки каната состоит из трех узлов: узла с горизонтальным расположением щеток (рис.2) и узлов с наклонным расположением щеток. Узлы устройства очистки установлены вдоль тягового каната один за другим. Каждый из узлов включает раму 8 и крышку 9 рамы 8. Крышка 9 установлена на раме 8 посредством шарнирного соединения 10 и закреплена фиксатором 11, выполненным в виде болтового соединения. На раме 8 и крышке 9 с внутренней их стороны подвижно установлены очистные щетки 12 с возможностью вращательного движения. На внешней стороне рамы 8 и крышки 9 закреплены приводы 13 (электродвигатели), соединенные с осями очистных щеток 12. Рама 8 установлена на штоке гидроцилиндра 1, закрепленного на основании 7.

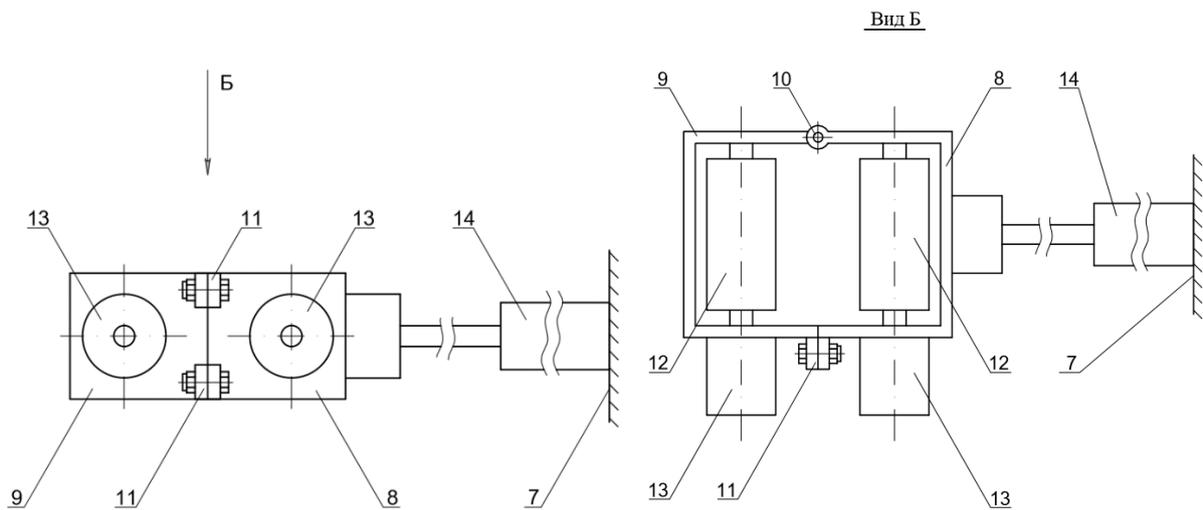


Рисунок 4 – Устройство очистки каната.

Устройство смазки каната (рис.3) включает емкость 15, размещенную на основании, стойки 16, установленные по торцам емкости 15 и соединенные с ними, ролики 17, установленные на стойках 16, стойку 18, закрепленную на днище емкости 15, ролик 19, установленный на стойке 18. По бокам емкости 15 установлены и соединены с ними стойки 20, на которых размещены балки 21. На балках 21 закреплены гидроцилиндры 22, на штоках которых установлены ролики 23. На рисунке 3 в емкости 15 пунктирной линией показан уровень жидкой смазки.

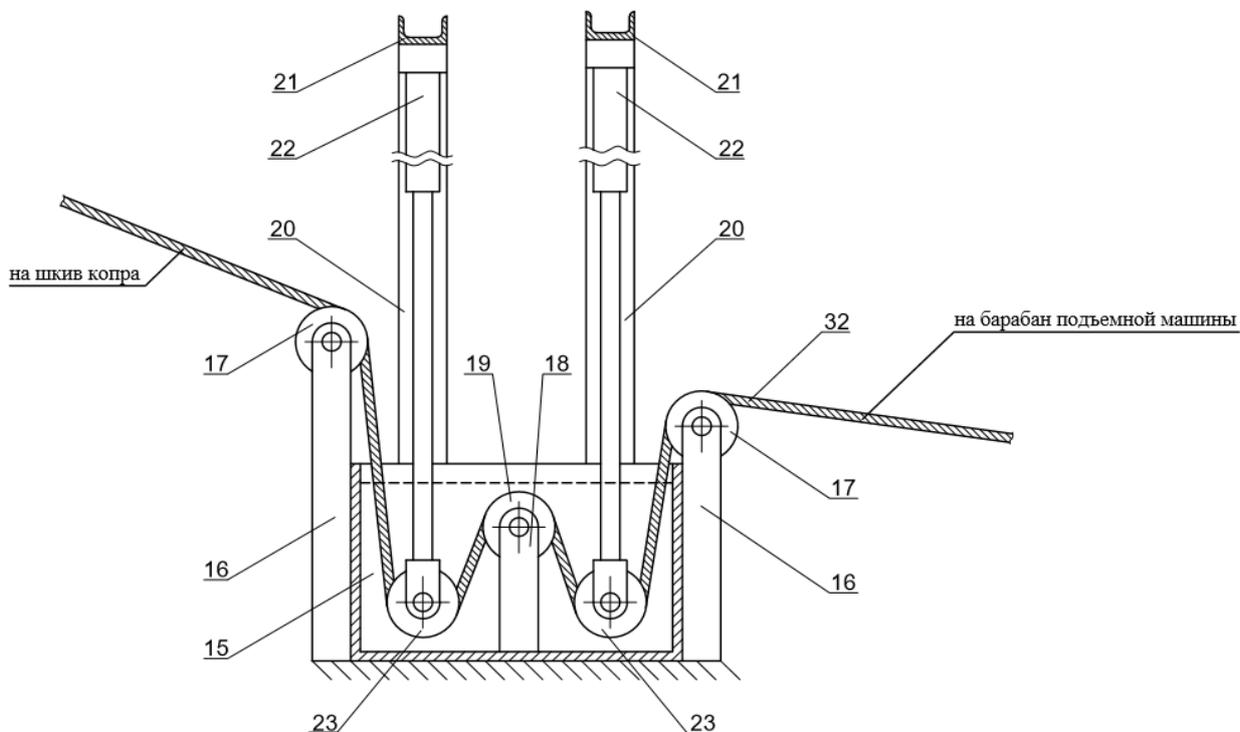


Рисунок 5 – Устройство смазки каната.

Ролик 24 (рис.4) установлен на штоке гидроцилиндра 25, закрепленном на стенке 26 копра. Направляющее устройство (рис.5) включает корпус 27 и крышку 28 корпуса 27.

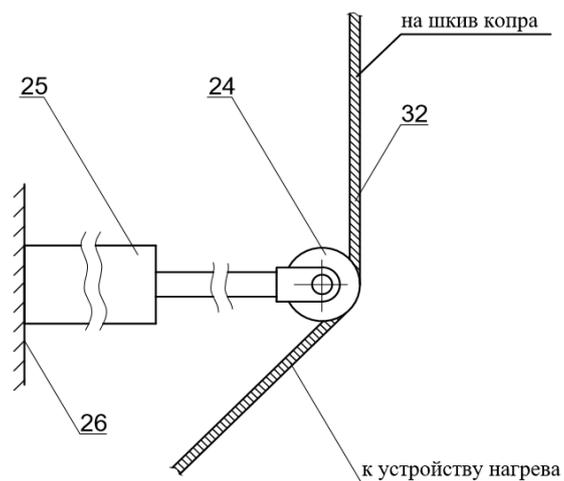


Рисунок 4 – Ролик.

Крышка 28 установлена на корпусе 27 посредством шарнирного соединения 29 и закреплена фиксатором 30, выполненным в виде болтового соединения. Корпус 27 установлен на штоке гидроцилиндра 31, закрепленном на основании 7. Тяговый канат обозначен позицией 32.

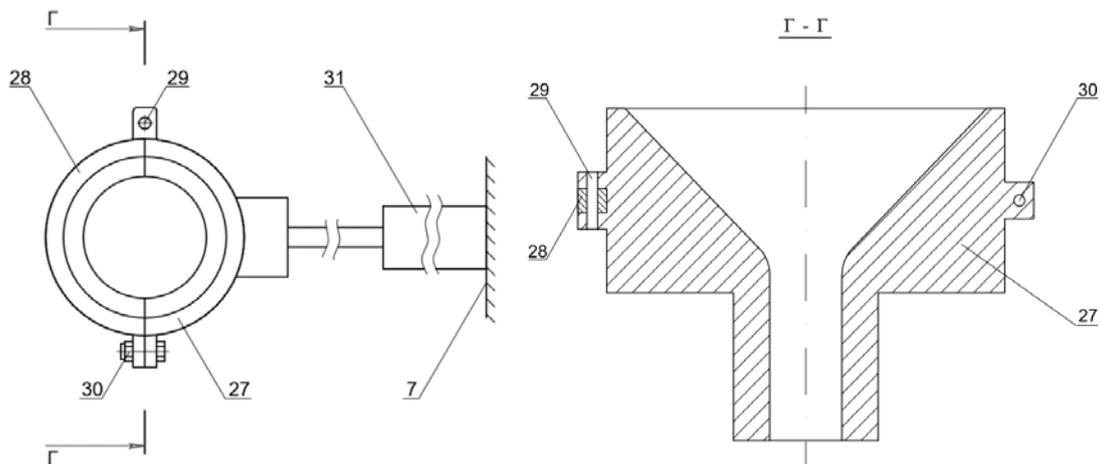


Рисунок 5 – Направляющее устройство.

Система очистки и смазки тягового каната шахтной подъемной установки работает следующим образом. Нижний конец каната 32 отсоединяют от подъемного сосуда и устанавливают подъемной машиной на уровне приемной площадки, расположенной на поверхности земли, копра. С концом каната 32 соединяют конец вспомогательного каната, размещенного на вспомогательном барабане, установленном за устройством смазки каната. Вспомогательный канат выполняет технологическую функцию посредством этого каната канат 32 протягивается приводом вспомогательного барабана через устройства нагрева, очистки и смазки каната. Ролик 24 подводят гидроцилиндром 25 к свисающему со шкива канату 32, который заводят на ролик 24 и далее последовательно задействуют устройства смазки, нагрева и очистки каната. Вспомогательный канат заводят на ролики 23 устройства смазки каната и подтягивают приводом вспомогательного барабана конец каната 32 к устройству нагрева каната, при этом включают привод барабана подъемной машины, что позволяет избежать растяжки каната 32 и напряжений в нем. Гидроцилиндрами 22 заводят вспомогательный канат на ролики 17, 19 устройства смазки каната так, что вспомогательный канат погружается в смазку в емкости 15, огибая ролики 23, 19. Открывают крышку 3 устройства нагрева каната, гидроцилиндром 6 подводят корпус 2 к вспомогательному канату так, что он располагается внутри (в полости) корпуса 2, крышку 3 закрывают и закрепляют

на корпусе 2 фиксатором 5. Открывают крышки 9 узлов устройства очистки каната, гидроцилиндрами 14 подводят рамки 8 к вспомогательному канату так, что он располагается внутри рамы 8 между очистными щетками 12, крышки 9 закрывают и закрепляют на рамах 8 фиксаторами 11. Включают нагревательные спирали 1, запускают привода 13, вращающие очистные щетки 12 навстречу движения каната 32, включают привода вспомогательного барабана и барабана подъемной машины и приводом вспомогательного барабана медленно протягивают канат 32 через устройства нагрева, очистки и смазки каната, навивая канат 32 на вспомогательный барабан, при этом канат 32 свивается с барабана подъемной машины.

Когда в процессе свивки каната 32 на барабанае подъемной машины остается часть каната 32 длиной, равной длине каната 32 от устройства нагрева до его конца, закрепленного на барабанае подъемной машины, привода вспомогательного барабана и барабана подъемной машины останавливают и выполняют следующие технологические действия. Открывают крышку 28 направляющего устройства, гидроцилиндром 3 1 подводят корпус 27 к канату 32 так, что он располагается внутри корпуса 27, крышку 28 закрывают и закрепляют на корпусе 27 фиксатором 30, снимают барабан подъемной машины с тормоза и гидроцилиндром 31 устанавливают канат 32 на линию, на которой располагается в рабочем положении устройства нагрева, очистки и смазки каната, при этом канат 32 незначительно свивается с барабана подъемной машины, что позволяет избежать растяжки каната 32 и напряжений в нем. Технологическая функция направляющего устройства - канат 32, сбегая с барабана подъемной машины, попадает в направляющее устройство и при выходе из него направляется по прямой линии на шкив копра через устройства нагрева, очистки и смазки каната, установленных в рабочее положение.

Далее последовательно задействуют устройства смазки, нагрева и очистки каната. Ролики 23 устройства смазки каната опускают гидроцилиндрами 22 на канат 32 и заводят гидроцилиндрами 22 канат 32 на ролики 17, 19 так, что канат 32 погружается в смазку в емкости 15, огибая ролики 23, 19. Открывают крышку 3 устройства нагрева каната, гидроцилиндром 6 подводят корпус 2 к канату 32 так, что он располагается внутри (в полости) корпуса 2, крышку 3 закрывают и закрепляют на корпусе 2 фиксатором 5. Открывают крышки 9 узлов устройства очистки каната, гидроцилиндрами 14 подводят рамки 8 к канату 32 так, что он располагается внутри рамы 8 между очистными щетками 12, крышки 9 закрывают и закрепляют на рамах 8 фиксаторами 11. Включают нагревательные спирали 1, запускают привода 13, вращающие очистные щетки 12 навстречу движения каната 32, включают привода вспомогательного барабана и барабана подъемной машины и приводом вспомогательного барабана медленно протягивают канат 32 через устройства нагрева, очистки и смазки каната, продолжая навивку каната 32 на вспомогательный барабан, при этом канат 32 свивается с барабана подъемной машины. Когда канат 32 сошьется с барабана подъемной машины, привода вспомогательного барабана и барабана подъемной машины останавливают, выключают нагревательные спирали 1 и привода 13, конец каната 32 отсоединяют от барабана подъемной машины и соединяют с концом другого вспомогательного каната, навитого, например, на барабан лебедки, установленной на время проведения работ перед барабаном подъемной машины. Лебедка установлена с возможностью навивки вспомогательного каната с ее барабана на барабан подъемной машины. Названный вспомогательный канат имеет длину, несколько превышающую длину каната 32 от его конца, закрепленного на барабанае подъемной машины, до устройства нагрева, что позволяет вычистить и смазать канат 32 до его конца. Затем включают нагревательные спирали 1 и привода 13, запускают привода вспомогательного барабана и барабана подъемной машины, протягивают канат 32 полностью через устройства нагрева, очистки и смазки каната, при этом натяжение каната 32 поддерживается вспомогательным канатом, который одновременно свивается с барабана подъемной машины и навивается на него с барабана лебедки. После того, как конец каната 32 выйдет из устройства смазки каната привода вспомогательного барабана и барабана подъемной машины останавливают,

нагревательные спирали 1 устройств нагрева и привода 13 устройств очистки каната отключают.

В рабочее состояние тяговый канат 32 приводится следующим образом. Открывают крышки 3 корпусов 2 устройств нагрева каната, крышки 9 рам 8 устройств очистки каната, корпуса 2 гидроцилиндрами 6 и рамы 8 гидроцилиндрами 14 устанавливают в исходное положение, открывают крышку 28 направляющего устройства и устанавливают его корпус 27 в исходное положение гидроцилиндром 31. Поднимают в исходное положение ролики 23 устройств смазки каната гидроцилиндрами 22. Подтягивают приводом вспомогательного барабана канат 32 к роликам 23 и заводят на них канат 32. Запускают реверс привода барабана подъемной машины и реверс привода лебедки и поднимают канат 32, располагая его, как показано на фиг.9, при этом вспомогательный канат навивается на барабан подъемной машины, а с него - на барабан лебедки. Не останавливая привода подъемной машины и лебедки, запускают реверс привода вспомогательного барабана и затягивают конец каната 32 на барабан подъемной машины, при этом вспомогательный канат свивается с барабана подъемной машины. Когда вспомогательный канат сойдет с барабана подъемной машины, привода подъемной машины и лебедки отключают, конец каната 32 отсоединяют от вспомогательного каната и соединяют с барабаном подъемной машины. Включают реверс привода подъемной машины, реверс привода вспомогательного барабана и навивают канат 32 на барабан подъемной машины до того, как нижний конец каната 32 затянется в копер, после чего привода отключают, включают привод подъемной машины на спуск каната 32 и устанавливают его конец на уровне приемной площадки копра. Ролик 24 смещают гидроцилиндром 25 в исходное положение к стенке 26 копра. От конца каната 32 отсоединяют вспомогательный канат и затягивают его на вспомогательный барабан, а конец каната 32 устанавливают подъемной машиной по уровню подъемного сосуда и соединяют с ним. Канат 32 подготовлен к работе.

Применение предложенной системы очистки и смазки тягового каната шахтной подъемной установки позволит повысить качество очистки каната, надежность оборудования в работе и снизить эксплуатационные затраты. Возможность очистки и смазки каната по всей его длине, не снимая канат со шкива копра, позволит выполнять периодическую очистку и смазку каната на месте, исключая трудоемкую работу съема и установки каната заново. Затраты на строительство помещений для оборудования, на его изготовление, монтаж и покупку комплектующих изделий к нему, на замену изношенного оборудования очевидно окупится за время работы предприятия, т.к. шахты и рудники эксплуатируются минимально в течение нескольких десятков лет.

Решение о выдаче патента №02/309 от 08.02.17 по заявке №20160067.1 от 9 августа 2016 года, "Система очистки и смазки тягового каната шахтной подъемной установки". Авторы: Степанов С.Г., Шамсутдинов М.М., Кибицкая А.С., Аскербек И.Н.

Литература

1. Штремель Г.Х. Горные машины. Учебник для техникумов. 3-е изд., доп. М.: Высшая школа. 1980. 304 с.
2. Шамсутдинов М.М. Комплексная система оценки элементов механического оборудования шахтного подъема. Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Бишкек. 2007. 39 с.
3. Патент СССР 893784, В 66В 7/02, 30.12.1981, «Устройство для очистки стальных канатов».
4. Патент RU 2174570, D 07В 7/12, 10.10.2001, «Устройство для пропитки стального каната».
5. Патент RU 155582 на полезную модель, D 66В 7/12, 10.10.2015, «Устройство для очистки и смазки металлических канатов».

РАЗРАБОТКА МЕТОДА И УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ НЕКРУГЛОСТИ (ПОГРЕШНОСТИ ФОРМЫ) И РАДИАЛЬНОГО СМЕЩЕНИЯ ЦЕНТРА МАСС ИЗДЕЛИЙ ТИПА ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ С МАЛОЙ МАССОЙ И ГАБАРИТАМИ

METHOD DEVELOPMENT AND AUTOMATIC CONTROL DEVICES ROUNDNESS (SHAPE ERRORS) AND RADIAL DISPLACEMENT OF THE CENTER OF MASS, COMPONENTS SUCH AS BODIES OF ROTATION WITH A SMALL MASS AND DIMENSIONS

Кочемасов Р.Е. Муслимов А.П.

roma_kochemasov@mail.ru

Кыргызско – Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызстан

***Аннотация.** Статья посвящена решению актуальной проблемы – контролю радиального смещения центра масс мелких деталей типа тел вращения. Известно, что РСЦМ деталей в узле машины приводит к сильным вибрациям, шуму, динамическим нагрузкам и в конечном итоге, к потере точности и даже разрушению оборудования. В статье изложено решение по разработке метода и устройства автоматического контроля некруглости и РСЦМ.*

***Ключевые слова:** мелкие детали, РСЦМ, погрешность формы, автоматический контроль, метод, устройство.*

Одной из важнейших характеристик, определяющих качество изделий типа тел вращения, вращающихся с большими скоростями, является величина радиального смещения центра масс (РСЦМ). Быстровращающиеся изделия широко используются в машинах, приборах, текстильном оборудовании, подшипниках.

При наличии РСЦМ возникают значительные инерционные силы, приводящие к быстрому износу изделий, поэтому проблема контроля по данному параметру весьма актуальна. Определять дисбаланс изделий массового производства, например, деталей типа тел вращения, необходимо в ряде случаев, когда их радиальная неуравновешенность влияет на эксплуатационные характеристики (возможность появления вибраций, быстрый износ, потеря точности и другие нежелательные явления). Для деталей массового производства основным требованием к контролю является его высокая производительность. Существующие системы контроля, выполненные по классической схеме (вращение изделия в опорах и снятие сигналов с датчиков, размещение их в плоскости опор), работают циклично и требуют затрат времени на установку, измерение и снятие контролируемых изделий. Следует отметить, что эти известные устройства проектировались для крупногабаритных изделий с большой массой, имеющих установочные базы.

Интегральный метод определения РСЦМ. Изделие с РСЦМ свободно вращается на валках и под воздействием моментной неуравновешенности испытывает соударение с ними. Амплитуды и частоты колебаний при этом зависят от величины РСЦМ и некруглости изделия. Метод основан на измерении величины подпрыгиваний изделий за определенное время, что позволяет косвенно судить величине его дисбаланса. Для измерения величины вертикальных перемещений изделия может быть использован фотоэлектрический датчик, оптическая ось которого расположена вдоль оси вращения валков на высоте, соответствующей верхней грани контролируемого изделия в целом.

Рассматривается плоское движение изделия цилиндрической формы на вращающихся валках с неподвижными осями $O1$ и $O2$ (рис.1). Предполагается, что вращение валков происходит с постоянной угловой скоростью. Требуется составить дифференциальные

Задачу можно существенно упростить, если считать, что изделие совершает только вертикальные прыжки. При этом амплитуда $\dot{\gamma}_C$ прыжка согласно (1), (2) будет равна:

$$y_C = (e \dot{\gamma})^2 / 2g$$

При этом суммарные прыжки y_Σ за время τ составляют:

$$y_\Sigma = K * \gamma_C$$

где

$$K = \tau * t_* ; \quad t_* = t_n + 2\pi / \dot{\gamma} [0,1] ; \quad t_n = 2e \dot{\gamma} / g$$

Следовательно,

$$y_\Sigma = \gamma^2 e^2 \left(\frac{\tau}{2e \dot{\gamma} / g + 2\pi / \dot{\gamma}} \right) / 2g$$

Функциональная схема прибора представлена на Рис. 2

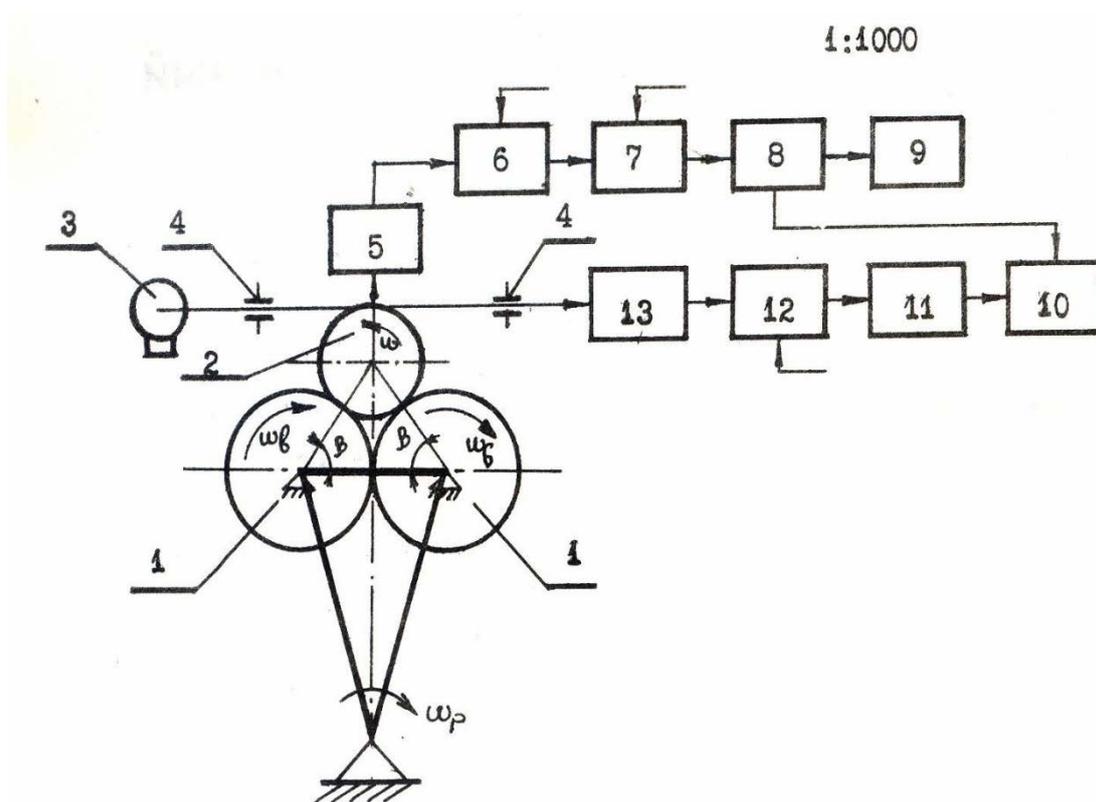


Рисунок 2 – Функциональная схема прибора

Функциональная охема прибора:

- 1- вращающиеся валки;
- 2 - контролируемое изделие;
- 3 - источник излучения;
- 4 – оптическая система;
- 5 – датчик скорости;
- 6 – усилитель;
- 7 – компаратор;

- 8 – генератор секундных импульсов;
- 9 – цифровой индикатор;
- 10 – формирователь;
- 11 – преобразователь;
- 12 – усилитель;
- 13 – фотоприемник;

На начальном этапе процесса контроля, когда скорость вращения контролируемого изделия невелика, измеряется его некруглость. Это связано с тем, что при возрастании скорости вращения изделия амплитуда прыжков изделия будет возрастать в связи с увеличением силы инерции, которая равна:

$$\varphi = m\omega^2 e$$

где m – масса изделия, ω^2 – скорость вращения изделия: e – РСЦМ.

Для контроля некруглости изделия в приборе применен фотоэлектрический датчик. Световой поток из источника излучения направлен на верхнюю поверхность детали и через оптическую систему попадает на фотоприемник. Величина светового потока, попадающего на фотоприемник, зависит от некруглости детали. Электрический сигнал от него усиливается усилителем и поступает в преобразователь, формирующий сигнал, который, воздействуя на цифровой индикатор, высвечивает в цифрах максимальную величину некруглости изделия, после чего генератор секундных импульсов его отключает.

Выводы:

- метод прост в реализации и позволяет комплексно контролировать такие важные динамические параметры, как некруглость и РСЦМ изделий, за одну его установку на приборе;
- чувствительность метода составляет по РСЦМ и некруглости около 5 мкм; дальнейшее увеличение чувствительности возможно при более качественном изготовлении валков и применении точных подшипников;
- повторяемость результатов измерений составила 90 %

Литература

1. Муслимов А.П., Киреев О.Л. Теоретические основы, методы и устройства контроля качества изделий типа тел вращения. СПб.: Балт. гос. техн. ун-т. 2007. 115 с.

УДК 539.215+539.374

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДЕФОРМАЦИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ ДИОРИТА ПРИ ТРЕХОСНОМ СЖАТИИ

DETERMINATION OF PARAMETERS OF STRAIN HARDENING FOR DIORITE UNDER TRIAXIAL COMPRESSION

Кулагина М.А.

kulagina_m.a@mail.ru

Кыргызско – Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызстан

***Аннотация.** Рассмотрены экспериментальные данные испытания диорита по схеме Т. Кармана, включающие сведения о деформации за пределами упругости при реализованном сложном нагружении в условиях неравномерного трехосного сжатия. Механизм*

деформационного упрочнения горной породы при указанных условиях смоделирован с помощью понятия сопротивления сдвигу от локальных (идеализированных) скольжений, которые сопровождаются разрыхлением материала. Учтена взаимосвязь между чистоэластической деформацией (не вызывающей изменение объема тела) и деформацией разрыхления. Определены параметры деформационного упрочнения.

Ключевые слова: упругость, пластичность, упрочнение, разрыхление, предел прочности.

Известно, что при сложном напряженном состоянии для горных пород единая кривая деформационного упрочнения в каких-либо общепринятых обобщенных координатах отсутствует [1]. Используемый ниже синтез концепции скольжения [2] и разрыхления [3] позволяет надлежащим образом выбрать параметры упрочнения.

Ранее в [4] были определены упругие константы диорита по экспериментальным данным Моги [5]. Испытания стандартных образцов производились по схеме Т. Кармана: вначале создавалось гидростатическое давление до определенного уровня напряжения, затем при достигнутом равномерном боковом давлении задавалось приращение осевого давления. Именно для второго из указанных этапов нагружения представлены экспериментальные зависимости приращения осевой деформации, вызванные приращением осевого напряжения. В данной работе, используя найденные упругие константы, входящие в обобщенный закон Гука, определены параметры деформационного упрочнения данной горной породы вплоть до предела прочности.

Общая деформация разделяется на упругую (e_i) и неупругую (Γ_i) ($i = 1, 2, 3$) составляющие.

Неупругую деформацию будем искать в виде (как предложено в [6]):

$$\Gamma_1 = \varepsilon_1 - e_1 = (1 - \lambda) \frac{1}{k} \left[\frac{\sigma_1}{\sigma_{1y}} - 1 \right]^\alpha, \quad (1)$$

$$\Gamma_2 = \varepsilon_2 - e_2 = -\left(\frac{1}{2} + \lambda\right) \frac{1}{k} \left[\frac{\sigma_1}{\sigma_{1y}} - 1 \right]^\alpha,$$

где Γ_1, Γ_2 – главные неупругие деформации, λ – коэффициент разрыхления, k – масштабный коэффициент, α – параметр, учитывающий кривизну кривой упрочнения.

В формуле (1) учтено, что полная неупругая деформация состоит из чисто пластической Γ^{nl} (не вызывающей изменение объема тела) и деформации разрыхления Γ^o , которая согласно гипотезе Новожилова В.В. о всестороннем распространении разрыхления [7], принимается в виде:

$$\Gamma_1^o = \Gamma_2^o = \Gamma_3^o = -\lambda \Gamma_1^{nl}. \quad (2)$$

Зависимость $\Gamma_1 \sim c$ для разных боковых давлений представлена на рис. 1.

Как видно из этого графика, приращение неупругой деформации на некотором удалении от предела упругости происходит при почти постоянном значении параметра c при конкретном боковом давлении, но этот параметр изменяется при переходе от одного давления к другому. Это обстоятельство можно использовать, представив отношение $\frac{1-\lambda}{1-\lambda^*}$ как функцию от параметра c (рис.2), где λ^* соответствует фиксированному боковому давлению $P_H = 50 \text{ МПа}$.

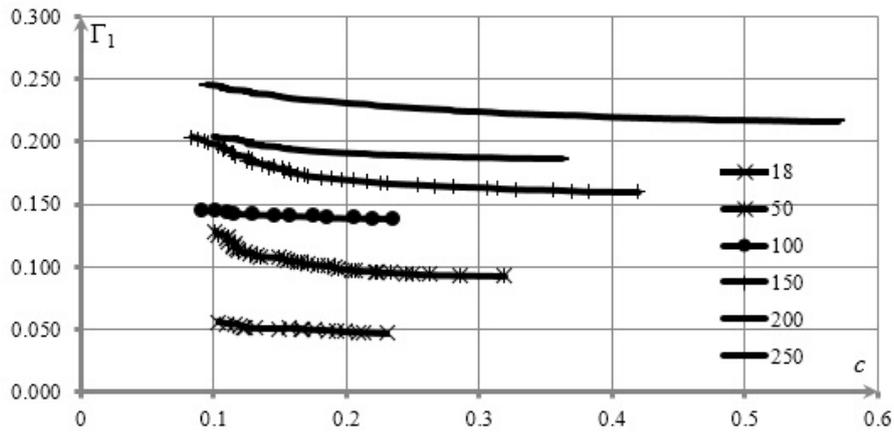


Рисунок 1 – Зависимость $\Gamma_1(c)$ при различных боковых давлениях для диорита.

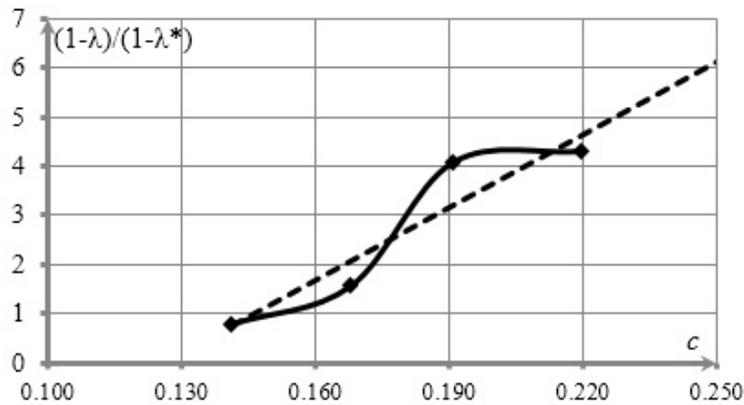


Рисунок 2 – Зависимость $(1-\lambda)/(1-\lambda^*) \sim c$ для диорита.

Для подобных горных пород, как это установлено в [8], разрыхление исчезает, когда напряжение от осевого давления превышает напряжение от бокового давления в 3 раза, т.е. при $c = 1/3$. Аппроксимируя с помощью линии тренда линейной зависимостью график, представленный на рис. 2, из условия $\lambda = 0$ при $c = 1/3$, получим значение λ^* . Обратным пересчетом из указанной зависимости определим значения $\lambda(c)$, что представлено на рис. 3.

Считая масштабный коэффициент k одним и тем же при всех боковых давлениях и всех уровнях осевого напряжения, определим параметр α в зависимости (1). Для этого при каком-либо боковом давлении представим значения деформаций Γ_1 в малой окрестности за пределом упругости и на пределе прочности в виде их отношения, из которого и найдем значение $\alpha = 1,95$.

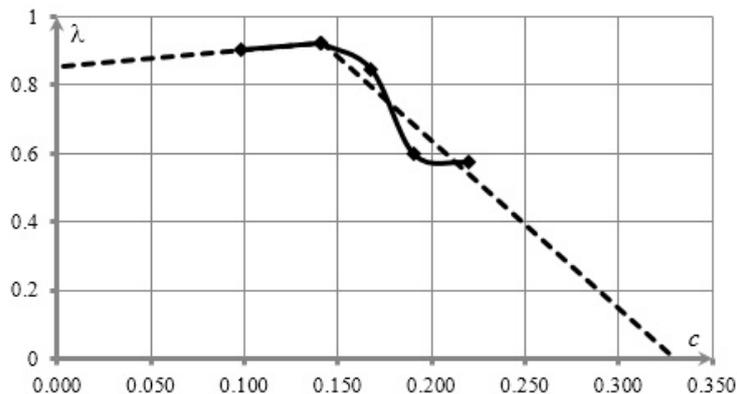


Рисунок 3 – Зависимость $\lambda(c)$ для диорита.

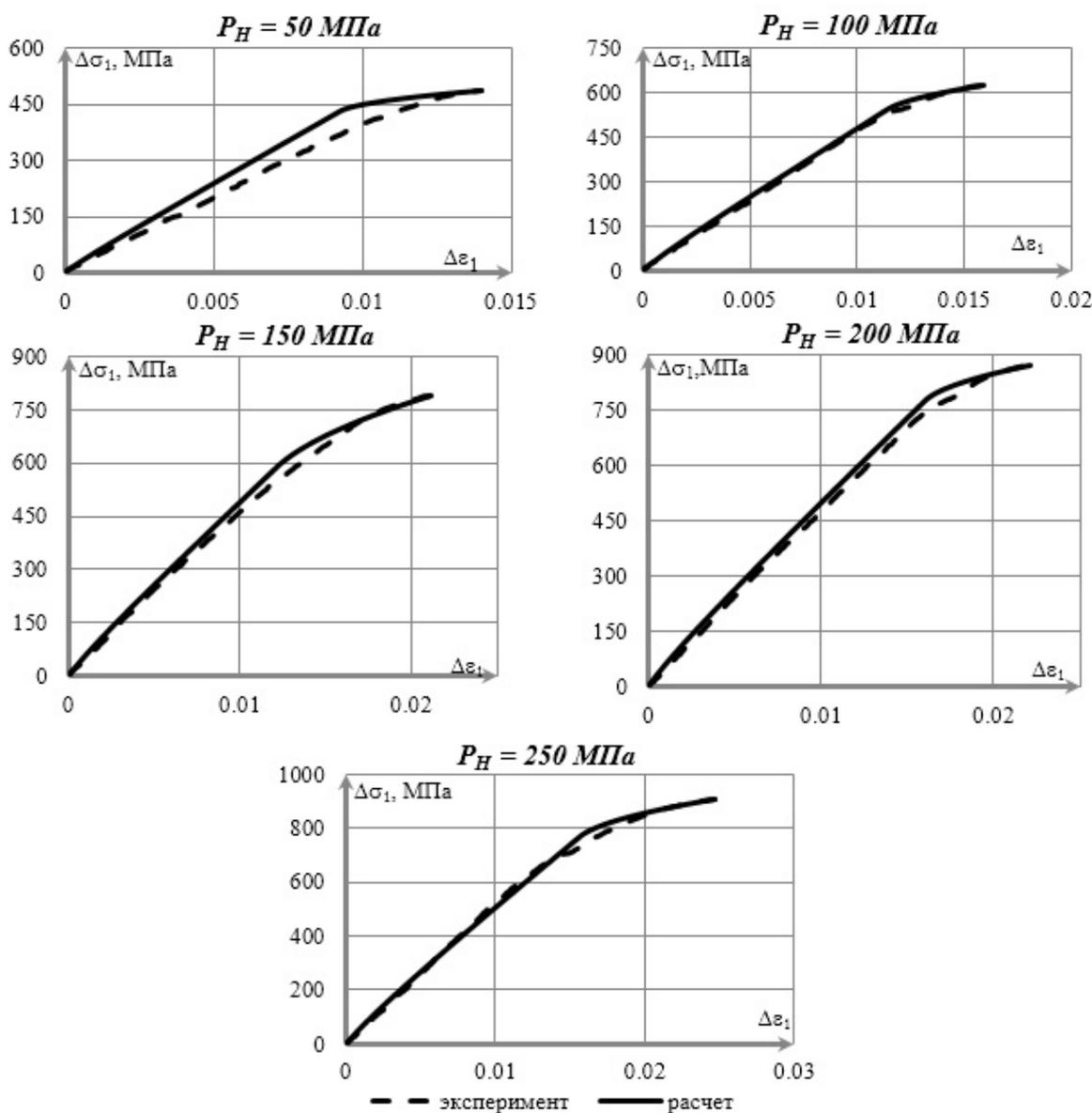


Рисунок 4 – Зависимость $\Delta\varepsilon_1(\Delta\sigma_1)$ для диорита.

Используя величину Γ_1 на пределе прочности, при известном α , найдем параметр $k = 0,27$. На рис.4 приведены расчетные и экспериментальные зависимости $\Delta\varepsilon_1(\Delta\sigma_1)$ для диорита. При этом, в отличие от стандартной методики, неупругие константы определялись только по приращению осевой деформации.

Как видно из рисунков, представленная методика определения параметров упругой и неупругой деформаций дает приемлемое совпадение расчетных и экспериментальных данных. Таким образом, приведенные соотношения связи между напряжениями и неупругими деформациями можно использовать в случаях, аналогичных случаю рассмотренного сложного нагружения. Тем самым подтверждается заключение о том, что развиваемая концепция скольжения и разрыхления вполне удовлетворительно отражает свойства деформационного упрочнения при характерных напряженных состояниях разных горных пород различных по прочности и пластичности, но сходных по степени разрыхления материала [6].

Литература

1. Зарецкий-Феокистов Г.Г. Об экспериментальных кривых деформирования горных пород в сложном напряженном состоянии // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1989. № 6. С. 43-49.
2. Леонов М.Я., Нисневич Е.Б., Рычков Б.А. Плоская теория пластичности, основанная на синтезе скольжений // Изв. АН СССР. МТТ. 1979. № 6. С. 39-43.
3. Леонов М.Я., Паняев В.А., Русинко К.Н. Зависимость между деформациями и напряжениями для полухрупких тел // Инж. ж. МТТ. 1967. № 6. С. 26-32.
4. Рычков Б.А., Комарцов Н.М., Кулагина М.А. Определение упругих констант диорита по экспериментальным данным трехосного сжатия цилиндрических образцов. // Современные техника и технологии в научных исследованиях. Бишкек. 2016. С. 213-216.
5. Mogi Kiyoo. Experimental rock mechanics AKLeiden, The Netherlands. 2007. 380 p.
6. Рычков Б.А. О деформационном упрочнении горных пород // Изв. РАН, МТТ. 1999. № 2. С. 115-124.
7. Новожилов В.В. О пластическом разрыхлении // ПММ. 1965. Т. 29. № 4. С. 75-83.
8. Ставрогин А.Н., Протосеня А.Г. Пластичность горных пород. М.: Недра. 1979. 305с.

УДК 539.4

О КИНЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРАХ МОДЕЛИ ДИНАМИЧЕСКОЙ СВЕРХПЛАСТИЧНОСТИ

KINETIC PARAMETERS OF THE MODEL OF DYNAMIC SUPERPLASTICITY

Куприев Р.Н.

rama15@mail.ru

Кыргызско-Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызстан

***Аннотация.** В работе предлагается вариант эволюционных уравнений для внутренних альтернативных параметров состояния динамической модели, пригодной для математического описания закономерностей высокотемпературной деформации в широком скоростном диапазоне, включая сверхпластичность, алюминиевых сплавов.*

***Ключевые слова:** сверхпластичность, динамическая рекристаллизация, фазовые переходы, зернограничное проскальзывание, эволюционные уравнения.*

В данной работе рассматривается задача формулировки эволюционных соотношений, пригодных совместно с уравнением состояния для описания закономерностей деформации алюминиевых сплавов в широких температурно-скоростных диапазонах, включая сверхпластичность.

Математическая модель однородной осевой высокотемпературной деформации, включая сверхпластичность, основана на следующих положениях [1]:

1. Сверхпластичность имеет место в определенных термомеханических условиях, в которых возможна и превалирует реализация механизма зернограничного проскальзывания. При этом происходит формирование мелкозернистой структуры в процессе нагрева и деформации, связываемой со структурной превращением-динамической рекристаллизацией. В процессе динамической рекристаллизации возникает ревностная микроструктура с очень мелким зерном, примерно совпадающим по размерам с субзернами. Так создается структурная ситуация, способствующая осуществлению зернограничного проскальзывания и, следовательно,

проявлению сверхпластических свойств. Указанная ситуация является промежуточным состоянием между деформированным и крупнозернистым рекристаллизованным.

2. Сверхпластичность может быть интерпретирована как явление, происходящее в условиях неравновесной (возбужденной) динамической структуры с возникновением аморфного состояния границ, стимулирующего зернограничное проскальзывание. Макропроявление структурной неравновесности заключается в возникновении неоднозначности напряжения по отношению к скорости деформации и температуре и, естественно, в появлении "особых" точек, соответствующих границам устойчивости. Подобное характерно для размытых структурных и фазовых переходов [2,3].
3. Структурные изменения в процессе динамической рекристаллизации носят необратимый характер.

Считается целесообразным для моделирования динамической сверхпластичности применять методы математической теории катастроф.

Из условия качественной идентичности для экспериментальных данных была подобрана "потенциальная" функция в форме катастрофы сборки с учетом влияния внешнего поля

$$\Phi(\eta, \beta, q) = \frac{1}{4} m_0 \eta^4 + \frac{1}{2} \beta(\xi) \eta^2 - q \eta. \quad (1)$$

Здесь полагается, что:

$$q = \frac{\sigma}{\sigma^*} - 1; \quad \eta = \frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}^*} - 1; \quad \xi = \frac{\theta - \theta_c^m}{\theta_c^v - \theta_c^m}; \quad (2)$$

причем $\sigma, \dot{\varepsilon}$ - соответственно напряжение пластического течения и скорость деформации;

$\sigma^* = \sigma^*(\xi); \dot{\varepsilon}^* = \dot{\varepsilon}^*(\xi)$ - альтернативные внутренние параметры состояния; ξ - приведенная температура, θ - абсолютная температура, $\theta \in (\theta_c^m, \theta_c^v)$ - термический диапазон сверхпластичности; $\beta = \beta(\xi)$ - управляющий параметр; m_0 - материальная константа.

Укажем, что сверхпластичность имеет место при $\beta(\xi) < 0$. Параметр порядка $\eta(\dot{\varepsilon}, \theta)$ рассматривается как коллективная мода.

Уравнение состояния получаем минимизацией функции (1) по параметру порядка. Имеем:

$$q = m_0 \eta^3 + \beta \eta. \quad (3)$$

Отметим, что уравнение состояния (3) отвечает условиям перехода материала в сверхпластическое состояние, сформулированное в [4].

Поскольку управляющий параметр β введен независимым от времени, то для описания его эволюции можно привлечь кинетическое уравнение вида (4):

$$\frac{d\beta}{dt} = \dot{\xi} f(\beta), \quad (4)$$

где $\dot{\xi}$ - скорость изменения нормированной температуры. Функцию $f(\beta)$ будем считать функцией, характеризующей чувствительность материала к структурным превращениям. Для нее предложено следующее выражение:

$$f(\beta) = \frac{4(\mu - 1)}{\alpha(\mu + 1)} \left[\Gamma(\xi) - \frac{1}{2} \right], \quad (5)$$

причем α, μ - материальные константы, а функция $\Gamma(\xi)$ рассматривается как степень полноты фазового перехода

$$\Gamma(\xi) = (1 - \beta)^{-\alpha} \frac{1 + \mu}{2} \frac{2\xi - 1}{1 + \mu(2\xi - 1)^2} + \frac{1}{2}. \quad (6)$$

Подстановка выражения из (6) в равенство (5) с последующим интегрированием по ξ позволяет для $\beta = \beta(\xi)$ записать следующее уравнение:

$$(1 - \beta)^{1+\alpha} = 1 - \frac{1 + \alpha}{2\alpha} \frac{\mu - 1}{\mu} \ln \frac{1 + \mu(2\xi - 1)^2}{1 + \mu}. \quad (7)$$

На основании (6) несложно установить скорость развития фазового перехода по температуре, которая будет равна

$$\Gamma(\xi) = \frac{(1 + \mu)(1 - \beta)^{-\alpha}}{[1 + \mu(2\xi - 1)^2]^2} [1 - \mu(2\xi - 1)^2 + (1 - \beta)^{-\alpha-1} (\mu - 1)(2\xi - 1)^2] \quad (8)$$

Легко увидеть, что $\Gamma'(0) = \Gamma'(1) = 0$, а при $\xi = 1/2$ функция принимает максимум

$$\max \Gamma' = \Gamma'(1/2) = (\mu + 1)(1 - \beta_0)^{-\alpha}, \quad (9)$$

причем для определения β_0 имеем уравнение

$$(1 - \beta_0)^{-\alpha} = 1 - \frac{1 + \alpha}{2\alpha} \frac{\mu - 1}{\mu} \ln \frac{1}{1 + \mu}. \quad (10)$$

Пусть $\sigma^* = \sigma^*(\beta_0)$ при некотором значении $\beta = \beta_0$. Допустим, что с ростом температуры управление β снижается на величину $d\beta$, а параметр σ^* откликается изменением на величину, пропорциональную σ^* . Поэтому положим, что:

$$d\sigma^* = \sigma^* K(\beta - \beta_0) d\beta, \quad (11)$$

где $K(\beta - \beta_0)$ – ядро, убывающее с уменьшением разности $(\beta - \beta_0)$, причем $\beta_0 = \beta|_{\xi=1/2}$ – фиксированное минимальное значение, отвечающее середине термического диапазона сверхпластичности.

Решение уравнения (11) имеет вид

$$\sigma^* = \sigma^*(\beta_0) Q(\beta), \quad (12)$$

где

$$Q(\beta) = \exp \left(\int_{\beta_0}^{\beta - \beta_0} K(\beta - \beta_0) d\beta \right). \quad (13)$$

Уравнение (12) с учетом (13) легко приводится к следующей форме:

$$\ln \frac{\sigma^*}{\sigma^*(\beta_0)} = \int_{\beta_0}^{\beta - \beta_0} K(\beta - \beta_0) d\beta. \quad (14)$$

В соответствии с экспериментальными данными ядро оператора (14) принимаем в виде системы функции

$$K(\beta - \beta_0) = A(\beta - \beta_0)^n, \quad (15)$$

где A, n – постоянная материала.

Интегрируя выражение (14) с учетом (15), получаем:

$$\ln \frac{\sigma^*}{\sigma^*(\beta_0)} = \frac{A}{1+n} (\beta - \beta_0)^{n+1}, \quad (16)$$

где для β и β_0 соответственно выполняются условия (7) и (10).

Для определения параметров A и n при известных значениях $\ln \frac{\sigma^*}{\sigma^*(\beta_0)}$ и $(\beta - \beta_0)$

использовался метод наименьших квадратов. Для этого линейризуем уравнение (16), приводя его к виду

$$y = kx + b \quad (17)$$

где

$$y = \log\left(\ln \frac{\sigma^*}{\sigma^*(\beta_0)}\right); \quad x = \log(\beta - \beta_0); \quad k = n + 1; \quad b = \log \frac{A}{1 + n}. \quad (18)$$

Конкретные расчеты были произведены для алюминиевых сплавов АМг5 и Д18Т. Материальные константы m_0, α и μ для этих сплавов приведены в [1]. Полученные графики зависимости отношения $\frac{\sigma^*}{\sigma^*(\beta_0)}$ от разности $(\beta - \beta_0)$ для выбранных объектов представлены на рисунках 1 и 2.

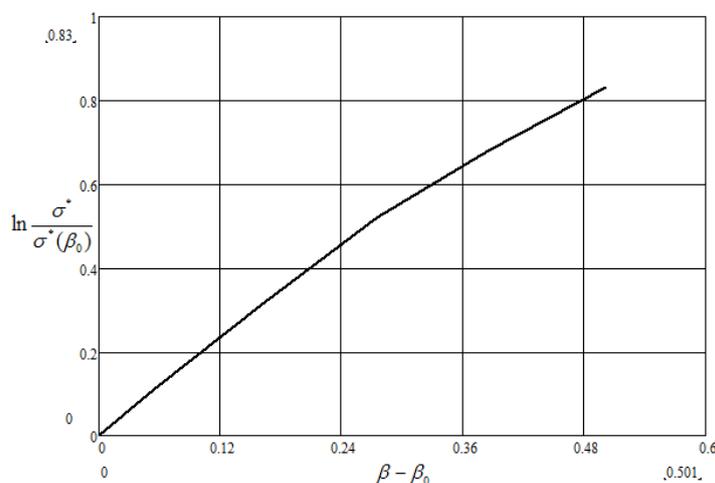


Рисунок 1 – График зависимости отношения $\frac{\sigma^*}{\sigma^*(\beta_0)}$ от разности $(\beta - \beta_0)$ для сплава АМг5.

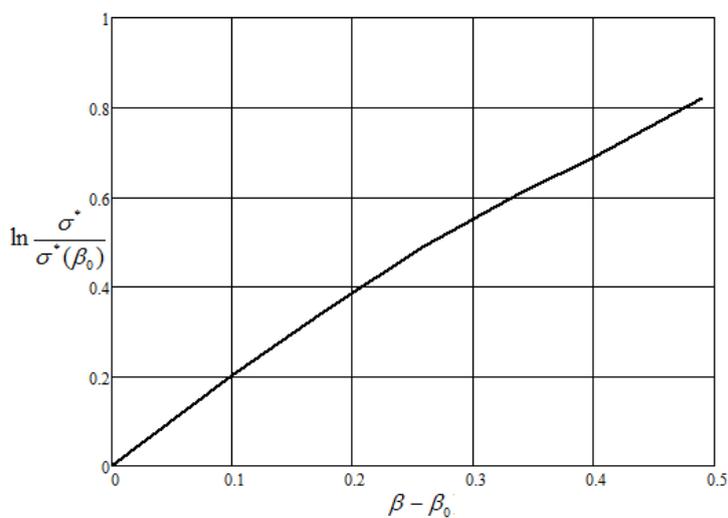


Рисунок 2 – График зависимости отношения $\frac{\sigma^*}{\sigma^*(\beta_0)}$ от разности $(\beta - \beta_0)$ для сплава Д18Т.

Константы A и n принимают следующие значения: $A=1,772$, $n=0,673$ для сплава АМг5 и $A=1,786$, $n=0,665$, для сплава Д18Т.

Аналогичная операция была проделана и для отношения $\frac{\dot{\varepsilon}^*}{\dot{\varepsilon}^*(\beta_0)}$ (результатирующие графики представлены на рисунках 3 и 4).

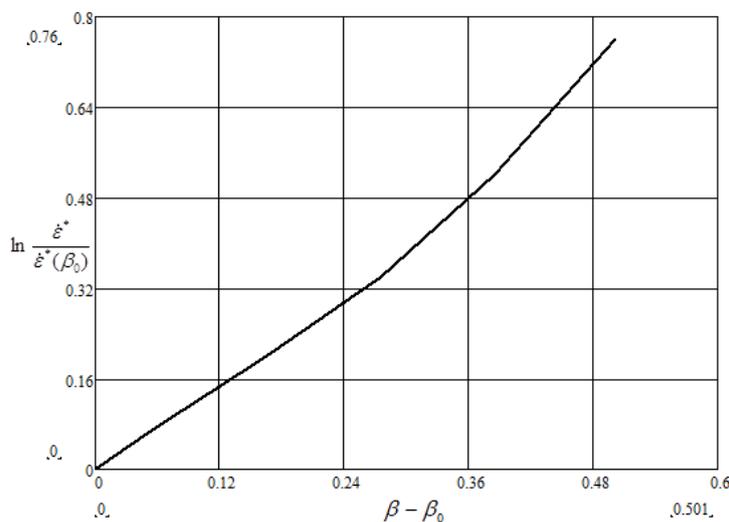


Рисунок 3 – График зависимости отношения $\frac{\dot{\varepsilon}^*}{\dot{\varepsilon}^*(\beta_0)}$ от разности $(\beta - \beta_0)$ для сплава АМг5.

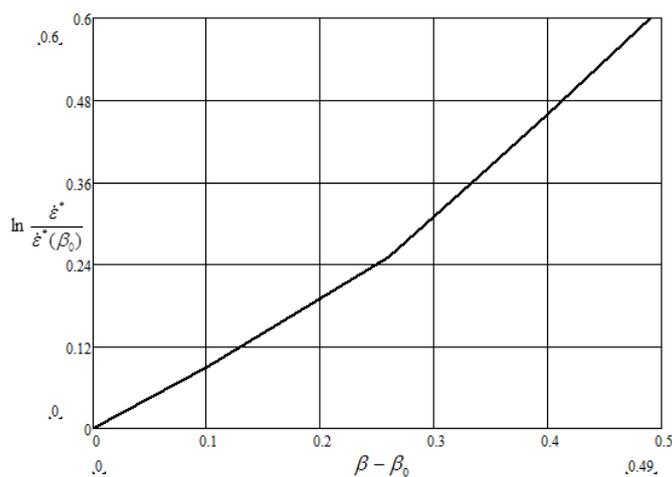


Рисунок 4 – График зависимости отношения $\frac{\dot{\varepsilon}^*}{\dot{\varepsilon}^*(\beta_0)}$ от разности $(\beta - \beta_0)$ для сплава Д18Т.

Константы A и n принимают следующие значения: $A=1,394$, $n=0,476$ для сплава АМг5 и $A=1,136$, $n=0,223$, для сплава Д18Т

В заключение укажем, что установленные материальные константы позволяют определить альтернативные внутренние параметры состояния, сделав предложенную модель пригодной для исследования структурно-фазовых переходов при деформации алюминиевых сплавов.

Литература

1. Рудской А.И., Рудаев Я.И. Механика динамической сверхпластичности алюминиевых сплавов. СПб.: Наука. 2009. 217 с.

ПРЕДЕЛ ПРОЧНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ОДНООСНОМ СЖАТИИ

THE TENSILE STRENGTH OF ROCKS UNDER UNIAXIAL COMPRESSION

Мамадалиева М.А., Сычев В.Н.

merivanakilbekovna@yandex.ru

Научная станция Российской академии наук, г. Бишкек, Кыргызстан

***Аннотация.** На основе изучения горных пород куска (образца) на одноосное сжатие с электромагнитным воздействием и без него определены значения предела прочности.*

***Ключевые слова:** предел прочности, горная порода, одноосное сжатие, электромагнитное воздействие, мрамор, габбро, гранит.*

Введение. Экспериментальные исследования деформационного поведения горных пород, осуществлённые в лаборатории, ориентированы на проведение расчётов для оценки риска и определения мер по обеспечению безопасности в сейсмоопасной зоне. Для подробного описания разрушений в сейсмоопасной зоне необходимо установить, во-первых, какие горные породы преобладают в этой зоне, во-вторых, характер повреждаемости и разрушения их и, в-третьих, предельные составляющие напряжений от сейсмических воздействий, которые, в принципе, могут превышать прочность горной породы. При этом необходимо учитывать, что в процессе разрушения геоматериалов от воздействия внешней нагрузки происходит генерация акустического (точнее сейсмического) и электромагнитного полей. С другой стороны, наблюдается изменение структуры среды - физических параметров горной породы. Физико-технические свойства горных пород существенно зависят и от внешних условий (полей). Особым механическим полем, оказывающим воздействие на свойства горных пород, является акустическое поле – распространение в горных породах упругих волн, по существу тех же механических нагрузок, быстро меняющихся по направлению, во времени и характеризующихся интенсивностью, амплитудой и частотой колебаний.

Укажем, что широко распространённые исследования, связанные с прогнозом землетрясений в сейсмоактивных регионах, достаточно далеки от получения конкретных результатов. Данная экспериментально-исследовательская работа ориентирована не на прогноз землетрясений, а на описание процессов разрушения вследствие этого явления.

Кроме того, изучая механические свойства горных пород, можно обосновано разработать рекомендации для добычи нефти, создания глубоких скважин, прокладки туннелей, бурения скальных пород и других подобных задач. К этим задачам примыкает определение при проектировании ГЭС (гидроэлектростанций) предельной нагрузки на основание, находящееся под телом плотины, в виде горной породы (скальной, глинистой, песчаной, песчано-глинистой или другой). Как следует из сказанного, рассмотрение процесса разрушения горных пород актуально при решении многих задач.

Механические свойства горных пород [1] характеризуют их поведение в различных силовых полях. Они подразделяются на ряд групп:

- прочностные, характеризующие предельное сопротивление пород под различного рода нагрузками;
- деформационные, характеризующие деформируемость пород под нагрузками;
- акустические, характеризующие условия передачи породами упругих колебаний;

- реологические, характеризующие деформирование пород во времени при заданных условиях нагружения.

Прочностные свойства определяют способность пород сопротивляться разрушению под действием приложенных механических нагрузок. Они характеризуются пределами прочности при сжатии и растяжении, сцеплением и углом внутреннего трения.

Пределом прочности R_c называют максимальное значение напряжения, которое выдерживает образец до разрушения:

$$R_c = \frac{F_c}{A_0},$$

где F_c – разрушающая нагрузка, A_0 – начальная площадь поперечного сечения, на которую действует приложенная нагрузка.

Предел прочности при одноосном сжатии образцов горных пород или, короче, прочность на сжатие R_c – наиболее широко определяемая характеристика прочности. Её наивысшие значения для горных пород достигают 490,33 МПа. Прочность на сжатие пород даже одного петрографического наименования в зависимости от состава и структуры может колебаться в весьма больших пределах. Так, показатель R_c для различных базальтов изменяется в диапазоне 29,42-490,33 МПа, гранитов – 36,28-372,6 МПа. Обычно прочность пород на сжатие тем выше, чем выше их плотность.

Надо отметить, что прочность на растяжение R_p горных пород значительно ниже их прочности на сжатие R_c . Это одна из наиболее характерных особенностей горных пород, определяющих их поведение в поле механических сил. Горные породы плохо сопротивляются растягивающим усилиям, появление которых в тех или иных участках массива при разработке служит критерием опасности обрушений.

Методика исследования предела прочности. При определении предела прочности на сжатие R_c образцов использовался государственный стандарт ГОСТ 21153.2-84 [2]. Он предназначен для установления характеристик горных пород применительно к расчётам и проектированию горных работ, оборудования, проведения исследовательских работ и сравнительных испытаний.

Были проведены серии экспериментов на ИС РАН в ЛМЭС г. Бишкек. При одноосном сжатии образцов использовалась рычажная установка для статических и динамических испытаний. На одном конце рычага данного рычажного пресса был подвешен груз в виде наполненной водой бочки, на которую периодически поступает вода, скорость натекания $V_{нат}$, которой для каждого эксперимента меняется. На другом конце рычага находится образец, который испытывает сжимающую нагрузку, меняющуюся в зависимости от изменения веса бочки. Для испытания изготовлены образцы горных пород мрамора месторождения Ак-Таш (Кыргызстан), гранит Каинды и габбро. Образцы горных пород имели форму параллелепипеда с размерами 80×40×20 мм. Для регистрации деформации горных пород использовались датчики LVDT. Процесс проведения эксперимента и применённое при этом оборудование подробно описано в [3].

Обработка результатов. По ГОСТ 21153.2-84 [2] и ГОСТ 12248-2010 [4] значение предела прочности R_{ci} в МПа для каждого i -го образца выборки вычисляется по формуле

$$R_{ci} = K_b \frac{F_{ci}}{A_0} 10 \quad (1)$$

где F_{ci} – максимальное усилие, предшествующее разрушению образца, кН;

A_0 – начальная площадь поперечного сечения образца, см²;

K_B – безразмерный коэффициент, который по ГОСТ 21153.2-84 [2] равен 1,000 при отношении высоты к диаметру или стороне квадрата $m=2\pm 0,05$. Для других значений отношения m коэффициент K_B устанавливают по таблице 2а ГОСТ 21153.2-84 [2]. Как отмечалось ранее, уже имеется определенный опыт по испытанию образцов горных пород прямоугольного поперечного сечения.

Если приравнять значение отношения m к значению отношения высоты к большой стороне прямоугольного сечения получаем:

$$m = \frac{80}{40} = 2$$

Итак, при $m = 2$ безразмерный коэффициент, K_B , равен 1,000.

Вычислив значения предела прочности R_{ci} в МПа для каждого испытанного образца по формуле (1), вставляем полученные данные в таблицу 1.

Таблица 1

Вид нагружения	Наименования горных пород		$V_{нат}$, мл/час	F_{ci} , кН	R_{ci} , МПа
Одноосное сжатие	Мрамор Ак-Таш	№1	670	51,871	64,839
		№2	740	90,552	113,19
		№3	780	110,71	138,388
Одноосное сжатие с ЭМВ	Мрамор Ак-Таш	№1	740	83,746	104,683
		№2	840	87,141	108,926
		№3	840-860	73,156	91,445
Одноосное сжатие	Гранит Каинда	№1	740	90,797	113,496
		№2	870	103	128,75
Одноосное сжатие с ЭМВ	Гранит Каинда	№1	640	101,14	126,4
		№2	840-860	93,235	116,544

Размеры образцов габбро (рёбра образца - параллелепипеда) имеют разные значения. С учётом длины образца и его поперечного сечения определен предел прочности (таблица 2).

Таблица 2

Вид нагружения	Наименования горных пород		Размеры образцов в мм	$V_{нат}$, мл/час	F_{ci} , кН	R_{ci} , МПа
Одноосное сжатие	Габбро	№1	74×40×19	840	127,51	135,26
Одноосное сжатие с ЭМВ	Габбро	№1	76,1×40,2×17,3	660	89,453	137,338
		№2	75×35,2×19	870	124,81	≈167,508

Заметим, что найдены не только значения предела прочности горных пород при испытании образцов на одноосное сжатие, но некоторые образцы были подвержены электромагнитным воздействиям (ЭМВ). На рисунке 1 показана зависимость нагрузки от времени и периоды электромагнитных воздействий на образец при испытании мрамора Ак-Таш №1. Серыми вертикальными линиями показаны области ЭМВ.

Выводы. При практическом применении оценки средней прочности по пробе возникает необходимость определения надёжности и погрешности результатов испытаний. Так как значение скорости нагружения образца меняется, невозможно определить надёжность результатов испытания. Но можно оценивать надёжность по ГОСТ 21153.2-84 [2], учитывая при этом изменчивость скорости нагружения. При этом для первых трёх экспериментов на мраморе месторождения Ак-Таш (Кыргызстан) параметр надёжности составил $\alpha = 44\%$. При расчётах следует принимать во внимание то обстоятельство, что

количество испытанных образцов для сравнительных опытов должно было быть не менее 10, а для массовых испытаний - не менее 6.

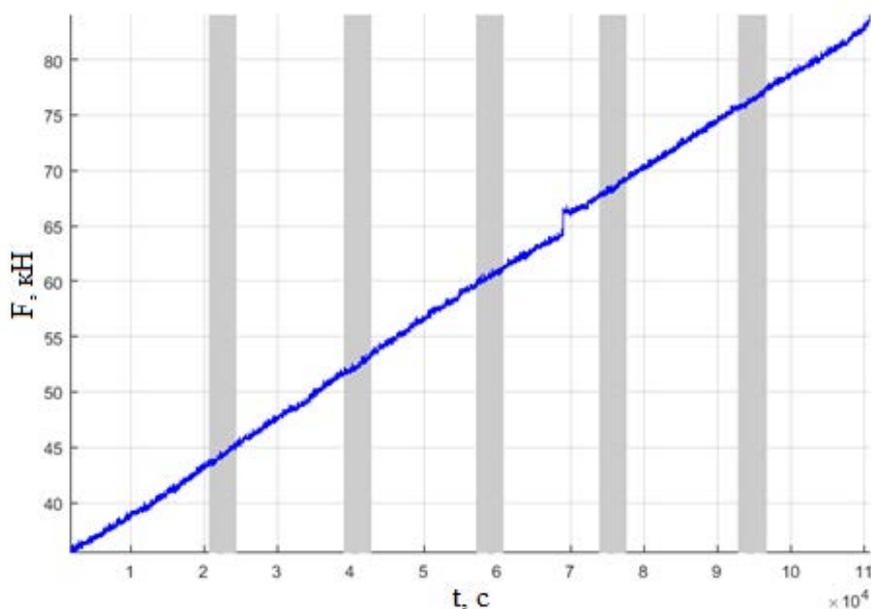


Рисунок 1 – График зависимости нагрузки от времени.

Таким образом, можно сделать следующие заключения:

- значение предела прочности тем больше, чем выше значение скорости нагружения;
- предел прочности мрамора больше чем у мрамора, испытанного на одноосное сжатие с ЭМВ при одинаковых скоростях нагружения.

Литература

1. Плотностные свойства горных пород // Студопедия - Ваша школопедия. Режим доступа http://studopedia.ru/8_18314_plotnostnie-svoystva-gornih-porod.html.
2. ГОСТ 21153.2-84 Методы определения предела прочности при одноосном сжатии. М.: Изд-во стандартов. 1984. 8 с.
3. Мубассарова В.А. Современные решения в задачах акустических и тензометрических измерений при испытании горных пород // Вестник КРСУ.2014. № 7. С. 73-76.
4. ГОСТ 12248-2010 Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. М.: Стандарт информ. 2012.

УДК 621.9.62.52(02)

УНИВЕРСАЛЬНАЯ АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПОДАЧЕЙ ИНСТРУМЕНТА ГИДРОСУППОРТА ТОКАРНОГО СТАНКА ПРЕДНАЗНАЧЕННАЯ ДЛЯ ЧЕРНОВОЙ И ЧИСТОВОЙ ОБРАБОТОК ДЕТАЛЕЙ

UNIVERSAL AUTOMATIC FEED CONTROL SYSTEM TOOLS HYDRAULIC CALIPER LATHE DESIGNED FOR ROUGHING AND FINISHING TREATMENT OF DETAILS

Молчанов И.В., Дартаев Б.К.

ivm121@mail.ru

КГТУ им. И. Раззакова, г. Бишкек, Кыргызская Республика.

Аннотация. В статье приведены материалы по разработке автоматической системы регулирования подачи инструмента гидросуппорта станка при токарной обработке с программным управлением. Разработаны принципиальная схема автоматической системы с дискретным регулированием подачи инструмента, математическая модель регулятора расхода и программное устройство, позволяющее устанавливать различные значения подач в зависимости от материала и размера обрабатываемой детали.

Ключевые слова: автоматическая система, гидросуппорт, подача, микроконтроллер, сервопривод.

Введение. Известно, что проблемным вопросом в машиностроении является повышение качества и производительности изготовления продукции. Её можно решить путём автоматизации технологических процессов. В частности, для изготовления качественных изделий при черновой и получистовой видах токарных обработках необходимо стабилизировать значение радиальной составляющей силы резания P_y путем регулирования подачи инструмента [1].

На рис.1 приведена принципиальная схема управления подачей инструмента гидросуппорта токарного станка с амплитудно-импульсным регулированием.

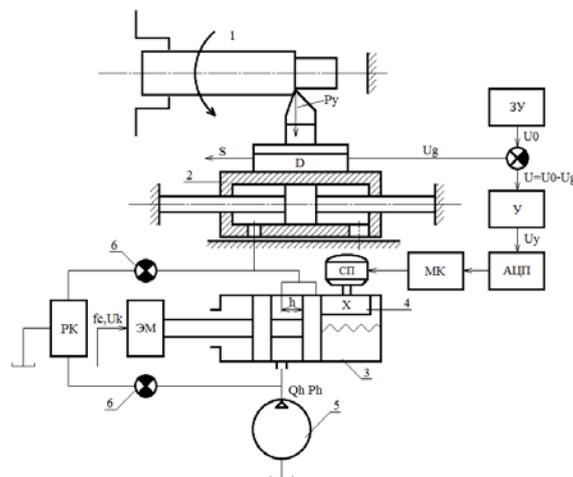


Рисунок 1 – Принципиальная схема управления подачей инструмента гидросуппорта токарного станка с амплитудно-импульсной регулировкой расхода.

1 - обрабатываемая деталь, 2 - гидросуппорт с инструментом, 3 - регулятор расхода, 4 - эксцентрик, 5 - насос, 6 - демпфер, P_y - радиальная составляющая силы резания, S - подача инструмента, D - силотметрический датчик, $ЗУ$ - задающее устройство, U_g и U_o - сигналы датчика и $ЗУ$, U - усилитель, U_y - усиленный сигнал, АЦП - аналогово-цифровой преобразователь, МК - микроконтроллер, СП - сервопривод, РК - редукционный клапан, ЭМ - электромагнит, h - величина открытия щели, Q_h , P_h - соответственно расход и давление.

Автоматическая система работает следующим образом. При возрастании радиальной составляющей силы резания (это может произойти по различным причинам: изменения твердости материала, припусков по длине обработки, износа резца, температурных деформаций и др.) изменяется выходной сигнал силотметрического датчика U_o , что приводит к изменению сигнала рассогласования U .

В связи с тем, что сигнал рассогласования U слаб по мощности, применен усилитель $У$. Сигнал от усилителя U_y поступает в АЦП, далее в МК, который управляет сервоприводом. При этом сервопривод поворачивает эксцентрик, имеющий соответствующий профиль, таким образом, чтобы уменьшить величину открытой рабочей щели регулятора расхода ровно на столько, чтобы подача инструмента гидросуппорта уменьшилась и радиальная составляющая сила резания P_y оставалась бы постоянной.

При уменьшении силы P_y , все процессы в автоматической системе происходят наоборот и в конечном итоге, за счет увеличения величины открытия щели регулятора расхода, подача инструмента возрастает ровно на столько, чтобы ее значение достигло заданного.

Формула для определения подачи инструмента S при наличии обратной связи примет следующий вид [2]:

$$S = \frac{Q}{F} - K_{yt} \frac{(P_x \pm \Delta P_x)}{F^2} \pm K_3 \Delta h, \quad (1)$$

где P_x - нагрузка в гидросуппорте; ΔP_x - изменение нагрузки в гидросуппорте; Δh - изменение щели регулятора расхода под действием электромеханической обратной связи, F – эффективная площадь поршня; K_{yt} – коэффициент утечек, зависящий от качества уплотнения.

$K_3 = \mu \pi d \sqrt{\frac{2g}{\gamma} \Delta P} \frac{\Delta t}{T} = const$ (2) - коэффициент усиления регулятора расхода, где $\mu = 0,65$ – коэффициент расхода; g – ускорение свободного падения; γ – удельный вес жидкости; ΔP – перепад давления на регуляторе; Δt – длительность дискретного расхода; T – период подачи расхода.

При увеличении нагрузки во втором члене уравнения ΔP_x будет иметь знак плюс, третий член - знак минус. При уменьшении нагрузки ΔP_x будет с минусом, а третий член уравнения будет иметь знак плюс.

При возрастании нагрузки в силовом цилиндре гидросуппорта станка, в нём увеличивается утечки, что приводит в начале к уменьшению величины подачи, но при этом за счет воздействия обратной электрогидравлической связи происходит увеличение проходной щели регулятора расхода на величину Δh , что способствует возрастанию расхода жидкости в силовой цилиндр ровно на столько, чтобы подача инструмента была бы стабильной.

С помощью программного задающего устройства представляется возможным в зависимости от производственной потребности, связанной с обработкой различных материалов при разных режимах, устанавливать заданные значения подач инструмента гидросуппорта и поддерживать их постоянные значения, что обеспечивает универсальность разработанной автоматической системы управления режимами работ станка.

Постоянство подачи инструмента в чистовых механических обработках позволяет существенно повысить качество изготовления изделий: точность геометрических размеров и чистоту обработанной поверхности [3].

Программное устройство автоматической системы. Программное устройство состоит из следующих элементов: усилитель, аналогово – цифровой преобразователь (АЦП), микроконтроллер и сервопривод. Его структурная схема показана на рис. 2.

В качестве управляющего элемента применён 8 - ми разрядный микроконтроллер AtMega16A. Структурная схема устройства приведена на рисунке 2.

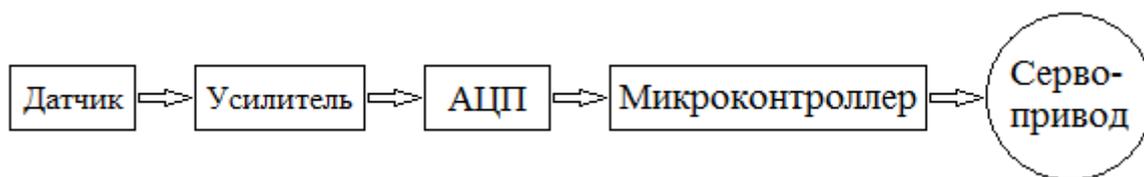


Рисунок 2 – Структурная схема устройства.

Усиленный аналоговый сигнал от датчика поступает на вход АЦП. АЦП преобразует значение напряжения входного сигнала в двоичное число, которое передаётся на микроконтроллер. Далее микроконтроллер осуществляет поворот оси двигателя на угол соответствующий значению, полученному от АЦП. Следует учесть, что АЦП работает в

пределе от 0 до 5 вольт. Более высокие значения напряжения будут считаться равными 5 вольт.

Сервопривод являет собой привод, имеющий в составе датчик положения и блок управления приводом, автоматически поддерживающий необходимые параметры на датчике согласно заданному внешнему значению. Получая на вход значение управляющего параметра, сервопривод, основываясь на показаниях своего датчика, стремится создать и поддерживать это значение на выходе исполнительного элемента. Угол поворота устанавливается с помощью сигнала с широтно – импульсной модуляцией (ШИМ) (Рис. 3).

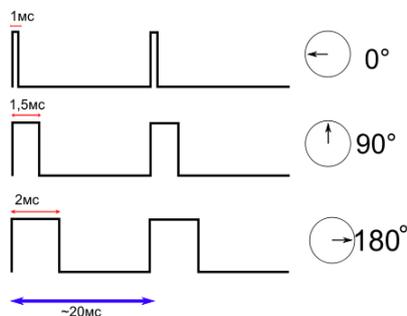


Рисунок 3 – Временные диаграммы ШИМ, и соответствующие им положения ротора сервомотора.

Блок – схема алгоритма работы программы приведена на рисунке 4. На каждом шаге цикла производится опрос АЦП с последующим вычислением скважности ШИМ сигнала. Для обеспечения нормальной работы программы после каждого преобразования осуществляется программная задержка, длительностью 0,01 сек.



Рисунок 4 – Блок – схема программы.

Принципиальная схема устройства приведена на рисунке 5.

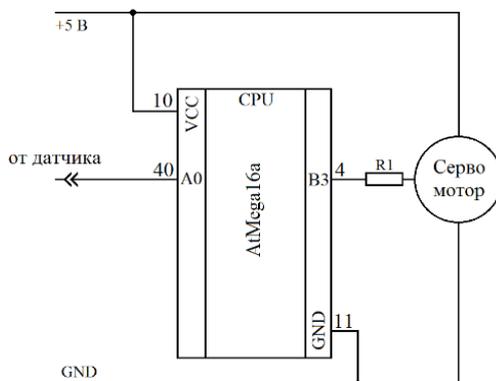


Рисунок 5 – Принципиальная схема устройства.

Функции блока управления выполняет микроконтроллер AtMega16A. На вывод 40 поступает сигнал от усилителя. На выводе 4 генерируется сигнал ШИМ, который через ограничительный резистор R1 560 Ом поступает на управляющий вывод сервомотора.

Выводы.

1. Разработана универсальная автоматическая система управления подачей инструмента гидросуппорта станка, позволяющая при её применении:
 - a. В черновой обработке – повышение стойкости инструмента.
 - b. При чистовой обработке – повышение точности геометрических размеров и чистоты поверхности изделий.
2. Разработанное программное устройство обеспечивает обработку детали из различных материалов и с разными геометрическими размерами.

Литература

1. Адаптивное управление станками / Под ред. Б.С. Балакшина. М.: Машиностроение. 1973. 688 с.
2. Ермаков В.В. Гидравлический привод металлорежущих станков. М.: Машиностроение. 2003. 223 с.
3. Резание металлов / Грановский Г.И. и др. М.: Машгиз. 1954. 401 с.

УДК 69.04

К ЗАДАЧЕ О МОДЕЛИРОВАНИИ И РАСЧЁТЕ ДВУХЭТАЖНОГО ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ЖИЛОГО ДОМА ДЛЯ СЕЙСМООПАСНЫХ РАЙОНОВ

ON THE PROBLEM OF MODELING AND CALCULATION OF ENERGY-EFFICIENT TWO-STOREY RESIDENTIAL BUILDING FOR EARTHQUAKE-PRONE AREAS

Ненахова И.В., Криулин Е.В.

irina-nenahova-v@mail.ru, zheka120295@gmail.com

Кыргызско – Российский Славянский университет, г.Бишкек, Кыргызстан

***Аннотация.** Рассмотрена задача моделирования и расчета двухэтажного энергоэффективного жилого здания для сейсмоопасных районов. Спроектирована и воплощена в металле модель. Произведена проверка устойчивости сооружения на все виды нагрузок.*

***Ключевые слова:** модель, напряжение, сейсмика, разрушение, устойчивость, каркас.*

Введение. Ежедневно в разных точках мира происходят катаклизмы техногенного и природного характера, одними из которых являются землетрясения. Уровень сейсмического риска возрастает наряду с появлением новых строительных технологий. Рост и развитие, населенных пунктов сопровождается повышением их уязвимости к воздействию стихийных бедствий и техногенных катастроф. Физические повреждения зданий, сооружений и систем жизнеобеспечения могут привести к резкому увеличению социальных и экономических потерь, поскольку очевидно, чем выше уровень экономического и социального развития территорий, тем сложнее связи в экономике и обеспечение жизнедеятельности населения региона. Кыргызская Республика находится в сейсмически активной зоне. Наиболее опасными считаются районы - Ысык-Кульская область, Чон-Алайские и Алайские районы

Алайской впадины. Проектирование сейсмостойких зданий и сооружений может производиться только на основе ожидаемых сейсмических воздействий, выраженных в параметрах сейсмического движения грунта.

Концепция сейсмоустойчивого строительства заключается в повышении несущей способности конструкции, использование материалов, обеспечивающих минимизацию их расходов. Масса сооружения оказывает существенное влияние – чем она меньше, тем объект является более устойчивым. Из опыта предыдущих землетрясений специалисты сделали ряд выводов - каркасные и каркасно-монолитные здания обладают значительной сейсмостойкостью, монолитные и крупнопанельные ограждающие конструкции на порядок выше по сейсмостойкости блочной или кирпичной кладки.

Постановка задачи. Рассматривается задача моделирования энергоэффективного двухэтажного каркасного здания для сейсмоопасных районов с расчетом несущего каркаса на сейсмическое воздействие.

При моделировании объекта (рис.1) составлялись критерии подобия, равенство которых обеспечивало подобие модели и натуре.



Рисунок 1 – Модель каркаса, выполненная в натуре.

При проектировании модели были использованы следующие критерии механического подобия:

- 1) Условие равенства максимальных относительных деформаций без ограничения жесткости системы:

$$\varepsilon_M \max = \varepsilon_H \max \quad (1)$$

где $\varepsilon_M \max$ и $\varepsilon_H \max$ - наибольшие относительные деформации в подобных точках модели и реального элемента конструкции.

- 2) Условие одинаковой жесткости без ограничения величин максимальных относительных деформаций:

$$f_M l_M = f_H l_H \quad (2)$$

где f_M и f_H – прогибы в подобных точках, l_M и l_H – пролеты модели и реальной конструкции.

Уравнение дает возможность определить характеристику жесткости реальной конструкции по результатам исследования жесткости модели. В общем случае максимальные относительные деформации в модели и в реальной конструкции в пределах упругой стадии выражаются следующим образом:

$$\begin{aligned} \varepsilon_M \max &= \frac{M_M e_M \max}{E_M I_M}, \\ \varepsilon_H \max &= \frac{M_H e_H \max}{E_H I_H}, \end{aligned} \quad (3)$$

где $\varepsilon_M \max$ – максимальная относительная деформация в модели; M_M – изгибающий момент от нагрузки в модели; $E_M I_M$ – жесткость поперечного сечения модели; $e_M \max$ – максимальное расстояние от центра тяжести до нижней грани модели; $\varepsilon_H \max$, M_H , $e_H \max$, $E_H I_H$, – соответствующие параметры натуральных размеров.

В связи с тем, что основная задача эксперимента – изучение работы и испытание модели на сейсмоплатформе, то в качестве основного критерия механического подобия было принято равенство относительных деформаций на нижней поверхности модели и реальной конструкции.

В исследуемом случае критерий равенства относительных деформаций можно представить следующим образом:

$$M_M = \frac{M_H E_M I_M e_H \max}{E_H I_H e_M \max}; \quad (4)$$

$$\alpha l_M * \frac{P_M}{2} = E_M I_M e_H \max E_H I_H e_M \max * \alpha l_H * \frac{P_H}{2};$$

$$P_M = \frac{P_H E_M l_H I_M e_H \max}{E_H l_M I_H e_M \max}; P_M = \mu n_p P_H, \quad (5)$$

где $0.5P_M$ и $0.5P_H$ – сосредоточенные силы моделируемой балки и балки в натуральную величину, μ – отношение модулей упругости материалов балок, $\mu = \frac{32.5 \text{ ГПа}}{28.5 \text{ ГПа}} = 1.14$,

$n_p = \frac{l_H I_M e_H \max}{l_M I_H e_M \max}$ – константа подобия по деформациям для данного случая нагружения.

$$n_p = 0.50 P_M = 0.478 P_H.$$

Относительная погрешность между максимальными относительными деформациями на нижней грани реальной конструкции и модели, которые определены по формулам, составляет 2,5%. Относительная погрешность по условию равенства прогибов реальной конструкции и опытной модели, которые определены по формуле, составляет 7,5%.

По результатам сравнения модели и реальной конструкции можно сделать вывод о возможности применения данной модели для изучения работы реальной конструкции, так как максимальные относительные деформации модели и конструкции в натуральную величину практически равны (погрешность составляет 2,5%). Кроме того, относительные прогибы модели и реальной балки различаются на 7,5%. При моделировании обязательно соблюдение хотя бы одного из условий. Но в данном случае погрешность по двум условиям находится в допустимых пределах. Поэтому данная модель наиболее точно отражает поведение реальной конструкции под нагрузкой.

Общие сведения. Сложные конструктивные решения современных зданий и сооружений, вызванные архитектурно-планировочными требованиями, необходимостью размещать тяжелое оборудование, высотностью зданий, большими пролетами,

изменяющимся по высоте объемом зданий и т. д., требуют формирования расчетных схем, отвечающих их реальной работе при сейсмических воздействиях.

В таких случаях создаются расчетные схемы, обладающие значительным числом степеней свободы даже при принимаемых упрощениях и, следовательно, формируются разрешающие системы уравнений с колоссальным числом неизвестных. В решении таких систем уравнений нельзя обойтись без применения современной вычислительной техники и специализированных программ. В настоящее время наиболее распространенный метод решения строительных (и не только) задач при помощи компьютерной техники – метод конечных элементов.

В случае сейсмического воздействия нагрузки на систему меняются во времени. Иными словами, имеем:

$$N = N(t) \quad (6)$$

Здесь под функциями времени следует понимать не только нагрузки, но и усилия и перемещения. Сказанным предполагается введение в рассмотрение скоростей $\frac{dZ}{dt}$ и ускорений $\frac{d^2Z}{dt^2}$ перемещений. Возникающие при этом инерционные силы будут равны

$$I(t) = M \frac{d^2Z}{dt^2}, \quad (7)$$

где M - масса, Z - перемещение.

Очевидно, что силы инерции не могут считаться пренебрежимо малыми по сравнению с нагрузками на систему и силами упругости и их следует учитывать при составлении условий равновесия, которые принимают вид дифференциальных уравнений.

Для расчета сейсмостойкости был использован метод конечных элементов для каркасного здания в программе Scad.

Для расчетов на динамические воздействия необходимо подготовить данные о вариантах динамических нагружений и задать для каждого из этих нагружений набор характеристик соответствующего воздействия, порождающего колебания системы. Динамические нагружения должны учитывать инерционные силы. Эти силы связаны с узловыми сосредоточенными массами и массами, расположенными на элементах системы. Учитываемое направление действия инерционных сил должно соответствовать поступательным динамическим степеням свободы, отвечающим граничным условиям и признаку схемы. Допускается использование различных инерционных характеристик в разных нагружениях (например, исследуется движение системы с временными нагрузками и без).

При задании инерционных свойств узлов в соответствующем окне необходимо задать массу и направление, в котором будут учитываться создаваемые ею силы инерции при расчете. При учете масс в элементах есть возможность принять во внимание распределенные и сосредоточенные массы. Здесь требуется указать значения массы и ее привязку. Задание масс возможно путем ссылки на статическое нагружение, все местные нагрузки которого интерпретируются как значения масс, расположенные на элементах. Может создаться впечатление, что в этом случае присоединенные нагружения участвуют в расчете дважды – и как статические, и как динамические, но это не так, поскольку в динамическом нагружении они только формируют инерционные силы, не действуя на конструкцию непосредственно.

Характеристики динамических воздействий назначаются в группе диалоговых окон, в представленном перечне динамических нагрузок следует выбрать сейсмическое воздействие по СП 14.13330.2011 (расчет по СП 14.13330.2014 еще не реализован).

Необходимо преобразовать имеющиеся нагрузки с учетом коэффициента пересчета.

Преобразование статических нагрузок в массы здесь происходит по следующим правилам:

- все местные нагрузки на элементы приводятся к узловым;
- из полученных таким образом приведенных узловых сил остаются только узловые нагрузки по направлению Z ;
- знак вычисленной нагрузки игнорируется.

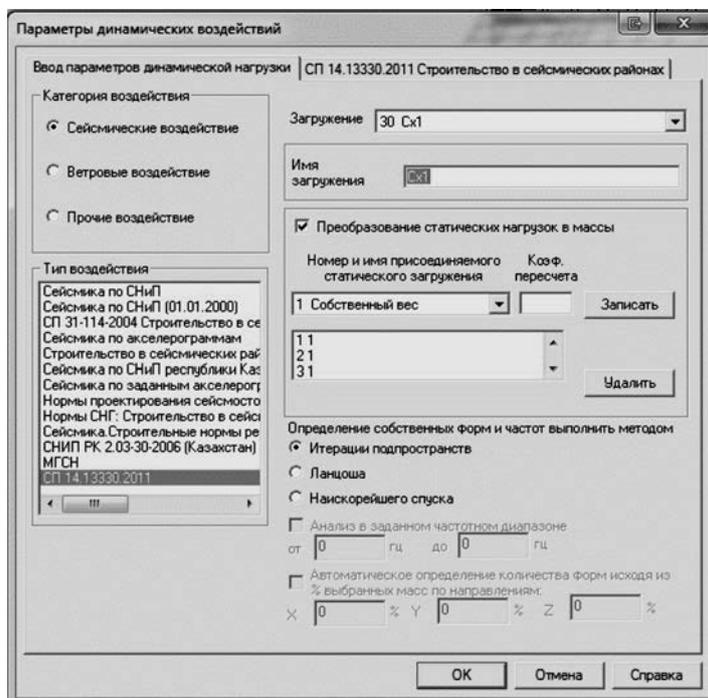


Рисунок 2 – Окно «параметры динамических воздействий».

Определение собственных форм и частот может быть выполнено различными методами: итерацией подпространств; Ланцоша, наискорейшего спуска.

Непосредственно для сейсмических нагружений во вкладке «СП 14.13330.2011 Строительство в сейсмических районах» задаются следующие данные.

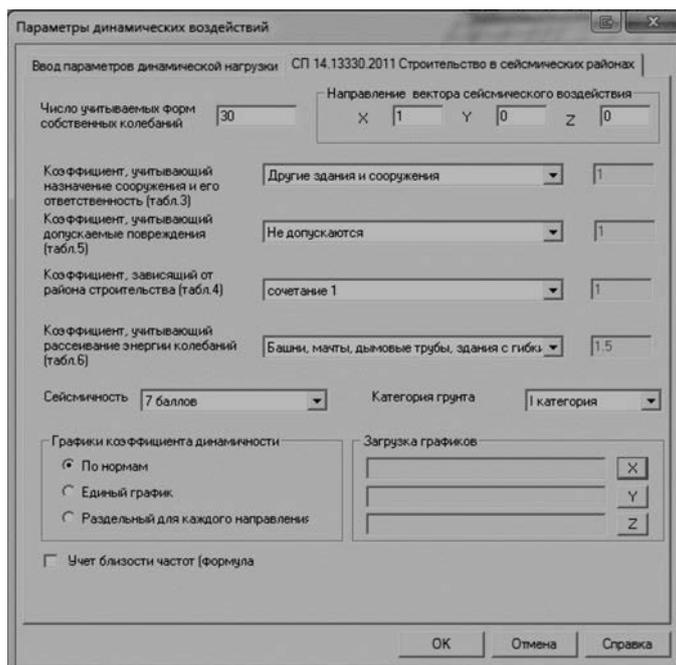


Рисунок 3 – вкладка «СП 14.13330.2011 Строительство в сейсмических районах».

1. Число учитываемых форм собственных колебаний. Выбор числа учитываемых форм зависит от конкретной задачи. Необходимо учесть наиболее опасные формы, например, крутильные, которые могут вызвать обрушение сооружения. Имеется эмпирическое правило – для системы с n динамическими степенями свободы надежно вычисляются примерно $n/2$ первых частот и форм собственных колебаний. Бывают случаи, когда первые собственные частоты связаны с формами колебаний, которые не возбуждаются действующей нагрузкой. Это заставляет увеличивать n ;
2. Направление вектора сейсмического воздействия. Указываются косинусы углов с осями X, Y, Z , например, при $x = 1, y = 0$ и $z = 0$ сейсмическое воздействие будет направлено вдоль оси x ;
3. Коэффициент, учитывающий назначение сооружения и его ответственность (согласно табл. 3 СП 14.13330.2011). Выбирается тип сооружения из всплывающего списка;
4. Коэффициент, учитывающий допускаемые повреждения, – в соответствии с табл. 5 СП 14.13330.2011;
5. Коэффициент, зависящий от района строительства, – согласно табл. 4 СП 14.13330.2011. Выбирается из всплывающего списка;
6. Коэффициент, учитывающий рассеивание энергии колебаний, – в соответствии с табл. 6 СП 14.13330.2011;
7. Сейсмичность – задается сейсмичность площадки строительства;
8. Категория грунта. Согласно нормативным документам при «плохих» грунтах может производиться корректировка сейсмичности площадки строительства;
9. Выбирается применяемый график для коэффициента динамичности. Для расчета по СП необходимо выбрать «по нормам». Кроме того, есть возможность загрузить свои графики для коэффициента динамичности;
10. Учет близости частот – при необходимости учета близких по значениям частот собственных колебаний системы.

Также в ЭВК SCAD предусмотрена возможность расчета на сейсмические воздействия по акселерограммам.

В результате выполненных расчетов, возможно, получить формы собственных колебаний системы, а также деформации схемы и усилия или напряжения в ее элементах. В дальнейшем следует выполнить прочностные расчеты сечений всех элементов, а также оценить деформативность системы в сравнении с требованиями нормативных документов.

Выводы.

1. Разработана в рамках теории подобия и размерности модель энергоэффективного каркасного здания, пригодная для испытаний на сеймоплатформе.
2. Реализована схема загрузки с учетом статического приложения нагрузок и сейсмического воздействия.
3. Получены конкретные численные результаты. Положено, что с теоретической точки зрения каркас здания удовлетворяет требованиям сейсмобезопасности.

Литература

1. Бокарев С.А., Ефимов С.В. Вопросы подобия усиленных железобетонных балок при экспериментах на уменьшенных масштабных моделях // Наукоедение: Интернет-журнал. 2014. Вып. 5 (24), сентябрь – октябрь. С. 1-12. <http://naukovedenie.ru>.
2. Саркисов Д.Ю. Сейсмостойкость зданий и сооружений. Л.: ТГАСУ. 2015. 156 с.
3. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. М.: Наука. 1977. 440 с.

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ УСИЛИЯ И ПОДАЧ ГИДРОПРИВОДА СИЛОВОЙ ГОЛОВКИ

THE DEVELOPMENT OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS AND EFFORTS TO FEED THE HYDRAULIC DRIVE POWER HEAD

Нехорошева К.В., Муслимов А.П.

kristi_37994@mail.ru

Кыргызско-Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызстан

***Аннотация.** В данной статье рассматриваются вопросы разработки гидравлического привода с регулированием режимов работы в зависимости от изменяющихся внешних воздействий. Приведены результаты разработки способов автоматической стабилизации и регулирования скоростей движения исполнительных органов гидропривода металлообрабатывающих станков и другого оборудования, которые позволяют обеспечить оптимальное управление технологическими процессами в изменяющихся условиях работы.*

***Ключевые слова:** гидравлическая силовая головка, чистовая обработка, черновая обработка, динамика, регулирующий клапан.*

Одной из проблем, возникающих при обработке металлов давлением в гидропрессах, является переменность усилия и подачи инструмента, что не всегда обеспечивает изготовление качественного изделия, то есть структура и физико-механические свойства не соответствуют необходимым требованиям. Поэтому разработка автоматической системы регулирования усилия и подачи инструмента является актуальной задачей, требующей эффективного решения.

В развитых странах машиностроительная промышленность является основой развития экономики. Поэтому к уровню станкостроения предъявляются очень серьезные требования, главными из которых являются:

- обеспечение необходимой точности;
- высокая производительность;
- большой срок службы;
- простота конструкции;
- удобство обслуживания и т.д.

Во многих станках в качестве исполнительного органа широко применяется гидравлический привод. Гидравлический привод также находит применение во многих отраслях машиностроения, в горной и строительной технике и т.д. В настоящее время трудно назвать область техники, где нельзя было бы эффективно использовать те или иные свойства гидравлического привода.

Большие эксплуатационные достоинства, широкие потенциальные возможности, быстрое действие и высокий коэффициент полезного действия (КПД) гидравлического привода делают его почти универсальным средством автоматизации технологических процессов. [1]

Применение гидравлического привода в станкостроении очень разнообразно. Он используется, в частности, в агрегатных станках, автоматических линиях, станках с программным управлением. А в станках некоторых групп (протяжные, шлифовальные) он почти полностью вытеснил приводы других типов. В последнее время гидравлический привод находит применение в синхронизирующих устройствах, в системах путевого

При черновой обработке краны 4, 7, 10 и дроссель 12 открыты, а краны 3 и 13 закрыты.

Чтобы исключить поломку режущего инструмента при увеличении сил резания, необходимо мгновенно и существенно понизить скорость подачи. Это обеспечивается следующим образом. При возрастании нагрузки в силовом цилиндре давление рабочей полости возрастает. Возросшее давление P_y , воздействуя на золотник регулирующего клапана, перемещает его вправо, при этом величина открытия рабочей щели h уменьшается, и расход, поступающий в силовой цилиндр, также уменьшается, что ведет к еще большему снижению скорости подачи инструмента, и предотвращается возможность его поломки.

Таким образом, разработанная гидравлическая схема обеспечивает автоматическое регулирование режимов работы.

Для оценки работоспособности универсальной силовой головки необходимо вначале провести динамическое исследование основных элементов системы: силового цилиндра и регулятора расхода.

Динамика силового цилиндра

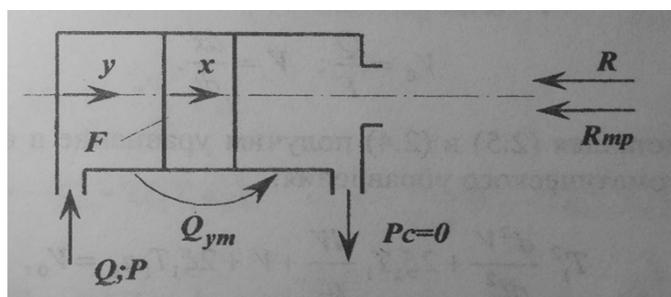


Рисунок 2 – Расчетная схема силового цилиндра

Уравнение равновесия всех сил, действующих на поршень, составленное в соответствии с принципом Д'Аламбера:

$$P \cdot F = M(d^2x)/(dt^2) + R + R_{mp}; \quad (1)$$

где: R , R_{mp} – активные силы: полезная нагрузка и сила трения; M – масса движущихся частей; x – перемещение поршня.

Уравнение связи жидкости поршня:

$$P \times F = K_{ж}(y - x); \quad (2)$$

где: $K_{ж}$ – коэффициент жесткости гидравлической жидкости; y – координата рабочей жидкости.

Уравнение, выражающее принцип неразрывности потока рабочей жидкости:

$$Q = F \frac{dx}{dt} + F \frac{d(y-x)}{dt} + K_y P; \quad (3)$$

После всех преобразований и подстановок получаем уравнение в форме, принятой в теории автоматического управления:

$$T_1^2(d^2V)/(dt^2) + 2\varepsilon_1 T_1 dV/dt + 2\varepsilon_1 T_1 a_0 = V_0; \quad (4)$$

где: T_1 – постоянная времени, характеризующая инерционность системы; ε_1 – коэффициент относительного демпфирования; a_0 – отношение сил к массе движущихся частей; V_0 – установившееся значение скорости движения поршня

Решение уравнения (4) выражается по формуле:

$$V = e^{-\frac{\varepsilon_1 t}{T_1}} (c_1 \cos \omega t + c_2 \sin \omega t) + V_0 - 2\varepsilon_1 T_1 a_0 \quad (5)$$

При $t = 0$; $V = 0$; $\frac{dV}{dt} = 0$:

$$c_1 = -(V_0 - 2\varepsilon_1 T_1 a_0) \quad (6)$$

$$V = (V_0 - 2\varepsilon_1 T_1 a_0) \cdot (1 - e^{-\frac{\varepsilon_1 t}{T_1}} (\cos \omega t + \varepsilon_1 / (T_1 \omega) \sin \omega t)); \quad (7)$$

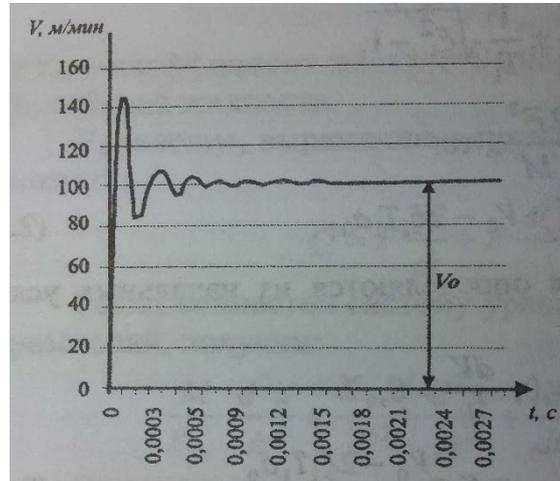


Рисунок 3 – График разгона и торможения силового цилиндра при резке, мгновенной подаче расхода в силовой цилиндр ($t_{\text{разгона}}=0,0023$ с)

Динамика регулирующего клапана

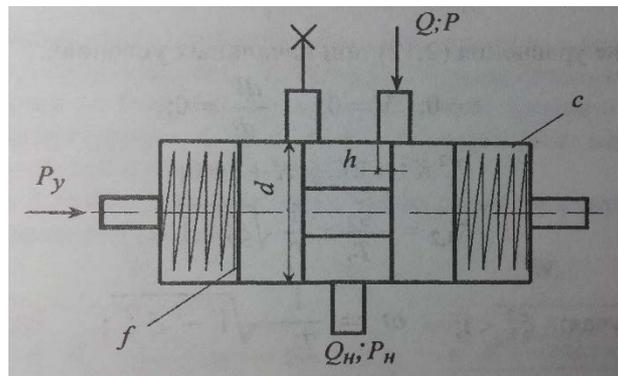


Рисунок 4 – Расчетная схема

Дифференциальное уравнение движения золотника регулирующего клапана, имеет вид:

$$m(d^2h)/(dt^2) + vdh/dt + (K_r + c)h = P_y f; \quad (8)$$

где: m – масса золотника; K_r – коэффициент пропорциональности гидродинамической скорости; v – коэффициент вязкого трения, зависящий от сорта масла; f – площадь торца клапана; P_y – давление, действующее на поршень регулирующего клапана.

Введем обозначения:

$$T_2 = \sqrt{\frac{m}{K_r + c}}; \quad \varepsilon_2 = \frac{v}{2\sqrt{m(K_r + c)}}; \quad K_2 = \frac{f}{K_r + c}; \quad (9)$$

Тогда уравнение примет вид:

$$T_2^2(d^2h)/(dt^2) + 2T_2\varepsilon_2 dh/dt + h = P_y K_2; \quad (10)$$

Решение уравнения:

$$h = P_y K_2 \left[1 - e^{-\frac{\varepsilon_2 t}{T_2}} (\cos \omega t + \varepsilon_2 / (T_2 \omega) \sin \omega t) \right] \quad (11)$$

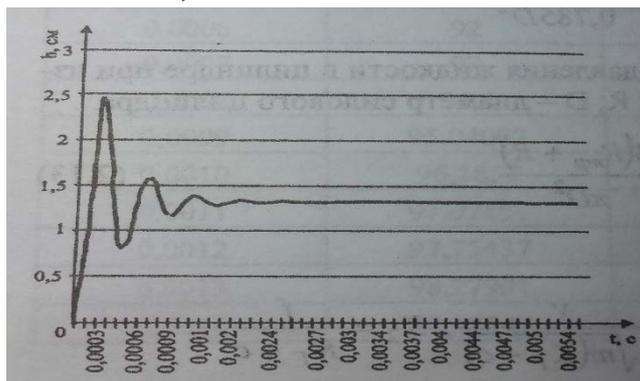


Рисунок 5 – График стабилизации величины открытия рабочей щели регулирующего клапана при изменении давления в силовом цилиндре: $t=0,0048$ с; $m=1,3079$ см

Выводы. Таким образом,

- Разработанная универсальная гидравлическая автоматическая система применительно к гидравлическим силовым головкам агрегатных станков и автоматических линий позволяет путем переключений аппаратуры в гидропанели устанавливать режимы работ как для черновой, так и для чистовой видов обработок.
- Установлено, что введение обратных связей как «на входе», так и «на выходе» обеспечивает стабильные режимы работ независимо от колебания нагрузки.
- Полученные уравнения позволяют рассчитать основные параметры системы, которые должны быть уточнены после проведения динамических исследований.

Литература

1. Ачеркан Н.С. Металлорежущие станки. Т. 2. М.: Машиностроение. 1994. 764 с.
2. Навроцкий К.Л. Теория и проектирование гидро- и пневмоприводов. М.: Машиностроение. 1990. 384 с.
3. Балахшин Б.С. Металлорежущие станки с адаптивной системой управления. М.: Машиностроение. 1992. 688 с.

УДК 621.9.62.52(02)

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ОБРАБОТКИ НЕЖЕСТКИХ ВАЛОВ

DEVELOPMENT OF THE AUTOMATIC PROCESS CONTROL SYSTEM HANDLING OF NON-RIGID SHAFT

Ничков В.Н., Шакенова Ж.Н.

Vadim_123_111@mail.ru

Кыргызский Государственный Технический Университет им. И. Раззакова, г.Бишкек,
Кыргызстан

Аннотация. В статье приведены материалы по разработке новой технологии обработки нежестких валов предусматривающей автоматическое управление значением радиальной составляющей силой резания при токарной обработке с целью получения стабильного

значения величины отжатия инструмента по всей длине обрабатываемой детали, что позволяет за один проход обработать деталь с заданной точностью.

Ключевые слова: автоматическая система, прогиб, подача инструмента, микроконтроллер, крутящий момент, сила.

Введение. Известно, что существующая технология обработки нежестких валов длина которых превышает в десять раз диаметр, имеет ряд недостатков, главными из которых являются: низкая производительность и высокая себестоимость изделия. Поэтому разработка новой технологии обработки с использованием автоматики является актуальной задачей.

Разработка автоматической системы обработки нежестких валов предусматривает решение следующих задач:

1. Изучение процесса резания при точении;
2. Разработка математической модели прогиба детали в процессе резания;
3. Разработка программы для компьютерного микропроцессорного управления величиной подачи инструмента.

Силой сопротивления резанию называется суммарная равнодействующая всех сил, действующих на резец со стороны обрабатываемого металла. Распределение сил резания при точении [1] (рис 1).

Равнодействующая силы резания R разлагается на три составляющих P_x , P_y , P_z , где P_x - осевая сила (сила подачи), параллельна оси детали; P_y - радиальная сила, действующая в плоскости, перпендикулярной оси детали; P_z - тангенциальная сила, действующая в плоскости главного движения.

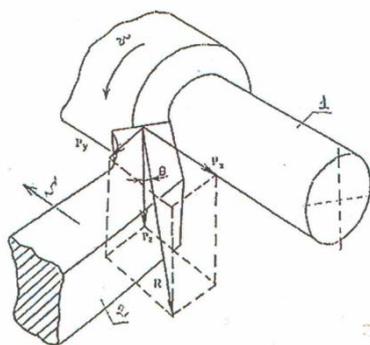


Рисунок 1 – Разложение силы резания R на три составляющие
1- Обрабатываемая деталь; 2- резец.

Действие сил резания на систему: инструмент – заготовка - станок. Сила резания P_z , изгибает резец в вертикальной плоскости, сила P_y , стремится как бы оттолкнуть резец от заготовки, сила P_x стремится изогнуть резец в горизонтальной плоскости и вывернуть из резцедержателя.

Три указанные составляющие взаимно перпендикулярны поэтому величина и направление равнодействующей силы определяется как диагональ параллелепипеда

$$R = \sqrt{P_z^2 + P_y^2 + P_x^2} \quad (1)$$

При этом, величина силы P_z определяет крутящий момент резания, по которому рассчитываются: мощность станка, параметры зубчатых колес и валов механизма скоростей станка и параметры корпуса режущего инструмента. От величины силы R зависят: прогиб обрабатываемой детали и ее точность, параметры деталей механизма поперечной подачи. Величина силы P_x является исходной для расчета параметров деталей механизма продольной подачи станка. Кроме этого, составляющие силы резания используются при расчетах параметров шпиндельного узла и жесткости станка [2].

Нас интересует сила P_y , от величины которой и жесткости системы зависит точность диаметрального размера изделия, что требует разработки математической модели для определения величины прогиба изделия по его длине в процессе резания.

Для обоснования влияния на силы резания P_y параметров: глубины резания t и подачи s нами были проведены опыты по обработке заготовки (материал стр.45) на токарном станке 1К62 при различных значениях переменных: $t = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ мм; $S = 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6$ мм/об.

Для измерения составляющей силы резания был применен силаметрический датчик ДСР-1, разработанный на кафедре «Автоматизация и робототехника» Кыргызского Государственного технического университета. Вначале устанавливаем среднюю величину подачи $S=0,3$ мм/ об и производим измерение сил резания при разных значениях глубины резания, затем проводим другой опыт уже при среднем значении глубины резания, но при различных значениях подачи.

Результаты опыта приведены в таблице 1

Таблица 1 – Показания силаметрического датчика от подачи инструмента

t , мм	1	2	3	4	5	6
P_y , кг	40	80	125	150	175	250
s , мм / об	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
P_y , кг	28	35	65	80	97	130

Результаты опыта, приведенные в таблице 1 показывают, что зависимость $P_y = f(t, s)$ с достаточной точностью для практики может быть аппроксимирована следующей формулой:

$$P_y = t^x s^y \quad (2)$$

где среднее значение величины x в справочниках по технологии машиностроения обычно принимается равным единице, что согласуется с данными экспериментов, а среднее значение показателя подачи $y = 0,75$ по тем же результатам вышеприведенных опытов.

Таким образом можно считать, что радиальная составляющая сила резания равна

$$P_y = C t s^{0.75} \quad (3)$$

где C – коэффициент, характеризующий физико – механические свойства металла и условия обработки, его значения представлены в справочниках.

При выводе формулы P_y сделаны следующие допущения: показатели t и s выбраны таким образом, что сила P_y пропорциональна по глубине среза и не пропорциональна подаче.

На основании результатов проведенных опытов можно сделать вывод о возможности создания автоматической системы управления по подаче величиной радиальной составляющей силы резания для получения стабильных значений прогиба нежестких валов по его длине обработки.

Влияние скорости резания на радиальную составляющую силы резания P_y . Для исследования этого процесса были проведены эксперименты на токарном станке 1К 62 по обработке детали при различных скоростях резания с использованием датчика ДСР-1 для регистрации значения P_y . Скорость резания рекомендуется рассчитывать по следующей формуле:

$$V = \frac{G_u}{T^m t^{X_u} S^{Y_u}} K_u \quad (4)$$

где G_u – коэффициент, зависящий от материала заготовки и условий обработки; T – стойкость режущего инструмента в мин.; m - показатель относительной стойкости; t - глубина резания в мм; S - подача в мм/об; X_u , и Y_u , - показатели степеней; K_u - общий поправочный коэффициент на изменение условий обработки.

С другой стороны скорость резания является чисто кинематической величиной и вычисляется формулой:

$$V = \frac{\pi d n}{1000} \quad (5)$$

где d - диаметр обрабатываемой детали, в мм; n - число оборотов детали, в об/мин,

Хотя под скоростью резания понимается физическая величина, зависящая от ряда факторов: качества материала, инструмента, геометрии реза, размерами среза, температурой резания и т.д.

Нами было проведено исследование влияния на радиальную составляющую силу резания кинематической составляющей скорости резания, т.е. с помощью перенастроек коробки скоростей устанавливались различные скорости вращения детали при постоянных значениях: значений подачи и глубины резания ($t = 2\text{мм}$, $S = 0,3\text{ мм/об}$) и фиксировались при этом значения P_y .

Результаты испытания приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Расчёт силы резания от подачи

V м/мин	20	40	80	120	160	200	240
P_y кг	115	165	135	118	115	115	118

Из результатов, приведенных в табл.2, видим, что с увеличением скоростей резания от 20 м/мин до 50 м/мин сила резания возрастает, дальнейшее увеличение скорости резания от 50 м/мин до 120 м/мин приводит к его уменьшению и начиная с 160 м/мин, она стабилизируется.

Таким образом, эту закономерность можно также использовать для регулирования радиальной составляющей силы резания при обработке нежестких валов изменяя скорость вращения заготовки по длине обработки.

Математическая модель прогиба нежесткого вала. При составлении математической модели было проведено обоснование учёта и пренебрежения факторов, влияющих на точность расчёта:

1. Расчётная схема для определения прогиба нежесткого вала под действием радиальной составляющей силы резания P_y представлена как балка на двух опорах (рис. 2);
2. Жёсткость обрабатываемой детали по всей длине является одинаковой;
3. Пренебрегаем погрешностью формы, радиальным смещением центра масс по всей длине изделия и изгибающим моментом, поскольку зажимной патрон передаёт только крутящий момент для его вращения.

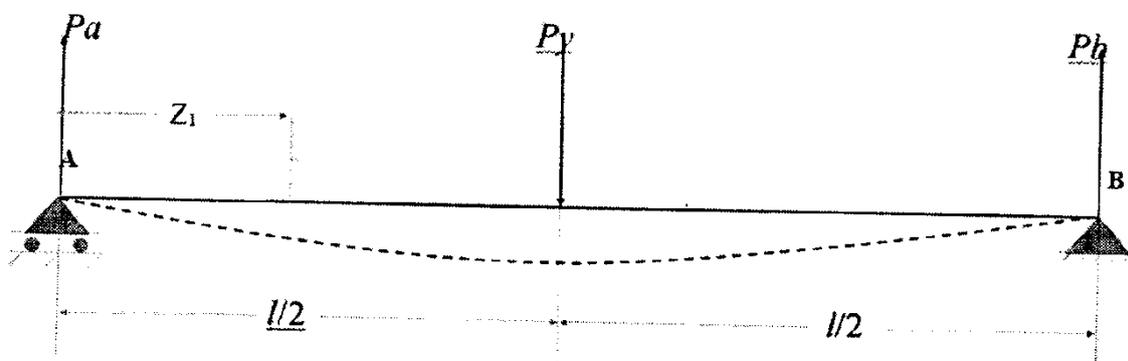


Рисунок 2 – Расчётная схема подачи инструмента токарного станка.

1. Находим реакции на опорах А и В;
2. Реактивные силы равны $R_A = R_B = P_y/2$;

3. Находим значение изгибающего момента в сечении $Z_1; 0 \leq Z_1 \leq l/2$;

Предотвращение прогиба при помощи изменения скорости подачи инструмента.

Расчёт подачи рассчитывается по ниже приведенной формуле (6)

$$S^{0.75} = \frac{V * 48E * Jx}{Cру * t^{0.9} [4x^2 - 8(z - 0.5) - 3l^2 * z]} \quad (6)$$

где Jx – момент инерции; V – скорость резания; $Cру$ – коэффициент зависящий от материала; E – модуль упругости материала

Таблица 3 – Пример расчёта

Zмм	10	50	130	200	270	350	390
S мм/об	1.44008	0.0715	0.0177	0.01369	0.0177	0.0715	1.44008

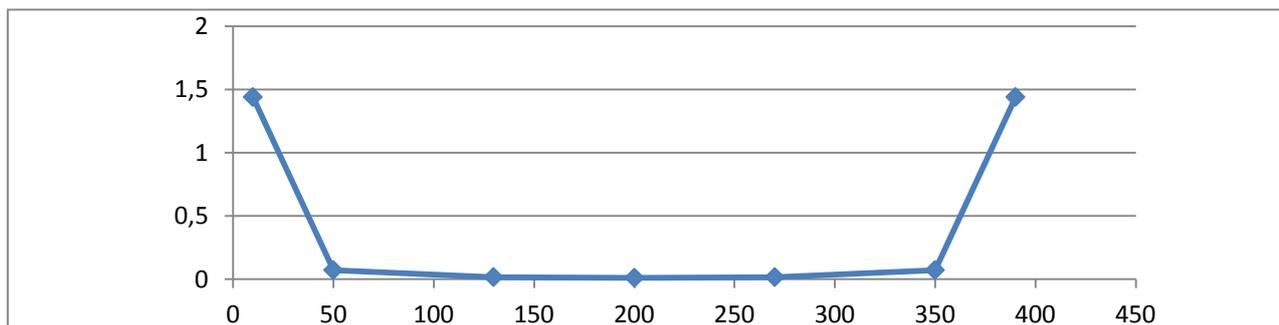


Рисунок 3 – График зависимости скорости подачи от положения инструмента.

Предотвращение прогиба при помощи изменения скорости вращения заготовки.

Во втором способе используется метод увеличения скорости вращения заготовки для предотвращения прогиба, рассчитывается следующим образом:

$$V = \left[\frac{F * 3 * E * J * L}{Cру * t^{0.9} * S^{0.75} * z^2 * (l - z)} \right]^{-\frac{10}{3}}$$

Таблица 4 – Пример расчёта

Zмм	5	10	20	40	80	100
V мм/мин	1,92	179,5	15340	1086823	50350881	144948997

150	200	250	300	320	360
641625067	986595871	641625067	144948997	50350881	1086823

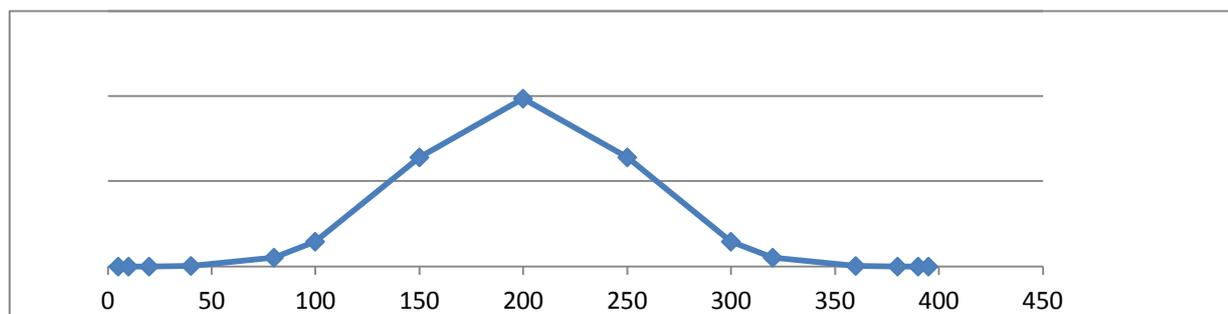


Рисунок 4 – График зависимости скорости резания от положения инструмента.

Управляющее устройство. В качестве управляющего устройства используется программируемый микроконтроллер Atmega8 производства Atmel, способный на физическом уровне управлять различными электрическими процессами средствами специализированного периферийного и вспомогательного оборудования такими как АЦП, ЦАП, сдвиговыми регистрами, мультиплексорами, дешифраторами, а также управление реле, шаговыми моторами.

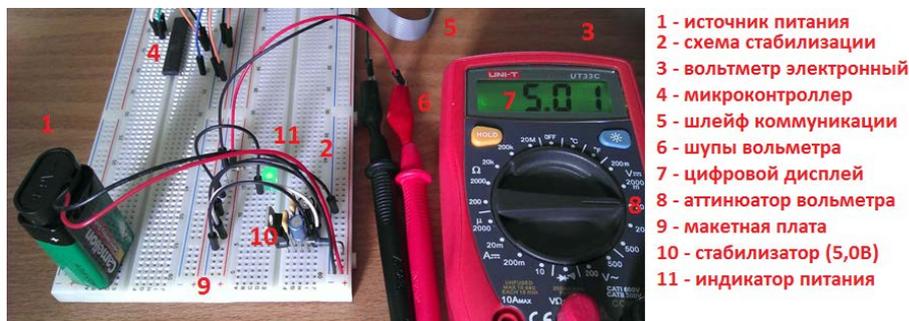


Рисунок 5 – Управляющее устройство.

В качестве устройства регулирующего скорость подачи инструмента используется электромагнит, управляющей клапаном гидропоршня (чем сильнее магнитное поле электромагнита, тем сильнее он тянет заслонку на клапане и тем сильнее давление на поршень, что приводит к подаче инструмента). Регулируя величину магнитного поля электромагнита можно регулировать подачу.

Алгоритм работы микроконтроллера заключается в следующем:

- При запуске программа на микроконтроллере начинает ожидать данные с компьютера.
- При получении данных они передаются в схему формирования аналогового сигнала и поступают в управляющее устройство.



Рисунок 6 – Алгоритм формирования аналогового сигнала.

Ниже представлена структурная схема устройства.

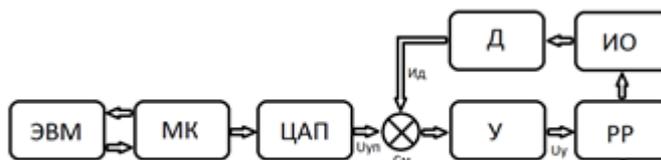


Рисунок 7 – Структурная схема устройства.
 ЭВМ – Электронно вычислительная машина
 МК – микроконтроллер

ЦАП – цифро аналоговый преобразователь

См – сумматор

У – усилитель

РР – Регулятор расхода

Д – датчик

ИО – исполняющий орган

В приложении на ЭВМ вносятся данные о материале заготовки, длины и ее диаметре. Параметры рассчитываются для каждого заданного шага, в цикле до завершения длины заготовки, после каждого цикла расчёта данные для конфигурации передаются в микроконтроллер (МК), который в свою очередь принятые данные преобразует в аналоговую величину (напряжение заданной величины), которое в дальнейшем усиливается усиливающим устройством (У) и усиленный сигнал передается на устройство, управляющее исполнительным органом.

Напряжение от ЦАП суммируется с напряжением от датчика Д, и через усилитель поступает на регулятор расхода.

Заключение. Данная разработка является перспективной для машиностроительной промышленности и имеет следующие преимущества:

- Данная разработка является гибкой (позволяет обрабатывать различные виды нежестких валов путем регулирования подачи инструмента или скорости вращения заготовки).
- Данная разработка является легко реализуемой и недорогой для производства.

Литература

1. Балакшин Б.С. Адаптивное управление станками. М.: Машиностроение. 2004. 190 с.
2. Ермаков В.В. Гидропривод метало режущих станков. М.: Машиностроение. 2007. 170 с.

УДК 539.3

О КРИТЕРИИ ПЛАСТИЧНОСТИ ПРИ РАСЧЕТЕ ТОЛСТОСТЕННЫХ ТРУБ

ABOUT PLASTICITY'S CRITERIA IN CALCULATION OF THICK-WALLED PIPES

Резин П.М.

rezinpm@gmail.com

Кыргызский Государственный Технический Университет, г. Бишкек, Кыргызстан

Аннотация. В данной статье приведена методика решения задачи упругопластического деформирования толстостенной трубы в случае идеальной пластичности на основе условия пластичности М.Я. Леонова.

Ключевые слова: задача Ламе, условие текучести, напряженно-деформированное состояние, толстостенная труба, пластическая деформация.

Рассмотрена задача Ламе о напряженном состоянии толстостенной трубы, подвергнутой внутреннему давлению. Это задача возникает, в частности, при автофретировании труб. При сопоставлении теоретических и экспериментальных исследований в указанном направлении установлено следующее. Классическое решение Ламе в случае наличия в трубе зоны пластической деформации материала не соответствует в достаточной мере эксперименту. По теории зоны упругости и пластичности в поперечном

сечении трубы разделены концентрической окружностью. Радиус этой окружности и возникающие напряжения зависят от принимаемого условия текучести. При определенном соотношении между пределами текучести при растяжении и чистом сдвиге критерии текучести Губера–Мизеса и Треска-Сен-Венана совпадают. Использование критерия Губера-Мизеса продемонстрировано, например, в монографии [1], а критерий Треска-Сен-Венана использован при реализации модели Христиановича-Шемякина [2].

В действительности область пластической деформации и величины напряжений на ее границе заметно зависят от характера деформационного упрочнения конструкционных пластичных материалов, которые не подчиняются указанным критериям текучести. В качестве первого приближения к решению сформулированной задачи обычно рассматривается несжимаемый материал в условиях идеальной пластичности. Ниже излагается такое решение с использованием условия текучести М.Я.Леонова [3], которое является «промежуточным» между критериями Губера-Мизеса и Треска-Сен-Венана и лучше соответствует поведению конструкционных материалов [4].

Постановка задачи. Труба с закрытыми торцами нагружена внутренним давлением (рис. 1).

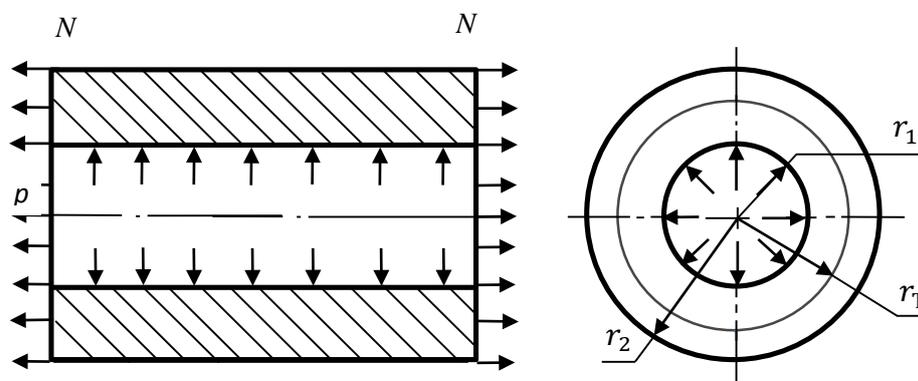


Рисунок 1 – Схема автофретирования толстостенной трубы.

Возникающие окружное (σ_θ) осевое (σ_z) и радиальное (σ_r) напряжения находятся в соответствии:

$$\sigma_\theta > \sigma_z > \sigma_r \quad (1)$$

Для несжимаемого материала, поскольку осевая деформация $\varepsilon_z = 0$, в соответствии с законом Гука для изотропного тела, имеем:

$$\sigma_z = \frac{1}{2}(\sigma_\theta + \sigma_r) \quad (2)$$

При этом условии интенсивность напряжений (σ_i), октаэдрическое касательное напряжение (τ_o) и максимальное касательное напряжение (τ_m), таковы:

$$\sigma_i = \frac{\sqrt{3}}{2}(\sigma_\theta - \sigma_r), \tau_o = \frac{1}{\sqrt{6}}(\sigma_\theta - \sigma_r), \tau_m = \frac{1}{2}(\sigma_\theta - \sigma_r) \quad (3)$$

Вид напряженного состояния будем определять квазистационарным инвариантом m [3]:

$$m = \frac{\tau_o}{\tau_m} \quad (4)$$

Он выражается [5] через параметр Лоде-Надаи для напряжений (μ_σ):

$$m = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{3 + \mu_\sigma^2} \quad \mu_\sigma = \frac{2\sigma_2 - \sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3} \quad (5)$$

Согласно условию текучести Губера-Мизеса [1, (3.18)]:

$$\sigma_i = \sigma_T \quad (6)$$

где σ_T - предел текучести при одноосном растяжении.

Т.е. в данном случае:

$$\sigma_\theta - \sigma_r = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_T \quad (7)$$

В данной задаче обычно используется это условие [1] и принимается гипотеза существования «единой» (не зависящей от вида напряженного состояния) зависимости: интенсивность напряжений – интенсивность деформаций ($\sigma_i \sim \varepsilon_i$). Однако, для конструкционных материалов лучше выполняется условие текучести М.Я.Леонова [3]:

$$\tau_m = T - k\tau_0 \quad (T, k - \text{const}) \quad (8)$$

Константы T и k могут быть определены через предел текучести при растяжении (σ_T) и предел текучести при чистом сдвиге (τ_T):

$$k = (\tau_T - \frac{1}{2}\sigma_T) / (\frac{\sqrt{2}}{3}\sigma_T - \sqrt{\frac{2}{3}}\tau_k); \quad T = \tau_T (1 + \sqrt{\frac{2}{3}}\tau_k) \quad (9)$$

Таким образом, вместо условия (7), согласно (8) и (9), получим:

$$\sigma_\theta - \sigma_r = 2\tau_T \quad (10)$$

При этом, согласно (3) и (4), $m = \sqrt{\frac{2}{3}}$, ($\mu_\sigma = 0$), т.е. реализуется состояние чистого сдвига, что вытекает и из формулы (10).

Радиальное и окружное напряжения в упругой области определяются по формулам [6]:

$$\sigma_r = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_T (A - \frac{B}{r^2}) \quad \sigma_t = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_T (A + \frac{B}{r^2}) \quad (A, B - \text{const}) \quad (11)$$

Для определения напряжений в пластической области используется дифференциальное уравнение равновесия элемента трубы [1]:

$$\frac{d\sigma_r}{dr} + \frac{\sigma_r - \sigma_t}{r} = 0 \quad (12)$$

и условие текучести (7). Это приводит к уравнению:

$$\frac{d\sigma_r}{dr} = \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{\sigma_T}{r} \quad (13)$$

Интеграл этого уравнения имеет вид:

$$\sigma_r = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_T (\ln \frac{r}{r_T} + C) \quad (14)$$

где C - постоянная интегрирования.

Для двух других напряжений имеем:

$$\sigma_t = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_T (\ln \frac{r}{r_T} + C + 1) \quad (15)$$

$$\sigma_z = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_T (\ln \frac{r}{r_T} + C + \frac{1}{2}) \quad (16)$$

Для определения постоянных A, B, C и неизвестного радиуса границы, разделяющей упругую и пластическую области (r_T), используются краевые условия:

$$1) \text{ при } r = r_1 \quad \sigma_r = -p \quad (17)$$

$$2) \text{ при } r = r_2 \quad \sigma_r = 0 \quad (18)$$

$$3) \text{ при } r = r_T \quad \sigma_r^p = \sigma_r^e \quad (19)$$

$$4) \text{ при } r = r_T \quad \sigma_t^p = \sigma_t^e \quad (20)$$

Не выписывая определяемых таким образом постоянных, можно уже дать оценку напряжений $\sigma_r, \sigma_t, \sigma_z$, если вместо условия текучести (7) использовать условие (10).

В результате для случая идеальной пластичности (при отсутствии упрочнения) на границе упругопластической зоны напряжения $\sigma_\theta, \sigma_z, \sigma_r$, если задать $\tau_T = 0,556\sigma_T$ (как это имеет место [4] для стали 45), уменьшатся (по модулю) примерно на $\approx 4,74\%$ по сравнению с их значениями, вычисляемыми по формулам (14),(15),(16).

Для трубы при $r_2 = 2r_1$ напряжение σ_z (после определения постоянных A, B, C) представлено [7] в виде:

$$\sigma_z = \tau_T \left(\frac{r_T}{r_2} \right)^2 \quad (21)$$

При условии текучести (7) в момент возникновения пластической зоны (т.е. при $r_T / r_1 = 1$) имеем:

$$\sigma_z = 0,1445\sigma_T \quad (22)$$

Если это значение напряжения σ_z отнести к пределу текучести на растяжение, определяемого по критерию М.Я.Леонова (т.е. полагая $\tau_T = 0,55\sigma_T$), то получим:

$$r_T / r_1 = 1,026 \quad (23)$$

Это обстоятельство подчеркивает более раннее возникновение пластичности по толщине трубы при использовании критерия М.Я.Леонова вместо критерия Губера-Мизеса.

Выводы. При сравнении результатов, полученных с помощью критерия Губера-Мизеса и критерия М.Я.Леонова, получаем, что при одном и том же уровне распространения зоны пластической деформации все три главных напряжения уменьшаются по модулю на $\approx 5\%$, вследствие этого начало зоны пластической деформации возникает при меньшем давлении, описываемом критерием Губера-Мизеса. Иначе говоря, зона пластической деформации распространяется по поперечному сечению трубы быстрее, чем предполагается при использовании критерия Губера-Мизеса. Именно поэтому, как указано в [8], в процессе автофретирования (описываемом с помощью критерия Губера-Мизеса) оператору необходимо следить за скоростью распространения пластической деформации по поверхности трубы визуально, поскольку переход толстостенной трубы в полностью пластическое состояние приводит к потере ею несущей способности, и труба отправляется на переплавку.

Литература

1. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. М.: Машиностроение. 1975. 400 с.
2. Жигалкин В.М. Некоторые задачи о сложном напряжённом состоянии упруго-пластических тел. Дис. ... канд. физ.-мат. наук. Новосибирск. 1970. 204 с.
3. Леонов М.Я. Прочность и устойчивость механических систем: Актуальные задачи нелинейной механики. Фрунзе: Илим. 1987. 279 с.
4. Комарцов Н.М., Рычков Б.А. Концепция скольжения и механика пластической деформации. Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing. 2011. 176 с.
5. Рычков Б.А. Постулат «Инвариантности упрочнения» // Известия АН Республики Кыргызстан. 1991. № 2. С. 42-53
6. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. М.: Наука. 1974. 559 с.

7. Малинин Н.Н., Романов К.И., Ширшов А.А. Сборник задач по прикладной теории пластичности и ползучести: Учеб. пособие для машиностроит. спец. вузов. М.: Высшая Школа. 1984. 231 с.
8. Hill, R. (Rodney). The mathematical theory of plasticity. Oxford: Clarendon Press; New York: Oxford University Press. 1964. 355 с.

УДК 539.215+539.374

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УПРУГИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕСЧАНИКА

DETERMINATION OF ELASTIC CHARACTERISTICS OF SANDSTONE

Степанова Ю.Ю.

stepanova_yulya_1995@mail.ru

Кыргызско – Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызстан

***Аннотация.** Рассмотрены исходные (первичные) экспериментальные данные для 17 цилиндрических (стандартных) образцов песчаника, испытанных на неравномерное трехосное сжатие по схеме Т.Кармана. Предлагается новая методика обработки и интерпретации представленных диаграмм деформации. Определены модуль упругости Юнга и коэффициент Пуассона по диаграмме только продольной деформации на том ее участке, на котором установлено только упругое деформирование данной горной породы.*

***Ключевые слова:** гидростатическое давление, нелинейность, упрочнение и уплотнение материала, обобщенный закон Гука.*

Введение. Как известно, состояние горных пород в массиве моделируется в лабораторных условиях испытанием цилиндрических образцов (выбуренных из различных месторождений) при неравномерном трехосном сжатии на специальных жестких прессах. Через задаваемые давления (осевое и равномерное боковое) вычисляются главные напряжения ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$) и измеряются осевая (ε_1) и поперечная (ε_2) деформации различными методами [1,2]. На диаграмме деформации ($\sigma_1 \sim \varepsilon_1$) (особенно) для песчаников наблюдается начальный нелинейный участок. Некоторые исследователи [3, с.73] считают, что наклон такой кривой «напряжение - деформация» определяет модуль упругости Юнга. При этом подчеркивают, что численное значение модуля зависит от напряжения, а при последовательном нагружении и разгрузке образца породы зависит и от цикла испытания, так как указанные кривые при нагружении и разгрузке не совпадают между собой. Иначе говоря, утверждается, что на отмеченном нелинейном участке диаграммы происходит упругая деформация. Аналогичное утверждение относится и к определению коэффициента Пуассона. Другие экспериментаторы [1,4] предлагают исключать из рассмотрения такой начальный участок, а упругие параметры породы определять при более высоких уровнях напряжения, когда зависимость «напряжение - деформация» становится близкой к линейной. Однако до сих пор нет общепринятой методики определения упругих констант пород даже при пропорциональном нагружении.

В настоящем сообщении сделана попытка разработать процедуру определения упругих параметров песчаника на основе имеющихся экспериментальных данных, полученных при испытании цилиндрических образцов на сложное нагружение.

Программа нагружения. Рассмотрены исходные экспериментальные данные, полученные при испытании стандартных цилиндрических образцов песчаника на сертифицированном оборудовании в Институте горного дела СО РАН и предоставленные

КРСУ в рамках договора о сотрудничестве. Осуществлена программа сложного нагружения, которая состоит из следующих двух этапов.

На первом этапе нагружения создавалось равномерное (гидростатическое) трехосное сжатие за счет осевого давления и бокового обжатия вдоль цилиндрической поверхности образца в жесткой испытательной машине, конструкция которой подобна подробно описанной в [1].

На втором этапе осуществлялось нагружение по схеме Т.Кармана, согласно которой $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$, т.е. поддерживалось постоянное достигнутое равномерное боковое давление и увеличивалось осевое давление вплоть до предела прочности, после чего фиксировалось также так называемая ниспадающая ветвь диаграммы деформации до полного разрушения образца. Пример такой полной диаграммы относительной деформации приведен на рисунке 1. В данной работе рассматривается только начальный участок этой диаграммы до условного предела упругости.

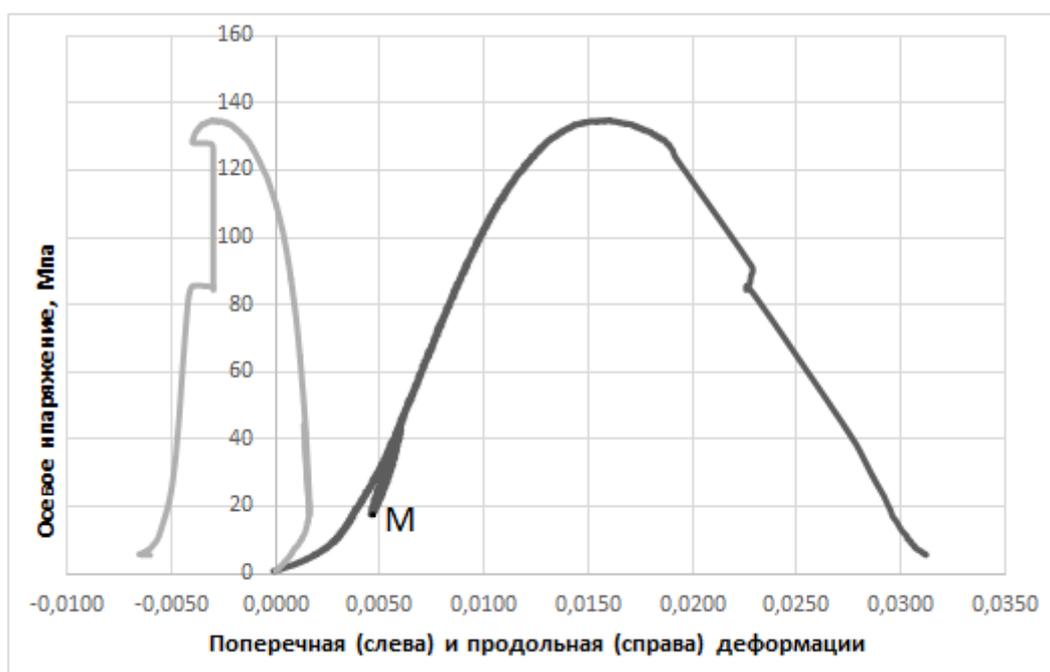


Рисунок 1 – Полная диаграмма деформаций для образца №5.

Анализ исходных экспериментальных данных. Была произведена сортировка имеющихся значений продольной и поперечной деформаций для группы из 17-ти образцов по соотношению между этими деформациями на уровне зафиксированного максимального гидростатического давления.

Построены диаграммы деформаций отдельно для выявленных трех подгрупп образцов. В первой подгруппе значение поперечной деформации при указанном уровне напряжения примерно равно значению продольной деформации. Во второй подгруппе отношение этих значений примерно равно 0,5 в третьей – 0,25.

Для каждой из подгрупп образцов была построена усредненная диаграмма продольной деформации до условного предела упругости. Эта диаграмма обладает следующей особенностью. Как видно из рисунка 1, промежуточная разгрузка (произведенная с уровня напряжения в 43 МПа до напряжения 17 МПа в точке М) указывает на возникновение остаточной деформации. Последнее, в свою очередь, означает изменение характера деформирования материала при достижении данного уровня напряжения. Это можно объяснить тем, что вначале, при нагружении из исходного состояния, происходит уплотнение материала, после чего его структура стабилизируется и материал начинает деформироваться упруго [1,5].

Чтобы отдельно рассмотреть два указанных участка диаграммы деформации для каждой из подгрупп образцов построены соответствующие усредненные диаграммы продольной деформации. Для примера такая диаграмма изображена на рисунке 2 для первой подгруппы. На этой же диаграмме представлены также дополнительные построения, на основе которых ниже излагаются результаты предлагаемого метода определения модуля Юнга и коэффициента Пуассона.

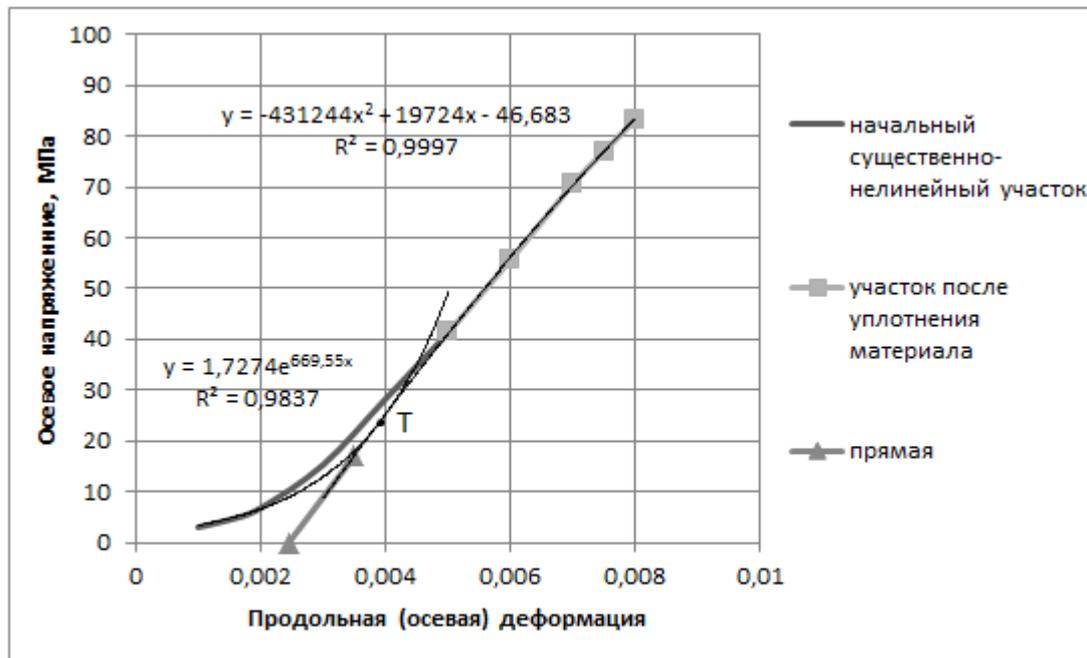


Рисунок 2 – Усредненная диаграмма продольной деформации до условного предела упругости.

Метод определения упругих констант по экспериментальным данным сложного нагружения. Для оценки характера упругой деформации на втором участке рассматриваемой траектории сложного нагружения необходимо опираться на закон Гука, который можно представить в следующем виде:

$$\varepsilon_1 = \frac{\sigma_1}{E}(1 - 2c\nu), \quad (1)$$

где E - модуль упругости Юнга, ν - коэффициент Пуассона.

В этой формуле $c = \sigma_2 / \sigma_1$, это параметр вида напряженного состояния. Поскольку на указанном участке диаграммы $\sigma_2 = const$, параметр c постоянно изменяется с ростом σ_1 . Следовательно, при этом зависимость (1) не является строго линейной.

Исходя из указанных особенностей диаграммы $\sigma_1 \sim \varepsilon_1$, начальный криволинейный участок этой диаграммы (на котором происходит уплотнение материала) аппроксимирован экспоненциальной зависимостью, а следующий за ним участок (с установившейся, стабильной структурой) отражается полиномиальной зависимостью (в соответствии с постоянно изменяющимся видом напряженного состояния). Точка сопряжения (точка Т на рисунке 2) этих двух участков и есть переход от нестабильного характера деформации к последующей монотонной деформации, подчиняющейся обобщенному закону Гука. Именно по второму из указанных участков (продольной) деформации определены упругие константы материала: E , ν . Для этого достаточно задать на этом участке два значения напряжения σ_1 и определить соответствующие им два значения деформации ε_1 . Последние, в свою очередь, находятся следующим образом.

Полученная полиномиальная зависимость $\sigma_1(\varepsilon_1)$ экстраполируется до уровня напряжения $\sigma_1 = 17 \text{ МПа}$, достигнутого при гидростатическом давлении. В этой точке диаграммы деформации проводится к получающейся кривой касательная, которая продолжается до нулевого значения напряжения σ_1 , доставляя тем самым начало координат для установившегося участка аппроксимированной диаграммы. Линейная зависимость $\sigma_1(\varepsilon_1)$ для $\sigma_1 \in [0; 17 \text{ МПа}]$ обуславливается тем, что при этом $\nu = 1$. От полученного таким образом начала координат отсчитывается деформация ε_1 , значения которой будут соответствовать задаваемым напряжениям на установившемся участке диаграммы деформации. В результате, подставляя последовательно в формулу (1) два значения напряжения σ_1 и деформации ε_1 , получим систему двух уравнений относительно E и ν .

Такая же процедура повторена для двух других групп образцов. Для теоретического построения диаграмм продольной и поперечной деформаций на их установившемся участке использованы (в качестве примера) следующие значения упругих констант, которые найдены при обработке усредненной диаграммы продольной деформации первой группы образцов: $E = 12142 \text{ МПа}$, $\nu = 0,377$. Полученное значение коэффициента Пуассона согласуется с результатами для разных типов песчаников, для большинства из которых $\nu > 0,3$ [6].

Для проверки приемлемости найденных упругих постоянных построены диаграммы продольной и поперечной деформации, отвечающие приращению осевого напряжения на установившемся участке диаграммы (рисунок 3). На диаграмме изображены экспериментальные данные для семи образцов из первой подгруппы. Как видно из этого рисунка, поперечная деформация отражается законом Гука с таким же приближением, как и продольная деформация, хотя для определения модуля Юнга и коэффициента Пуассона была использована экспериментальная только продольная деформация. Разброс экспериментальных данных от образца к образцу объясняется неоднородностью структуры породы. Предельное значение рассматриваемого приращения осевого напряжения соответствует условному пределу упругости (σ_{1y}), который определялся согласно ГОСТ 21153.8-88 [7]. В данном случае для диаграммы, представленной на рисунке 1, оказалось $\sigma_{1y} = 120 \text{ МПа}$.

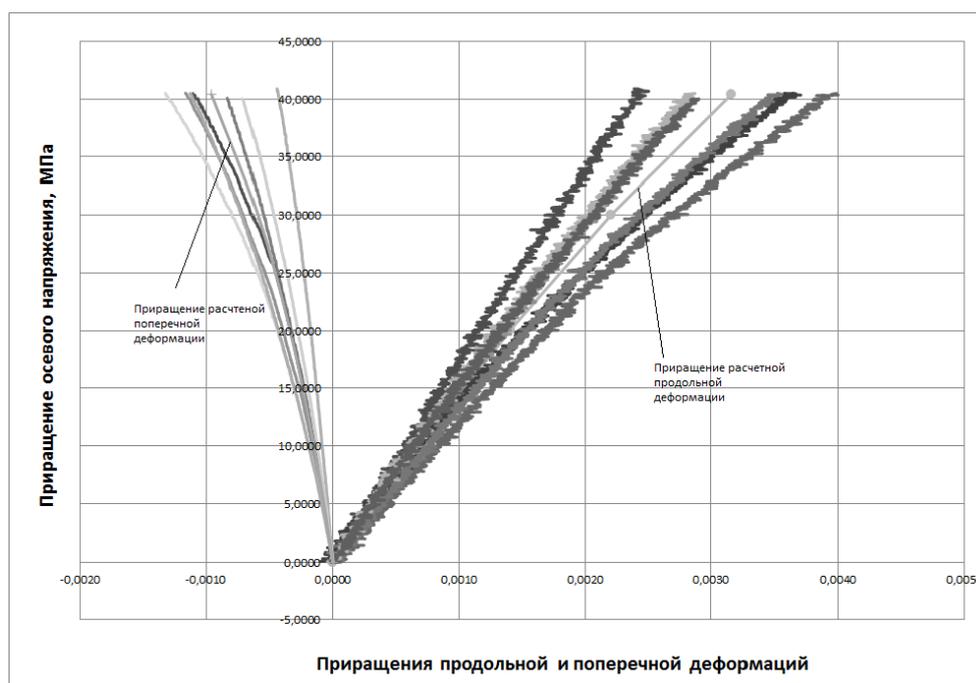


Рисунок 3 – Экспериментальные и расчетные графики приращений « $\sigma_1 \sim \varepsilon_1$ ».

Выводы. Представленный метод определения упругих констант материала в предположении его изотропности, применительно к песчанику, достаточно хорошо соответствует экспериментальным данным в пределах их разброса. При этом в условиях сложного нагружения выделяется область действительно упругой деформации. Значения найденных упругих констант данного песчаника необходимы для последующего правильного разделения общей его деформации на упругую и неупругую составляющие и определения параметров деформационного упрочнения [8].

Литература

1. Ставрогин А.Н., Протосеня А.Г. Пластичность горных пород. М.: Недра. 1979. 301 с.
2. Прочность и деформируемость горных пород / Ю.М. Карташов и др. М.: Недра. 1979. 269 с.
3. Введение в механику скальных пород: пер. с англ. / Под ред. Х. Бока. М.: Мир. 1983. 276 с.
4. Ставрогин А.Н., Протосеня А.Г. Прочность горных пород и устойчивость выработок на больших глубинах. М.: Недра. 1985. 271 с.
5. Paterson M.S. Experimental Rock Deformation- The Brittle Field- Berlin Heidelberg New York. Springer- Verlag. 1978. 254 p.
6. Ставрогин А.Н., Георгиевский В.С. Каталог механических свойств горных пород. 2-е изд. Л.: ВНИМИ. 1972. 267 с.
7. Михайлов-Михеев П.Б. Справочник по металлическим материалам турбино- и мотостроения. М.: МАШГИЗ. 1961. 838 с.
8. Рычков Б.А. О деформационном упрочении горных пород // Известия РАН. Механика твердого тела. 1999. № 2. С. 115-124.

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

УДК 550.42(575.2)

СОВРЕМЕННАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАССЕЯННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ВОДЕ - НА ПРИМЕРЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАДМИЯ В ВОДАХ РЕКИ НАРЫН

MODERN TECHNIQUE AND TECHNOLOGY DETERMINING TRACE ELEMENTS IN THE WATER - AN EXAMPLE FOR DETERMINATION OF CADMIUM IN THE NARYN RIVER WATERS

Асанов Б.Д., Кожобаев К.А.

asanovb.kg@gmail.com, kojkanik@gmail.com

АУЦА, КТУ «Манас», г.Бишкек, Кыргызстан

***Аннотация.** В статье приведена современная технология определения содержания в воде рассеянных элементов – на примере определения содержания кадмия в водах реки Нарын на атомно-абсорбционном спектрометре «АAnalyst 800» и краткое описание указанного спектрометра.*

***Ключевые слова:** кадмий, атомно-абсорбционный спектрометр, АAnalyst 800, река Нарын.*

Введение. В статье приведены данные по содержанию кадмия в водах реки Нарын – по результатам выполнения проекта NATO SfP 983945 «Оценка трансграничного загрязнения воды в Центральной Азии» за 2013 год, в выполнении которого активное участие принимали и авторы данной статьи. Проект выполнялся с июля 2011 года и окончательный отчет по нему был принят в феврале 2016 года. Наиболее активная и плодотворная фаза проведения полевых и лабораторных исследований, по результатам которых были получены наиболее надежные данные, пришелся на 2013 и 2014 годы, поэтому в статье рассматриваются данные за 2013 год. В качестве объекта рассмотрения был выбран элемент кадмий – один из самых токсичных элементов, в последние годы нередко встречающийся в природных, в том числе и питьевых водах.

В результате определения кадмия, опасного токсичного элемента, в десяти различных точках реки Нарын – начиная от ее истоков и кончая точкой на выходе реки Нарын из Кыргызской Республики, установлено, что среднее содержание кадмия по сезонам года заметно увеличивается от весны (от 0,030 мкг/л) до лета (до 0,067 мкг/л) и резко - к осени (до 0,319 мкг/л). Также было установлено, что концентрация кадмия в воде заметно возрастает после сброса воды из хвостохранилища золоторудной компании «Кумтор», после города Нарын и села Казарман, на основании чего авторы подтверждают тезис о сильном антропогенном факторе загрязнения кадмием природных вод. В целом концентрация кадмия в реке Нарын, при ее отдельном рассмотрении, не превышает ПДК для питьевых вод.

Методика исследований и описание атомно-абсорбционного спектрометра АAnalyst 800. Отбор проб воды для анализа на атомно-абсорбционном спектрометре содержания кадмия в воде производился на 11 точках по реке Нарын - с марта по ноябрь месяцы. В зимние месяцы пробоотбор не производился.

- Первой точкой отбора проб воды было озеро Петрова;
- вторая точка на реке Кумтор - до сброса в нее воды с хвостохранилища рудника «Кумтор»;
- третья точка на реке Кумтор - после сброса воды с хвостохранилища;
- четвертая точка на реке Тарагай, после слияния с ней вод реки Кумтор;

- пятая и шестая точки на реке Нарын - до и после города Нарын;
- седьмая и восьмая точки на реке Нарын – до и после села Казарман;
- девятая точка на реке Нарын - до Токтогульского водохранилища;
- десятая точка на реке Нарын - после Токтогульского водохранилища;
- одиннадцатая точка на реке Нарын на границе с Узбекистаном.

Пробы воды фильтровались на месте пробоотбора при помощи мембранного фильтра, затем консервировались азотной кислотой. В дальнейшем в лаборатории концентрация элементов в воде, включая и кадмий, определялась атомно-абсорбционным спектрометром «AAnalyst 800» с электротермической атомизацией элементов. Начало подобным методам и приборам положил предложенный австралийский ученым Аланом Уолшем в 1955 г. простой и практически легко осуществимый способ количественного определения содержания элементов в растворах, распыляемых в пламени ацетилен-воздух, по поглощению излучения атомных линий от специальных селективных ламп. Этот способ, лежащий в основе аналитического метода атомно-абсорбционной спектрометрии, и предопределил развитие метода в дальнейшем. В качестве атомизатора вначале служило пламя, однако в 1960-х годах Борис Львов и Ганс Массман предложили использовать графитовую печь [1].

Спектрометр «AAnalyst 800», один из самых современных и точных приборов подобного рода, является двухлучевым, собранным по схеме Литтрова с автоматическим выбором длины волны и ее сканированием. Спектральный диапазон прибора составляет 190–870 нм, номинальная линейная дисперсия – 1,6 нм/мм. При использовании электротермической атомизации с коррекцией неселективного поглощения с помощью продольного эффекта Зеемана с модулируемым магнитным полем применяется однолучевая оптическая схема. В качестве детектора оптического излучения в приборе применен широкодиапазонный сегментированный полупроводниковый детектор, интегрированный с малошумящим массивом зарядовых усилителей.



Рисунок 1 – Внешний вид атомно-абсорбционного спектрометра AAnalyst 800, включенного в электротермическом варианте атомизации элементов с автоматическим дозатором проб.

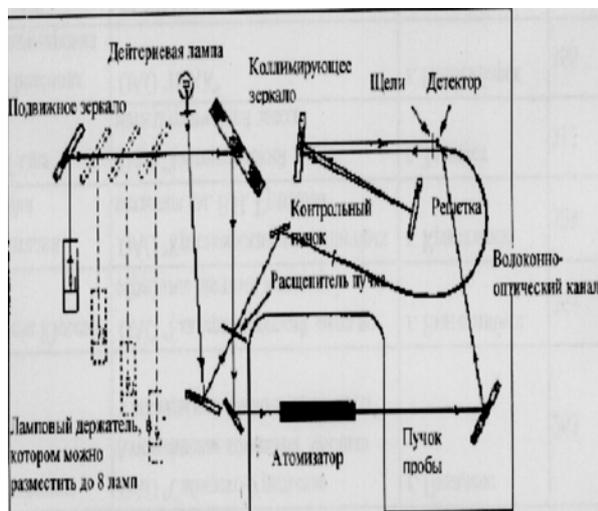


Рисунок 2 – Оптическая схема атомно-абсорбционного спектрометра Aanalyst 800.

В приборе имеется 8-ламповый держатель со встроенным блоком питания для ламп с полым катодом и высокочастотных безэлектродных ламп. При электротермической атомизации используется графитовая печь поперечного нагрева (ТНГА). Также предусмотрено использование графитовых печей с интегрированной платформой Львова, что улучшает чувствительность и точность анализа, упрощает и ускоряет разработку методик анализа.

Автоматический дозатор содержит штатив на 146 позиций для образцов и растворов сравнения, а также проточную емкость для промывки системы дозирования. Минимальный объем образца для анализа составляет 0,1 мл. Дозируемый в графитовую печь объем пробы составляет 1-99 мкл (шаг 1мкл). Контроль работы автоматического дозатора полностью осуществляется программным обеспечением прибора. В спектрометре реализован полный компьютерный контроль систем ввода проб, сбор, обработка и хранение данных с использованием программного пакета AA Winlab32 [3].

Краткая эколого-геохимическая характеристика кадмия. Кадмий относится к числу редких рассеянных элементов, его кларк (процентное содержание по массе) в земной коре составляет $1,3 \cdot 10^{-5}\%$. Для кадмия характерна миграция в горячих подземных водах вместе с цинком и другими халькофильными элементами (т.е. химическими элементами, склонными к образованию природных сульфидов, селенидов, теллуридов, сульфосолей и иногда встречающихся в самородном состоянии) и концентрация в гидротермальных отложениях. Некоторые вулканические породы могут содержать до 0,2 мг кадмия на кг, среди осадочных пород наиболее богаты кадмием глины - до 0,3 мг/кг, известняки содержат в среднем 0,035 мг/кг, песчаники – 0,03 мг/кг. Среднее содержание кадмия в почве – 0,06 мг/кг. Известны самостоятельные минералы кадмия – гринокит (CdS), отавит (CdCO₃), монтепонит (CdO) и селенид (CdSe), своих месторождений они не образуют, а присутствуют в виде примесей в цинковых, свинцовых, медных и полиметаллических рудах, которые и являются основным источником промышленной добычи кадмия.

В естественных условиях кадмий попадает в подземные воды в результате выщелачивания руд цветных металлов, а также в результате разложения водных растений и организмов, способных его накапливать. Кадмий присутствует в воде в растворенном виде (сульфат, хлорид, нитрат кадмия) и во взвешенном виде - в составе органоминеральных комплексов. На содержание кадмия в воде существенное влияние оказывает pH среды - в щелочной среде кадмий выпадает в осадок в виде гидроксида. По данным ВОЗ в незагрязненных природных водах содержание кадмия составляет существенно меньше 1 мкг/л (порядка 0,02 – 0,3 мкг/л). Однако в загрязненных районах его концентрация в воде может достигать десятков микрограмм на литр [2].

В последние десятилетия превалирующим становится антропогенный фактор загрязнения кадмием природных вод. Стоки рудообогатительных фабрик, заводов по производству цветных металлов, химических и прочих промышленных предприятий вносят в наше время основной вклад в сбросы кадмия в природу. По некоторым данным в мире ежегодно в окружающую среду (ОС) выбрасывается около 5000 т кадмия.

Кадмий - один из самых токсичных тяжелых металлов. В СанПиНе для питьевых вод он имеет ПДК 1 мкг/л и отнесен ко 2-му классу опасности - "высоко опасные вещества", а для вод рыбохозяйственного назначения ПДК составляет 0,5 мкг/л [4]. Некоторые источники называют кадмий даже "наиболее опасным экотоксикантом на рубеже тысячелетий". Как и многие другие тяжелые металлы, кадмий имеет отчетливую тенденцию к накоплению в организме - период его полувыведения составляет 10-35 лет. К 50 годам его общее весовое содержание в теле человека может достигать 30-50 мг. Главным "хранилищем" кадмия в организме служат почки (30-60% всего количества) и печень (20-25%), остальной кадмий находится в поджелудочной железе, селезенке, трубчатых костях, других органах и тканях. Кадмий находится в организме в основном в связанном состоянии - в комплексе с белком-металлотионеином (являющимся, таким образом естественной защитой организма, по последним данным альфа-2 глобулин также связывает кадмий), и в таком виде он менее токсичен, хотя и далеко не безвреден. Даже "связанный" кадмий, накапливаясь годами, способен привести к неприятностям со здоровьем, в частности к нарушению работы почек и повышенной вероятности образования почечных камней. К тому же часть кадмия остается в более токсичной ионной форме. Кадмий химически очень близок к цинку и способен замещать его в биохимических реакциях, например, выступать как псевдоактиватор или, наоборот, ингибитор содержащих цинк белков и ферментов (а их в

организме человека более двухсот). Кадмий является также антагонистом кальция и железа и способен замещать эти элементы, например, кальций в костной ткани. Поэтому недостаток в организме цинка, железа и кальция может привести к 2-3 кратному повышению усвояемости кадмия из желудочно-кишечного тракта (до 15-20%) [2].

Результаты определения содержания кадмия в водах реки Нарын. Для сокращения объема статьи, облегчения анализа, а также ввиду замеченной разницы в содержаниях кадмия по сезонам года, данные были усреднены по сезонам года. Средние значения содержания кадмия в воде реки Нарын по временам года занесены в таблицу 1.

Таблица 1 – Среднее содержание кадмия за весенний, летний и осенний периоды

Пункты отбора проб воды для анализа на содержание кадмия в воде		Средние значения за весенний период мкг/л	Средние значения за летний период мкг/л	Средние значения за осенний период мкг/л
1	Озеро Петрова	0,029	0,042	0,226
2	Река Кумтор - до сброса в нее воды с хвостохранилища рудника «Кумтор»	0,029	0,047	0,252
3	Река Кумтор - после сброса воды с хвостохранилища	0,029	0,054	0,334
4	Река Тарагай, после слияния с ней реки Кумтор;	0,032	0,050	0,304
5	Река Нарын - до города Нарын	0,030	0,058	0,279
6	Река Нарын - после города Нарын	0,029	0,081	0,389
7	Река Нарын - до села Казарман	0,031	0,080	0,282
8	Река Нарын - после села Казармен	0,030	0,082	0,435
9	Река Нарын - до Токтогульского водохранилища	0,031	0,082	0,567
10	Река Нарын - после Токтогульского водохранилища	0,031	0,074	0,217
11	река Нарын - на границе с Узбекистаном	0,031	0,087	0,224
Значения максимального среднего содержания по сезонам года		0,032	0,087	0,567
Значения минимального среднего содержания по сезонам года		0,029	0,042	0,217
Значения среднего содержания по сезонам года		0,030	0,067	0,319

Из таблицы видно, что максимальное среднее содержание кадмия в воде в осенний период, по сравнению с весенним периодом, выше до 18 раз. Для примера на точке, расположенной до Токтогульского водохранилища, содержание кадмия в осенний период почти в 18 раз больше по сравнению с весенним периодом. А средние летние значения содержания кадмия в воде по сравнению с весенними данными выше более чем в 2 раза. Тем не менее, самый высокий осенний средний показатель содержания кадмия в реке Нарын (0,567 мкг/л) не превышает ПДК для питьевых вод централизованного водоснабжения [4], но оно выше ПДК для вод рыбохозяйственного назначения.

Разница данных содержания в воде р. Нарын по сезонам года является новым и интересным научным фактом, требующим дальнейшего изучения и анализа.



Рисунок 1 – Содержание кадмия в мкг/л в весенний, летний, осенний периоды.

Из рисунка 1 видно, что содержание кадмия вниз по течению реки возрастает лишь очень незначительно и не монотонно. В летний и, особенно, в осенний периоды содержание кадмия резко увеличивается после сброса воды с хвостохранилища золоторудной компании «Кумтор», города Нарын и села Казарман, а в последующих точках обратно снижается. Это подтверждает тот тезис, что в последние десятилетия превалирующим становится антропогенный фактор загрязнения кадмием природных вод. Стоки рудообогатительных фабрик, заводов по производству цветных металлов, химических и прочих промышленных предприятий вносят в наше время значительный вклад в сбросы кадмия в ОС. Такие факты по увеличению содержания ряда тяжелых металлов после населенных пунктов и промышленных объектов были отмечены и в некоторых предыдущих наших исследованиях вод реки Нарын [5, 6].

Заключение. Анализ полученных данных по определению содержания кадмия в водах реки Нарын, от ее истоков до границы Кыргызстана с Узбекистаном, на чувствительном современном спектрометре позволяет сделать следующие выводы:

- Содержание кадмия вниз по течению реки Нарын возрастает лишь очень незначительно и не монотонно;
- Среднее содержания кадмия в водах реки Нарын минимальное в весеннее время, летнее среднее содержание выше чем весеннее и резкое повышение содержания кадмия отмечается осенью, что заслуживает внимания и дальнейшего изучения природы этого явления;
- В летний и, особенно, в осенний периоды содержание кадмия резко увеличивается после населенных пунктов и после крупной золоторудной компании «Кумтор» (в реке Кумтор);
- В целом, содержание кадмия в водах реки Нарын, при рассмотрении одного этого элемента, не превышает ПДК для питьевых вод, но в отдельных точках, и особенно в осенний период, нередко превышает ПДК для вод рыбохозяйственного назначения.

Литература

1. Пупышев А.А. Атомно-абсорбционный спектральный анализ. М.: Техносфера. 2009. 784 с.
2. <http://www.water.ru/bz/param/cadmium.shtml>
3. Бестереков У.Б., Гончаров В.В. Определение концентрации тяжелых металлов в воде методом атомно-абсорбционного анализа с использованием спектрометра АAnalyst 800. Методическая инструкция. Шымкент. 2012.

4. СанПиН 2.1.4.002-03. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. Минздрав Кыргызской Республики. Бишкек. 2004.
5. Кожобаев К.А., Молдогазиева Г.Т., Тотубаева Н.Э., Оторова С.Т. Геоэкологические проблемы, связанные с деятельностью горнодобывающих предприятий Кыргызской Республики // Горный журнал. 2016. № 8 (2229). С. 32-37.
6. Кожобаев К.А., Оторова С.Т. О возможной роли антропогенных факторов в геохимии вод бассейна верхнего Нарына // Вестник КНУ им. Ж. Баласагына (спецвыпуск трудов международной конференции). Бишкек. 2012. С. 114-120.

УДК 629.78

АППАРАТНАЯ И ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ СБОРА И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

HARDWARE AND SOFTWARE OF THE DATA ACQUISITION AND PROCESSING SYSTEM FOR SMALL SATELLITES

Аязбаев Г.М., Быкаев Р.Ж., Инчин П.А., Лозбин А.Ю.

galiman85@mail.ru, rakhim.b@mail.ru, powerover@mail.ru, Lozbin@mail.ru

Институт космической техники и технологий, г. Алматы, Казахстан

***Аннотация.** Описано аппаратное и программное обеспечение разработанной в Институте космической техники и технологий системы сбора и обработки информации для космического аппарата класса нано. Приведена ее архитектура и организация выполнения целевых задач и функций.*

***Ключевые слова:** система сбора информации, наноспутник, системы реального времени, программные средства.*

Введение. В настоящее время, ряд компаний, занимающихся разработкой программного и аппаратного обеспечения для наноспутников, предлагают готовые решения программного обеспечения (ПО) “под ключ”. Однако, стоимость любых его модификаций, или настройка под конкретные задачи космической миссии, могут значительно превышать стоимость базового комплекта. Кроме того, модификация ПО может привести к большим временными затратам по сравнению со временем, затраченным на разработку с нуля. Эти сложности, а также закрытость исходных кодов для сторонних пользователей, ставят перед разработчиками космических миссий целесообразность реализации собственного, интегрируемого под различные задачи и конфигурируемого ПО.

Лабораторией космических систем научного назначения «Института космической техники и технологий» был разработан кластер программного обеспечения системы сбора и обработки информации (ССОИ) полезной нагрузки космического аппарата. ПО отрабатывалось на специально разработанном экспериментальном образце ССОИ.

ПО реализовано на операционной системе реального времени *FreeRTOS* и позволяет в кратчайшие сроки настроить и модифицировать логику работы под задачи конкретной космической миссии. Основными достоинствами ПО является конфигурируемость и гибкость, универсальность под задачи проектирования, а также наличие библиотеки с большим набором средств обслуживания и взаимодействия с другими подсистемами спутника.

Разработка систем сбора и обработки информации для космических аппаратов.

Разработка бортовых спутниковых систем, таких как бортовой вычислительный комплекс или система сбора и обработки информации (ССОИ) для малых космических аппаратов и наноспутников сводится к нахождению компромисса между такими аспектами как:

- конечная стоимость изделия;
- сроки разработки;
- надежность;
- энергопотребление;
- массогабаритные характеристики.

Основная задача таких бортовых систем состоит в корректном исполнении задач и команд на протяжении всего активного срока существования спутника. Разработка универсальных систем имеет ряд преимуществ, однако и тут необходимо правильно определять первичные и второстепенные требования к системе: наиболее критичные требования, исполнение которых обязательно для успешного выполнения миссии и требования, которые не влияют на успешное выполнение миссии, но выполнение которых приводит к технологической отработке ПО и расширению функционала. Подобный подход к разделению требований позволяет более гибко и в сжатые сроки запустить процесс разработки бортовых систем и программного обеспечения к нему.

Такие системы, как ССОИ позволяют значительно упростить логику работы и перенаправить ряд задач по управлению полезной нагрузкой КА с бортового вычислительного комплекса, а также производить ресурсоемкие вычисления и обработку информации непосредственно на борту космического аппарата.

На рисунке 1 показано место ССОИ в архитектуре наноспутника. В работе предполагалось взаимодействие со следующими подсистемами наноспутника:

- 1) блоком полезной нагрузки;
- 2) бортовым комплексом управления (БКУ) наноспутника;
- 3) приемо-передающим устройством (ППУ).

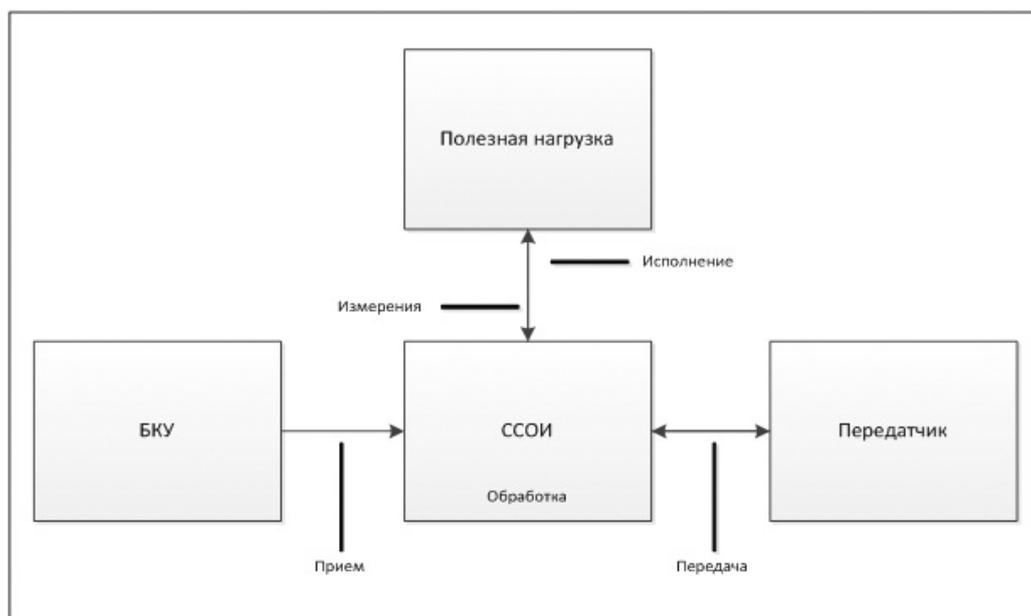


Рисунок 1 – Структура ССОИ в структуре наноспутника.

При разработке ПО ССОИ были определены основные приоритеты:

- открытость и доступность аппаратного и программного обеспечения, базирующихся на компонентах класса “*industrial*” и открытом ПО;
- универсальность под задачи проектирования;

- конфигурируемость и гибкость для быстрой адаптации к новым задачам и полезной нагрузке;
- наличие большого набора стандартных средств для обслуживания аппаратуры полезной нагрузки и передачи информации по информационным шинам.

Стали приоритетными требованиями к достижению при разработке системы.

Для отработки системы, в качестве полезной нагрузки был выбран феррозондовый магнитометр (ФЗМ), обеспечивающий измерение вектора индукции магнитного поля с частотой 250 Гц.

Задачей ССНИ являются управление работой полезной нагрузки, сбор и пакетирование информации, архивация и накопление пакетов с последующей передачей пакетов на передатчик, а также исполнение команд, поступающих с БКУ.

Для отладки программного обеспечения ССОИ был разработан оптимальный по характеристикам экспериментальный образец ССОИ (далее прототип), представленный на рис. 2. Прототип изготовлен в форм-факторе CubeSat и по характеристикам схож с коммерческим аналогом, фирмы GomSpace -NanoMind A712.

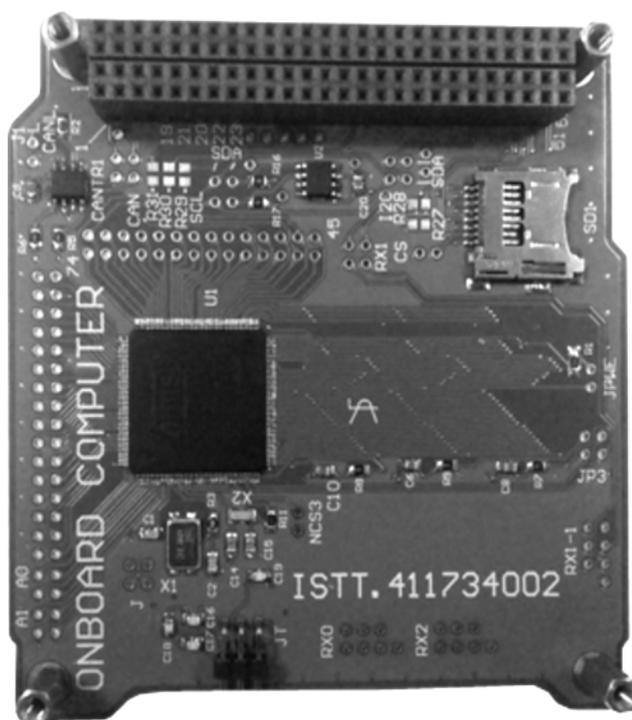


Рисунок 2 – Экспериментальный образец ССОИ.

Прототип является 32-битной архитектурой ARM7 с процессором AT91SAM7A1 фирмы ATMEL. Для сопряжения с другими бортовыми системами используется мост интерфейс I2C. Также имеется интерфейс SPI для передачи больших объемов информации. Кроме интерфейса отладки JTAG, выделенный интерфейс USART обеспечивает удобную диагностику ПО во время работы с другими компонентами. Для сопряжения ФЗМ с ССОИ используется свободный интерфейс USART с двумя блоками памяти по 4 МБт, оперативной памятью на 2 МБт и скоростью 40 МГц. Прототип имеет достаточную мощность для выполнения задач ПО ССОИ с довольно малым энергопотреблением (порядка 0.4 Вт).

Следует отметить архитектуру ARM и процессоры на его базе. Процессоры архитектуры ARM являются одними из лидеров на рынке встраиваемых и мобильных систем. Примерно 90% всех встроенных 32-разрядных процессоров реализованы на базе процессоров ARM. Имея низкое энергопотребление, они находят широкое применение во встраиваемых системах и преобладают на рынке мобильных устройств, для которых данный

фактор является наиболее критичным [1]. Архитектура ARM имеет несколько семейств процессоров по классу производительности:

- ARM7 – для средних задач мощности;
- ARM9, ARM11 – для более сложных задач требующих мощности до 1 ГГц;
- Cortex – новый класс процессоров с широким спектром производительности до и выше 1 ГГц.

Класс семейств ARM7, ARM9 и ARM11 поддерживают единую систему интерфейсов и команд сверху вниз, что является немаловажным фактором при переходе прототипа к более производительным задачам с менее сложной процедурой перехода.

Программное обеспечение ССОИ. На рисунке 3 показана архитектура ПО ССОИ. Архитектура спроектирована с использованием операционной системы FreeRTOS. Операционные системы служат для контроля аппаратных средств и для реализации необходимых приложений или задач. Основным критерием выбора ОС стала возможность обеспечения многозадачности.



Рисунок 3 – Архитектура ПО ССНИ.

FreeRTOS – минимальное ядро ОСРВ с открытым исходным кодом, распространяемая под лицензией GPL. Система имеет большой набор портов под разные архитектуры и машины, включая порт для машины ARM7, который является одним из самых распространенных ОСРВ. FreeRTOS позволяет реализовывать независимые программные модули, называемые задачами, задавать для них разные по важности приоритеты исполнения и предоставляет удобный программный интерфейс для синхронизации и взаимодействий между задачами.

Архитектура ПО ССОИ состоит из пяти программных и аппаратных слоев. В самом нижнем слое расположена непосредственно исполняющая архитектура – аппаратное обеспечение. Выше расположен слой HAL, предоставляющий абстрагированный от аппаратного обеспечения уровень драйверов и библиотек для работы с аппаратным обеспечением. Выше расположен слой CRL, уровень драйверов для контроля корректности исполнения ПО. На верхнем уровне работают целевые программы, выполняемые в модуле задач.

СВК (Code Return Layer (CRL)) – минимальная подсистема, контролирующая процессом загрузки и исполнения ПО ССОИ. В первую очередь подсистема позволяет избежать зависания ПО и служит для переустановки нового ПО. Данная подсистема выполняет задачи, схожие с задачами BIOS в персональных компьютерах и имеет минимальный набор интерфейсов (в частности один для сопряжения с БКУ), не имеет

никаких функциональных назначений, кроме как контроля целостности загрузки целевого образа ПО ССОИ и его переустановки в случае необходимости. Ввиду этого, ошибка подсистемы СВК на стадии проектирования невозможна.

Структура задач ССОИ показана на рисунке 4. Каждая задача отвечает за определенную функциональную часть реализованной системы. Такая организация задач позволяет удаленно управлять процессом сбора, накопления и передачи полезной информации. Планирование осуществляется с помощью команд программы измерений.

Прием данных	Обработка	Исполнение	Целевые задачи	Передача данных
<ul style="list-style-type: none"> • Прием команд управления • Прием данных о времени • Прием данных ориентации 	<ul style="list-style-type: none"> • Инициализация программы измерений • Инициализация программы работы ССНИ 	<ul style="list-style-type: none"> • Выполнение целевой программы • Выполнение служебных команд 	<ul style="list-style-type: none"> • Прием данных с ФЗМ • Пакетирование • Архивация • Хранение данных 	<ul style="list-style-type: none"> • Передача целевой информации • Передача телеметрии

Рисунок 4 – Задачи и функции ПОСНИ.

В таблице 1 показан краткий список команд ПО ССНИ с кодами. Необходимо отметить, что в таблице 1 указаны только основные, целевые команды ПО ССОИ. Имеются и отдельные команды для синхронизации времени часов ПО ССНИ, загрузки нового ПО и отчистки внешнего накопителя. Имеется группа команд для обслуживания самого ССОИ. Служебные команды ССОИ определяются в процессе интеграции с БКУ и ППУ. Такими командами могут быть сбор телеметрии, функциональное резервирование БКУ и др.

Таблица 1 – Краткий список команд ПО ССНИ

Команда	Код	Действие команды
FORMAT	0x11	Форматирование системы внешней памяти
ROOT	0x12	Чтение корневого каталога с внешней памяти
RENAME	0x13	Переименование файла корневого каталога
SELECT	0x14	Выбор файла корневого каталога с внешней памяти
DELETE	0x15	Удаление файла с внешней памяти
READ	0x16	Чтение файла с внешней памяти
SETA	0x21	Установка времени ССНИ в строчном формате
GETA	0x22	Чтение времени ССНИ в строчном формате
SETB	0x23	Установка времени ССНИ в двоичном формате
GETB	0x24	Чтение времени ССНИ в двоичном формате
SETC	0x25	Установка координаты угла ССНИ
GETC	0x26	Чтение координаты угла ССНИ
STATE	0x42	Чтение слов состояния системы

В ПО ССОИ использованы следующие сторонние компоненты, а также открытые модули:

- Fatfs – библиотека файловой системы fat для внешней памяти хранения;
- Uffs – библиотека файловой системы flash накопителя;
- Lzham/Quicklz – библиотеки архиваторов zip.

Выводы. Специалистами лаборатории космических систем научного назначения Института космической техники и технологий разработан экспериментальный образец аппаратного обеспечения системы сбора и обработки информации блока полезной нагрузки на базе микропроцессора ARM7, а также реализовано и испытано его целевое и служебное программное обеспечение.

Статья подготовлена в рамках выполнения проекта 0004-14/ПЦФ-00-АКМИР/0-16-ОТ «Разработать программно-математическое обеспечение экспериментального образца бортового комплекса управления наноспутника».

Литература

1. Джозеф Ю. Ядро Cortex-M3 компании ARM. Полное руководство. М.: Додэка XXI. 2015. 552 с.
2. Richard Barry. Using the FreeRTOS Real Time Kernel – Standard Edition.: Real Time Engineers Ltd. 2010. 172 p.

УДК 004.7

ПРОКЛАДКА ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ В УСЛОВИЯХ ГОРНОЙ МЕСТНОСТИ

FIBER-OPTIC TRANSMISSION LINE'S CONSTRUCTION IN A MOUNTAINOUS REGION

Балдук Р.А., Врублевский Д.А.

abromowich@mail.ru, danilghost95@mail.ru

Кыргызско-Российский Славянский Университет, г. Бишкек, Кыргызстан

***Аннотация.** В данной научной статье рассмотрены методы и проблемы прокладки оптического кабеля непосредственно в грунт - наиболее надежный, однако, экономически затратный способ организации волоконно-оптической линии связи.*

***Ключевые слова:** волоконно-оптическая система передачи, волоконно-оптическая линия связи, оптический кабель, защитные полиэтиленовые трубы, кабелеукладчик, маркер, траншея, горизонтальное-наклонное бурение.*

Монтажные работы по прокладке оптоволоконного кабеля осуществляются на основании проектной документацией и с соблюдением нормативных требований. Выбор способа прокладки находит отражение и обосновывается в проекте. Он должен соответствовать типу кабеля, а выбранный кабель – способу и условиям его монтажа [1].

Наиболее распространены четыре варианта:

1. Прокладка кабеля в грунт.
2. Прокладка в кабельной канализации.
3. По воздуху (подвес кабеля по столбам, опорам и фасадам зданий).

4. Внутренняя прокладка (внутри зданий).

Кыргызстан - горная страна, поэтому для организации волоконно-оптической системы передачи (ВОСП) между населенными пунктами, в целях обеспечения высокой надежности ОК от различных механических повреждений, рекомендуется проводить непосредственно в грунт. Это один из самых дорогостоящих методов организации волоконно-оптической линии связи (ВОЛС) с большим объемом организационных работ по землеотведению, согласованию переходов через различные транспортные коммуникации и прочих разрешительных мероприятий. В значительной мере стоимость ВОЛП здесь определяется трудоемкостью механизированных и ручных земляных работ. Этот способ используется повсеместно, за исключением грунтов, склонных к мерзлотным деформациям.

При строительстве ВОЛС большой протяженности (магистральные ВОЛС) оптимальным решением является прокладка оптоволоконного кабеля в защитных полиэтиленовых трубах (ЗПТ). Благодаря специальной технологии вдувания кабеля в ЗПТ и наличия в трубах внутреннего слоя смазки, при таком способе проведения монтажных работ удобнее, проще и быстрее прокладывать кабели большой длины.

Сам процесс укладки ОК происходит с постоянным контролем параметров оптического кабеля на каждом этапе прокладки в грунт и контроль монтажных соединений. Непосредственно в грунт прокладывают оптический кабель, имеющий броню из стальных проволок или ленточную броню.

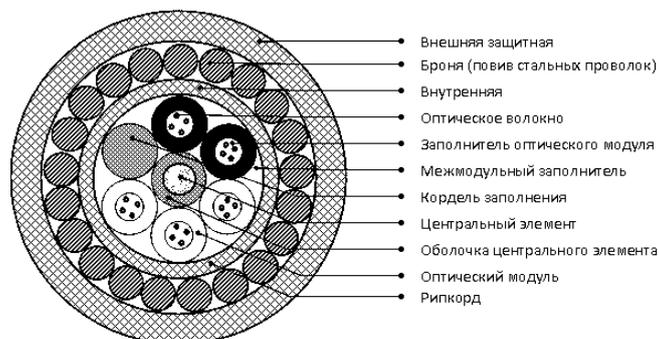


Рисунок 1 – Бронированный кабель стальными проволоками (ДКП)

Кабель ДКП предназначен для прокладки в грунтах всех категорий, в том числе подверженный мерзлотным деформациям, в кабельной канализации, трубах, блоках, коллекторах, туннелях, по мостам и эстакадам при наличии высоких требований по механической устойчивости [2].

Существуют два основных способа прокладки оптического кабеля в грунт:

- 1) Специальными кабелеукладчиками бестраншейным методом.
- 2) Оптоволоконные кабели, защищенные броней из стальной проволоки или ленточным покрытием, прокладываются непосредственно в траншею.

Ручная прокладка кабеля используется нечасто – в случаях, когда нет возможности подъезда техники и пространства для выполнения таких работ.

Прокладка оптоволоконного кабеля в грунт кабелеукладчиком бестраншейным способом. Благодаря высокой скорости механизированного процесса и достаточно высокой скорости укладки прокладка ВОЛС в грунт с помощью специальных кабелеукладчиков является наиболее экономичным и распространенным способом укладки (рис.2). Этим способом обеспечивается оптимальная глубина залегания трассы (около 1.2 метра) [3].

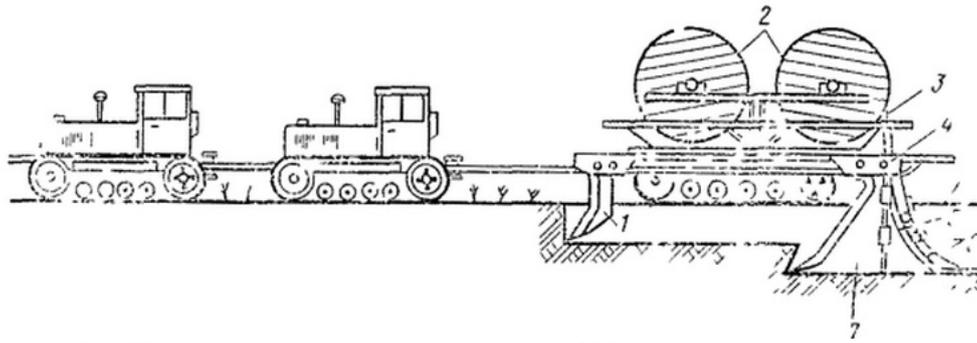


Рисунок 2 – Прокладка оптического кабеля (ОК) ножевым кабелеукладчиком.

1 - передний нож-рыхлитель; 2 - барабаны; 3 - ОК; 4 - корпус кабелеукладчика; 5 - кассета; 6 - ролики в кассете; 7 - нож рабочий.

Технология выполнения работ предусматривает прорезание кабелеукладчиком в грунте узкой щели и укладка на ее дно кабеля. Прокладка в грунт ведется по специально разработанной схеме для оптоволоконного кабеля, когда кабельный барабан монтируют спереди трактора кабелеукладчика. Чтобы уменьшить высокие механические нагрузки (продольное растяжение, поперечное сжатие, изгиб, вибрация) на кабель, возникающие на пути его движения от барабана к выходу из кабеленаправляющей кассеты, создается принудительное вращение барабана и не допускается засорение кассеты кабелеукладочного ножа при осуществлении укладки кабеля в грунт. За процессом укладки ведется непрерывный контроль, предполагающий соблюдение следующих технологических параметров:

- неизменная скорость укладки;
- постоянный наклон кабелеукладчика;
- исключение резких изгибов кабеля;
- недопущение превышения допустимого растяжения оптоволоконного кабеля.

Допустимый радиус изгиба ОК должен оставаться постоянным, при повороте трассы с радиусом более крутым, чем допускает кабелеукладочная техника, должна быть раскопана траншея для выполнения маневра. Выглубление и заглубление ножа кабелеукладчика производятся только в предварительно отрытом котловане, размер которого должен быть больше наибольшей ширины ножа. Выше уровня прокладки ОК на 10...15 см рекомендуется одновременно с ОК прокладывать сигнальную ленту, а на поворотах трассы и участках пересечений с подземными сооружениями устанавливать электронные маркеры [4].



Рисунок 3 – Сигнальная лента.



Рисунок 4 – Электронный маркер 3М Scotchmark.

Прокладка оптоволоконного кабеля в грунт траншейным способом. Прокладка ОК в траншею выполняется при множественных пересечениях с подземными коммуникациями или другими препятствиями, а также при возможных повреждениях кабелеукладчиком дренажных устройств. Траншеи разрабатываются траншеекопателями,

цепными или одноковшовыми экскаваторами, а при небольших объемах работ и в стесненных условиях – вручную (рис.5).

Глубина траншеи должна обеспечивать подсыпку песка или рыхлого грунта слоем 5 – 10 см для выравнивания дна траншеи и выполнения плавных переходов через неизвлекаемые включения. По окончании укладки ОК в траншею предварительно засыпают слоем песка или рыхлого грунта толщиной около 10 – 15 см (без включений камней), укладывают сигнальную ленту и окончательно засыпают траншею вынутым грунтом, который затем уплотняют. Недостатком этого способа является его трудоемкость и малая производительность [4].

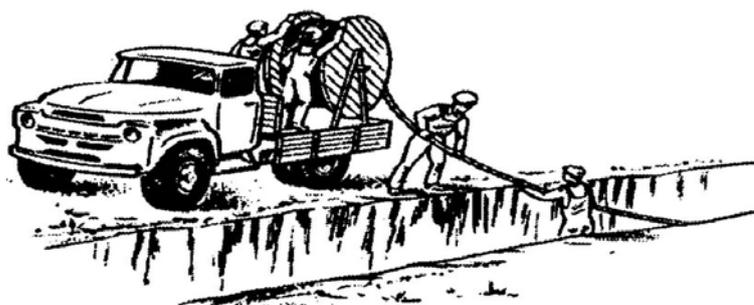


Рисунок 5 – Прокладка оптоволоконного кабеля в траншею.

На участке пересечения с автомобильными и железными дорогами ОК укладывают в защитные трубы, прокладываемые преимущественно закрытым способом (методом горизонтального прокола или методом управляемого бурения).

Прокладка ОК через водную преграду предусматривает сооружение двух участков перехода (створов), разнесенных друг от друга на расстояние около 300 м. При наличии моста на участке организации речного перехода нижний створ ОК прокладывается по мосту. На береговых участках ОК речного перехода соединяются муфтовым соединением с ОК, проложенным в грунт. Для удобства доступа к муфтам стыка грунтового ОК и ОК речного перехода целесообразно размещать их и технологические запасы длин ОК внутри пункта открытого доступа (ПОД) [4].

Метод горизонтально-наклонного бурения применяется при прокладке ОК через крупные овраги, судоходные реки и многочисленные подземные коммуникации. Этим методом с высокой точностью выполняются скрытые переходы на глубине до 30 м и длиной до 1 км. Установка горизонтально-наклонного бурения по заданной траектории бурит предварительную скважину, с большой точностью выходящую в заданную точку на другой стороне препятствия. Затем за один или несколько этапов расширяют скважину до требуемого диаметра. В скважину с помощью бурового раствора, формирующего канал и выполняющего роль смазки, затягивают отдельные трубы или пучки труб, используемые в качестве труб кабельной канализации на участке перехода [5].

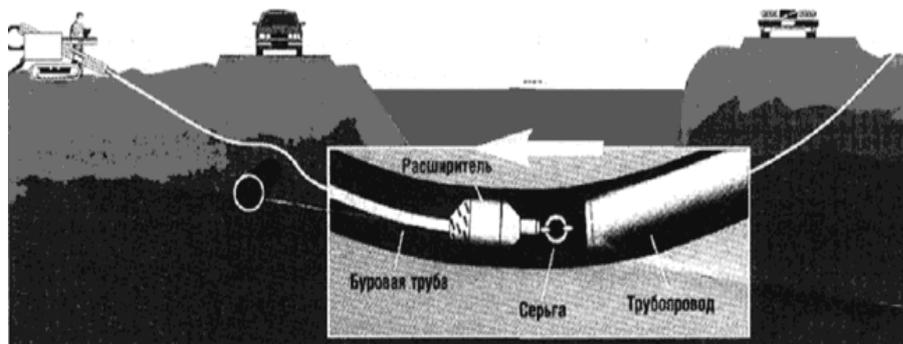


Рисунок 6 – Выполнение речного перехода методом горизонтально-наклонного бурения.

Защита волоконно-оптических линий передачи от удара молний. Молния чаще всего стремится поразить колокольни, мачты, деревья и другие высокие предметы. Это обусловлено тем, что молния представляет собою электрический разряд через толщу изолятора — воздуха. Она происходит чаще всего там, где слой воздуха между тучей и каким-либо предметом на поверхности земли будет меньше.

Повреждения в подземном кабеле могут возникнуть от токов молнии, попадаемых в кабель через корни близко растущих деревьев.

Молния может ударить и в ровную поверхность земли, но при этом она тоже устремляется туда, где электрическая проводимость почвы больше. Так, например, сырая глина или болотистое место поражаются молнией скорее, чем сухой песок или каменистая сухая почва. По той же причине молния поражает берега рек и ручьев, предпочитая их возвышающимся вблизи них высоким, но сухим деревьям.

Если грунт, в котором заложен подземный кабель, имеет большое удельное сопротивление, то разряды молнии, реагируя на наличие в почве хорошо проводящих металлических оболочек кабеля, ударяют в поверхность земли над этим кабелем.

В связи с этим выделяют следующие категории оптического кабеля:

- I категория - ОК, выдерживающие ток молнии 105 кА и выше;
- II категория - ОК, выдерживающие ток молнии от 80 кА до 105 кА;
- III категория - ОК, выдерживающие ток молнии от 55 кА до 80 кА;
- IV категория - ОК, выдерживающие ток молнии менее 55кА [6].

Наибольшее число повреждений кабелей происходит в районах со слоистым строением земли и, особенно, в районах распространения многолетнемерзлых грунтов.

В процессе строительства кабельных линий передачи, после вырубке просеки, грунт подвергается интенсивному протаиванию, и удельное сопротивление грунта на глубине прокладки кабеля резко понижается.

К основным мерам защиты подземных кабелей от повреждений ударами молнии относятся:

- а) применение грозостойких кабелей (тип кабеля определяется проектом);
- б) прокладка параллельно кабелю подземных металлических хорошо заземленных проводов, например, стальных оцинкованных типа ПС-70 или стальных канатов;
- в) прокладка с целью перехвата токов молнии защитных проводов (тросов) вокруг отдельно стоящих деревьев, опор высоковольтных линий (ВЛ) и связи [7].

При проектировании оптических кабельных линий передачи необходимо предусматривать использование ОК, имеющих категорию по молниестойкости не ниже приведенных в табл. 1, в зависимости от назначения ОК и условий прокладки.

Таблица 1 – Категории молниестойкости ОК

Районы	Рекомендуемые категории по молниестойкости ОК, предназначенных для	
	Магистральной сети связи	Внутризоновой сетей связи
С удельным сопротивлением грунта до 1000 Ом*м	I-III	I-IV
С удельным сопротивлением грунта свыше 1000 Ом*м	I-II	I-III
С многолетним грунтом	I	I-II

Если вблизи трассы ОК находятся отдельно стоящие деревья, опоры воздушных линий связи (ВЛС) или ВЛ, а также другие объекты высотой более 6 м при прокладке ОК вдоль опушки леса (аллеи деревьев), ВЛС или ВЛ защиту предусматривать при расстоянии между кабелем и деревом менее расстояний, приведенных в табл. 3 для различных значений удельного сопротивления грунта.

Таблица 2 – Наименьшее допускаемое расстояние прокладки ОК

Удельное сопротивление грунта Ом*м	Наименьшее допустимое расстояние, м
До 100	5
Более 100 до 1000	10
Более 1000	15

В случае если невозможно выдержать расстояния прокладки кабеля, приведенные в табл.3, необходимо предусматривать дополнительную защиту, которая выполняется путем прокладки защитной шины (троса, провода) сечением не менее 12 мм по меди и 70 мм по стали между кабелем и опорой или деревом (рис.7). Концы шины заземляются [6].

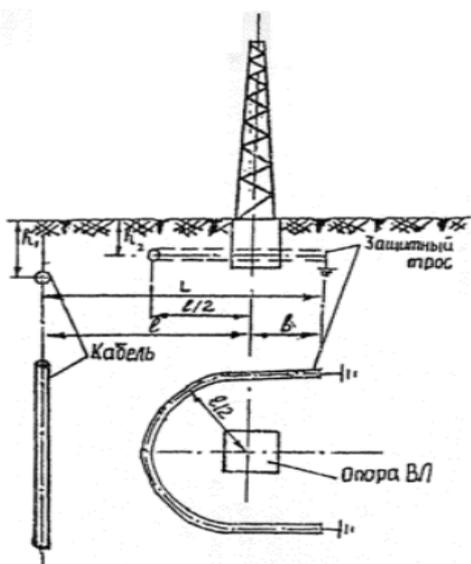


Рисунок 7 – Установка грозозащиты вокруг опоры ВЛ.

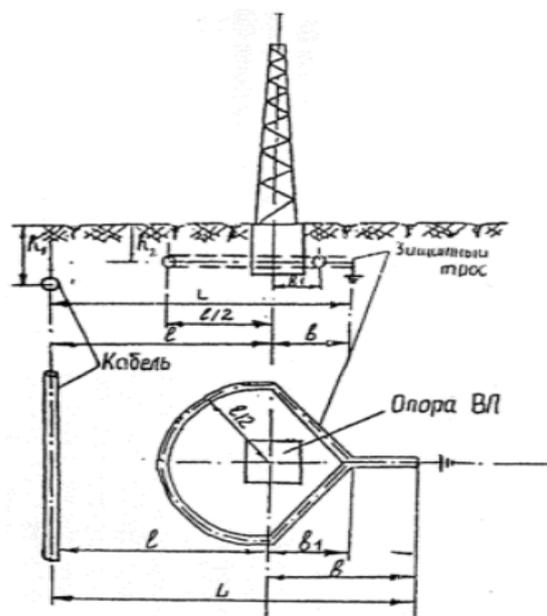


Рисунок 8 – Установка кольцеобразной грозозащиты вокруг опоры ВЛ.

Вместо двух заземлений можно делать одно, но в этом случае шина (трос, провод) должна прокладываться вокруг опоры кольцеобразно, причем оба конца присоединяются к заземлению (рис.8).

Минимально допустимое расстояние между кабелем и ближайшим электродом заземляющего контура определяется в зависимости от удельного сопротивления грунта и должно превышать значения, указанные в табл.3 не менее чем на 2 м. Защитная шина должна прокладываться на глубину 0,4 м.

При прокладке ОК вдоль опушки леса (аллеи деревьев), ВЛ на расстоянии меньше, чем указано в табл.3 необходимо между кабелем и лесом (ВЛС, ВЛ) проложить один защитный провод типа ПС-70 по всей длине сближения.

Выводы. На сегодняшний день существует много способов прокладки оптической линии связи, но организация прокладки оптического кабеля непосредственно в грунт является наиболее надежной и долговечной. При этом, структура кабеля должен

соответствовать среде, в которую его помещают, т.е. оптический кабель должен иметь соответствующую металлическую броню, а сама прокладка кабеля должна быть организована с учетом защиты волоконно-оптической линии связи от ударов молний.

Литература

1. Прокладка оптоволоконного кабеля URL: <http://www.mss.su/vols/prokladka-optovolokonnoego-kabelya>.
2. Бронированный кабель стальными проволоками (ДКП). URL: <http://www.ofssvs1.ru/catalog/10/>.
3. ЭлектроСвязь. Прокладка волоконно-оптического кабеля в грунт URL: <http://video-fon.com/uslugi/stroitelstvo-vols/prokladka-vols-v-grunte>.
4. Способы прокладки оптических кабелей. Прокладка оптических кабелей в грунт. URL: <http://www.ruscable.ru/doc/analytic/statya-091.html>.
5. Иванов В.С., Никитин Б.К., Пирмагомедов Р.Я. Строительство ВОЛС. Современные технологии и организация. СПб.: СПб ГУТ. 2015. 71 с.
6. Руководство по защите оптических кабелей от ударов молнии. <http://www.complexdoc.ru/ntdtext/546282/1>.
7. Защита кабельных линий местной сети связи от грозových разрядов URL: http://izmer-ls.ru/rukvo/18_3.html.

УДК 621.9:62-52

РАЗРАБОТКА МЕТОДА И УСТРОЙСТВО АВТОМАТИЧЕСКОГО СЧЕТА ИЗДЕЛИЯ И НАЛИЧИЯ ФАСКИ В ИЗДЕЛИЯХ ТИПА ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ.

DEVELOPMENT OF A METHOD AND DEVICE OF AUTOMATIC ACCOUNT PRODUCTS AND THE PRESENCE OF THE CHAMFER IN THE PRODUCT SUCH AS BODIES OF ROTATION.

Гейбель Ю.А., Муслимов А.П.
geibel_93@mail.ru

Кыргызско-Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызстан

Аннотация. В статье приведены материалы по разработке автоматической системы счета изделий массового производства. Исследовано быстроедействие автоматической системы, а также производительность ее работы.

Ключевые слова: оптико-электронная система, фотоэлектрические датчики, автомат счета, фотоприемник, оптическая головка.

Внедрение автоматизированного технологического оборудования позволило увеличить количество выпускаемой продукции. Это в свою очередь требует более качественного осуществления процесса контроля и учета продукции. Важным этапом автоматизации различных видов производств является введение автоматического учета.

Автоматический учет штучных изделий позволяет объективно судить о ритме работы производства и выполнении плановых заданий, вести правильное планирование и учет расходуемых материалов, а также производить учет выработки каждого рабочего.

Устройство счета изделий можно представить обобщенной схемой, в состав которой входят датчики (воспринимающий элемент), суммирующие устройства (сумматоры), регистрирующие устройства.

Другим проблемным вопросом в машиностроении является контроль качества изделий. Например, в станках-автоматах обрабатываются с высокой производительностью детали типа втулок, валков, у которых должны быть фаски. По разным причинам иногда автомат выдает эти изделия без фасок, тогда они являются непригодными для сборочного автомата. Система контроля – оптоэлектронная.

Фотоэлектрические датчики, работа которых основана на изменении фотосопротивления элементов в зависимости от величины падающего на них светового потока, связанной с наличием или отсутствием изделия, наличием фаски или отсутствием ее. [1]

Фотоэлектрические датчики имеют следующие основные преимущества:

- позволяют производить учет количества и качества изделий, независимо от стадии и процента обработки;
- обеспечивают высокую скорость счета (10000 – 12000 отсчетов в минуту) и высокую производительность автомата;
- изделия не контактируют с измерительным приспособлением.

Учитывая перечисленные достоинства датчиков, необходимо подобрать такую схему счетного устройства, которая бы исключала контакт изделия с элементами устройства, отвечала бы заданной производительности, исключала возможность счета бракованных изделий, удовлетворяла условиям эксплуатации. Аналогичными являются требования и к автомату контроля качества изделий.

Эта задача может быть решена путем применения оптоэлектронного устройства.

Активной частью счетчика штучных изделий является фотоэлектрический датчик. С его помощью осуществляется подача соответствующей информации на счетчик. Датчик состоит из фотоэлектронной пары светодиод – фотодиод $V_1 - V_2$ (рисунок 1), работающей в инфракрасной области (диапазоне), что устраняет влияние внешней засветки на работу устройства и позволяет избавиться от светонепроницаемых экранов, закрывающих оптику устройства.

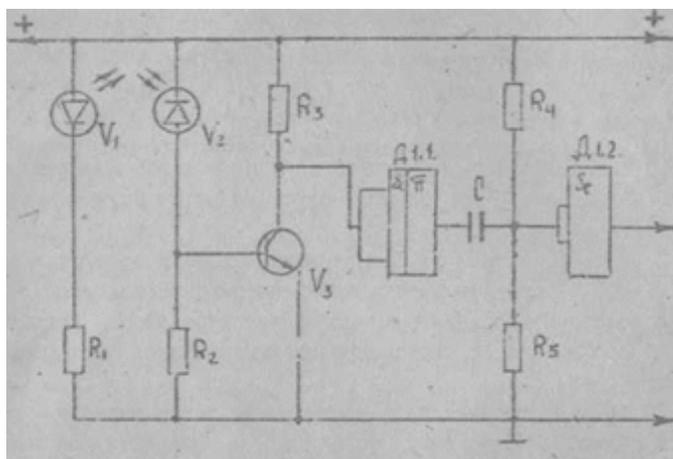


Рисунок 1 - Принципиальная схема.

Фотоэлектронная пара расположена таким образом, что при появлении изделий в зоне счета фотодиод V_2 засвечивается отраженными от изделия световыми потоками, излучаемыми светодиодом V_1 . Сигналы датчика снимаются с коллектора транзистора V_3 , в базовую цепь которого включен фотодиод V_2 , подаются в устройство формирования управляющих импульсов, собранное на микросхеме $D_{1.1}$.

Триггер Шмитта, выполненный на микросхеме $D_{1,1}$, применен в данном устройстве в качестве порогового элемента, а также служит для формирования прямоугольных импульсов. [2]

На рисунке 2 показаны эпюры напряжений на выходе триггера при различных входных напряжениях. График наглядно показывает, что при напряжениях, меньших напряжения срабатывания $U_{сраб}$, переключения триггера не происходит. Это позволяет избавиться от ложных срабатываний счетчика и повышает точность счета. Далее импульсы счета дифференцируются цепью и поступают на инвертор, выполненный на микросхеме $D_{1,2}$, который из импульсов положительной полярности, формирует отрицательные импульсы для управления двоично-десятичным счетчиком. На рис.3 приведена блок-схема устройства.

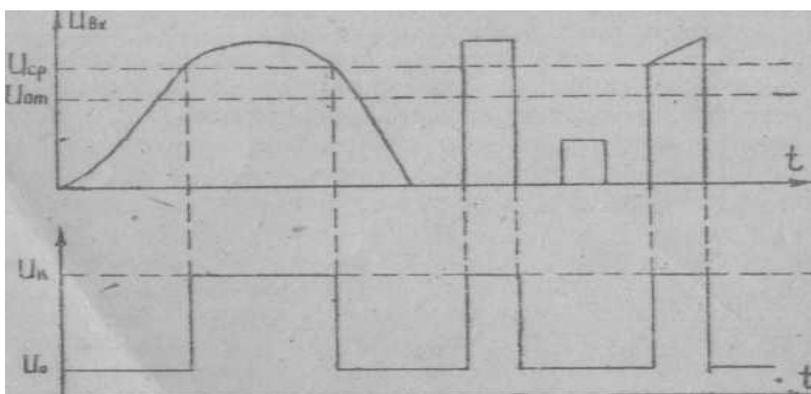


Рисунок 2 - Эпюры напряжений.

Количество декад электронного счетчика (5-10) выбирается, исходя из заданной производительности в штуках. Если сменная выработка порядка 150000 штук, необходимо установить на счетчик 6 последовательно соединенных счетных декад. Каждая декада, представляющая собой разряд счетчиков, содержит четыре УК-триггера и работает на свой дешифратор (11-16) и индикатор (17-22). Дешифраторы служат для индикации состояния счетчика и преобразуют двоичный код счетчика "1-2-4-6" в десятичный.

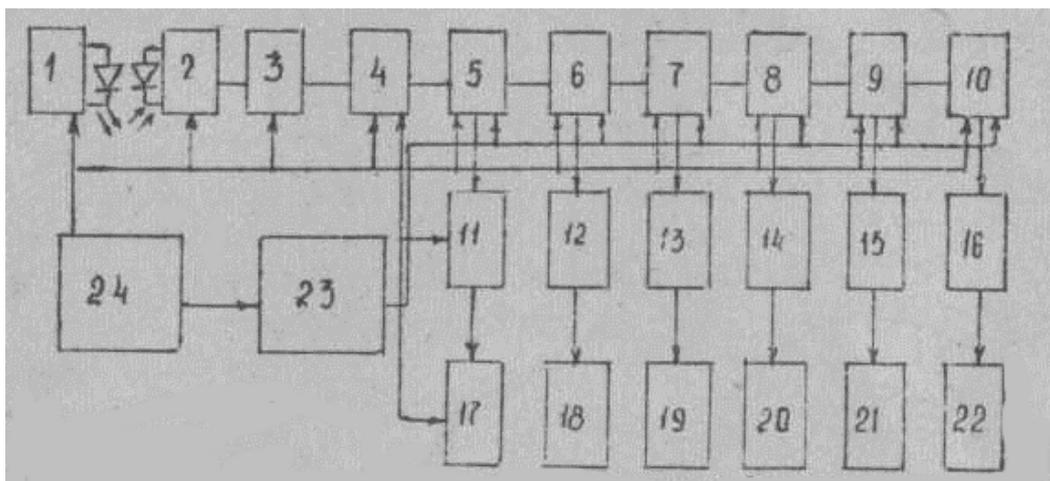


Рисунок 3 – Блок-схема автомата счета:

1 – Устройство питания излучателя; 2 – Усилитель; 3 – Пороговый элемент; 4 – Формирователь; 5,10 – Счетчики; 11,16 – Дешифратор; 17,22 – Индикатор; 23 – Устройство формирования импульса; 24 – Блок питания.

Выходы дешифраторов соединены непосредственно с катодом индикаторной лампы. Для питания всего устройства служит блок 24, а для питания светодиода - устройство питания излучателя 1. Устройство формирования импульса сброса 23 осуществляет установку счетчика в нулевое состояние при подаче питания на схему.

Фотоэлектрический датчик. Работа фотоэлектрического датчика основана на изменении фотосопротивления элементов в зависимости от величины падающего на них светового потока, связанной с наличием или отсутствием изделия. Когда по лотку движется деталь, но еще не достигла окна, через которое осветитель действует лучом света на фотоприемник, - электрическая цепь фотоприемника и счетчика разомкнута. Проходя дальше по лотку, деталь закрывает отверстие между осветителем и фотоприемником: возникает электрический сигнал, который с фотоприемника поступает дальше на усилитель. [3]

Оценка быстродействия устройства счета. Для оценки быстродействия устройства определим интервал времени между входным импульсом и импульсом на выходе первого триггера первой счетной декады. Схема устройства формирования импульса приведена на рисунке 6.

Суммарное время задержки распространения сигнала в данной схеме будет оцениваться по формуле:

$$t_{зд.р.} = t_{зд.р.ф.} + t_{зд.р.т.} + t_{зд.р.тш.} + t_{зд.р.инв.}$$

где $t_{зд.р.}$ - время задержки распространения сигнала всего устройства; $t_{зд.р.ф.}$ - время задержки распространения сигнала фотодиода; $t_{зд.р.т.}$ - время задержки распространения сигнала в усилителе на транзисторе; $t_{зд.р.тш.}$ - время задержки распространения сигнала в триггере Шмитта; $t_{зд.р.инв.}$ - время задержки распространения сигнала в инверторе.

В устройстве будут использоваться следующие элементы: фотодиод ФД-26К; транзистор КТ301; триггер Шмитта на микросхеме К155ТЛ1; инвертор и логическая схема К155ЛА3.

Время задержки для каждого элемента схемы определяется по справочным данным:

- Для фотодиода ФД-26К – $t_{зд.р.ф.} = 10^{-6}$ с .
- Для транзистора КТ301 – $t_{зд.р.т.} = 2 \cdot 10^{-6}$ с .
- Для триггера Шмитта К155ТЛ1 при переходе из нулевого состояния в единичное $t_{зд.р.тш.0} = 22 \cdot 10^{-6}$ с .
- Для триггера Шмитта при переходе из единичного состояния в нулевое $t_{зд.р.инв.} = 27 \cdot 10^{-6}$ с

Суммарное время задержки для триггера Шмитта:

$$t_{зд.р.тш.} = t_{зд.р.тш.0} + t_{зд.р.тш.0} = 49 \cdot 10^{-6}$$

Для инвертора на логическом элементе КТ55ЛА3:

- при переходе из единичного состояния в нулевое $t_{зд.р.инв.1} = 15 \cdot 10^{-6}$ с
- при переходе из нулевого состояния в единичное $t_{зд.р.инв.0} = 22 \cdot 10^{-6}$ с
- суммарное время задержки для инвертора - $t_{зд.р.инв.} = 15 \cdot 10^{-6} + 22 \cdot 10^{-6} = 37 \cdot 10^{-6}$ с

На основании приведенных данных определим суммарное время задержки распространения сигнала, которое зависит от количества элементов и от их быстродействия:

$$t_{зд.р.инв.} = 89 \cdot 10^{-6}$$

Приведенный расчет позволяет определить максимальную частоту $f = 11$ кГц.

Таким образом, устройство автоматического счета изделий полностью удовлетворяет требованиям по быстродействию, так как максимальная частота исходного автомата-станка равна 8 Гц.

Автомат контроля качества изделий состоит из транспортного устройства, оптической головки, устройства разбраковки к электронной части, содержащей блок питания и блок обработки электрического сигнала.

Транспортное устройство автомата обеспечивает захват контролируемых изделий из лотка загрузки и транспортирование их к зонам контроля и разбраковки. Транспортное устройство имитирует ротор на две позиции (позиций может быть и больше) и состоит из привода, на валу которого укреплено коромысло. На периферийных частях коромысла установлены призмы, служащие для базирования контролируемых изделий на позициях контроля и разбраковки.

Загрузочное устройство представляет собой лоток-накопитель, установленный под углом к плоскости вращения ротора транспортного устройства. К загрузочному устройству относятся так же и уголки, подвижно укрепленные в прорезях призм транспортного ротора и служащие для захвата контролируемых изделий из лотка накопителя.

Принцип работы загрузочного устройства показан на рисунке 4.

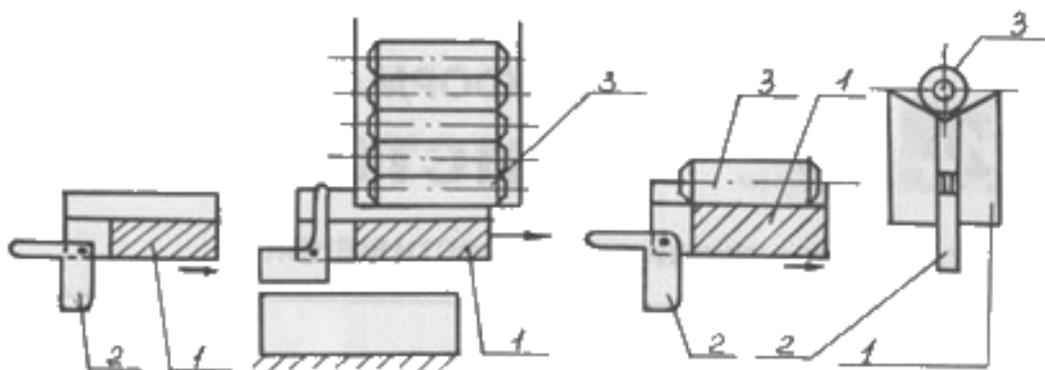


Рисунок 4 - Загрузочное устройство: 1- призма транспортного устройства; 2 - уголок устройства загрузки; 3 - контролируемое изделие.

Оптическая головка автомата контроля состоит из осветителя, в качестве которого применен светодиод с инфракрасным спектром излучения, и фотоприемника, в качестве которого применен фототранзистор с максимальной чувствительностью в инфракрасной области спектра.

В целях упрощения конструкции оптическая головка не содержит линз, и формирование светового потока осуществляется диафрагмами на осветителе и фотоприемнике.

Оптическая голова автомата расположена в пространстве так, что плоскость контролируемой грани перпендикулярна плоскости головки. Только в этом случае на фотоприемнике попадает максимальный уровень светового потока, отраженного от грани контролируемого изделия. [4]

Для устранения влияния внешней засветки на фотоприемник и повышения температурной стабильности тракта усиления сигнала применена амплитудная модуляция светового потока осветителя на строго определенной частоте. Достигается это тем, что осветитель (светодиод) запитывается током не постоянным, а пульсирующим от формирователя прямоугольных импульсов.

Тракт усиления сигналов фотоприемника построен на резонансных каскадах, усиливающих только определенную полосу частот. Вследствие этого сигнал фотоприемника от внешней засветки не усиливается.

Оптическая схема головки и принцип действия показаны на рисунке 5.

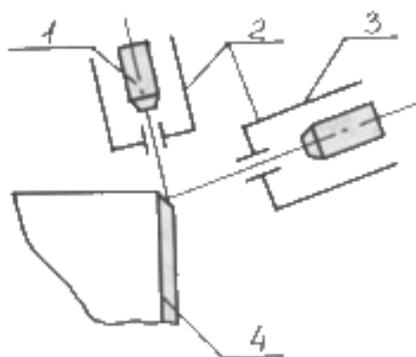


Рисунок 5 – Оптическая схема головки: 1 – осветитель; 2 – диафрагма; 3 – фотоприемник; 4 – контролируемое изделие.

Устройство разбраковки состоит из двух упоров, один из которых является подвижным и управляется электромагнитом, другой неподвижно закреплен на панели автомата. Электромагнит подвижного упора управляется от электронного блока обработки сигнала и срабатывает только при прохождении через зону контроля изделий с фаской, то есть годных, а неподвижный упор снимает с призм транспортного ротора все оставшиеся изделия. Структурная схема электронной части приведена на рисунке 6.

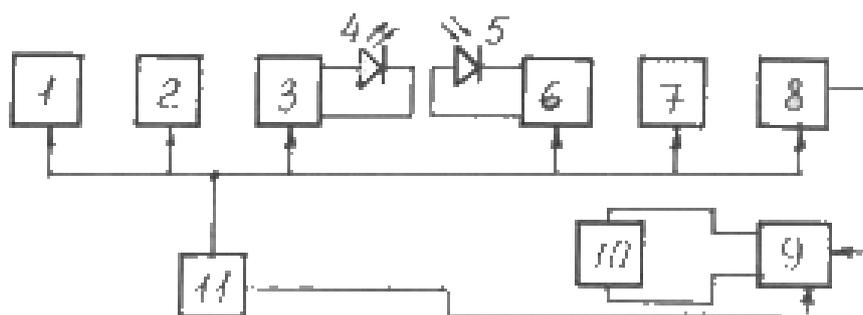


Рисунок 6 – Структурная схема автомата контроля. 1 – задающий генератор; 2 – делитель; 3 – усилитель; 4 – осветитель; 5 – фотоприемник; 6 – резонансный усилитель; 7 – амплитудный компаратор; 8 – одновибратор; 9 – усилитель тока; 10 – электромагнит устройства разбраковки; 11 – блок питания.

Как указывалось выше, осветитель оптической головки для повышения помехоустойчивости автомата контроля питается пульсирующим током определенной частоты. Задающий генератор вырабатывает прямоугольные импульсы, частота которых стабилизирована кварцевым резонатором, обеспечивающим высокую стабильность частоты.

С задающего генератора импульсы поступают на делитель, где происходит деление частоты входных импульсов до частоты, соответствующей временным параметрам применяемого светодиода. В данном случае частоты выходных импульсов приняты равными 8 кГц.

С делителя частоты прямоугольные импульсы поступают на усилитель тока, к выходу которого подключен светодиод.

Отраженный от контролируемой грани изделия световой поток попадает на фотоприемник, который подключен к входу резонансного усилителя.

Резонансный усилитель имеет узкую полосу пропускания, средняя частота которой равна 8 кГц.

Усиленный усилителем сигнал попадает на вход амплитудного компаратора. Порог срабатывания амплитудного компаратора подбирается таким, чтобы он надежно срабатывал от уровня полезного сигнала и не срабатывал от сигнала помехи.

При срабатывании амплитудного компаратора, одновибратор формирует одиночный импульс, длительность которого несколько превышает время перемещения контролируемых изделий из зоны контроля к зоне разбраковки.

Сформированный одновибратором импульс усиливается усилителем тока и подается на обмотку электромагнита. Таким образом, при прохождении через зону контроля годного изделия электромагнит разбраковки срабатывает за время, достаточное для перемещения изделия от зоны контроля до упора, управляемого этим электромагнитом.

Выводы:

1. Разработана автоматическая система счета изделий и контроля наличия фасок в деталях типа тел вращения.
2. Автоматические системы контроля могут быть использованы в различных отраслях промышленности.

Литература

1. Москатов Е.А. Справочник по полупроводниковым приборам. М.: Журнал “Радио”. 2005. 208 с.
2. Кочергин В.И. Теория многомерных цифровых множеств в приложениях к электроприводам и системам электропитания Томск: Изд-во Томск. ун-та. 2002. 444 с.
3. Хандогин М.С. Электронные приборы. Минск: БГУИР. 2005. 188 с.
4. Шишмарев В.Ю. Автоматизация технологических процессов М.: Академия. 2005. 352 с.

УДК 004.852

КЛАСТЕРИЗАЦИЯ НОВОСТНОГО ПОТОКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ТЕКСТА

NEWS' STREAM CLUSTERING USING TEXT DATA MINING

Гесь В.П., Сычева Н.А.

vit.ghes@gmail.com

Кыргызско-Российский Славянский университет, Кыргызстан
Научная станция Российской академии наук, г. Бишкек, Кыргызстан

***Аннотация.** В работе представлены некоторые вопросы создания системы кластеризации новостного потока на основе новостных порталов Кыргызстана. Рассматривается общая теория нейронных сетей и кластеризации, приведён обзор систем аналогов. Выдвинуто предложение о выборе архитектуры нейронной сети для решения задачи.*

***Ключевые слова:** кластеризация, алгоритмы кластеризации, новости, нейронная сеть, самоорганизующаяся карта Кохонена.*

Введение. В современном мире человек ежедневно сталкивается с огромным потоком информации. Одним из её источников являются Интернет-ресурсы. В Кыргызстане в топ-20 самых посещаемых сайтов входят 8 новостных порталов [1].

В связи с этим становится актуальной проблема корректной кластеризации новостного потока в соответствии с его тематической структурой, которая является частным

случае задачи кластеризации документов. Это принесёт пользу как провайдерам новостей, повышая удобство и привлекательность этого сервиса, так и конечным пользователям, которые получают удобный доступ к точкам зрения различных СМИ. При этом ручная кластеризация, производимая экспертами, как альтернатива автоматической отличается дороговизной в связи с масштабом проводимой работы, а также субъективностью, объясняющейся человеческим фактором.

Задача кластеризации документов схожа с задачей классификации документов. При этом важным отличием является то, что в случае классификации документов [2] мы имеем дело с заранее известным набором категорий, задача же кластеризации документов [3] подразумевает автоматическое выделение кластеров на основе заданных параметров.

Желательными характеристиками такой системы являются возможность опционального отнесения одной новости к нескольким кластерам, масштабируемость – т.е. способность системы справляться с увеличением количества текстов и минимальное количество (а лучше – отсутствие) настроечных параметров, что упрощает ее использование.

В ходе проведенного исследования единственным найденным аналогом такой системы являются Яндекс.Новости. Яндекс.Новости — крупнейший в рунете агрегатор новостных сообщений. Каждый день этот сервис получает материалы от нескольких тысяч СМИ и автоматически формирует из них новостную картину дня [4]. Особенности этой системы:

1. Автоматическая кластеризация новостей.
2. Составление сборной статьи на основе полученных кластеров.
3. Использует только новостные порталы России, Беларуси и Казахстана.

Яндекс.Новости имеют необходимый функционал, но не имеют интеграции с новостными порталами Кыргызстана. В связи с этим целью данной работы является создание продукта, кластеризирующего новостной поток Кыргызстанского региона.

Методология решения задачи. В таблице 1 представлены некоторые стороны определения проблемы, а в таблице 2 определены некоторые позиции разрабатываемого программного обеспечения

Таблица 1 – Определение проблемы

Проблема	Отсутствует тематическая кластеризация новостного потока.
Затрагивает	Пользователей.
Ее следствием является	Затруднение поиска нужной информации.
Успешное решение	Предоставление сервиса тематической кластеризации новостного потока.

Таблица 2 – Определение позиции ПО

Для	интернет-пользователей Кыргызстана,
которым	требуется упростить поиск нужной информации.
(Название продукта)	Система кластеризации новостного потока,
которая	использует интеллектуальный анализ текста для кластеризации новостей.
В отличие от	сервиса Яндекс.Новости,
наш продукт	будет собирать информацию с сайтов Кыргызстана.

Для кластеризации новостного потока будет применена нейронная сеть. Таким образом, нужно выбрать одну из реализаций нейронных сетей, подходящую для решения задач кластеризации, и проанализировать, какие параметры нужно подать ей на вход для успешного решения поставленной задачи.

Нейронная сеть — это последовательность нейронов, соединенных между собой синапсами. Структура нейронной сети пришла в мир программирования прямоком из биологии. Благодаря такой структуре, машина обретает способность анализировать и даже запоминать различную информацию. Нейронные сети также способны не только анализировать входящую информацию, но и воспроизводить ее из своей памяти. Другими словами, нейросеть это машинная интерпретация мозга человека, в котором находятся миллионы нейронов, передающих информацию в виде электрических импульсов [5].

Под *кластеризацией* понимается разбиение множества входных сигналов на классы, при том, что ни количество, ни признаки классов заранее не известны. После обучения такая сеть способна определять, к какому классу относится входной сигнал. Сеть также может сигнализировать о том, что входной сигнал не относится ни к одному из выделенных классов — это является признаком новых, отсутствующих в обучающей выборке, данных. Таким образом, подобная сеть *может выявлять новые, неизвестные ранее классы сигналов*. Соответствие между классами, выделенными сетью, и классами, существующими в предметной области, устанавливается человеком [6].

Для решения задач кластеризации применяют следующие архитектуры нейронных сетей:

- Перцептрон – искусственные нейронные сети:
 - с одним скрытым слоем;
 - с пороговой передаточной функцией;
 - с прямым распространением сигнала.
- Самоорганизующаяся карта Кохонена;
- Сети адаптивного резонанса.

Для решения данной задачи было решено применить сети адаптивного резонанса.

Стандартная АР система представляет собой модель обучения без учителя. Как правило она состоит из составленных из нейронов поля сравнения и поля распознавания, а также параметра бдительности и модуля сброса. На вход поля сравнения подается вектор чисел, для которого определяется соответствующий нейрон в поле распознавания, то есть тот, чьи веса больше всего похожи на входной вектор. Каждый нейрон поля распознавания тормозит другие нейроны из этого поля (сила воздействия пропорциональна степени соответствия). После классификации входа модуль сброса сравнивает степень соответствия при распознавании с параметром бдительности. В случае если порог преодолен, происходит обучение: веса победившего нейрона подгоняются к значениям входного вектора. Если же порог не был преодолен, то победивший нейрон подавляется и запускается процедура поиска. В ходе этой процедуры распознающие нейроны отключаются один за другим с помощью функции сброса пока порог бдительности не будет преодолен. На каждом цикле поиска выбирается наиболее активный распознающий нейрон, и отключается, в случае если активация не достигает порога бдительности. Параметр бдительности имеет значительное влияние на систему: высокие значения создают высоко детализированную память (множество мелких категорий), тогда как небольшие значения создают более общие образы (меньшее количество более крупных категорий) [7].

В дальнейшем планируется провести поиск реализации сети адаптивного резонанса, выбрать входные параметры и проверить эффективность данного решения.

Литература

1. WWW.NET.KG -> главная <https://www.net.kg/>
2. Классификация документов — Википедия https://ru.wikipedia.org/wiki/Классификация_документов
3. Кластеризация документов — Википедия https://ru.wikipedia.org/wiki/Кластеризация_документов
4. Как устроены Яндекс.Новости — Блог Яндекса <https://yandex.ru/blog/company/76641>
5. Нейронные сети для начинающих. Часть 1 / Хабрахабр <https://habrahabr.ru/post/312450/>

6. Искусственная нейронная сеть — Википедия
https://ru.wikipedia.org/wiki/Искусственная_нейронная_сеть
7. Адаптивная резонансная теория
https://ru.wikipedia.org/wiki/Адаптивная_резонансная_теория

УДК 519.612:519.624

РЕШЕНИЕ СИСТЕМЫ ЛИНЕЙНЫХ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ КАК ОДИН ИЗ ЭТАПОВ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ОДНОМЕРНОМ ПОЛУПРОСТРАНСТВЕ

SOLVING OF SYSTEMS OF LINEAR ALGEBRAIC EQUATIONS AS ONE OF THE STAGES OF MAGNETOTELLURIC FIELD BEHAVIOR NUMERICAL MODELING IN ONE-DIMENSIONAL HALF-SPACE

Забинякова О.Б.

perah.92@inbox.ru, zabinyakova@gdirc.ru
Научная станция РАН, г. Бишкек, Кыргызстан

***Аннотация.** В работе рассматриваются способы решения некоторых систем линейных алгебраических уравнений, возникающих при решении прямой одномерной задачи магнитотеллурического зондирования.*

***Ключевые слова:** магнитотеллурическое поле, прямая одномерная задача магнитотеллурического зондирования, система линейных алгебраических уравнений, метод прогонки, KG-алгоритм, численные эксперименты.*

Большое количество математических моделей, описывающих физические, химические, экономические и др. процессы, имеют вид дифференциальных уравнений в частных производных или представляются интегральными и интегро-дифференциальными уравнениями. Зачастую отсутствует возможность решать подобные задачи аналитически, поэтому для их решения разрабатывают соответствующие численные методы. При этом численное решение задачи обычно разбивается на два этапа. Первый этап заключается в построении дискретной (разностной) аппроксимации модельных уравнений, в проведении анализа погрешности полученной аппроксимации, а также в исследовании устойчивости и точности построенной разностной схемы. На втором этапе подбирается наиболее эффективный метод для решения полученных разностных уравнений [1].

Построение численных методов для решения различных задач геофизики, в том числе и магнитотеллурики, в настоящее время представляет большой интерес.

Известно, что математической моделью электромагнитного (магнитотеллурического) поля является система уравнений Максвелла, дополненная материальными уравнениями Максвелла [2]. Поэтому эта система уравнений также является базовой математической моделью и для процесса магнитотеллурического зондирования (метода магнитотеллурического зондирования – МТЗ), исследующего строение геологической среды по естественному электромагнитному полю Земли [2, 3].

Краткое описание построения численных методов для решения прямой одномерной и прямой двумерной задач магнитотеллурического зондирования было представлено в работах [4-6], где построение разностных схем осуществлялось с помощью проекционного варианта интегро-интерполяционного метода (ПВИИМ) [7-9].

В рамках данной работы рассмотрим подробнее численное решение прямой одномерной задачи МТЗ для простейшей физико-геологической модели среды – для

однородного полупространства. В отличие от прямой двумерной и, тем более, трехмерной задач МТЗ, имеющих важное прикладное значение для таких регионов, как Тянь-Шань, характеризующийся сложными геоэлектрическими условиями, прямая одномерная задача, напротив, скорее обладает теоретическим характером и на практике геофизиками применяется довольно редко. Несмотря на это, математическая модель, соответствующая прямой одномерной задаче, является хорошей тестовой моделью для апробации разностных схем, полученных с помощью метода ПВИИМ. При этом результаты применения этих разностных схем можно сравнить с аналитическим (точным) решением задачи и с работой разностных схем, полученных широко распространенным методом центрально-разностной аппроксимации (МЦРА) [1].

С учетом ряда стандартных упрощающих предположений (электромагнитное поле квазистационарно и зависит от времени по гармоническому закону; магнитная и диэлектрическая проницаемости постоянны; электропроводность среды не зависит от частоты и является постоянной величиной; в трехмерном проводящем пространстве свойства среды сохраняются вдоль осей x и y), система уравнений Максвелла сводится к системе двух обыкновенных дифференциальных уравнений [2, 3]:

$$\begin{cases} -\frac{dH}{dz} = \sigma E, \\ \frac{dE}{dz} = i\omega\mu_0 H; \end{cases} \quad z \in [a, b], \quad (1)$$

где $H = H(z)$ и $E = E(z)$ – неизвестные функции, соответствующие комплексным компонентам напряженности магнитного и электрического полей, $\sigma \equiv const$ – электрическая проводимость, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ – магнитная проницаемость вакуума, ω – частота.

В качестве краевых условий для системы (1) будем рассматривать различные линейные комбинации значений неизвестных функций в граничных точках отрезка $[a, b]$:

$$\alpha_0 H(a) - \beta_0 E(a) = \gamma_0, \quad \alpha_1 H(b) + \beta_1 E(b) = \gamma_1, \quad (2)$$

где $\alpha_0, \beta_0, \gamma_0, \alpha_1, \beta_1, \gamma_1$ – некоторые действительные числа.

При $|\gamma_0| + |\gamma_1| \neq 0$ **аналитическое решение** задачи (1)-(2) для $z \in [a, b]$ имеет вид:

$$H(z) = k \cdot \left\{ \frac{(\bar{\alpha}_0 + \bar{\beta}_0) \cdot e^{k(z-a)} - (\bar{\alpha}_0 - \bar{\beta}_0) \cdot e^{-k(z-a)}}{\Delta} \cdot \gamma_1 - \frac{(\bar{\alpha}_1 - \bar{\beta}_1) \cdot e^{k(z-b)} - (\bar{\alpha}_1 + \bar{\beta}_1) \cdot e^{-k(z-b)}}{\Delta} \cdot \gamma_0 \right\}, \quad (3)$$

$$E(z) = i\omega\mu_0 \cdot \left\{ \frac{(\bar{\alpha}_0 + \bar{\beta}_0) \cdot e^{k(z-a)} + (\bar{\alpha}_0 - \bar{\beta}_0) \cdot e^{-k(z-a)}}{\Delta} \cdot \gamma_1 - \frac{(\bar{\alpha}_1 - \bar{\beta}_1) \cdot e^{k(z-b)} + (\bar{\alpha}_1 + \bar{\beta}_1) \cdot e^{-k(z-b)}}{\Delta} \cdot \gamma_0 \right\}, \quad (4)$$

где

$$k^2 = i\omega\mu_0\sigma \equiv const, \quad i^2 = -1; \quad \bar{\alpha}_s = \alpha_s \cdot k, \quad \bar{\beta}_s = \beta_s \cdot i\omega\mu_0, \quad s = 0, 1; \\ \Delta = (\bar{\alpha}_0 + \bar{\beta}_0)(\bar{\alpha}_1 + \bar{\beta}_1) \cdot e^{k(b-a)} - (\bar{\alpha}_0 - \bar{\beta}_0)(\bar{\alpha}_1 - \bar{\beta}_1) \cdot e^{-k(b-a)}.$$

Выполняя построение разностных схем для решения задачи (1)-(2) на произвольной неравномерной (в общем случае) сетке, состоящей из n узлов:

$$a = z_1 < z_2 < \dots < z_n = b, \quad \Delta z_j = z_{j+1} - z_j, \quad j = \overline{1, n-1},$$

получим следующие разностные соотношения:

- для функции электрической напряженности E :

$$\begin{cases} B_1 \overline{E_1} - C_1 \overline{E_2} = f_1; \\ -A_j \overline{E_{j-1}} + B_j \overline{E_j} - C_j \overline{E_{j+1}} = f_j, j = \overline{2, n-1}; \\ -A_n \overline{E_{n-1}} + B_n \overline{E_n} = f_n; \end{cases} \quad (5)$$

где $\overline{E_j}, j = \overline{1, n-1}$ – приближенные значения функции $E = E(z)$ в узлах сетки. При этом:

- если разностная схема построена с помощью **ПВИИМ**:

$$\begin{aligned} A_n &= \frac{\alpha_1 k}{sh(k\Delta z_{n-1})}, A_j = \frac{k}{sh(k\Delta z_{j-1})}, C_1 = \frac{\alpha_0 k}{sh(k\Delta z_1)}, C_j = \frac{k}{sh(k\Delta z_j)}, j = \overline{2, n-1}; \\ B_1 &= i\omega\mu_0\beta_0 + \alpha_0 kcth(k\Delta z_1), B_n = i\omega\mu_0\beta_1 + \alpha_1 kcth(k\Delta z_{n-1}), \\ B_j &= kcth(k\Delta z_j) + kcth(k\Delta z_{j-1}), j = \overline{2, n-1}; \\ f_1 &= -i\omega\mu_0\gamma_0, f_n = i\omega\mu_0\gamma_1, f_j = 0, j = \overline{2, n-1}. \end{aligned} \quad (6)$$

- если разностная схема построена с помощью **МЦРА**:

$$\begin{aligned} A_n &= \frac{\alpha_1}{\Delta z_{n-1}}, A_j = \frac{2}{\Delta z_{j-1}(\Delta z_j + \Delta z_{j-1})}, C_1 = -\frac{\alpha_0}{\Delta z_1}, C_j = \frac{2}{\Delta z_j(\Delta z_j + \Delta z_{j-1})}, j = \overline{2, n-1}; \\ B_1 &= -\frac{\alpha_0}{\Delta z_1} - i\omega\mu_0\beta_0, B_n = \frac{\alpha_1}{\Delta z_{n-1}} + i\omega\mu_0\beta_1, B_j = k^2 + \frac{2}{\Delta z_j \Delta z_{j-1}}, j = \overline{2, n-1}; \\ f_1 &= i\omega\mu_0\gamma_0, f_n = i\omega\mu_0\gamma_1, f_j = 0, j = \overline{2, n-1}. \end{aligned} \quad (7)$$

- для функции магнитной напряженности H :

$$\begin{cases} B_1 \overline{H_1} - C_1 \overline{H_2} = f_1; \\ -A_j \overline{H_{j-1}} + B_j \overline{H_j} - C_j \overline{H_{j+1}} = f_j, j = \overline{2, n-1}; \\ -A_n \overline{H_{n-1}} + B_n \overline{H_n} = f_n; \end{cases} \quad (8)$$

где $\overline{H_j}, j = \overline{1, n-1}$ – приближенные значения функции $H = H(z)$ в узлах сетки. При этом:

- если разностная схема построена с помощью **ПВИИМ**:

$$\begin{aligned} A_n &= \frac{\beta_1 k}{sh(k\Delta z_{n-1})}, A_j = \frac{k}{\sigma sh(k\Delta z_{j-1})}, C_1 = \frac{\beta_0 k}{sh(k\Delta z_1)}, C_j = \frac{k}{\sigma sh(k\Delta z_j)}, j = \overline{2, n-1}; \\ B_1 &= -\alpha_0 \sigma + \beta_0 kcth(k\Delta z_1), B_n = -\alpha_1 \sigma + \beta_1 kcth(k\Delta z_{n-1}), \\ B_j &= \frac{k}{\sigma} cth(k\Delta z_j) + \frac{k}{\sigma} cth(k\Delta z_{j-1}), j = \overline{2, n-1}; \\ f_1 &= -\gamma_0 \sigma, f_n = -\gamma_1 \sigma, f_j = 0, j = \overline{2, n-1}. \end{aligned} \quad (9)$$

- если разностная схема построена с помощью **МЦРА**:

$$\begin{aligned} A_n &= -\frac{\beta_1}{\Delta z_{n-1}}, A_j = \frac{2}{\sigma \Delta z_{j-1}(\Delta z_j + \Delta z_{j-1})}, C_1 = -\frac{\beta_0}{\Delta z_1}, C_j = \frac{2}{\sigma \Delta z_j(\Delta z_j + \Delta z_{j-1})}, j = \overline{2, n-1}; \\ B_1 &= \alpha_0 \sigma - \frac{\beta_0}{\Delta z_1}, B_n = \alpha_1 \sigma - \frac{\beta_1}{\Delta z_{n-1}}, B_j = \frac{2}{\sigma \Delta z_{j-1} \Delta z_j} - i\omega\mu_0, j = \overline{2, n-1}; \\ f_1 &= \gamma_0 \sigma, f_n = \gamma_1 \sigma, f_j = 0, j = \overline{2, n-1}. \end{aligned} \quad (10)$$

Системы (5) и (8) представляют собой системы n линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) относительно n неизвестных, при этом матрицы коэффициентов, задающих левые

части этих систем – матрицы Якоби (трехдиагональные матрицы) с комплекснозначными элементами.

Обычно для решения задач, подобных задачам (5)-(6), (5)-(7), (8)-(9), (8)-(10), принято применять *метод правой прогонки*:

$$\alpha_{-прог_1} = \frac{C_1}{B_1}, \beta_{-прог_1} = \frac{f_1}{B_1},$$

$$\alpha_{-прог_j} = \frac{C_j}{B_j - \alpha_{-прог_{j-1}}A_j}, \beta_{-прог_j} = \frac{f_j + \beta_{-прог_{j-1}}A_j}{B_j - \alpha_{-прог_{j-1}}A_j}, j = \overline{2, n-1}; \quad (11)$$

$$\overline{Y}_n = \frac{f_n + \beta_{-прог_{n-1}}A_n}{B_n - \alpha_{-прог_{n-1}}A_n}, \overline{Y}_j = \alpha_{-прог_j}\overline{Y}_{j+1} + \beta_{-прог_j}, j = \overline{n-1, 1}. \quad (12)$$

По формулам (11) вычисляются прогоночные коэффициенты $\alpha_{-прог_j}, \beta_{-прог_j}, j = \overline{1, n-1}$. Затем по формулам (12) вычисляются значения искомой функции $\overline{Y}_j, j = \overline{n, 1}$ в узлах сетки ($\overline{Y}_j = \overline{E}_j$ для системы (5), $\overline{Y}_j = \overline{H}_j$ для системы (8)).

Для того, чтобы метод прогонки был устойчив и корректен, на коэффициенты решаемой системы налагаются некоторые дополнительные ограничения, то есть, применяя метод прогонки, необходимо убедиться в выполнении соответствующих достаточных условий [1]. Поэтому интерес составляет поиск других методов решения систем уравнений, при которых СЛАУ будет разрешима, но при этом налагаемые на задачу дополнительные ограничения будут проще, чем для метода прогонки.

В работе [10] был предложен **KG-алгоритм** для решения систем уравнений с трехдиагональной матрицей коэффициентов. Он позволяет решать рассматриваемую систему уравнений при условии отличия от нуля ее определителя.

KG-алгоритм объединяет в себе подходы двух других методов к решению СЛАУ – метод Гаусса и метод Крамера. KG-алгоритм, как и метод Гаусса состоит из двух этапов:

- 1) *прямой ход*, который заключается в рекуррентном вычислении определителей вида (13) и (14) по формулам (15) и (16) соответственно:

$$D_k = \begin{vmatrix} b_k & c_k & 0 & \dots & \dots & 0 \\ a_{k+1} & b_{k+1} & c_{k+1} & 0 & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & 0 & \dots \\ \dots & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 \\ \dots & \dots & 0 & a_{n-1} & b_{n-1} & c_{n-1} \\ 0 & \dots & \dots & 0 & a_n & b_n \end{vmatrix}, D_n = b_n, D_{n+1} = 1; \quad (13)$$

$$F_k = \begin{vmatrix} f_k & c_k & 0 & \dots & \dots & 0 \\ f_{k+1} & b_{k+1} & c_{k+1} & 0 & \dots & \dots \\ f_{k+2} & \dots & \dots & \dots & 0 & \dots \\ \dots & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 \\ \dots & \dots & 0 & a_{n-1} & b_{n-1} & c_{n-1} \\ f_n & 0 & \dots & 0 & a_n & b_n \end{vmatrix}, F_n = f_n. \quad (14)$$

$$D_k = b_k D_{k+1} - c_k a_{k+1} D_{k+2}, \quad (15)$$

$$F_k = f_k D_{k+1} - c_k F_{k+1}. \quad (16)$$

- 2) *обратный ход* направлен непосредственно на вычисление неизвестных значений искомой функции по формулам (17) или (18) при исходном условии, что $D_1 \neq 0$:

- если $D_{k+1} = 0$, то используем формулу:

$$y_{k+1} = \frac{f_k - a_k y_{k-1} - b_k y_k}{c_k}; \quad (17)$$

- если $D_{k+1} \neq 0$, то используем формулу Крамера и ищем решение усеченной системы, куда входят все уравнения исходной СЛАУ, начиная с $k+1$ -го:

$$y_{k+1} = \frac{F_{k+1} - a_{k+1}D_{k+2}y_k}{D_{k+1}}. \quad (18)$$

При адаптации формул (13)-(18) к решению задач (5)-(6), (5)-(7), (8)-(9), (8)-(10), подразумевается, что:

$$a_k = -A_j, b_k = B_j, c_k = -C_j, y_k = \overline{E_j} \text{ или } y_k = \overline{H_j}, k = j = \overline{1, n}.$$

Изначально КГ-алгоритм был разработан для СЛАУ с действительными коэффициентами [10], поэтому, возможно, применение этого алгоритма для систем уравнений с комплексными коэффициентами требует некоторых дополнительных уточнений, которые не предполагаются в рамках данной работы.

И метод прогонки, и КГ-алгоритм относятся к числу прямых методов, то есть позволяют получить точное решение для рассматриваемой задачи за конечное число арифметических и логических компьютерных операций (разумеется, без учета погрешностей округления).

Далее представлены некоторые результаты численных экспериментов, при этом не осуществлялась попытка дать полученным решениям какую-либо физическую интерпретацию.

Задачи (5)-(6), (5)-(7), (8)-(9), (8)-(10) решались на равномерной сетке методом прогонки (формулы (11)-(12)) и КГ-алгоритмом (формулы (13)-(18)). Для удобства при визуальном сравнении полученных результатов, их отрисовка осуществляется покомпонентно для комплексных функций (отдельно для действительных компонент, отдельно для мнимых компонент). В таблице 1 описаны различные варианты комбинаций параметров задач, проиллюстрированных на рисунках 1-8.

Таблица 1. Варианты комбинаций параметров задачи

№	n	$z \in [a, b]$		$\alpha_0 H(a) - \beta_0 E(a) = \gamma_0$			$\alpha_1 H(b) + \beta_1 E(b) = \gamma_1$			σ	μ	ω
		a	b	α_0	β_0	γ_0	α_1	β_1	γ_1			
1	25	0	2	1	1	1	1	1	1	10	1	10
2	100	0	2	1	1	1	1	1	1	10	1	10
3	25	0	1	1	3	2	1	2	2	10	$1,257 \cdot 10^{-6}$	10
4	100	0	1	1	3	2	1	2	2	10	$1,257 \cdot 10^{-6}$	10

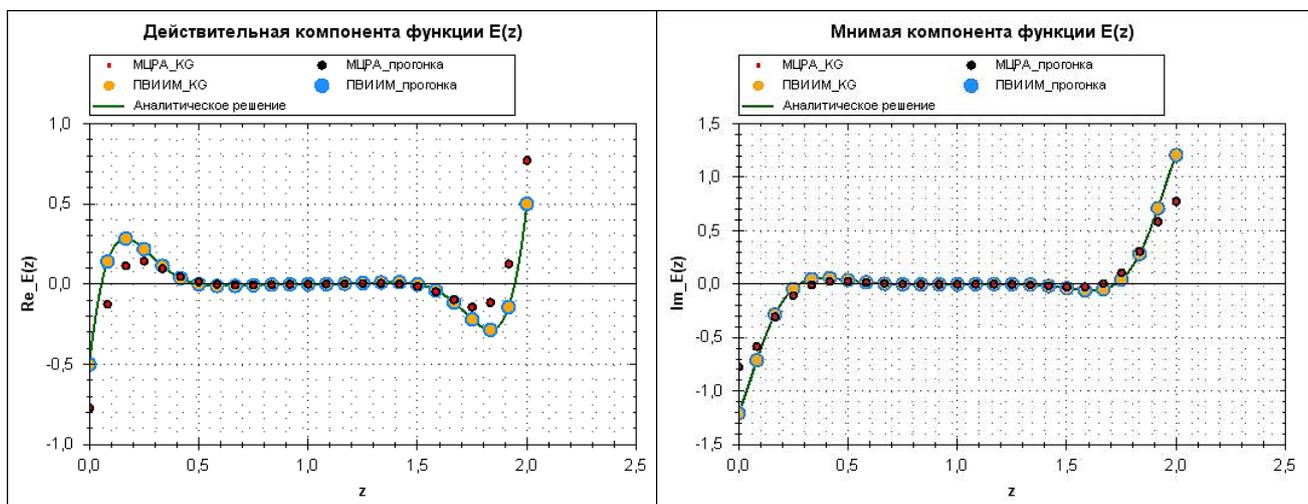


Рисунок 1 – Вариант 1. Действительная и мнимая компоненты функции $E(z)$

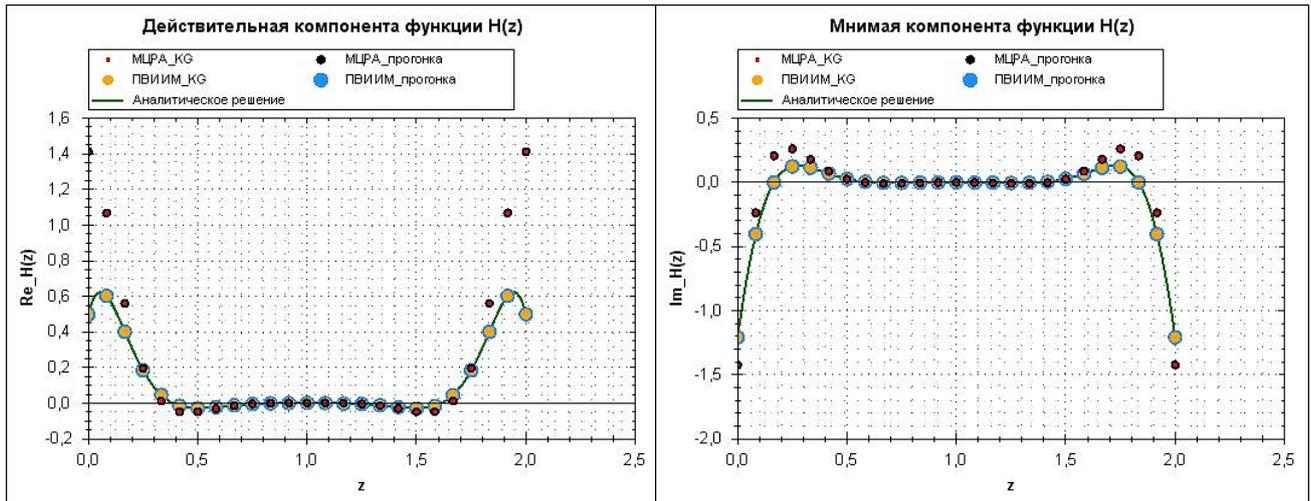


Рисунок 2 – Вариант 1. Действительная и мнимая компоненты функции $H(z)$

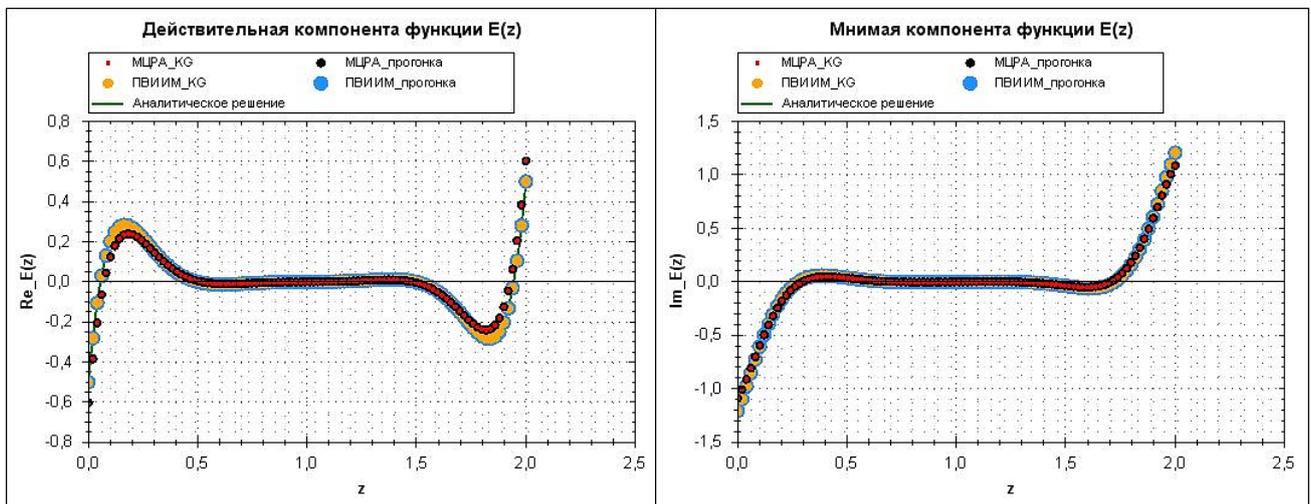


Рисунок 3 – Вариант 2. Действительная и мнимая компоненты функции $E(z)$

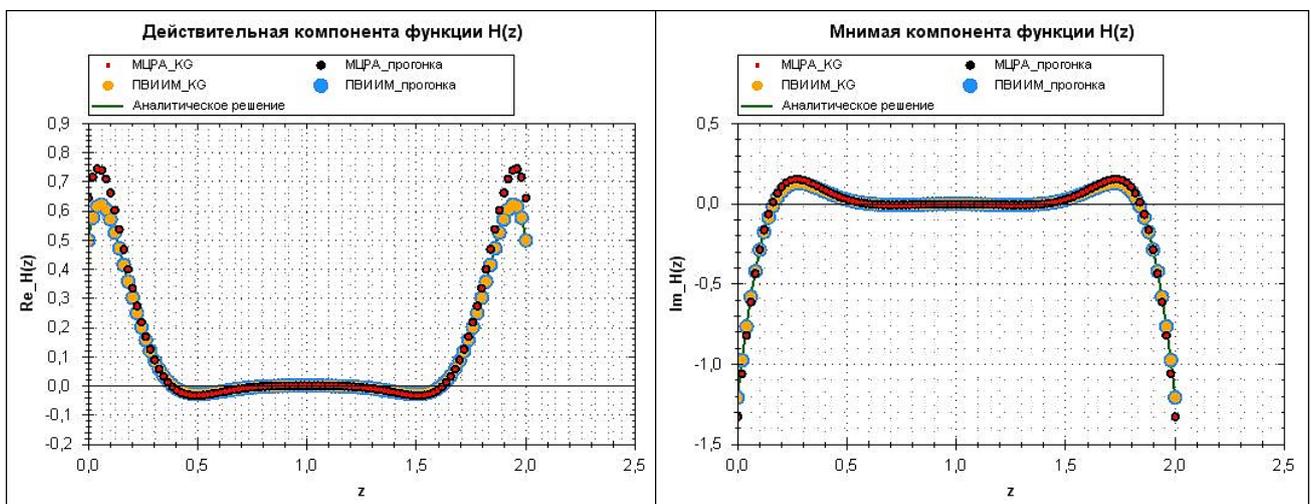


Рисунок 4 – Вариант 2. Действительная и мнимая компоненты функции $H(z)$

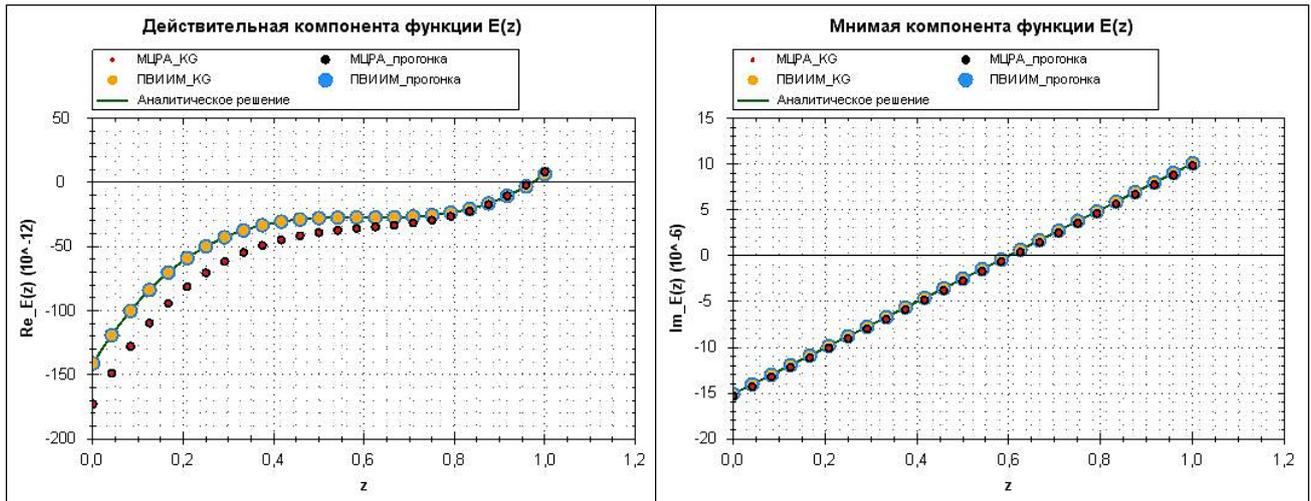


Рисунок 5 – Вариант 3. Действительная и мнимая компоненты функции $E(z)$

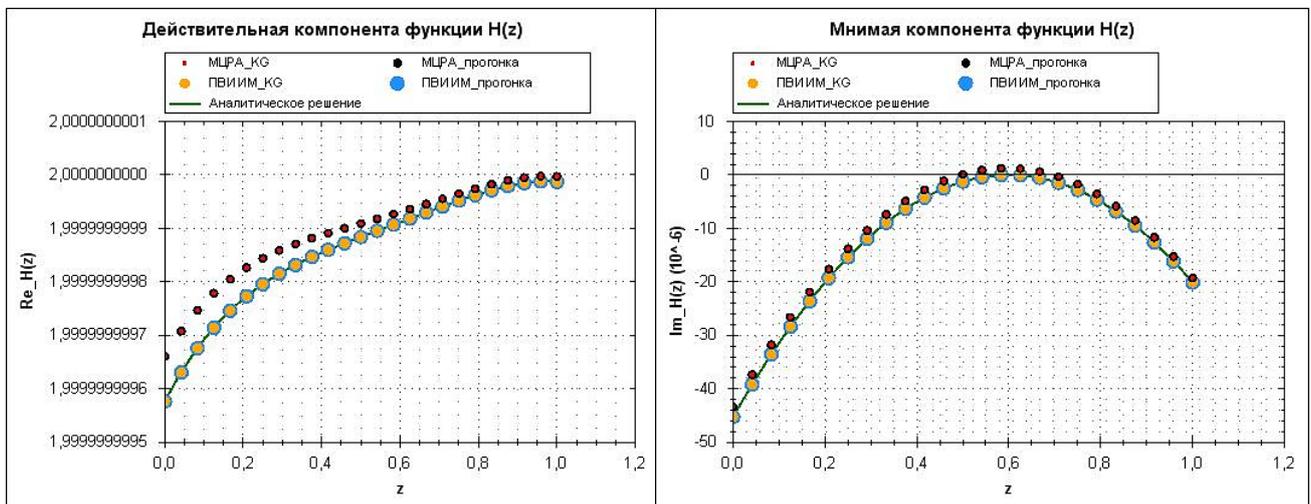


Рисунок 6 – Вариант 3. Действительная и мнимая компоненты функции $H(z)$

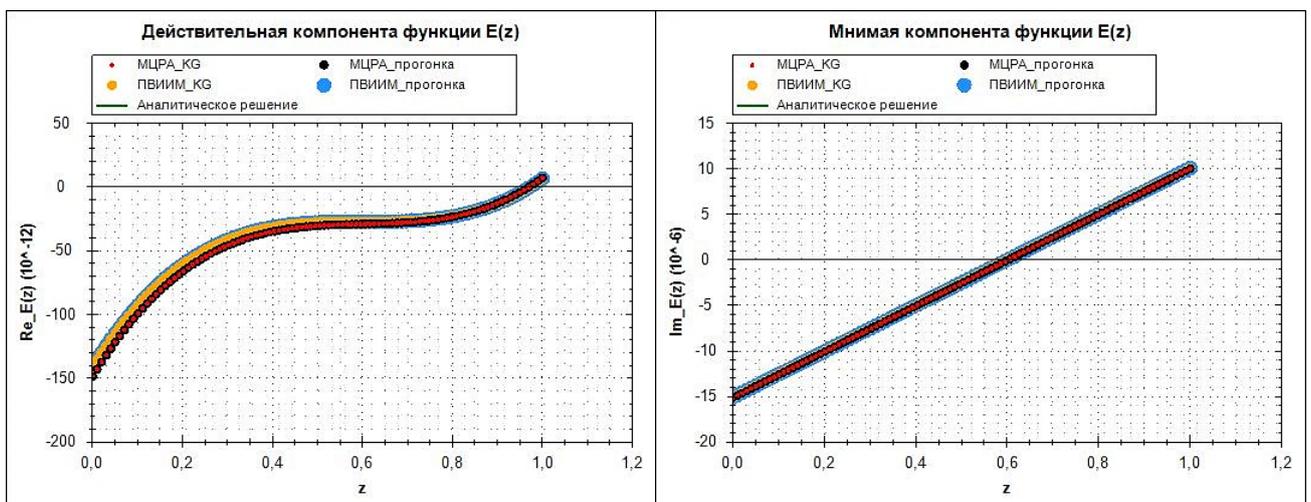


Рисунок 7 – Вариант 4. Действительная и мнимая компоненты функции $E(z)$

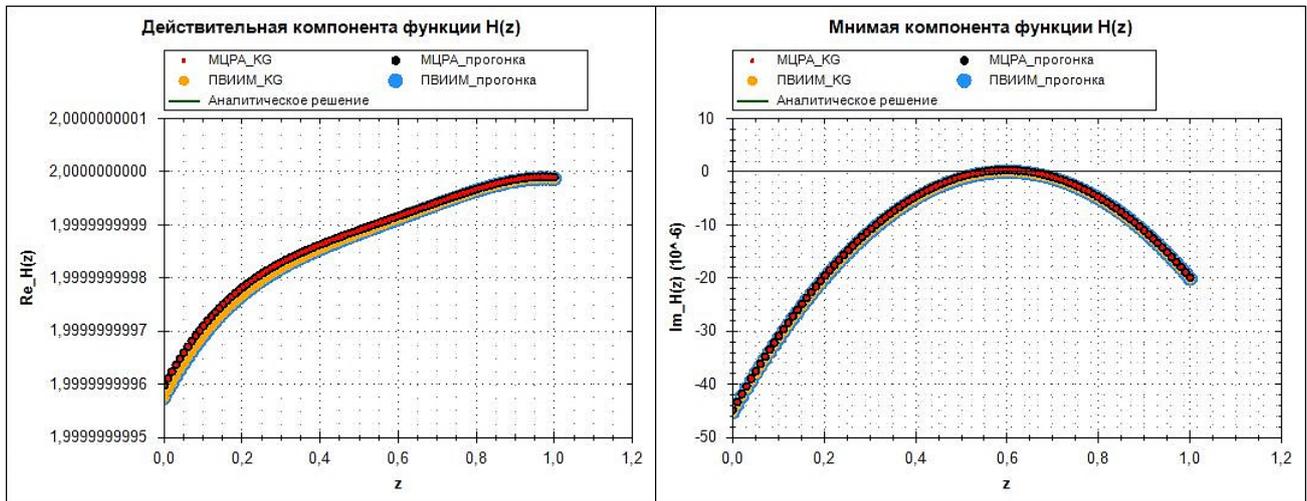


Рисунок 8 – Вариант 4. Действительная и мнимая компоненты функции $H(z)$

Таблицы 2 и 3 содержат значения относительных погрешностей полученных решений, определяемых по формуле:

$$err_rel = \frac{\| (u)^h - u^h \|_{\infty}}{\| (u)^h \|_{\infty}} \cdot 100\% ;$$

где $(u)_j^h$ - проекция комплексного аналитического решения на j -тый узел сетки, u_j^h - комплексное приближенное решение в j -том узле, полученное по разностной схеме, и

$$\| (u)^h - u^h \|_{\infty} = \max_j |(u)_j^h - u_j^h|, \quad \| (u)^h \|_{\infty} = \max_j |(u)_j^h|.$$

Таким образом, анализируя графики (рисунки 1-8) и таблицы относительных погрешностей (таблицы 2 и 3) полученных решений для рассмотренных тестовых задач, можно сделать вывод о том, что решение задачи (1)-(2) с использованием разностных схем, построенных проекционным вариантом интегро-интерполяционного метода, обеспечивает более точные результаты, по сравнению с применением разностных схем, построенных методом центрально-разностной аппроксимации. При этом для решения СЛАУ примерно одинаковыми по эффективности оказались как метод прогонки, так и КГ-алгоритм.

Таблица 2. Относительные погрешности численных решений для функции E , %

Вариант задания параметров задачи	ПВИИМ		МЦРА		Иллюстрация
	прогонка	КГ-алгоритм	прогонка	КГ-алгоритм	
Вариант 1	$1,263 \cdot 10^{-13}$	$1,314 \cdot 10^{-13}$	39,081	39,081	Рисунок 1 (а, б)
Вариант 2	$6,042 \cdot 10^{-13}$	$3,425 \cdot 10^{-13}$	12,114	NaN	Рисунок 3 (а, б)
Вариант 3	$6,245 \cdot 10^{-8}$	$3,980 \cdot 10^{-8}$	1,515	1,515	Рисунок 5 (а, б)
Вариант 4	$8,279 \cdot 10^{-7}$	$9,524 \cdot 10^{-7}$	0,344	NaN	Рисунок 7 (а, б)

Таблица 3. Относительные погрешности численных решений для функции H , %

Вариант задания параметров задачи	ПВИИМ		МЦРА		Иллюстрация
	прогонка	КГ-алгоритм	прогонка	КГ-алгоритм	
Вариант 1	$1,489 \cdot 10^{-13}$	$1,532 \cdot 10^{-13}$	71,687	71,687	Рисунок 2 (а, б)
Вариант 2	$7,148 \cdot 10^{-13}$	$7,283 \cdot 10^{-13}$	14,375	14,375	Рисунок 4 (а, б)
Вариант 3	$2,954 \cdot 10^{-12}$	$2,990 \cdot 10^{-12}$	$9,428 \cdot 10^{-5}$	$9,428 \cdot 10^{-5}$	Рисунок 6 (а, б)
Вариант 4	$6,476 \cdot 10^{-11}$	$6,113 \cdot 10^{-11}$	$2,285 \cdot 10^{-5}$	$2,285 \cdot 10^{-5}$	Рисунок 8 (а, б)

Отметим, что рассмотренные в работе методы решения СЛАУ – метод прогонки и КГ-алгоритм – требуют выполнения некоторых дополнительных условий. Поэтому актуальным и открытым является вопрос поиска такого метода, который бы гарантированно решал систему уравнений с комплексными коэффициентами без дополнительных ограничений.

Литература

1. Самарский А.А. Теория разностных схем. – 3-е изд., испр. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. – 616с.
2. Жданов М.С. Электроразведка: Учебник для ВУЗов. М.: Недра, 1986. 316с.
3. Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И. Модели и методы магнитотеллурики. М.: Научный мир, 2009, 680с.
4. Забинякова О.Б., Зинченко Д.И., Кулагина М. А., Рыбин А.К., Скляр С.Н. Численные методы решения прямых задач магнитотеллурического зондирования // Материалы докладов второй международной конференции, посвященной 20-летию КРСУ и 100-летию Я.В. Быкова (5-7 сентября 2013г., г. Бишкек), том 2, с. 194-198.
5. Забинякова О.Б. Проекционные разностные схемы для системы уравнений Максвелла // Материалы докладов VI международной конференции молодых ученых и студентов «Современные техника и технологии в научных исследованиях», 26-27 марта 2014 г., г. Бишкек, с.134-138.
6. Забинякова О.Б., Скляр С.Н. Применение проекционных разностных схем для решения прямой двумерной задачи магнитотеллурического зондирования // Вестник КРСУ, Т.16, №1, 2016, с. 3 – 9.
7. Скляр С.Н. О дискретизации задач с пограничным слоем при помощи одного проекционного варианта метода интегральных тождеств. I. Несамосопряженное уравнение, первая краевая задача // Изв. АН Киргизской ССР. Физ.-техн. и матем. науки. 1988. № 4. с. 10-23.
8. Скляр С.Н. О дискретизации задач с пограничным слоем при помощи одного проекционного варианта метода интегральных тождеств. II. Несамосопряженное уравнение, третья краевая задача // Изв. АН Киргизской ССР. Физ.-техн. и матем. науки. 1989. № I. -с. 3-10.
9. Скляр С.Н. О дискретизации задач с пограничным слоем при помощи одного проекционного варианта метода интегральных тождеств. III. Самосопряженное уравнение // Изв. АН Киргизской ССР. Физ.-техн. и матем. науки. 1989. № 4. с. 3-11
10. Кыдыралиев С.К., Скляр С.Н., Урдалетова А.Б. Использование метода КГ для решения систем линейных алгебраических уравнений // Высшее образование Кыргызской Республики, Т.2, №12, 2008, с.18-23.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК УСТРОЙСТВА
УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПОЛИВА ПО БОРОЗДАМ ИЗ ЛОТКОВ –
ОРОСИТЕЛЕЙ**

**RESEARCH OF HYDRAULIC DESCRIPTIONS OF CONTROL UNIT BY A WATERING
PROCESS ON FURROWS FROM TRAYS – SPRINKLERS**

Иванова Н.И., Аристархова А.О., Матюкова А.Е.

n.ivanova@istc.kg, fou_merveille@inbox.ru, ms.aristarhova95@mail.ru.

Кыргызско – Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызстан

***Аннотация.** Бороздковый полив является одним из самых известных методов при орошении культур в Средней Азии, имеющий ряд недостатков. Для ликвидации недостатков требуется совершенствование и создание прогрессивных технических средств и технологий. Одним из перспективных направлений при совершенствовании техники полива малоуклонных земель на почвах средней и пониженной водопроницаемости является применение стационарных систем автоматизации полива, включающих устройства управления поливом (УУП). В работе проведены исследования и установлены оптимальные гидравлические параметры УУП (цикл работы устройства, параметры гидравлического дресселя).*

***Ключевые слова:** орошение, бороздковый полив, лоток – ороситель, автоматизация полива, устройство управления поливом (УУП), автоматизированный поливной лоток (АПЛ).*

В настоящее время поверхностное орошение в аридной зоне применяется на 98% орошаемой площади. Применение его в Кыргызстане, как правило, не является результатом отсталости и консерватизма. В основном это диктуется специфическими природно-хозяйственными условиями и особенностями соответствующих районов орошения. И замена поверхностного полива в этих условиях каким-либо другим способом даёт отрицательный результат.

Поверхностный способ полива наиболее доступный и экономичный. При этом способе вода распределяется по поверхности поля под действием силы тяжести, без каких-либо дополнительных затрат энергии.

Одной из прогрессивных разновидностей поверхностного полива является бороздковый полив.

В Кыргызском СХИ предложена система автоматизации поверхностного полива, состоящая из автоматизированных поливных лотков (АПЛ) и устройство для управления поливом (УУП) [1, 2, 3].

В головах распределительных и поливных лотков устанавливаются автоматы (стабилизаторы) расхода воды. Лоток – ороситель по длине разбивается на секции одновременного полива [1].

В конце каждой поливной секции лотка – оросителя (кроме последней) устанавливается устройство для управления поливом (УУП), обеспечивающее полив по технологически заданной программе (программатор полива).

Для управления процессом полива по бороздам из лотков – оросителей в настоящее время разработан и предложен целый ряд технических решений, в их число входит устройство для управления процессом полива [2, 3].

С целью повышения надежности, исключения непроизводительных потерь воды и упрощения конструкции предлагается конструктивно новое устройство для управления поливом по бороздам из лотков – оросителей, позволяющее реализовать дискретную технологию орошения и осуществить гидравлическую автоматизацию полива (рисунок 1).

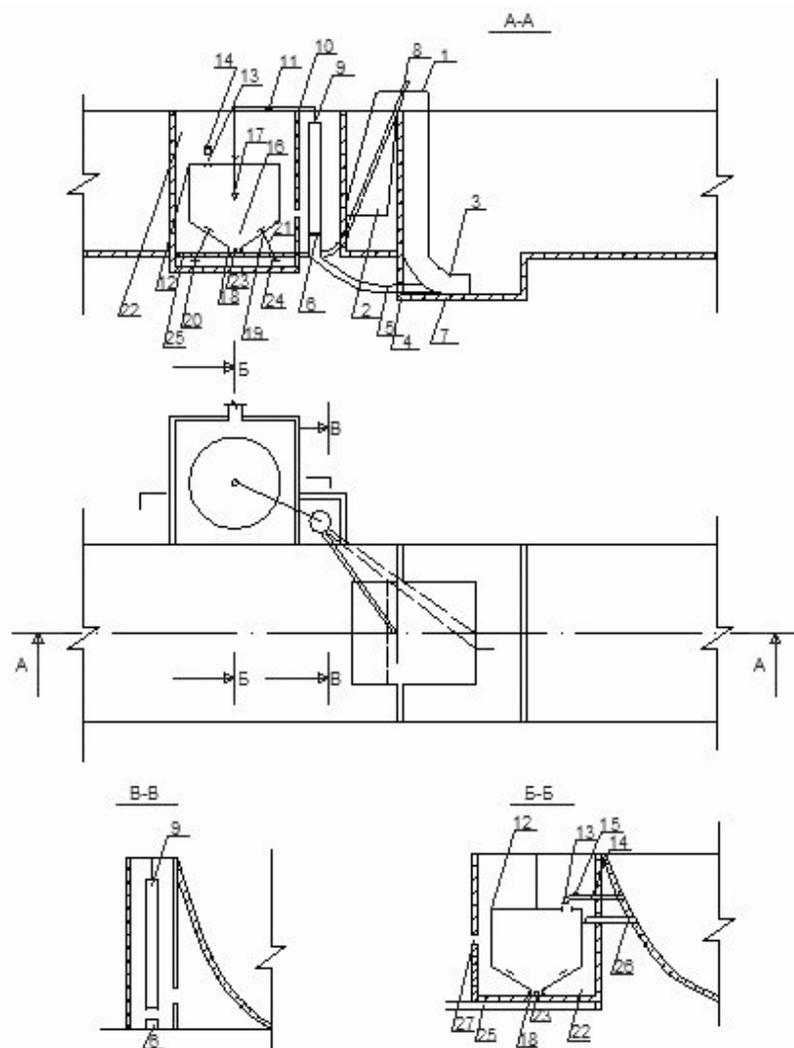


Рисунок 1 – Принципиальная схема устройства для управления поливом.

Устройство для управления поливом [1] включает подпорно – транзитный сифон, установленный на границе поливных секций лотка – оросителя. Входное сечение 2 сифона 1 заглублено под минимальный транзитный уровень лотка – оросителя первой поливной секции, а выходное сечение 3 – под минимальный транзитный уровень второй секции лотка – оросителя.

В разделительной перегородке секций лотка – оросителя устроено отверстие 4, в которое вставляется зарядно – разрядный насадок 5, один конец 6 которого выполнен круглого сечения и расположен вертикально, а другой конец 7 – расширяющийся и соединен с ходящей ветвью 3 сифона 1. К восходящему колену 2 сифона 1 подключена воздушная трубка 8, второй конец которой подключен к входному концу 6 зарядно – разрядного насадка 5.

Над входным концом 6 зарядно – разрядного патрубка 5 установлен круглый цилиндрический клапан 9, соединенный с рычагом 10 на горизонтальной оси 11 с ёмкостью – противовесом 12, снабженный впускным отверстием 13 с трубкой влива 14, оборудованной вентиляем 15 и отверстием слива 16, прикрываемом (при принудительном открытии) клапаном 17. К сливному отверстию 16 прикреплен сифонный компенсатор 18. Ёмкость – противовес 12 имеет так же водовыпускные отверстия 19, прикрываемые клапанами 20 на тягах 21. Водовыпускные отверстия 19 сообщены с колодцем 22, в котором размещена ёмкость. В нижней части колодца установлен патрубок 23, имеющий конусное окончание и

сливные отверстия 24, сообщенные со сливной камерой 25. Колодец 22 сообщен с верхним бьефом трубкой влива 26, а с нижним – водосливом 27.

Время наполнения и опорожнения ёмкости – противовеса УУП принимается равным циклу полива при дискретной водоподачи в борозды, т.е. продолжительность цикла работы ёмкости – противовеса будет равна:

$$T_{\text{ц}} = T_{\text{н}} + T_{\text{он}}, \quad (1)$$

где – $T_{\text{н}}$ время наполнения ёмкости; – $T_{\text{он}}$ время опорожнения ёмкости.

С целью подтверждения теоретических предпосылок были выполнены исследования на модели УУП. При заданных конструктивных размерах ёмкости определялись фактические значения напоров в ёмкости и величина расходов, поступающих через отверстие влива и вытекающих через слив. Одновременно определялась фактическое время наполнения ёмкости. Полученные значения сравнивались с теоретическими значениями.

Результаты исследования приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Время наполнения ёмкости

Расход поступления, л/с	Диаметр сливного отверстия, см	Время наполнения, с		% отклонения	Примечание
		опытное	теоретическое		
0,110	0,5	872	894	2,3	1.Диаметр ёмкости D=0,2 м; 2.Площадь поперечного сечения ёмкости S=0,0314м ² ; 3.Высота ёмкости h=0,15м; 4.Коэффициент расхода сливного отверстия =0,62.
	0,6	642	636	0,9	
	0,7	580	594	2,3	
	0,8	450	455	1,0	
	0,9	365	359	1,6	
0,071	0,5	1135	1164	2,5	
	0,6	815	808	0,8	
	0,7	590	594	0,6	
0,260	0,5	752	764	1,6	
	0,6	543	530	2,4	
	0,7	381	390	2,3	
	0,8	302	298	1,3	
	0,9	242	236	2,5	
	1,0	187	191	2,1	
0,156	0,5	820	824	0,5	
	0,6	665	672	1,0	
	0,7	445	451	1,3	
	0,8	268	272	1,4	
	0,9	190	195	2,6	

Как следует из таблицы 1, расхождение в результатах между временем наполнения ёмкости не превышает $\pm 3\%$, что дает основание при расчетах принимать величину коэффициента расхода сливного отверстия по справочным данным.

Как следует из принципа работы УУП, время опорожнения ёмкости () должно быть равно времени наполнения ().

Принимая величину притока равную нулю ($q_{\text{вл}} = 0$), получим:

$$T_{on} = \frac{2SH}{\mu_{щ} S_{щ} \sqrt{2gH}}, \quad (2)$$

где H и S – высота и площадь поперечного сечения ёмкости; $S_{щ}$ – площадь отверстия при опорожнении ёмкости; $\mu_{щ}$ – коэффициент расхода щелевого отверстия при опорожнении.

Величину $S_{щ}$ можно определить из соотношения:

$$S_{щ} = S_{om} - S_{op} \quad (3)$$

где – площадь отверстия ёмкости; – площадь гидравлического дросселя.

Из выражения (2) можно установить значение $S_{щ}$. Величину $\mu_{щ}$ необходимо определить экспериментально.

На изготовленной модели проводилось исследование по определения коэффициента расхода щелевого отверстия, армированного гидравлическим дросселем. Результаты исследований приведены в таблицу 2.

По данным таблицы 2 построен график зависимости коэффициента расхода щелевого отверстия в зависимости от относительного диаметра дросселя.

В диапазоне изменения относительного диаметра дросселя и диаметра сливного отверстия $0,3 < \frac{d_{op}}{d_{cl}} < 0,8$ получена эмпирическая зависимость коэффициента расхода:

$$\mu_{щ} = \frac{\frac{d_{op}}{d_{cl}}}{1,08 \frac{d_{op}}{d_{cl}} + 0,25}. \quad (4)$$

Таблица 2 – Коэффициент расхода щелевого отверстия

Диаметр сливного отверстия, см	Диаметр дросселя, см	Площадь щелевого отверстия, см ²	Расход щелевого отверстия, л/с	Коэффициент расхода щелевого отверстия
0,5	0,3	0,126	0,015	0,678
0,6	0,3	0,211	0,023	0,644
	0,4	0,157	0,012	0,700
0,7	0,3	0,314	0,034	0,622
	0,4	0,259	0,030	0,675
	0,5			0,722
0,8	0,3	0,431	0,043	0,584
	0,4	0,377	0,038	0,650
	0,5	0,306	0,036	0,685
	0,6	0,219	0,027	0,718
0,9	0,3	0,565	0,055	0,575
	0,4	0,510	0,051	0,618
	0,5	0,439	0,049	0,653
	0,6	0,353	0,042	0,705
	0,7	0,257	0,034	0,708

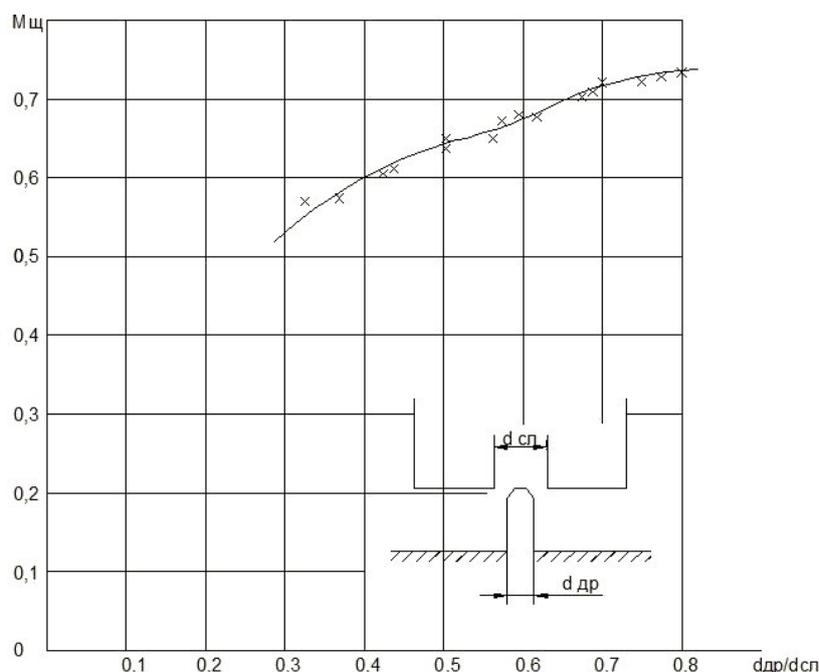


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента расхода щелевого отверстия от степени открытия дросселя.

Полученные в результате эксперимента данные позволяют выполнять расчет сливного отверстия УУП.

Литература

1. Бочкарев Я.В., Иванова Н.И. Устройство для распределения воды в поливные борозды. Авторское свидетельство на изобретение №1463860, МКИ 4E 02B 13/00. Опубл. 7.03.89. Бюл. № 22. С. 1-3.
2. Бочкарев Я.В., Иванова Н.И. Система автоматизации водораспределения в борозды из лотков – оросителей при дискретной водоподаче // Гидравлическая автоматизация оросительных систем и технологии орошения: Сб. науч. тр. Кирг. сельхоз. ин-та. Фрунзе. 1988. С. 41-51.
3. Бочкарев Я.В., Иванова Н.И. Гидравлическая автоматизация водораспределения и полива по бороздам из лотков–оросителей // Передовые методы полива сельскохозяйственных культур. Тез. докл. республ. школы передового опыта (22-23 сент. 1988 г.). Фрунзе. 1988. С. 28-30.

УДК 004.891

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ В ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМАХ

COMPARATIVE ANALYSIS OF MODELS OF KNOWLEDGE REPRESENTATION IN EXPERT SYSTEMS

Кожогулова А.К.
altysha_k04@list.ru

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, г. Санкт-Петербург, Россия

***Аннотация.** Статья посвящена анализу моделей представления знаний в экспертных системах. Рассмотрены возможности создания экспертной системы для мобильных устройств.*

***Ключевые слова:** экспертные системы, rete-алгоритм, семантические сети, фреймы, мобильные экспертные системы.*

Экспертные системы (ЭС), как отрасль интеллектуального программного обеспечения, а в целом – развития методов искусственного интеллекта, являются одним из интенсивно и широко развивающихся направлений, начиная с 60-х годов прошлого столетия. Их разрабатывают для самых различных областей практической деятельности человека, так как экспертные системы, по известному определению, – *программы (комплексы программного обеспечения), оперирующие знаниями в специализированной предметной области с целью выработки рекомендаций или решения задач* [1-4]. Поэтому, наиболее известные из них - знакомы либо специалистам в этих конкретных областях, либо разработчикам в качестве наиболее удачных моделей разработки.

В настоящее время число экспертных систем продолжает расти и по некоторым оценкам доходит до нескольких десятков тысяч. Их можно отнести к различным категориям в соответствии с назначением, т.е. решаемыми в них задачами (известны системы по диагностике, планированию, прогнозированию, обучению, интерпретации данных); по масштабности и компьютерной реализации (типу вычислительных машин - платформе), а также степени интегрированности [1-7].

Новый виток развития экспертных систем связан с мобильными вычислительными устройствами, с отраслью, которая в свою очередь развивается весьма стремительно. Разработка ЭС для таких устройств накладывает ряд требований, связанных с системными требованиями для функционирования программного обеспечения, содержащего все необходимые компоненты ЭС. Развитие облачных технологий и вычислительные мощности мобильных устройств позволяют реализовать экспертные системы в качестве мобильных приложений, позволяющих как сохранять в облаке всю собираемую информацию о состоянии здоровья пользователя, так и выдавать решения по предварительному диагнозу на основе анализа множества параметров. Особенно широко развиваются мобильные приложения для бизнеса, но в настоящее время, первенство на этом рынке принадлежит приложениям, получившим название mHealth (мобильная телемедицина, или Mobile + Health), которые считаются одним из наиболее перспективных направлений в развитии компьютерных медицинских технологий. Внедрение сетей нового поколения реализует более высокую пропускную способность передачи медицинских данных по сетям мобильной связи. А также современные каналы связи и программное обеспечение позволяют организовать видеосвязь между доктором и пациентом. По прогнозам аналитиков, к 2020 г. в сетях мобильной связи будут функционировать более 60млн приборов мониторинга здоровья пациентов [8-11].

Наряду с сугубо медицинскими ЭС, разрабатываются в отдельных случаях приложения с элементами экспертных систем для оценки риска усталости специалистов в конкретной сфере деятельности. К тому же само понятие риска усталости становится в наше время одним из важных факторов эффективности работы сотрудника, правильной организации времени его труда и отдыха, а для контроля жизненных показателей необходим постоянный мониторинг его состояния.

Описание задачи. В данной статье рассмотрены возможности создания экспертной системы для мобильного устройства, предназначенной для оценки риска усталости пользователя, с учетом области профессиональной деятельности, на основе анализа существующих алгоритмов и моделей представления знаний. Создание таких ЭС представляется актуальной задачей наряду с системами mHealth. Реализация ЭС риска усталости становится возможным на фоне того, что для платформ iOS и Android создано большое число приложений, позволяющих подключать различные дополнительные

устройства и датчики, которые превращают обычный смартфон в медицинский прибор (примеры: снять ЭКГ, измерить давление и т.п.) [10-11]. Такие ЭС помогут пользователям оценивать свое состояние и предупреждать различные риски возникновения нежелательных последствий.

При разработке любой экспертной системы, как известно, следует учесть составляющие его основные компоненты (рис.1), такие как [1-7]:

- *База данных*, предназначение которой заключается в хранении исходных и промежуточных данных, используемых в решаемой в данный момент времени задачи.
- *База знаний (БЗ)*, предназначенная для хранения данных, описывающих рассматриваемую специализированную область, а также правил, которые описывают необходимые преобразования в этой области.
- *Решатель* - компонент, который с использованием исходных данных из БД и знаний из БЗ, формирует последовательность предписаний, применяемых к исходным данным и приводящих к решению поставленной задачи.
- *Компонент приобретения знаний*, предназначенный для наполнения ЭС знаниями специалистами в этой области - экспертом или группой экспертов.
- *Объяснительный компонент*, для пояснения - каким образом ЭС получила или не получила решение задачи и какие знания были применены.
- *Диалоговый компонент*, или *компонент пользовательского интерфейса*, назначение которого - организация взаимодействия с пользователем ЭС.

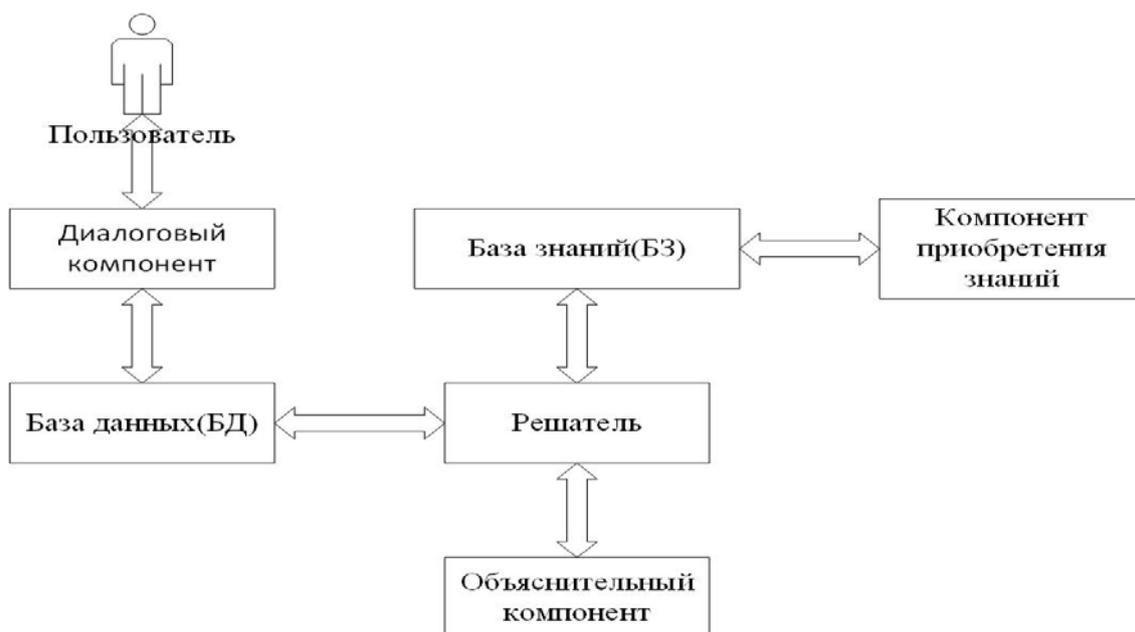


Рисунок 1 – Структура экспертной системы.

Основой процесса создания ЭС является описание структуры понятий программного средства, выбор модели представления знаний и структурирования знаний с помощью выбранных средств описания в целях упрощения процесса принятия решения. На выбор типа модели наиболее значимое воздействие оказывают, по крайней мере, 2 фактора:

- особенности предметной области, связанные с формой представления знаний;
- назначение и тип ЭС в зависимости от решаемой задачи (планирования, диагностики, мониторинга, интерпретации данных и т.п.), которые можно объединить в две группы (ЭС анализа и синтеза).

В настоящее время существует несколько моделей формирования баз знаний в экспертных системах и каждая из них может быть реализована в мобильных приложениях.

Формирование базы знаний является ответственной задачей с точки зрения языка представления знаний и представления фактов, описывающих состояние и составляющие

объекты предметной области, их свойства, а также правил, способов решения задачи [1-7, 11, 12].

Каждая из моделей знаний характеризуется своими достоинствами и недостатками:

1. *Логическая модель знаний.* Основная идея при построении логических моделей знаний заключается в том, что вся информация, необходимая для решения прикладных задач, рассматривается как совокупность фактов и утверждений, которые представляются в виде формул в некоторой логике. Знания представляются как совокупности таких формул, получение новых знаний происходит через процедуры логического вывода. Основные достоинства логических моделей знаний: основой данной модели является классический аппарат математической логики, методы, которые обоснованы и хорошо изучены; в настоящее время существуют относительно эффективные процедуры вывода; в базах знаний можно хранить только аксиомы, а все остальные знания получать из множества этих аксиом по правилам вывода. К недостаткам данной модели относится способ описания предметной области, который приводит к потере некоторых нюансов, свойственных естественному восприятию человека, что снижает описательную возможность таких моделей.
2. *Продукционная модель.* Продукционная модель (модель, основанная на правилах) позволяет представить знания в виде предложений, называемых продукциями, вида «Если (условие), то (действие)». Условие (антецедент) - это некоторое предложение-образец, по которому осуществляется поиск в БЗ, а действие (консеквент) – это операции, выполняемые при успешном результате поиска. Данные операции могут быть промежуточными, условными, целевыми. Вывод на такой базе знаний может быть прямым (от данных к поиску цели) или обратным (от цели для ее подтверждения – к данным), привлекает разработчиков своей наглядностью, высокой модульностью, легкостью внесения дополнений и изменений, а также простотой механизма логического вывода.
 1. Достоинства продукционной модели представления знаний: а) высокая модульная организация, благодаря которой упрощается представление знаний и расширение экспертной системы; б) продукционные экспертные системы с помощью правил позволяют легко создавать средства объяснения; в) наглядность - в процессе выявления экспертных знаний не возникают лишние сложности в объяснении экспертам структуры представления знаний, поскольку применяется простое их представление в виде правил ЕСЛИ-ТО; г) легкость внесения дополнений и изменений.
 2. Недостатком продукционной модели является то, что при накоплении достаточно большого количества продукций, между ними может возникнуть противоречие. Для ограничения роста противоречивости вводят механизмы ограничений и возвратов, которые заключают в себе введение специальных правил-исключений. Их отличает большая конкретность в отличие от обобщенных правил. При наличии исключения основное правило не применяется. Механизм возвратов означает, что даже при возникновении на каком-то этапе противоречивого вывода, логический вывод может продолжаться. Для этого необходимо отказаться от одного из принятых ранее утверждений и произвести возврат к предыдущему состоянию. В отличие от логической модели представления знаний, данная модель имеет преимущество в описательной возможности, наглядности, а также наличии средств объяснения, которые позволяют восстановить ход рассуждений, приводящий к определенным выводам.
 3. *Rete-алгоритм.* Если требуется создать экспертную систему для решения реальных задач, содержащую сотни или тысячи правил, то проблема эффективности приобретает наибольшую важность. Несмотря на приемлемость прочих характеристик, при большом времени отклика системы, никто не станет работать с ней. Отсюда следует вывод, что требуется такой алгоритм, который будет иметь

информацию обо всех возможных правилах, а также сможет применить нужное правило, не проверяя при этом каждое. Решением данной проблемы является Rete-алгоритм, который был разработан Чарльзом Л. Форги. Данный алгоритм используется при построении продукционных экспертных систем. Rete-алгоритм позволяет хранить большие объёмы информации, а также обеспечивает значительное сокращение времени отклика. Он обеспечивает повышение быстродействия при запуске правил по сравнению с большими группами правил ЕСЛИ - ТО, каждая из которых проверяется в стандартной продукционной экспертной системе. Основой алгоритма является использование динамической структуры данных, которая автоматически реорганизуется в целях оптимизации поиска. Высокое быстродействие Rete-алгоритма достигается благодаря хранению в оперативной памяти данных о правилах, находящихся в сети. К недостаткам данного алгоритма относятся временная избыточность, а также высокая потребность в памяти.

4. *Сетевая модель.* Данная модель используется для представления декларативных знаний. В основе сетевой модели представления знаний лежит конструкция, названная семантической сетью, являющейся ориентированным графом, вершинами которого являются некоторые понятия, а дуги отображают отношения между ними. В качестве понятий выступают абстрактные или конкретные объекты, отношения между ними – это связи вида «принадлежит», «это», «имеет часть». Количество типов отношений в семантической сети определяется конкретными целями, для которых она должна быть построена. В реальном мире это количество стремится к бесконечности. Достоинства: в отличие от вышеописанных моделей, сетевая модель имеет возможность представлять знания в более естественном и структурированном виде, а организация семантической сети наиболее соответствует представлениям долговременной памяти человека. Также достоинством данной модели является наглядность системы знаний. К недостаткам данной модели представления знаний относятся: сложность организации процедуры поиска вывода на семантической сети; необходимость специального аппарата формального вывода. В данной модели не содержится четкое представление о структуре предметной области, поэтому производить изменения в ней затруднительно.
5. *Фреймовая модель представления знаний.* Фрейм - структура данных для представления стандартной ситуации. Фреймом также называется формализованная модель для отображения образа. Фрейм имеет определенную структуру, которая состоит из множества элементов, называемых слотами. Слотам присваиваются уникальные имена. За слотами следуют шпации. В шпации помещаются данные, представляющие текущие значения слотов. Каждый слот в свою очередь представляется в виде определенной структуры данных. В значение слота вставляется определенная информация, относящаяся к объекту, который описывает данный фрейм. Значением слота могут быть: числа, формулы, конструкции на естественном языке или программы, правила вывода, ссылки на другие слоты фреймов. В качестве значения слота может выступать набор слотов более низкого уровня иерархии («принцип матрешки»). Связи между фреймами задаются значениями специального слота с именем «Связь». Основным достоинством фреймов как модели представления знаний является то, что они отражают концептуальную основу организации памяти человека. В отличие от вышеупомянутых моделей представления знаний, фреймовая модель позволяет использовать объектно-ориентированный подход, где однотипные объекты объединяются в классы. Также данная модель позволяет отобразить знания различного типа, что придает ей универсальность. Во фреймовых системах знания хранятся явно. Значения слотов представляются в системе в единственном экземпляре. Данное свойство фреймовой модели обеспечивает эффективное размещение базы знаний в памяти устройства. Еще одно преимущество фреймов заключается в том, что значение любого слота может быть вычислено с помощью

соответствующих процедур или найдено при помощи эвристических методов. Это означает, что фреймовая модель может быть использована для представления как декларативных, так и процедурных знаний. Недостатком данной модели является ее высокая сложность. Это проявляется в скорости работы механизма вывода и в росте трудоемкости внесения изменений в иерархию.

Каждой из приведенных моделей знаний соответствует свой способ описания знаний, и выбор модели зависит от предметной области, платформы реализации модели, назначения и типа ЭС, по связям с реальным временем. Не менее ответственной задачей является разработка диалогового компонента ЭС в приложении к мобильным системам. В особенности с точки зрения ЭС риска усталости, т.к. в данном случае пользователями могут быть обычные пользователи, причем в разной возрастной категории. Мобильное приложение оценки риска усталости позволит проводить постоянный мониторинг состояния здоровья, следить за распорядком дня, физическими нагрузками, правильностью питания.

Выводы. Таким образом, экспертные системы, несмотря на свою более чем полувековую историю развития, имеют большой потенциал для дальнейшего развития и могут применяться в решении задач из разных областей человеческой деятельности. Вследствие этого, экспертные системы представляют интерес не только для специалистов конкретной области, но и для обычных пользователей. В настоящее время растет актуальность систем управления рисками усталости. Для эффективной работы сотрудника, правильной организации времени труда и отдыха, необходим постоянный мониторинг его состояния. С ростом популярности мобильных систем и экспертных систем, существует возможность и необходимость разработки мобильной системы управления рисками усталости с элементами экспертной системы.

Литература

1. Джарратано Д., Райли Г. Экспертные системы. Принципы разработки и программирование. 4-е изд. М.: Вильямс. 2007. 1152 с.
2. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. СПб.: Питер. 2000. 384 с.
3. Муромцев Д.И., Колчин М.А. Разработка экспертных систем в Drools Guvnog. СПб.: НИУ ИТМО. 2013. 54 с.
4. Частиков А.П., Гаврилова Т.А., Белов Д.Л. Разработка экспертных систем. Среда CLIPS. СПб.: БХВ-Петербург. 2003. 608 с.
5. Попов Э.В. Экспертные системы: Решение неформализованных задач в диалоге с ЭВМ. М.: Наука. 1987. 288 с.
6. Нейлор К. Как построить свою экспертную систему. М.: Энегроатомиздат. 2010. 570 с.
7. Hickering D., Geiger D., Heckerman D. Learning Bayesian networks: The combination of knowledge and statistical data // Machine Learning. 1995. 20. P. 197-243.
8. <https://ru.wikipedia.org>
9. <http://www.aiportal.ru/>
10. <http://www.cnews.ru/>
11. u.cybernetics.wikia.com/wiki/Экспертная_система
12. <http://inueco.ru>

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ХИМИЧЕСКОГО ТРАВЛЕНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ ПРИ ЕДИНИЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

AUTOMATION OF PROCESS OF CHEMICAL ETCHING OF PRINTED CIRCUIT BOARDS BY SINGLE PRODUCTION

Лисимов М.О.

maxcimeil@mail.ru

Научная станция Российской академии наук, г. Бишкек, Кыргызстан

***Аннотация.** В работе описаны способ и устройство, разработанные и применяемые в лаборатории перспективных аппаратурных разработок ИС РАН для изготовления небольших партий печатных плат методом химического травления. Высокое качество печатных плат, получаемых таким способом, достигается за счет автоматизации процесса химического травления печатных проводников, обеспечивающей поддержание заданной температуры химического раствора, используемого для травления и его постоянное перемешивание в течение установленного времени.*

***Ключевые слова:** печатная плата, автоматизация процесса, химическое травление, шаговый двигатель, единичное производство.*

В настоящее время при разработке и производстве изделий электронной техники используемой практически во всех областях деятельности человека широко применяются печатные платы как средство, обеспечивающее автоматизацию монтажно-сборочных работ, снижение габаритных размеров аппаратуры и повышение ряда конструктивных и эксплуатационных качеств изделий электронной техники. В научной станции РАН в г. Бишкеке в лаборатории перспективных аппаратурных разработок (ЛПАР) при изготовлении экспериментальных образцов научной аппаратуры собственной разработки в качестве основных конструктивных элементов на которых выполняется электрическая схема разрабатываемой электронной аппаратуры также используются печатные платы.

При изготовлении печатных плат в зависимости от их конструктивных особенностей и масштабов производства применяются различные методы получения печатных проводников. Широко распространены методы, основанные на химических технологиях (травление, осаждение, наращивание) получения печатных проводников. Находит применение также метод получения печатных проводников путем механической обработки (фрезерование) исходного фольгированного материала. Наибольшее распространение получил способ при котором на поверхность заготовки, выполненной из фольгированного материала (чаще всего используется фольгированный стеклотекстолит) наносится различными способами (ламинирование, сеткография и др.) защитный слой (фоторезист, краска, лак и др.) в виде необходимого рисунка проводников, обеспечивающий сохранение медной фольги под этим слоем в процессе дальнейшего вытравливания меди с незащищенных участков медной фольги с помощью специальных химических растворов. В результате операции полностью вытравливаются не защищенные участки меди и создается проводящий рисунок. В качестве травящего раствора чаще всего применяют раствор хлорного железа. Применяются также растворы других химикатов, например, медного купороса, персульфата аммония, аммиачного медно-хлоридного, аммиачного медно-сульфатного, на основе хлоритов и на основе хромового ангидрида [1].

Качество получаемых печатных плат в сильной степени зависит от того какие параметры технологического процесса являются определяющими, контролируются и выдерживаются (поддерживаются неизменными) в течение всего времени его выполнения.

Одним из таких параметров является температура применяемого химического раствора. Оптимальное значение этого параметра, зависящее от химического состава травящего раствора и его концентрации, определяется экспериментально-опытным путем. Другим не менее важным параметром технологического процесса получения печатных проводников является концентрация активного химического вещества в травящем растворе. Для достижения высокого качества изготавливаемых печатных плат необходимо поддерживать этот параметр в течение всего времени травления в заданной норме, определяемой также опытным путем. Химическая реакция травления меди сопровождается выделением и накоплением нерастворимых продуктов реакции, которые оседая на поверхности медной фольги, препятствуют дальнейшему ее протеканию. Устранить или снизить влияние этого отрицательного фактора можно если в процессе травления будет обеспечено непрерывное перемешивание травящего раствора каким-либо методом.

Операция химического травления меди при изготовлении печатных плат является наиболее опасным и вредным для человека этапом, так как при этом используются химически активные и опасные для человека вещества. Для защиты человека от действия вредных факторов сопровождающих техпроцесс травления печатных проводников необходимо обеспечивать хорошую вентиляцию на рабочем месте и минимальное участие человека в данном процессе.

Все перечисленные выше требования и условия проведения техпроцесса изготовления печатных плат достаточно легко реализуются на предприятиях с серийным типом производства, где можно использовать дорогостоящее оборудование, обеспечивающее полную автоматизацию технологического процесса, гарантирующую производство качественных и не дорогих печатных плат в больших объемах.

При изготовлении экспериментальной электронной аппаратуры, разрабатываемой в лаборатории перспективных аппаратурных разработок ИС РАН и изготавливаемой в единичных экземплярах, описанный метод серийного производства печатных плат малопригоден прежде всего по экономическим соображениям, так как приобретение специализированного дорогостоящего оборудования не рентабельно, а срок окупаемости его очень велик. Кроме того, в процессе разработки электронной аппаратуры на этапе макетирования и отработки электрических схем отдельных узлов аппаратуры требуется оперативное изготовление печатных плат с широким ассортиментом. Изготовление печатных плат по разработанной в ИС РАН документации мелкими партиями или поштучно на других предприятиях в г. Бишкек зачастую не представляется возможным именно по причине низкой оперативности. Много времени тратится на подготовку производства, оформление заказа и доставку готовой продукции и, как правило, стоимость таких услуг получается достаточно большой.

До настоящего времени в ЛПАР все этапы техпроцесса изготовления печатных плат, включая наиболее важный из них - процесс получения печатных проводников методом химического травления, осуществлялись в основном вручную. При этом возникает ряд проблем, связанных с человеческим фактором, в частности, невозможно одновременно и точно контролировать температуру и концентрацию травящего раствора и обеспечивать непрерывное его перемешивание, из-за чего качество изготавливаемых плат получается невысоким. При этом трудоемкость изготовления одной платы получается достаточно большой.

На основании выше изложенного была сформулирована и поставлена задача по автоматизации процесса химического травления проводников при изготовлении печатных плат в условиях лаборатории, призванная решить выше озвученные проблемы. В начале был проведен информационный поиск, в основном через Интернет, на наличие аналогичных разработок. Было найдено несколько сообщений (описаний) о таких устройствах [2, 3, 4], в основном разработанных радиолюбителями. Технично-экономические показатели всех найденных аналогов и прототипов оказались только частично удовлетворяющими необходимым для нашего случая требованиям. Поэтому было принято решение о разработке

и изготовлении специализированного, адаптированного под условия лаборатории, автоматического устройства, обеспечивающего изготовление высококачественных печатных плат методом химического вытравливания рисунка проводников на поверхности заготовки из фольгированного стеклотекстолита. Такая работа была проведена, результатом которой стало изготовление экспериментального образца устройства, внешний вид которого показан на рис. 1.

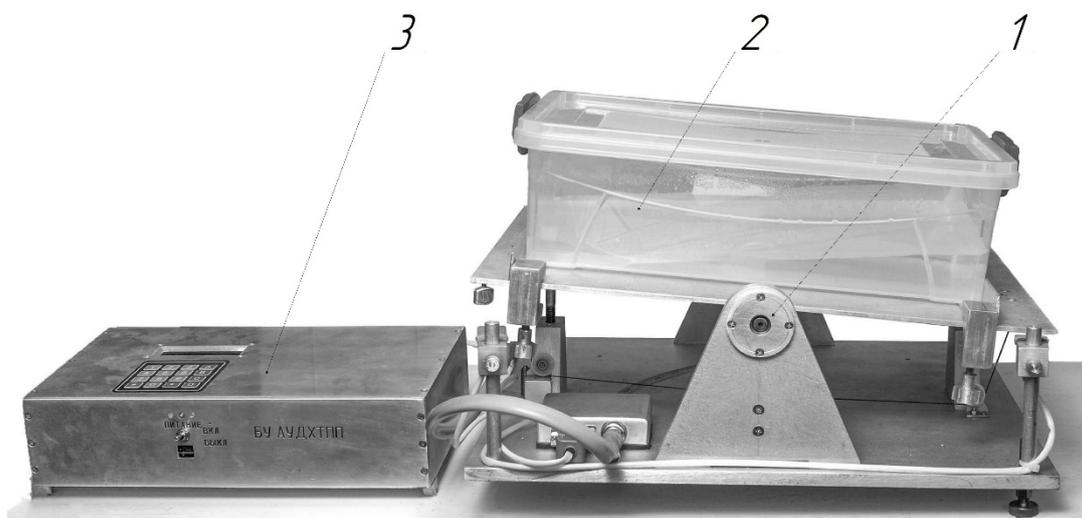


Рисунок 1 – Внешний вид автоматического устройства для химического травления печатных проводников при изготовлении печатных плат: 1 - исполнительный механизм, 2 - блок управления, 3 - емкость с химическим раствором.

Устройство состоит из трех частей: блока управления (поз. 3), исполнительного механизма (поз. 1) и емкости с химическим раствором (поз. 2). Основным отличием разработанного устройства от существующих аналогов является его технологическая гибкость и универсальность, позволяющие быстро и удобно проводить настройку и регулировку параметров режима травления. Гибкость и универсальность устройства достигнута за счет применения программного управления настройкой и поддержанием в заданных пределах параметров режима травления через встроенный микроконтроллер. Установка и отладка программного обеспечения (ПО) микроконтроллера осуществляется с помощью внешнего персонального компьютера, подключаемого к микроконтроллеру на время проведения этих операций. В устройстве с помощью установленного в его конструкцию управляемого нагревательного элемента обеспечивается установка и поддержание в течение заданного времени необходимой для проведения химического процесса температуры травящего раствора. Применение в исполнительном механизме шагового двигателя обеспечивает различные способы и скорость перемешивания травящего раствора. Обеспечена безопасность устройства для человека при его работе за счет применения емкости для химического раствора с герметично закрываемой крышкой, исключающей случайное его расплескивание или разбрызгивание. Устройство получилось мобильным, простым в обслуживании и имеет не высокую себестоимость.

На рис. 2 представлена структурно-функциональная схема разработанного автоматического устройства, получившего название автоматизированной платформы для травления печатных плат (АПТПП). На схеме не показана емкость с химическим раствором т. к. она входит в состав и устанавливается на механической платформе (МП) исполнительного устройства. Таким образом, структурно АПТПП состоит из двух частей: блока управления (БУ) и исполнительного устройства (ИУ). БУ обеспечивает прием сигналов (команд), поступающих от термодатчика (ТД), концевых выключателей (КВ1, КВ2) и шагового двигателя (ШД), расположенных в исполнительном устройстве и выработку управляющих работой шагового двигателя и нагревателя сигналов (команд),

обеспечивающих установку и поддержание в заданных пределах физических параметров режима травления.

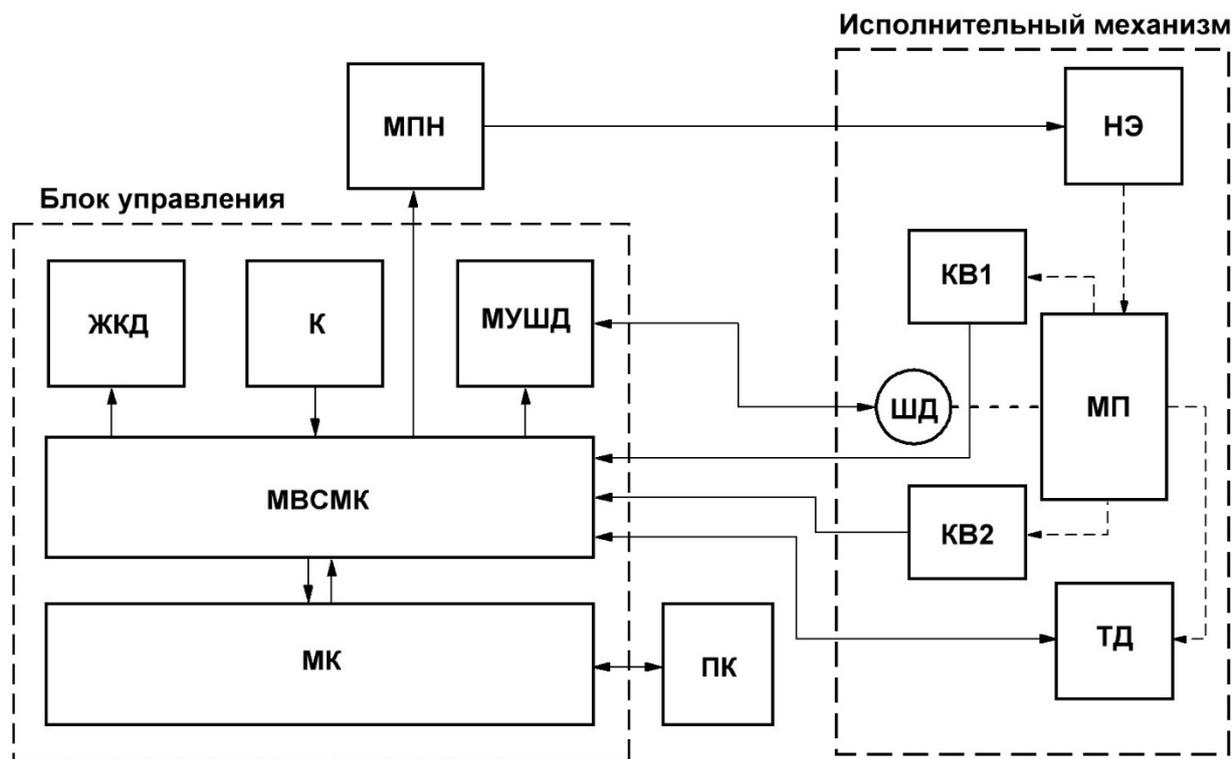


Рисунок 2 – Автоматизированная платформа для травления печатных плат (АПТПП), схема структурно-функциональная:

МК – микроконтроллер; МВСМК – модуль внешних сопряжений микроконтроллера; ЖКД – жидкокристаллический дисплей; К – клавиатура; МУШД – модуль управления шаговым двигателем; МПН – модуль питания нагревателя; МП – механическая платформа; ШД – шаговый двигатель; НЭ – нагревательный элемент; КВ1, КВ2 – концевые выключатели; ТД – термодатчик; ПК – внешний персональный компьютер.

На рис. 3 схематично изображен принцип работы механической части исполнительного устройства.

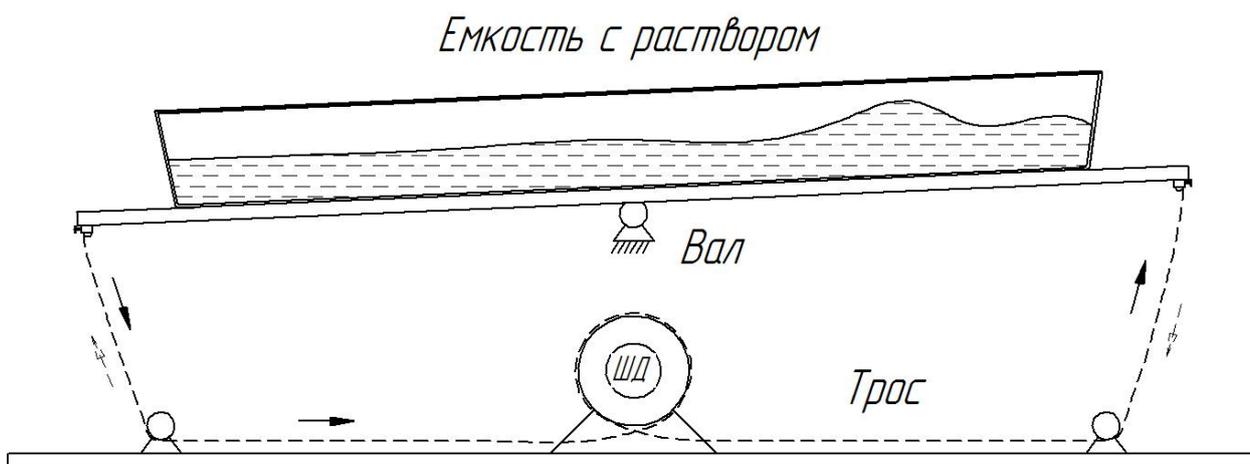


Рисунок 3 – Схема и принцип работы механической части АПТПП.

Принцип работы механической части АПТПП заключается в покачивании площадки с установленной на ней емкостью с различной амплитудой и скоростью. Покачивание

осуществляется с помощью шагового двигателя путем передачи создаваемого им вращательного момента через гибкий эластичный трос на площадку, жестко прикрепленную к вращающемуся валу, который удерживается в подшипниковых опорах.

На рис. 4 показана конструкция механической платформы (МП) АПТПП.

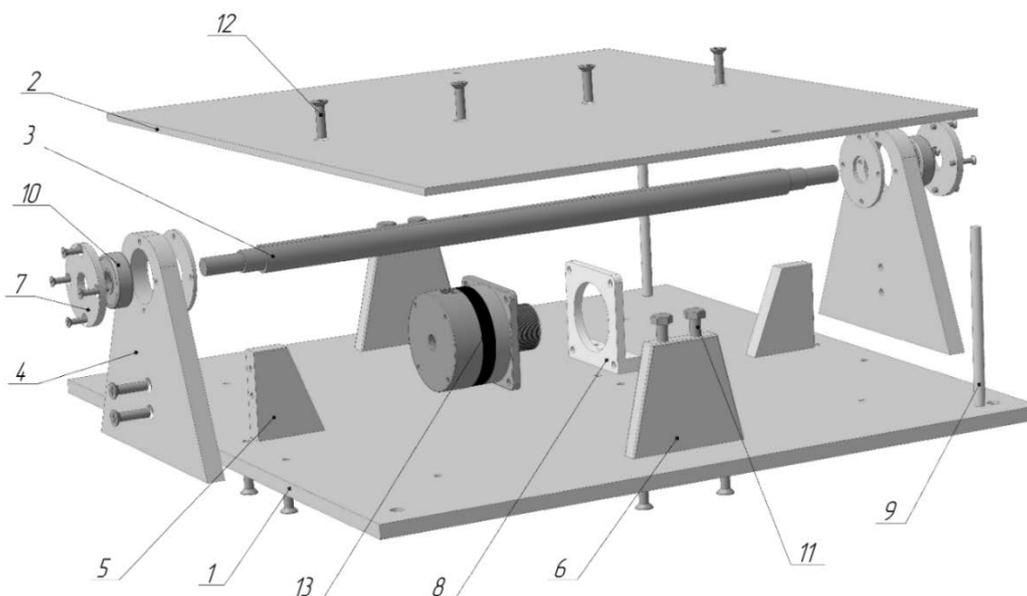


Рисунок 4 – Элементы конструкции механической платформы АПТПП.

Механическая платформа состоит из следующих элементов конструкции: нижней (1) и верхней (2) площадок, вращающегося вала (3), двух боковых стоек (4), двух элементов жесткости (5), двух механических ограничителей угла поворота (6) с установленными на них ограничительными болтами (11), четырех фланцев (7), уголковой стойки (8), двух специальных стоек (9), двух подшипников качения (10), установочных крепежных винтов (12) и шагового двигателя (13). На верхней площадке (2) с помощью крепежных винтов размещаются регулируемые фиксаторы (на рисунке не показаны), обеспечивающие закрепление на площадке емкости с травящим раствором. На верхней площадке также размещается нагревательный элемент, обеспечивающий подогрев химического раствора (на рисунке не показан). Верхняя площадка с помощью винтов (12) жестко прикручивается к стальному валу (3), обеспечивающему качение площадки при установке ее в конструкции исполнительного устройства. Вал с прикрученной к нему верхней площадкой устанавливается на двух подшипниках качения (10) в двух стойках (4), прикрепленных к нижней площадке (1). Фиксация подшипников в стойках осуществляется с помощью четырех фланцев (7), прикручиваемых к стойкам винтами. Стойки (4) крепятся к нижней площадке болтами и дополнительно усиливаются ребрами жесткости (5).

Реализация выше перечисленных конструкторских решений при изготовлении исполнительного механизма экспериментального образца АПТПП обеспечила необходимую надежность и жесткость его конструкции. В значительной степени надежность работы механизма исполнительного механизма обеспечивается за счет применения в конструкции подшипников качения, снижающих трение в подвижных частях конструкции и увеличивающих срок ее эксплуатации. Жесткость конструкции обеспечивается благодаря применению конструктивных элементов, выполненных из материала обладающего достаточной твердостью и толщиной, а также благодаря применению дополнительных ребер жесткости (5).

Примененный способ перемешивания травящего раствора путем покачивания емкости с раствором с различной скоростью обеспечивает максимальные удобства в работе с АПТПП. При этом отпадает необходимость дополнительного специального закрепления

заготовки печатной платы при размещении ее в химическом растворе, достаточно разместить плату в емкости с раствором на подставках, обеспечивающих доступ раствора к ее поверхности одновременно с двух сторон. Обеспечивается также легкая установка и замена в конструкции исполнительного механизма емкостей для травящего раствора различных габаритных размеров и формы.

В движение конструкция АПТПП приводится с помощью электромеханического привода, выполненного на шаговом двигателе (рис. 4, поз. 13) марки DUNAZUN 4SHG-023A39S производимого в Японии. Выбор типа и марки шагового двигателя был обусловлен требуемыми техническими характеристиками (большой механический момент при малых скоростях вращения, проста управления скоростью вращения и реверсом). Шаговый двигатель крепится к нижней площадке при помощи специальной уголковой стойки (рис. 4, поз. 8). Момент вращения от ШД передается к верхней площадке с помощью эластичного троса, в качестве которого может использоваться нить из капрона необходимого диаметра. Такой вид передачи движения относится к фрикционным передачам. Натяжение и крепление троса осуществляется при помощи специальных натяжителей, закрепленных на верхней площадке. Кроме натяжителей, в конструкции предусмотрены ролики, обеспечивающие дополнительное натяжение троса. Трос, натяжители и ролики на рис. 4 не показаны.

Для предотвращения опрокидывания емкости с раствором и обеспечения фиксации ее положения в нерабочем, выключенном состоянии в конструкции АПТПП предусмотрены механические ограничители угла наклона верхней площадки (смотри рис. 4, поз. 6). В конструкции АПТПП предусмотрена также коммутационная плата, через которую обеспечивается подключение шагового двигателя и концевых выключателей к блоку управления. Электрическое соединение блока управления и исполнительного механизма осуществляется при помощи двух кабельных жгутов, подключаемых через разъемы, расположенные на коммутационной плате. Коммутационная плата закрывается герметичной крышкой, обеспечивающей защиту электрических цепей от попадания пыли и влаги. Все элементы конструкции АПТПП выполнены из легко обрабатываемого алюминиевого сплава АМг6, обладающего хорошей коррозионной стойкостью. Вал, обеспечивающий подвижное закрепление верхней площадки в конструкции АПТПП, изготовлен из каленой стали.

Аппаратная часть АПТПП, представляющая собой электронную аппаратуру, обеспечивающую настройку режимов работы АПТПП через установку и контроль их параметров, располагается в блоке управления. Все узлы электрической схемы блока управления, выполненные на печатных платах и модулях размещены в отдельном корпусе, обеспечивающем защиту их от попадания пыли и влаги. В состав блока управления (рис. 2) входят микроконтроллер (МК), модуль внешних сопряжений микроконтроллера (МВСМК), модуль управления шаговым двигателем (МУШД), жидкокристаллический дисплей ЖКД, клавиатура (К) и блок питания (БП - на схеме не показан). Все другие устройства и блоки, входящие в состав АПТПП, такие как термодатчик (ТД), нагревательный элемент (НЭ), концевые выключатели (КВ1, КВ2), модуль питания нагревателя (МПН) и шаговый двигатель (ШД), подключаются к блоку управления с помощью кабельных жгутов и разъемов.

Главным устройством, с помощью которого осуществляются все основные функции АПТПП, является микроконтроллер (МК), в качестве которого выбран микромодуль Arduino Nano 3.0, выполненный на микропроцессоре ATmega328 фирмы "ATMEL" с тактовой частотой 16 МГц. Выбор модели микроконтроллера обусловлен невысокой стоимостью и достаточным быстродействием, обеспечивающим все необходимые функции АПТПП. В состав модуля Arduino Nano 3.0 входят несколько устройств, обеспечивающих связь его с внешними устройствами, например, с внешним персональным компьютером, что значительно облегчает процесс отладки и обновления программного обеспечения микроконтроллера.

Модуль внешних сопряжений микроконтроллера (МВСМК) является центральным модулем, так как все другие модули работают под управлением микроконтроллера через

него. В МВСМК реализованы элементы электрической схемы, обеспечивающие сопряжение всех внешних устройств и датчиков АПТПП с МК, включая схему управления работой блока питания. Управление работой микроконтроллера и задание параметров и режимов работы АПТПП осуществляется с помощью мембранной клавиатуры размером 4×4. Вывод и визуализация информации о режимах работы АПТПП осуществляется при помощи жидкокристаллического дисплея LCD 1602, подключённого к МК через модуль I2C, преобразующий параллельный интерфейс управления в последовательный, что позволяет экономить число выходных управляющих шин (контактов) микроконтроллера.

Концевые выключатели KB1 и KB2 реализованы на датчиках Холла типа А3144Е в которых в одном корпусе помещаются датчик магнитного поля и компаратор с характеристикой в виде петли гистерезиса, обеспечивающей точное и чёткое срабатывание датчика. С помощью этих датчиков осуществляется обратная связь между исполнительным механизмом и микроконтроллером, контролирующая моменты смены направления движения (реверс) верхней площадки.

Для автоматического контроля температуры используется цифровой защищённый датчик температуры DS18B20, который подключается к микроконтроллеру. МК считывает цифровые показания датчика и при достижении температурой раствора задаваемого порога, определяемого опытным путем в зависимости от химического состава используемого раствора и его концентрации, подает цифровой сигнал в модуль питания нагревателя (МПН), обеспечивающий отключение нагревателя.

Модуль управления шаговым двигателем (МУШД) - это аналого-цифровой модуль, принимающий управляющие сигналы от МК, указывающие на то, в каком направлении и с какой скоростью должно выполняться вращение ШД. Получив от МК данные о направлении движения и количестве шагов, МУШД переводит их в значения напряжения и силы тока, подаваемых в обмотки ШД, что определяет подаваемую в них мощность. Мощность, подаваемая в обмотки ШД, распределяется по ним в определенной последовательности, что обеспечивает вращение вала двигателя в требуемом направлении на заданное число шагов. МУШД спроектирован с использованием комплекта интегральных схем L297 и L298, производимых компанией STMicroelectronics. Применение указанной комбинация двух типов микросхем обеспечивает при незначительном числе используемых электронных компонентов низкие затраты, высокую надежность, малые габариты, упрощенное программное обеспечение для МК.

Блок питания АПТПП, конструктивно размещенный в корпусе блока управления, предназначен для формирования необходимых питающих напряжений постоянного тока для всех модулей, входящих в БУ, а также для питания шагового двигателя и датчиков. Первичным источником для блока питания является промышленная сеть, напряжением 220 В, частотой 50 Гц. В качестве блока питания была выбрана модель LC-B200SFX мощностью 200 ватт, применяемая в персональных компьютерах.

Нагрев химического раствора и поддержание в заданных пределах его температуры в процессе травления печатных проводников планируется обеспечить с помощью плоского силиконового нагревателя, закрепляемого на верхней площадке АПТПП и управляемого от микроконтроллера через отдельный специальный модуль питания нагревателя (МПН).

Разработанное программное обеспечение для АПТПП обеспечивает настройку параметров и проведение ниже перечисленных режимов работы.

- Режим ожидания. В этом режиме не происходит никаких операций, микроконтроллер ожидает ввода команд.
- Режим настройки и изменения рабочих параметров. В этом режиме осуществляется ввод через клавиатуру данных о параметрах режима работы, при этом:
- осуществляется выбор одного из режимов работы;
- устанавливаются скорость вращения шагового двигателя и амплитуда раскачивания емкости с травящим раствором;

- устанавливается температура раствора (не выше 60 градусов по Цельсию);
- устанавливается длительность процедуры травления.
- Рабочий режим. При нажатии клавиши «*» АПТПП переходит из ждущего режима в режим работы. Выход из данного режима происходит по истечению заранее установленного времени работы. В аварийных ситуациях предусмотрен экстренный выход из режима работы при нажатии клавиши «#».

Кроме основных в АПТПП предполагается ввести дополнительные функции, например, звуковую сигнализацию об окончании времени травления и в случаях возникновения аварийных ситуаций. Это поможет лучше контролировать процесс травления печатных проводников и снизит влияние человеческого фактора.

В настоящее время изготовленный экспериментальный образец АПТПП проходит этап комплексной отработки в условиях лаборатории.

Выводы.

1. Разработано специальное технологическое устройство – автоматизированная платформа для травления печатных плат (АПТПП), предназначенное для изготовления печатных в условиях небольших предприятий (лабораторий).
2. Изготовлен экспериментальный образец АПТПП.
3. Применение разработанного устройства обеспечит автоматизацию процесса химического травления печатных плат, изготавливаемых в ЛПАР, повысит их качество за счет достижения стабильных параметров технологического процесса и экономии времени.

Литература

3. Ильин В.А. Технология изготовления печатных плат – Л. Машиностроение, Ленинград. отд-ние; 1984 – 77с.
4. Станок для травления плат // схемопедия. URL: <http://shemopedia.ru/stanok-dlya-travleniya-plat.html> (дата обращения: 19.03.17).
5. УТПП - Установка для Травления Печатных Плат // Мастерская // Сайт паяльник. URL: [http:// http://схем.net/master/73.php](http://http://схем.net/master/73.php) (дата обращения: 19.03.17).
6. Устройство для травления плат ET-10 // ЧИП и ДИП. URL: <https://www.chipdip.ru/video/id000259045> (дата обращения: 19.03.17).

УДК 77.03.15

АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОЗДОРОВИТЕЛЬНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЕ ПОЖИЛЫХ ЛЮДЕЙ

THE ANALYSIS OF MODERN TECHNOLOGIES USING IN HEALTHCARE WORKOUTS OF OLDER PEOPLE

Макушева С.В., Андреев М.В.

makusheva.sv@yandex.ru

Кыргызская государственная академия физической культуры и спорта, г. Бишкек,
Кыргызстан

***Аннотация.** В статье представлен алгоритм определения частоты сердечных сокращений во время оздоровительной тренировки пожилых людей.*

Ключевые слова: пожилые люди, оздоровительная физическая культура, ЧСС, пульсометры.

Уровень здоровья зависит от социально-экономических, материально-технических, санитарно-гигиенических, экологических условий, культуры, образования, здравоохранения, науки, образа жизни, питания и главное – от уровня двигательной активности человека. Тесная связь здоровья и физической работоспособности с образом жизни, объемом и характером повседневной двигательной активности, доказана многочисленными исследованиями.

По данным Всемирной организации здравоохранения глобальная демографическая ситуация в современном обществе характеризуется устойчивой тенденцией к старению населения. В настоящее время в мире насчитывают более 380 млн. человек, возраст которых превышает 65 лет. По данным ООН, к 2025 году примерно каждый шестой человек на Земле будет старше 60 лет [1], что составит более одного миллиарда пожилых и престарелых людей. Изменения в демографической структуре современного общества, связанные с увеличением относительного и абсолютного количества лиц пожилого возраста, делают тему оздоровительной физической культуры актуальной в теории и практике физической культуры.

В результате проведенного анализа доступных литературных и Интернет источников не было установлено принципа использования современных технологий в оздоровительной физической культуре (ОФК) пожилых людей, что явилось побудительным моментом проведения исследований по данному направлению.

Целью работы явилось – изучение современных технологий в области ОФК пожилых людей и анализ их использования в практике.

Задачи исследования:

1. Выявление наиболее информативных методик для определения физиологических изменений организма в процессе занятия ОФК;
2. Разработка алгоритма определения частоты сердечных сокращений (ЧСС) в тренировочном занятии с целью внедрения в практику.

В соответствии с возрастной градацией ВОЗ к среднему возрасту относятся люди 44-60 лет, к пожилому – 60-75 лет, возрастная группа 75-90 лет определена как старческий возраст, с 90 лет – долгожители [2].

Наибольшая продолжительность жизни наблюдается в экономически развитых странах, в частности, в Японии и Гонконге – 83,6 и 83,4 лет соответственно (табл.1). Кыргызстан в этом списке занимает 132 место. Наименьшая продолжительность жизни в Сьерра-Леоне – 45, 6 лет.

Таблица 1 – Продолжительность жизни (лет) в мире

Место	Страна	Продолжительность жизни (лет)	Место	Страна	Продолжительность жизни (лет)
1	Япония	83.6	6	Сингапур	82.3
2	Гонконг	83.4	7	Исландия	82.1
3	Швейцария	82.6	8	Испания	82.1
4	Австралия	82.5	129	Россия	68
5	Италия	82.4	132	Кыргызстан	67,5

Во всем мире максимальное бремя смертности среди пожилых людей приходится на ишемическую болезнь сердца (ИБС), инсульт и хроническую обструктивную болезнь легких. В 2012 году неинфекционные заболевания (НИЗ) стали причиной 68% (38 миллионов) всех случаев смерти в мире по сравнению с 60% (31 миллион) в 2000 году [3].

К другим основным изменениям организма пожилых людей относятся: изменения двигательных, сенсорных, когнитивных, иммунных функций, функций кожи. К

психологическим особенностям старения относятся: снижение интеллекта и ригидность мышления, сужается восприятие, снижается память и внимание, психомоторные реакции замедляются.

Причинами старения являются генетически обусловленные возрастные изменения в хроматине – наследственной информации различных клеток, которые приводят с возрастом к снижению трансляционной активности (самообновления клетки) [4]. На биологическом уровне старение характеризуется постепенным хроническим накоплением молекулярных и клеточных повреждений, которые приводят к прогрессирующим и генерализованным нарушениям многих функций организма, а также повышают уязвимость к экологическим воздействиям и ведут к повышенному риску заболеваний и смерти [5].

Вместе с тем, многочисленными исследованиями доказано, что основные модели здорового образа жизни, такие как физическая активность и обеспечение достаточного питания, не только снижают риск НИЗ, но и оказывают мощное влияние на индивидуальную жизнеспособность лиц пожилого возраста [2]. Поэтому задача оздоровительной физической культуры с лицами пожилого возраста состоит не просто в увеличении продолжительности жизни, а в продлении срока активной здоровой жизни.

Данные, приведенные в таблице 2, свидетельствуют о том, что в ряде стран возрастной порог выхода на пенсию превышает 60 лет [6]. Пожилые люди трудоспособны и остаются включенными в общественную жизнь, что позволяет им уменьшить ряд психологических проблем, свойственных людям пожилого возраста, в частности чувства ненужности и одиночества [7].

Таблица 2 – Возраст выхода на пенсию

Страна	Средний размер пенсии (\$/месяц)	Возраст выхода на пенсию (лет)		Страна	Средний размер пенсии (\$/месяц)	Возраст выхода на пенсию (лет)	
		Муж.	Жен.			Муж.	Жен.
Дания	2800	67	67	Великобритания	700	68	60
Норвегия	1542	67	67	Франция	700	67	65
Германия	1200	67	67	Канада	667	65	65
Испания	1190	65	65	Италия	583	67	65
США	1164	65	65	Венгрия	400	62	62
Швейцария	874	65	64	Польша	380	65	60
Швеция	833	65	65	Россия	285	60	55
Япония	717	70	70	<i>Кыргызстан</i>	<i>75,5</i>	<i>62</i>	<i>58</i>

По мнению Никитушкиной Н.Н. основной причиной потери функций или упадка сил в пожилом возрасте является не само старение, а изменение образа жизни, поведения, питания, снижение двигательной активности или воздействий окружающей среды, поэтому, данное состояние может быть изменено [8].

Оздоровительный эффект физических упражнений основан на тесной взаимосвязи работающих мышц с нервной системой, обменом веществ, функционированием внутренних органов. При регулярном и систематическом выполнении упражнений оптимизируется регуляция всех органов и систем организма человека. Улучшается обмен веществ, доставка и использование кислорода органами и тканями, снижается содержание холестерина, эффективнее выводятся из организма продукты распада, наблюдается экономизация деятельности дыхательной, сердечнососудистой, энергетической, теплообменной и других функций организма. Оздоровительная тренировка улучшает физические и психические способности, снижает чувство тревожности и депрессию, является мощным средством профилактики неинфекционных заболеваний, таких как ИБС, диабет, инсульт. Больше всего такие занятия полезны людям в возрасте старше 60 лет.

Для пожилых людей особенно важную роль играют – аэробные нагрузки, силовые упражнения и упражнения на укрепление нервно-двигательных функций (координации движений).

В широком смысле к видам двигательной активности, дающим преимущественно аэробную нагрузку, относятся различные циклические движения, выполняемые с невысокой интенсивностью достаточно длительное время [4]. Разработанные К. Купером (Kenneth H. Cooper) аэробные программы и нормы двигательной активности содержали различные виды естественных движений, такие как ходьба, бег, плавание, катание на коньках, лыжах, велосипеде и другие. В наше время слово «аэробика» часто применяется как собственное название для различных видов двигательной активности оздоровительной направленности, под которым объединено более двухсот различных направлений и течений.

По мнению профессора В.Н. Селуянова ключом к профилактике «болезней пожилого возраста» является управление деятельностью эндокринной системы с помощью физических упражнений. В отличие от искусственного введения гормонов в организм, когда невозможно создать необходимый баланс и последовательность появления гормонов в крови, образование гормонов в ходе физических упражнений и восстановления создает необходимую для человека «игру» гормонов в крови в соответствии (в согласии) с его природой [9]. Поэтому все виды современных оздоровительных программ (бег, лыжи, трекинг, аэробика, шейпинг, йога, стретчинг, каланетика, аквааэробика в бассейне, скандинавская ходьба, занятия на тренажерах и т.д.) следует рассматривать с точки зрения их способности вызвать «игру» гормонов в крови.

Таким образом, возрастные физиологические изменения в процессе инволюции лимитируют подбор методов и средств ОФК и требуют тщательного регулирования тренировочных нагрузок.

Величину нагрузки определяют степенью влияния на организм оздоровительных и спортивных упражнений. С этой точки зрения физические нагрузки делятся на пороговые, оптимальные, пиковые и сверхнагрузки. Пороговая нагрузка превышает уровень обычной физической нагрузки, оказывающей необходимый оздоровительный эффект: компенсирует недостаточные энергетические затраты, повышает функциональные возможности организма и снижает факторы риска. Пиковая нагрузка — такая, которая не должна быть превышена на данном занятии. Оптимальная нагрузка — это нагрузка такого объема и интенсивности, которая оказывает максимальный оздоровительный эффект для данного лица. Зона оптимальных нагрузок ограничена снизу уровнем пороговых, а сверху — максимальных нагрузок.

Значение пульса считается наиболее объективным показателем интенсивности тренировки [10]. Зная, каких результатов можно достичь в той или иной пульсовой зоне (табл.4), можно выяснить, подходит ли интенсивность тренировки для достижения желаемых результатов. Для того чтобы проводить тренировку в определенных пульсовых зонах, необходимо определить максимальную частоту сердечных сокращений (табл.3).

Таблица 3 – Формулы для расчета максимального пульса (МП)

	Авторы формулы	Формула	Использование
1	Формула Хаскеля-Фокса	$МП = 220 - \text{возраст}$	с 1970 г
2	Формула Лондери-Мешбергера	$МП = 206,3 - (0,711 * \text{возраст})$	с 1982 г
3	Формула Миллера	$МП = 217 - (0,85 * \text{возраст})$	с 1993 г
4	Формула Джексона	$МП = 206,9 - (0,67 * \text{возраст})$	с 2007 г
5	Формула Танака	$МП = 208 - (0,7 * \text{возраст})$	с 2001 г
6	Формула Робертса-Ландвера	$МП = 205,8 - (0,685 * \text{возраст})$	
7	Формула Вайта	$МП = 202 - (0,55 * \text{возраст})$ (для М) $МП = 216 - (1,09 * \text{возраст})$ (для Ж)	
8	Формула Универ-а Ball State	$МП = 214 - (0,8 * \text{возраст})$ (для М) $МП = 209 - (0,9 * \text{возраст})$ (для Ж)	

Алгоритм определения ЧСС во время тренировки:

1. Определить ЧСС в состоянии покоя (лучше всего замерять утром, лежа в кровати сразу после пробуждения или находиться как минимум 10 минут в полном покое перед тем, как приступить к измерениям);
2. Определить максимальный пульс (МП) по формуле (таблица 3). МП принимается за 100%. Это максимальная частота пульса, с которым сердце может биться. Этот показатель индивидуален.
3. Определить ЧСС в соответствии с выбранной целевой зоной (целевые зоны в таблице 4) по формуле Карвонена:

$$\text{ЧСС во время тренировки} = (\text{максимальная ЧСС} - \text{ЧСС в покое}) \times \text{интенсивность (в\%)} + \text{ЧСС в покое};$$

Таблица 4 – ЧСС для целевых зон по возрастам

ЧСС при нагрузках, % от МП	Название зоны	Описание зоны нагрузки	Возраст в годах	Допустимый пульс для данной зоны (жен.)	Допустимый пульс для данной зоны (муж.)
50-60	Оздоровления сердца или зона очень легкой активности	Используется при зарядке или легкой разминке	20	95-114	99-119
			40	86-104	91-109
			55	80-96	85-102
			70	73-88	79-95
60-70	Фитнес или зона легкой активности	Растет общая выносливость, используется для жиросжигания	20	115-134	119-139
			40	104-121	109-127
			55	96-112	102-119
			70	88-102	95-111
70-80	Аэробная или зона средней активности	Растет объемный удар сердца, развиваются аэробные способности	20	134-153	139-158
			40	121-138	127-146
			55	112-128	119-136
			70	102-117	111-126
80-90	Анаэробная или зона повышенной нагрузки	Развивается взрывная сила, растет мышечная масса и сила	20	153-172	158-178
			40	138-156	146-164
			55	128-144	136-153
			70	117-131	126-142
90-100	Красной линии или зона максимальной нагрузки	Предельное развитие силы и скорости, используется спортсменами для подготовки к соревнованиям	20	172-191	178-198
			40	156-173	164-182
			55	144-160	153-170
			70	131-146	142-158

Финский физиолог Карвонен определил, что 80% от предельной нагрузки - это оптимальная максимальная частота пульса при физических нагрузках для всех возрастов [11]. Для пожилых людей тренировки проводятся только в зоне оздоровления сердца, фитнес-зоне и аэробной зоне, т.е. ЧСС не должна превышать 80 % от максимальной ЧСС.

В настоящее время для определения пульса во время тренировок используются пульсометры. Ведущие бренды производители пульсометров — Garmin, Polar, Suunto и Sigma.

На рынке представлено большое разнообразие моделей с различными функциями.

Все пульсометры делают замеры на основе получения электронных сигналов с датчиков, которые передаются в мобильное приложение или же напрямую синхронизируются с компьютером в том случае, если занимающийся предпочитает тренироваться без телефона.

Основные функции пульсометра (на примере пульсометров фирмы (Polar) [12]:

Автоматическое определение целевой зоны. Для того, чтобы тренировка была более эффективной и безопасной пульсометр Polar автоматически определяет идеальную для занимающегося частоту сердечного ритма исходя из возраста и максимального пульса.

Измерение сердечного ритма. Частота сердечного ритма – основной параметр, измеряемый всеми пульсометрами Polar. Частота пульса может быть выражена как в количестве ударов в минуту, так и в процентах от максимальной частоты сердечного ритма. Частота сердцебиения может быть также выражена в процентах от резерва сердечного ритма. В пульсометрах Polar частота сердечного ритма может быть выражена в виде графика.

Графическое и звуковое отображение целевой зоны. Пульсометр определяет целевую зону для тренировки, основываясь на частоте сердечного ритма занимающегося. Знание ЧСС в разный период тренировки помогает определить ее интенсивность. Когда занимающийся выходит из рекомендуемой целевой зоны пульсометр Polar сообщает об этом звуковым и визуальным сигналами.

К другим функциям относятся: Ручная установка целевой зоны; Polar Energy Pointer (функция подведения итогов тренировки); Polar Own Cal (функция подсчета калорий); Polar Own Zone (функция определения личной зоны сердечного ритма); Спортивные зоны Polar. Обучение делится на пять зон, которые основаны на процентах от МП занимающегося: очень легкая нагрузка (50-60% МП max), умеренная (70-80% МП max), высокая (80-90% МП max), максимальная (90-100% МП max); Polar Zone Pointer. Графическое дополнение функции пульсометров Polar Zone Lock, визуально отображает:

находится ли занимающийся в выбранной целевой зоне; Общие итоги тренировки; Подведение общих итогов за тренировку - средний пульс, количество сожженных калорий; Файлы итогов тренировок; Дополнительные датчики (датчик бега, датчик GPS); Скорость передвижения/темп тренировки/расстояние.

Заключение. Современные технологии вывели оперативный контроль за физической нагрузкой занимающихся на совершенно новый качественный уровень. Использование пульсометров в тренировочных занятиях пожилых людей позволяет получать все необходимые данные для регулирования физической нагрузки, что является необходимым условием достижения оздоровительного эффекта.

Литература

1. Рейтинг стран мира по уровню продолжительности жизни. Гуманитарная энциклопедия [Электронный ресурс]. <http://gtmarket.ru>
2. Официальный сайт ВОЗ. Всемирный доклад о старении и здоровье. <http://www.who.int/>
3. 10 ведущих причин смерти в мире <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs310/ru/index4.html>
4. Граевская Н.Д., Долматова Т.И. Особенности врачебного контроля за лицами пожилого возраста и ветеранами спорта. Спортивная медицина: Учебник. М.: Советский спорт. 2004. www.ironman.ru/docs/sport_med.pdf
5. Селуянов В.Н. Технология оздоровительной физической культуры. М.: СпортАкадемПресс. 2001. 34 с. www.grushnitskiy.ru/literature/books/tech_fk.doc
6. Макушева С.В. Физическая активность пожилых людей // Материалы V Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 25-летию социальной работы в России. Улан-Удэ: Изд. ВСГУТУ. 2016. С. 190-192.
7. Щанина Е.В. Интеграция пожилых людей в современный социум // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Общественные науки. 2015. № 1 (33). С. 150-162.
8. Никитушкина Н.Н. Особенности организации работы с лицами старшего возраста. www.bmsi.ru/doc/7f887065-bfd2
9. Лечебная физическая культура. Учебник для студ. учреждений высш. проф. образования / Под ред. С.Н. Попова. М.: Академия. 2012. 416 с.

10. Частота сердечных сокращений (ЧСС) во время тренировки. [www. diagnoster.ru](http://www.diagnoster.ru) > Болезни > Спортивное сердце
11. Формула Карвонена ([www. ggym.ru/view_post.php?id=78](http://www.ggym.ru/view_post.php?id=78))
12. Дополнительные функции пульсометров Polar – Action – Drive.ru . <https://action-drive.ru>

УДК 004

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАИБОЛЕЕ ВЫГОДНЫХ РАЙОНОВ ДЛЯ ОТКРЫТИЯ БИЗНЕСА НА ОСНОВЕ DATA MINING КЛАСТЕРИЗАЦИИ

ALGORITHM FOR DETERMINING THE MOST PROFITABLE AREAS TO START A BUSINESS BASED ON DATA MINING CLUSTERING

Маликов Н.В., Демиденко А.П.

barcaman93@gmail.com, ad48@mail.ru

Кыргызско-Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызстан

***Аннотация.** В работе проанализированы данные сети предприятий общественного питания, рассмотрен алгоритм data mining обработки и визуализации данных на географической карте города, а также разработано приложение, которое позволяет решать поставленную задачу.*

***Ключевые слова:** data mining, кластеризация, статистический анализ, обработка больших данных, интерактивная географическая карта.*

С развитием IT-технологий интернет прочно вошел в нашу жизнь, чем больше информации мы имеем, тем сложнее выделить из нее полезную составляющую. В информационный век успех компаний и отдельных людей все чаще зависит от того, как быстро и эффективно они превращают огромные объемы данных в полезную информацию. Причем отбор информации должен происходить быстро и качественно, т.е. пользователь не желает тратить время на дополнительную фильтрацию полученных данных, а хочет увидеть именно то, что ему надо, поэтому проблема анализа и обработки данных очень актуальна в наше время.

Рассматриваемая задача заключается в следующем. Имеется сеть филиалов, расположенных в разных частях города. Необходимо выбрать местоположение для открытия нового филиала таким образом, чтобы ожидаемая прибыль от данной точки была максимальной.

Для данного предприятия существует система, которая передает информацию о результатах функционирования филиалов в центральный офис. Данная информация включает в себя сведения о доходах и расходах. Для решения поставленной задачи предлагается использовать данные, полученные за период функционирования системы, а также географические координаты филиалов.

В качестве основного подхода к решению проблемы был выбран подход Data Mining: кластерный анализ и статическая обработка геоинформационных объектов. При этом:

- ▶ Задача кластеризации решает задачу группировки филиалов сети по признаку близости географического расположения.
- ▶ Статистическая обработка позволяет представить объекты внутри кластера по эффективности функционирования.
- ▶ Геоинформационный подход решает задачу визуализации рассматриваемых объектов на карте города.

Кластерный анализ – это метод классификационного анализа; его основное назначение – разбиение множества исследуемых объектов и признаков на однородные в некотором смысле группы, или кластеры. Это многомерный статистический метод, поэтому предполагается, что исходные данные могут быть значительного объема, т.е. существенно большим может быть, как количество объектов исследования (наблюдений), так и признаков, характеризующих эти объекты. Большое достоинство кластерного анализа заключается в том, что он дает возможность производить разбиение объектов не по одному признаку, а по ряду признаков. Кроме того, кластерный анализ, в отличие от большинства математико-статистических методов, не накладывает никаких ограничений на вид рассматриваемых объектов и позволяет исследовать множество исходных данных практически произвольной природы [1].

Разбиение выборки на группы схожих объектов позволяет упростить дальнейшую обработку данных и процесс принятия решений. Если исходная выборка избыточно большая, то можно сократить её, оставив по одному наиболее типичному представителю от каждого кластера (сжатие данных). Обнаружение новизны заключается в выделении нетипичных объектов, которые не удаётся присоединить ни к одному из кластеров.

Кластеризация в Data Mining приобретает ценность тогда, когда она выступает одним из этапов анализа данных, построения законченного аналитического решения [2]. Аналитику часто легче выделить группы схожих объектов, изучить их особенности и построить для каждой группы отдельную модель, чем создавать одну общую модель для всех данных. Таким приемом выгодно пользоваться в бизнесе, выделяя группы филиалов и разрабатывая для каждой из них отдельную стратегию развития.

При решении поставленной нами задачи было рассмотрено множество различных подходов к кластеризации данных. В итоге было решено использовать предварительно адаптированную под имеющиеся и требуемые данные методику, описанную в [3].

Филиал – это исследуемый объект алгоритма, представляет собой численный показатель, характеризующий выручку. При создании кластера, ему присваивается значение выручки первого филиала, входящего в него. При добавлении следующего филиала, вычисляется среднее значение для кластера. Вычислять прибыль для кластера требуется для визуализации результатов на интерактивной географической карте города.

В данной работе разбиение на кластеры происходит с учетом географических координат филиалов. Входными данными являются:

- данные о филиалах, содержащие их географические координаты (двумерный числовой массив), наименование (текстовый тип), выручка за выбранный период (число), и др.
- R – максимальное расстояние между филиалами в кластере: основной показатель для построения кластера, который вычисляется исходя из масштаба географической карты на текущий момент времени.

Алгоритм работы следующий:

- Берется филиал – x . Если он и его соседние филиалы не привязаны к кластеру, тогда создается новый кластер и филиал добавляется в него.
- Берется соседний к x филиал – $x1$, проверяется наличие его в кластерах.
- Находится расстояние между филиалами x и $x1$. Далее:
 - если это расстояние не превышает R , где R является пределом максимального расстояния между филиалами, то возможны два случая:
 - Филиал $x1$ пока не входит в кластер, тогда $x1$ вносится в тот же кластер в котором находится филиал x ;
 - Филиал $x1$ уже принадлежит какому-то кластеру, отличному от текущего, тогда кластер с большим количеством объектов поглощает кластер с меньшим.
 - если расстояние больше R , то создается новый кластер и филиал $x1$ добавляется в него.

Описанный алгоритм планируется использовать для разработки web-приложения, позволяющего найти оптимальный район расположения нового филиала на географической карте города в заданном масштабе. Также предполагается, что обозначение кластеров по среднему значению эффективности функционирования будет отображаться с помощью изменения цветовой гаммы – интенсивность цветовой окраски связана с выручкой района: чем выше выручка, тем интенсивнее цвет.

Таким образом, для решения поставленной задачи планируется разработка приложения, имеющего доступ к данным по всем филиалам. Предполагается, что для быстрого получения результата запроса пользователя обработка данных будет происходить на выделенном сервере. Также в приложении будут отображаться данные по выручке филиалов за определенный период времени: при изменении периода, карта будет автоматически обновляться и, соответственно, кластерный анализ будет выполняться на основе обновленных данных, то есть результаты анализа данных можно будет получить в любое время за выбранный период функционирования предприятия.

Литература

1. Электронный ресурс: Свободная энциклопедия «Википедия» публикация «Кластерный анализ»: https://ru.wikipedia.org/wiki/Кластерный_анализ
2. Электронный ресурс: Свободная энциклопедия «Википедия» публикация «Data mining»: https://ru.wikipedia.org/wiki/Data_mining
3. Электронный ресурс для IT-специалистов «Хабрахабр»: публикация «Кластеризация точек на основе регулярной сети», автор – пользователь Ogon: <https://habrahabr.ru/post/138185/>

УДК 332.62

РОЛЬ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА В ЭКОНОМИКЕ РОССИИ

THE ROLE OF OIL AND GAS SECTOR IN THE ECONOMY OF RUSSIA

Мамахатов Т.М.

tmmamakhатов@gmail.com

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А.Трофимука СО РАН,
г.Новосибирск, Россия

***Аннотация.** Статья посвящена современному состоянию нефтегазовой отрасли России и ее роли в формировании бюджета страны в условиях снижения мировых цен на углеводородные ресурсы.*

***Ключевые слова:** запасы нефти, добыча нефти, нефтяная промышленность России, Восточная Сибирь, Дальний Восток, качество запасов, экспорт углеводородов.*

Нефтегазовый комплекс является основным фактором развития экономики России и источником дохода для устойчивого роста страны в долгосрочной перспективе. Экономика России и доходы бюджета во многом зависят от нефтегазового комплекса, что определяет ключевую роль этой отрасли в жизни страны. Только налог на добычу полезных ископаемых и экспортная пошлина на углеводороды и производные продукты формируют больше половины (51,4 %) федерального бюджета (Таблица 1), в то время как в стоимостной структуре экспорта доля углеводородов составляет уже 58,8 % (Таблица 2). Акции нефтегазовых компаний формируют в России 47 % всего фондового рынка страны, а

дополнительные доходы от нефтегазового сектора позволили накопить международные резервы в размере 368 млн долл., на 1.01.2015 г.

Таблица 1 – Показатели, характеризующие роль ресурсов углеводородов в экономике России в 2000-2015 гг.

Показатель	2000	2005	2008	2011	2012	2013	2014	2015
Доля НГК в объеме промышленного производства	25	41	38	41	42	42	43	44
Доля нефтегазовых доходов в федеральном бюджете, %	н.д.	42	47	50	50	50	51	44
Доля углеводородов в общей стоимостной структуре экспорта, %	50	62	64	69	67	67	66	59
Доля инвестиций в НГК в общем объеме инвестиций, %	н.д.	13	13	14	15	15	16	17
Объем Стабилизационного, Резервного и Фонда национального благосостояния, млрд руб.	-	1237	6612	3606	4576	5760	9334	8868
Объем международных резервов, млрд долл.	35	125	479	479	499	532	510	368

От стабильности и конкурентоспособности российского нефтегазового комплекса напрямую зависит вся экономика страны и уровень жизни ее граждан и именно поэтому необходимо своевременно искать подходы к разрешению ключевых проблем отрасли.

В основе главных векторов развития нефтегазовой отрасли лежат закономерности и тенденции развития нефтегазового комплекса России за последние двадцать лет.

Таблица 2 – Экспорт нефти, нефтепродуктов и природного газа в стоимостном выражении в 2010-2015 гг., млрд долл. в текущих ценах

Показатель	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Доля, %	2015/2014 гг., %
Нефть	25,3	83,4	129,0	171,7	180,9	173,7	153,9	89,6	44,1	58,2
Нефтепродукты	10,9	33,8	69,4	91,3	103,4	109,2	115,7	67,4	33,2	58,3
Природный газ	16,6	31,7	46,5	62,3	63,0	67,2	54,7	41,8	20,6	76,4
Газ природный сжиженный	-	-	3,0	3,8	4,7	5,5	5,2	4,5	2,2	85,8
Экспорт углеводородов, всего	52,8	148,9	247,9	329,1	352,0	355,6	329,5	203,3	100,0	61,7
Общий экспорт, всего	105,0	240,0	372,8	478,2	524,7	527,3	496,9	345,9	-	69,6
Доля углеводородов, %	50,0	62,0	66,5	68,8	67,1	67,4	66,3	58,8	-	88,6

Долгосрочное устойчивое развитие нефтегазового комплекса и экономики России связано с постепенным отходом от старых месторождений Европейской части России и

комплексным освоением ресурсного потенциала Восточной Сибири и Дальнего Востока. Несмотря на интенсивное вовлечение в разработку запасов и ресурсов нефти, крупномасштабная добыча природного газа на востоке страны ещё не началась и сдерживается прежде всего низкими темпами строительства транспортной инфраструктуры.

В настоящее время в структуре минерально-сырьевой базы происходят значительные структурные сдвиги, которые, по сути, и будут определять новые условия развития нефтяной промышленности России на долгосрочную перспективу [1].

В данный момент происходит качественное изменение структуры разрабатываемых месторождений в части выработки уникальных и крупных месторождений, а также увеличения в структуре запасов и добычи доли средних и мелких месторождений. Пик добычи углеводородов за счет нескольких сверхкрупных месторождений на сегодняшний день уже пройден и настанет черед мелких и средних, труднодоступных месторождений.

Видоизменяется география добычи нефти в России с увеличением роли восточных регионов России и шельфов морей. Если раньше это были районы Северного Кавказа, старейшее месторождение Баку, и Поволжье, то сейчас можно говорить о перемещении территории добычи с запада на восток.

Происходит заметное сокращение величины извлекаемых запасов на месторождениях, подготовленных для промышленного освоения с увеличением числа таких месторождений. Также, существенно ухудшается качество запасов нефти, связанное с увеличением доли трудноизвлекаемых запасов нефти, таким образом увеличивается необходимость в разработке и применении высоких технологий нефтегазового сектора, что раньше могло игнорироваться.

Изменяется структура запасов нефти по категориям с увеличением доли запасов высоко достоверных категорий, уже вовлеченных в разработку. Крупные структурные сдвиги, происходящие в части ресурсно-сырьевой базы и добычи нефти в России, определяют необходимость формирования новой стратегии нефтегазовой отрасли, поскольку старая в значительной степени реализована и исчерпала себя [2-10].

В XXI веке главными новыми объектами поисков, разведки и разработки месторождений нефти, а также приоритетными задачами нефтегазовой отрасли Российской Федерации будут являться:

1. осадочные бассейны российского шельфа Северного Ледовитого океана;
2. слабо изученные провинции на суше (Лено-Тунгусская провинция);
3. крупные объекты, не введенные в разработку на севере Западной Сибири в Ямало-Ненецком АО;
4. уникальные ресурсы нефти нетрадиционных источников – баженовская свита и др., сырье для получения «синтетической» нефти;
5. рациональное использование остаточных запасов уникальных и крупных месторождений;
6. поиски, разведка и разработка мелких, мельчайших и средних месторождений в зрелых нефтегазоносных бассейнах.

Литература

1. Конторович А.Э., Эдер Л.В., Филимонова И.В. Состояние и прогноз развития нефтегазового комплекса (добыча, переработка, транспорт) // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2013. № 5. С. 51-61.
2. Каминский А.В. Развитие глубокой переработки газа в мировой экономике // Российский внешнеэкономический вестник. 2013. № 9. С. 106-113.
3. Бушуев В.В., Куричев Н.К., Громов А.И. Энергетическая стратегия – 2050: методология, вызовы, возможности // ЭСКО. Энергетика и промышленность. 2013. № 6. С. 14-19.

4. Конторович А.Э., Эдер Л.В., Филимонова И.В. Состояние и прогноз развития нефтегазового комплекса (добыча, переработка, транспорт) // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2013. № 5. С. 51-61.
5. Коржубаев А.Г., Филимонова И.В., Эдер Л.В. Формирование новых центров нефтегазового комплекса на Востоке России // Таможенная политика России на Дальнем Востоке. 2013. № 1. С. 34-45.
6. Конторович А.Э., Эдер Л.В. Новая парадигма стратегии развития сырьевой базы нефтедобывающей промышленности Российской Федерации // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2015. № 5. С. 8-17.
7. Эдер Л.В., Филимонова И.В., Мочалов Р.А. Эффективность бизнес-стратегий российских нефтегазовых компаний // Бурение и нефть. 2015. № 3. С. 3-10.
8. Эдер Л.В., Филимонова И.В., Моисеев С.А. Нефтегазовый комплекс Восточной Сибири и Дальнего Востока: тенденции, проблемы, современное состояние // Бурение и нефть. 2015. № 12. С. 3-12.
9. Эдер Л.В., Филимонова И.В., Немов В.Ю., Проворная И.В. Современное состояние и основные тенденции развития нефтяной промышленности // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2014. № 3. С. 40-51.
10. Конторович А.Э., Эпов М.И., Эдер Л.В. Долгосрочные и среднесрочные факторы и сценарии развития глобальной энергетической системы в XXI веке // Геология и геофизика. 2014. Т. 55. № 5-6. С. 689-700.

УДК 25.12.95

ОБЛАЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ЗАДАЧИ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ

CLOUD TECHNOLOGY: BASIC CONCEPTS, PROBLEMS AND TRENDS

Мамедгасанов Р.М., Ташкулов Д.М.

Rail1995@inbox.ru

Кыргызско – Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызстан

***Аннотация.** Данная статья посвящена облачным технологиям, которые в свою очередь очень актуальны на сегодняшний день в сфере инфокоммуникаций и систем связи. Рассмотрены основные понятия, определены задачи, поставленные перед данной технологией. Выявлена и обоснована необходимость в использовании облачных сервисов. На основе проведенных исследований, авторами статьи предлагается выделить достоинства и недостатки облачных технологий.*

***Ключевые слова:** облако, облачное хранилище, облачные вычисления, приложения, доступность, мобильность, высокая технологичность, операционная система.*

Сегодня в нашу жизнь все прочнее входят так называемые облачные вычисления. Набирают они популярность не только у простых пользователей сети Интернет, но и в некоторых бизнес-структурах. Так в чем заключается принцип работы «облачных» вычислений? Облачные вычисления (англ. cloud computing) — информационно-технологическая концепция, подразумевающая обеспечение повсеместного и удобного сетевого доступа по требованию к общему пулу (англ. pool) конфигурируемых вычислительных ресурсов (например, сетям передачи данных, серверам, устройствам хранения данных, приложениям и сервисам — как вместе, так и по-отдельности), которые могут быть оперативно предоставлены и освобождены с минимальными эксплуатационными затратами или обращениями к провайдеру[1]. Если отбросить сложные технические

термины, то можно сказать, что основной принцип работы облачных технологий — это обработка и хранение разного рода информации на удаленных веб-серверах.

Наиболее известные облачные сервисы на сегодня это Google диск от одноименного поисковика Google, Яндекс диск от Российской транснациональной компании, владеющей одноименной системой поиска в Сети, Облако Mail.ru от российской технологической компании, а также Dropbox, iCloud и Office Web Apps и другие. Данные сервисы предоставляют всем желающим пользователям определенный объем памяти на своих веб-серверах, для хранения, обработки информации, а также для создания новых документов или файлов. Если объема памяти, предоставленного сервисом для пользователя, окажется недостаточно, за определенную плату он может получить дополнительное пространство на данном веб-сервере.

Рассмотрим достоинства и недостатки данной технологии, которая набирают популярность. Доказательством этому является тот факт, что в 2016 году совокупный объем мирового рынка в сфере облачных технологий составил порядка \$40 млрд. Некоторые эксперты прогнозируют, что к 2020 году этот показатель достигнет \$240 млрд [2]. Выделяют несколько преимуществ, связанных с облачными технологиями, а именно:

- Доступность подразумевает тот факт, что доступ к информации, хранящейся на облаке, может получить каждый, кто имеет компьютер, планшет, любое мобильное устройство, подключенное к сети интернет. Из этого вытекает следующее преимущество.
- Мобильность. У пользователя нет постоянной привязанности к одному рабочему месту. Из любой точки мира менеджеры могут получать отчетность, а руководители — следить за производством.
- Экономичность является одним из важных преимуществ. Пользователю не надо покупать дорогостоящие, большие по вычислительной мощности компьютеры и программное обеспечение (ПО), а также он освобождается от необходимости нанимать специалиста по обслуживанию локальных IT-технологий.
- Арендность позволяет пользователю получать необходимый пакет услуг только в тот момент, когда он ему нужен, и платит, собственно, только за количество приобретенных функций.
- Гибкость предполагает предоставление всех необходимых ресурсов провайдером автоматически.
- Высокая технологичность связана с большими вычислительными мощностями, которые предоставляются в распоряжение пользователя, которые можно использовать для хранения, анализа и обработки данных.
- Надежность, как очень важный фактор. Некоторые эксперты утверждают, что надежность, которую обеспечивают современные облачные вычисления, гораздо выше, чем надежность локальных ресурсов, аргументируя это тем, что мало предприятий могут себе позволить приобрести и содержать полноценный ЦОД.

Но нам необходимо быть справедливыми и отметить так же недостатки данной технологии

- Необходимость постоянного соединения с сетью Интернет, для доступа к услугам «облака». Этот недостаток лишает автономности пользователя.
- Конфиденциальность и безопасность. К сожалению, ни один сервис не может гарантировать 100% конфиденциальность данных. Конечно, нельзя сказать, что разработчики и администраторы данных веб-серверов не квалифицированы. Напротив, они очень профессиональны и постоянно разрабатывают все новые и продуманные системы защиты данных, но есть и другая сторона, так называемы хакеры и злоумышленники, которые находят прорехи и недостатки в системах безопасности сервисов и в последующем получают доступ ко всем имеющимся данным на веб-серверах. [3]

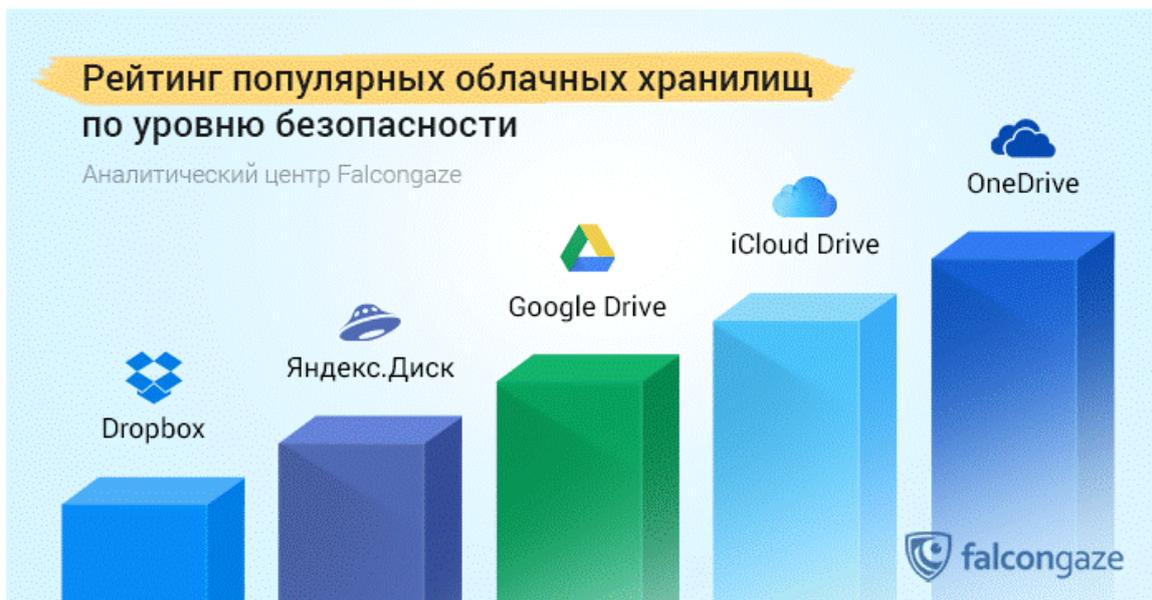


Рисунок 1 – Рейтинг облачных хранилищ по уровню безопасности.

Как мы видим достоинств больше, чем недостатков. И пик популярности данной технологии как среди простых пользователей, так и среди бизнес-структур еще впереди. Уже сейчас мы можем наблюдать появление интересных разработок, в основе которых лежит именно облачные вычисления. К примеру Компания Nextbit начала продажи «облачного» смартфона Robin, в котором никогда не заканчивается память. На официальном сайте проекта смартфон уже доступен к покупке. [4] Смартфон Robin использует облачные системы для хранения и загрузки контента, файлов и даже приложений, когда встроенные 32 ГБ памяти заканчиваются. Специально разработанное ПО анализирует активность пользователя и, на основе этих данных, выполняет автоматическую выгрузку изображений и приложений, которые не использовались в течение длительного периода, в облачное хранилище.



Рисунок 2 – «Облачный» смартфон Nextbit Robin.

На сегодняшний день так же уже существуют облачные операционные системы. Такие системы открываются в любом браузере независимо от используемого устройства (смартфона, планшета, настольного компьютера) и выполняют множество функций – работа с операциями, документами, просмотром видео и аудио, резервное копирование и т.д. Самыми популярными облачными операционными системами являются Zero PC, CloudMe и CloudTop, Glide OS, Joli OS, Silve OS [<http://la.by/news/oblachnye-operacionnye-sistemy-top-6-luchshih-cloud-pc>]. Но подробнее мы остановимся на другой облачной ОС под названием AstraNOS. AstraNOS создана по подобию операционной системы Mac OS, что, несомненно, понравится поклонникам «яблочной» продукции. Сервис написан на языке программирования HTML и JavaScript. Интерфейс имеет ленточную панель с иконками приложений. А их насчитывается большое количество: браузер, текстовый редактор, почтовый клиент, RSS-ридер, игры, калькулятор, календарь, стикеры и просмотрщик фотографий. Из минусов можно выделить отсутствие облачного хранилища и взаимодействия с настольным компьютером или мобильным устройством. Основным преимуществом AstraNOS является его бесплатность – проект полностью некоммерческий [<http://astranos.org>].

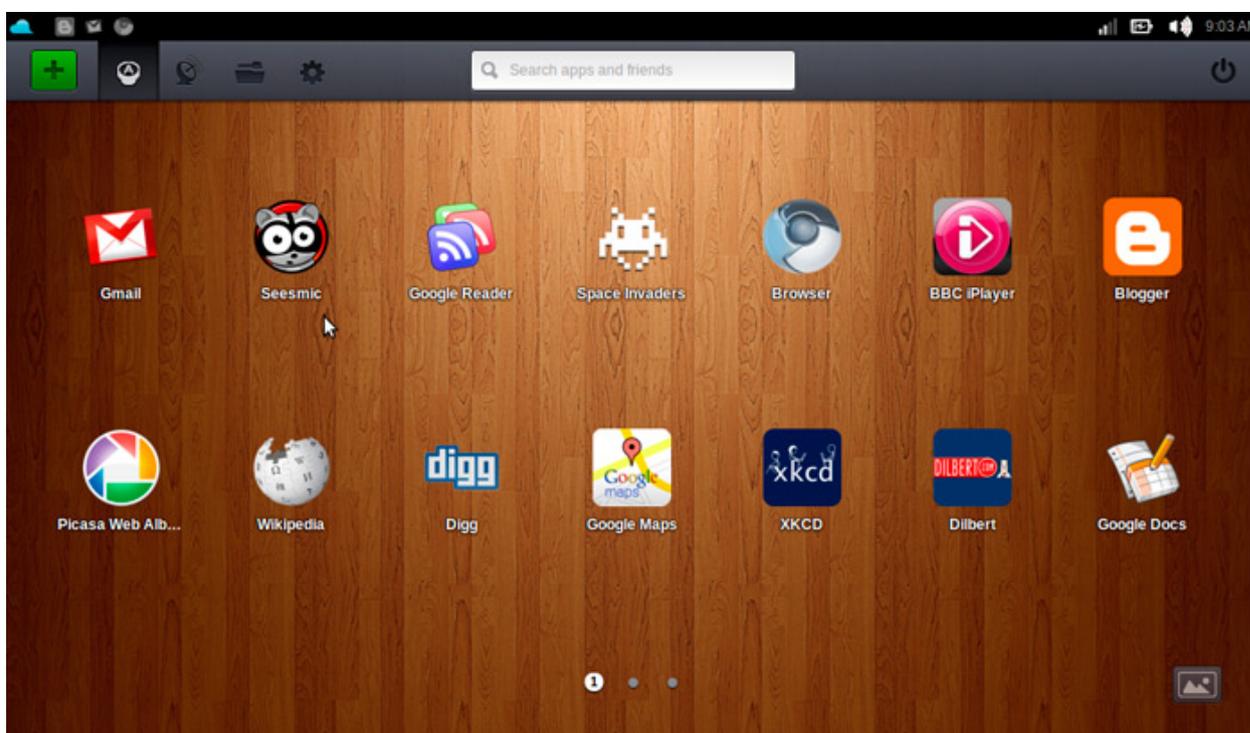


Рисунок 3 – Интерфейс облачной операционной системы AstraNOS.

В конце хочется сказать, что у данной технологии большое будущее и со временем спрос на сервисы подобного рода будет только расти. А всем известно, что количество переходит в качество и разработчики, администраторы будут уделять больше внимания своим облачным сервисам, их безопасности и постоянно будут привносить новшества для удобства работы своих пользователей.

Литература

1. Википедия – свободная энциклопедия. Облачные_вычисления. URL:<https://ru.wikipedia.org/wiki/>
2. Компания СКБ Контур. Облачные технологии. URL:<https://kontur.ru/articles/225>
3. Информационные технологии в образовании. Облачные технологии. Достоинства и недостатки URL:<http://saratov.ito.edu.ru/2014/section/233/94610/>

УДК 004.733

СПОСОБЫ ПОСТРОЕНИЯ СЕТИ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИИ ПАССИВНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ (PON)

METHODS OF BUILDIND THE NETWORK USING PASSIVE OPTICAL NETWORK

Мурзабекова Д.У., Касымакунова М.С.

dmurzabekova94@gmail.com

Кыргызско – Российский Славянский университет, г Бишкек, Кыргызстан

Аннотация. В проекте рассмотрен вариант предоставления мультисервисных услуг на базе технологии FTTH. Данная технология на первом этапе позволит предоставлять клиентам услуги IP-телевидения, HD-телевидения, широкополосного доступа к сети Интернет и IP-телефонию. Ширина полосы канала, средняя скорость на абонента позволят в будущем подключить такие услуги как видеоконференцсвязь, систему «умный дом», видеонаблюдение.

Ключевые слова: технологии FTTH, Ethernet, мультисервисные услуги, оптическое волокно, технология, абонент, оборудование, узел.

Общеизвестно, что PON позволяет экономить капиталовложения в кабельную инфраструктуру за счет сокращения суммарной протяженности оптических волокон, так как на участке от центрального узла до разветвителя используется всего одно волокно – так называемый фидер.

Быстродействие Ethernet достигло 10 Гбит/с (рис. 1), но проблема подключения индивидуальных пользователей к сервис-провайдеру остается нерешенной проблемой (задача последней мили). Информационный трафик же растет почти в десять раз ежегодно. Технология пассивных оптических сетей PON призвана снять с повестки дня эту проблему (стандарт IEEE 802.3ah). Оптическое волокно может обеспечить широкополосную доставку голоса, данных и видео на расстояние до 20 км и более.

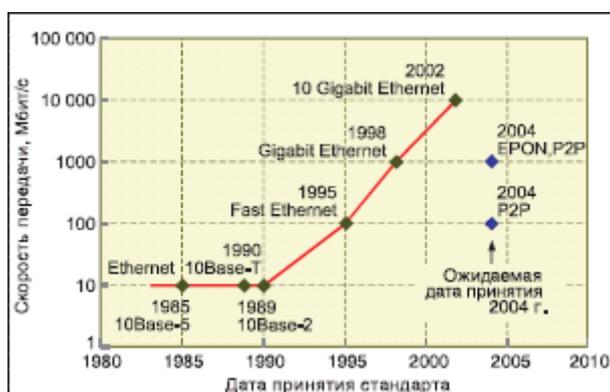


Рисунок 1 – Эволюция Ethernet [1].

Пассивные оптические сети предназначены для организации оптических сетей по схеме точка-мультиточка без каких-либо активных элементов между отправителем и получателем. Здесь могут использоваться только оптические смесители и разветвители.

Гига-Ethernet PON называются GEAPON. Основные характеристики разрабатываемого стандарта IEEE 802.3ah [1]:

- Скорость передачи 1 Гбит/с;
- Кодирование в линии 8B/10B;
- WDM мультиплексирование с частотным планом;
- Длина волны прямого потока 1490 нм (1550 нм - кабельное ТВ) (downstream);
- Длина волны обратного потока 1310 нм (upstream);
- Уровень ошибок BER – 10^{-12} .

Возможно использование коррекции ошибок FEC для увеличения числа узлов, подключенных к одному фидерному волокну. Интерфейсы для сети PON:

- Класс 1 – 1000BASE-PX10-D со стороны OLT (Optical Line Terminal) и 1000BASE-PX10-U со стороны ONT (Optical Network Terminal);
- Класс 2 – 1000BASE-PX20-D со стороны OLT и 1000BASE-PX20-U со стороны ONT;
- EPON класса 1 – прямой/обратный поток 21/23 дБ (Ethernet PON);
- EPON класса 2 – прямой/обратный поток 26/26 дБ;

Радиус сети (максимальное допустимое расстояние от OLT до ONT):

- EPON класса 1 – 10 км;
- EPON класса 2 – 20 км.

Начиная со стандарта Fast Ethernet (100BASE-FX/TX), когда прием сигнала на физическом уровне стал синхронным (в отличие от Ethernet 10 Мбит/с), устаревшими стали межкадровый интервал (12 байтов) и большая преамбула кадра (8 байтов).

PON представляет собой архитектуру оптического доступа, которая облегчает широкополосные коммуникации (голос, данные и видео) между оптическим терминалом OLT (Optical Line Terminal) и различными удаленными оптическими сетевыми устройствами ONU (Optical Network Units) в пределах пассивной оптической сети. По определению, PON не содержит в себе активных устройств с оптико-электрическим преобразованием сигналов. Вместо этого, системы PON используют для передачи данных пассивные оптоволоконные смесители или разветвители. Напротив, активные оптические сети AON (Active Optical Network), такие как Sonet/SDH, требуют преобразование оптического сигнала в электрический и наоборот в каждом из узлов. PON может объединять трафик от 32 ONU и передавать его центральному модулю CO (Central Office), используя архитектуру типа дерева, шины или кольца. PON работает на первом уровне транспортной технологии (L1).

PON предлагает экономное решение – "оптическое сборное кольцо" для городских протяженных инфраструктур SONET/SDH. PON обеспечивает низкие начальные издержки, так как оптический сигнал передается до самого входа клиента (subscriber). Число ONU может увеличиваться по мере необходимости, тогда как активные сети требуют инсталляции всех узлов, так как они выполняют функции регенераторов сигналов (рис. 2).

Чтобы еще больше сократить издержки, можно добавить мультиплексирование по длине волны (WDM). Ведь узлы PON не являются узлами опорной сети. При использовании же WDM в кольце SONET/SDH, мультиплексирование / демультиплексирование необходимо, чтобы обойти каждый из узлов.

PON является эффективным решением для рассылки видео данных, благодаря своей топологии точка-мультиточка. Широковещательное видео, аналоговое или цифровое, просто добавляется в поток с разделением по времени (TDM).

В отличие от SONET/SDH, PON может быть и асимметричным. Например, PON может широковещательно рассылать поток OC-12 [622 Мбит/с] адресатам и принимать на вход поток OC-3 [155 Мбит/с]. Асимметричная локальная схема позволяет применять дешевые ONU, которые используют менее дорогостоящие трансиверы. Сети SONET/SDH, однако, являются симметричными. Таким образом, в кольце OC-12 SONET/SDH, все канальные карты должны иметь интерфейс OC-12.

Для локальных приложений PON может быть более устойчивым к ошибкам, чем SONET/SDH. Узел PON не является узлом сети, поэтому отключение питания не окажет воздействия на другие узлы. Допустимость отключения узла от питания без утраты сетевой связности является крайне важным, так как телефонные компании не могут гарантировать резервного питания для всех удаленных терминалов.

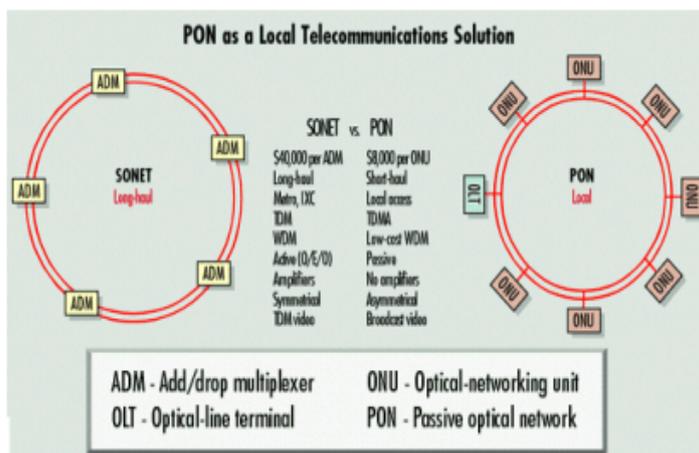


Рисунок 2 – Сопоставление сети Sonet и PON [4].

Архитектура PON использует TMD-мультиплексирование в области между ONU (Optical Network Unit) и OLT (Optical Line Terminal) терминалом.

На рис. 3 показаны форматы пакетов сети PON. Практически они являются стандартными пакетами Ethernet со специфическим мультикаст-адресом места назначения и кодом Ethertype.

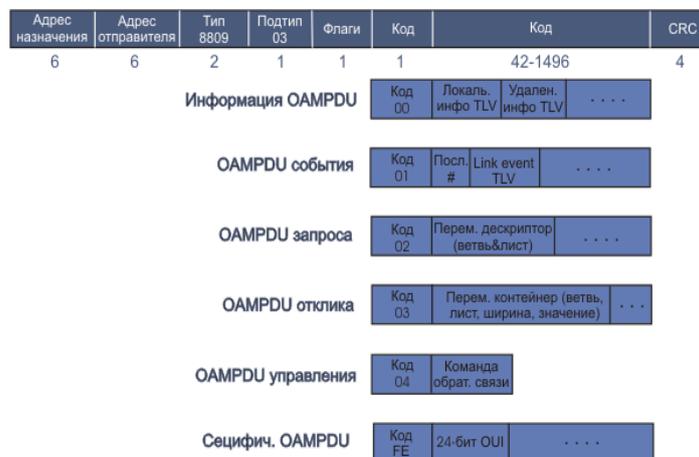


Рисунок 3 – Формат пакетов PON [3].

Коды мультикаст-адреса назначения (0180C20002) и EtherType определяют, что это кадр медленного протокола. Стандарт 802.3 определяет несколько медленных протоколов; одним из них является LACP (Link Aggregation Control Protocol) [2]. Протоколы задаются кодом подтипа протокола, значение 3 выделено для OAM (Operations Administration and Maintenance). Использование протокольного MAC-адреса гарантирует корректную интерпретацию OAMPDU (PDU - поля данных) подуровнем MAC. Большая часть информации OAMPDU передается в формате TLV (type-length-value). Первый октет (или байт) указывает на тип данных. Этот код в программах обозначается переменной и определяет в клиенте OAM то, как следует декодировать данные. Следующий октет содержит длину информации. Этот код обычно используется, чтобы обойти массив данных,

когда тип этой информации не может быть интерпретирован клиентом ОАМ. Последующие октеты представляют собственно информацию.

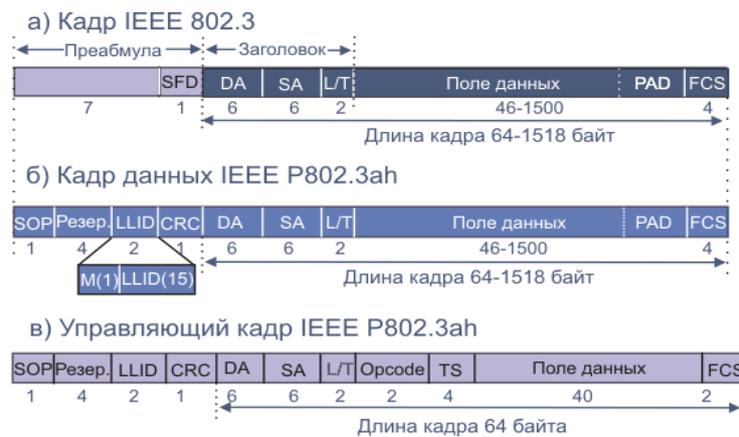


Рисунок 4 – Более детальное описание полей кадров [1].

В некотором смысле, начиная со стандарта дуплексного (full duplex) Ethernet IEEE 802.3X, ограничение на минимальную длину кадра 64 байта устарело. А начиная со стандарта Fast Ethernet (100BASE-FX/TX), когда прием сигнала на физическом уровне стал синхронным (в отличие от Ethernet 10 Мбит/с), устаревшими стали межкадровый интервал (12 байтов) и большая преамбула кадра (8 байтов). Технология EPON использует высвободившийся ресурс. При передаче кадров Ethernet через сеть EPON не происходит их фрагментации. Но это не означает, что не происходит вообще никаких изменений. Преамбула стандартного кадра Ethernet (рис. 4а) модифицируется добавлением нескольких служебных полей (рис. 4б):

- SOP (start of packet) – 1 байт, указывает на начало кадра.
- Резервное поле, 4 байта.
- LLID (Logical Link Identifier) – 2 байта, указывает индивидуальный идентификатор узла EPON. LLID требуется для эмуляции соединений точка-точка и точка-мультиточка в сети EPON. Первый бит поля указывает режим передачи кадра (unicast или multicast). Остальные 15 бит содержат индивидуальный адрес узла EPON.
- CRC (Circle Redundancy Check) – 1 байт, контрольная сумма по преамбуле (стандарт P802.3ah).

При выходе кадра из сети EPON преамбула кадра преобразуется к стандартному виду – тег ликвидируется. Например, в прямом потоке OLT модифицирует преамбулу каждого входящего в PON кадра 802.3, в частности, в преамбулу добавляется специальный тег LLID. Этот тег извлекается соответствующим подуровнем на ONT, где происходит восстановление преамбулы. Узел ONT в нормальном режиме работы, т.е. когда уже зарегистрирован, обрабатывает только те кадры, в преамбуле которых идентификатор LLID совпадает с собственным LLID. Остальные поля кадра EPON совпадают с полями стандартного кадра Ethernet:

- DA (Destination Address) – 6 байт, указывает MAC-адрес станции назначения. Это может быть единственный физический адрес (unicast), групповой адрес (multicast) или широковещательный адрес (broadcast).
- SA (Source Address) – 6 байт, указывает MAC-адрес станции отправителя.
- L/T (Length/Type) – 2 байта, содержит информацию о длине или типе кадра.
- Поле данных, переменной длины.
- PAD (наполнитель) – поле используется для дополнения кадра до минимального размера.
- FCS (Frame Check Sequence) – 4 байта, контрольная сумма кадра, вычисленная с использованием циклического избыточного кода.

- Opcode (optional code) – 2 байта, уточняет тип управляющего кадра. Существуют две категории управляющих кадров, отличающиеся значением этого поля: сообщения GATE, генерируемого OLT, и сообщения REPORT, генерируемого ONT.
- TS(Time Stamp) – 4 байта, содержит временную метку отправителя.
- Message – 40 байтов, собственно в этом поле содержится служебная информация, необходимая для работы протокола MPCP.

Возможные практические схемы подключения клиентов к сети показаны на рис. 6. (см. Ethernet Passive Optical Network (EPON)).

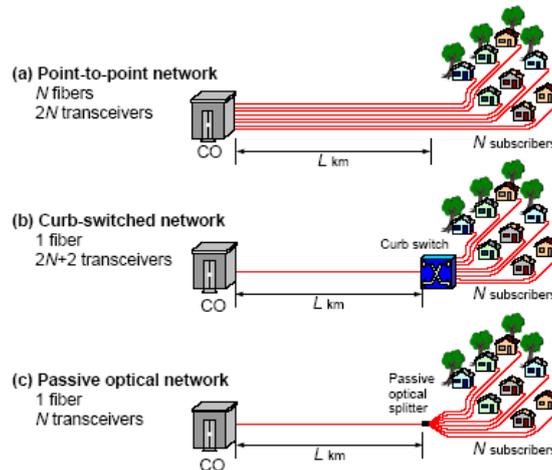


Рисунок 6 – Схемы подключения клиентов к сети [4].

На этих схемах предполагается, что существует N клиентов на расстоянии L км от центральной станции. В варианте (a) при использовании метода подключения точка-точка нужно 2N трансиверов и N*L метров волокна (в предположении, что волокно служит для передачи данных в двух направлениях; на самом деле для передачи в том и другом направлениях обычно используются разные волокна).

Чтобы уменьшить суммарную длину волокон, можно использовать концентратор в непосредственной близости от клиентов. Это доведет суммарную длину волокна до L км (если пренебречь длиной кабелей от концентратора до клиентов), но это потребует увеличения числа трансиверов до 2N+2, так как в сети появится еще один канал связи (см. рис. 6b). Здесь нужно также обеспечить бесперебойное питание для концентратора. На схеме 6c концентратор заменен пассивным оптическим разветвителем. В этом варианте нужно только N + 1 трансиверов и L км волокна.

Следует учесть, что пассивное разветвление светового потока приводит к соответствующему падению мощности светового сигнала. Для идеального соединителя 2x2, падение мощности составит 3 дБ. Несовершенство сочленений дает дополнительные потери света, которые могут составлять от 0,1 до 1,0 дБ. Схема 4-каскадного объединителя, представленного на рис. 7, обеспечит доставку клиенту лишь 1/16 входного светового потока. Соответственно потребуются в 16 раз большая выходная мощность передающего лазера.

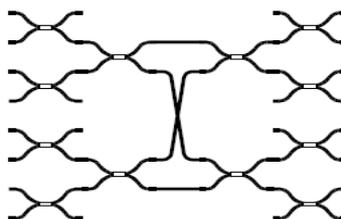


Рисунок 7 – Схема 4-каскадного оптического соединителя.

Объединители только с одним входом называются разветвителями (splitter), с одним выходом – смесителями (combiner). Различные возможные топологии построения сети представлены на рис. 8.

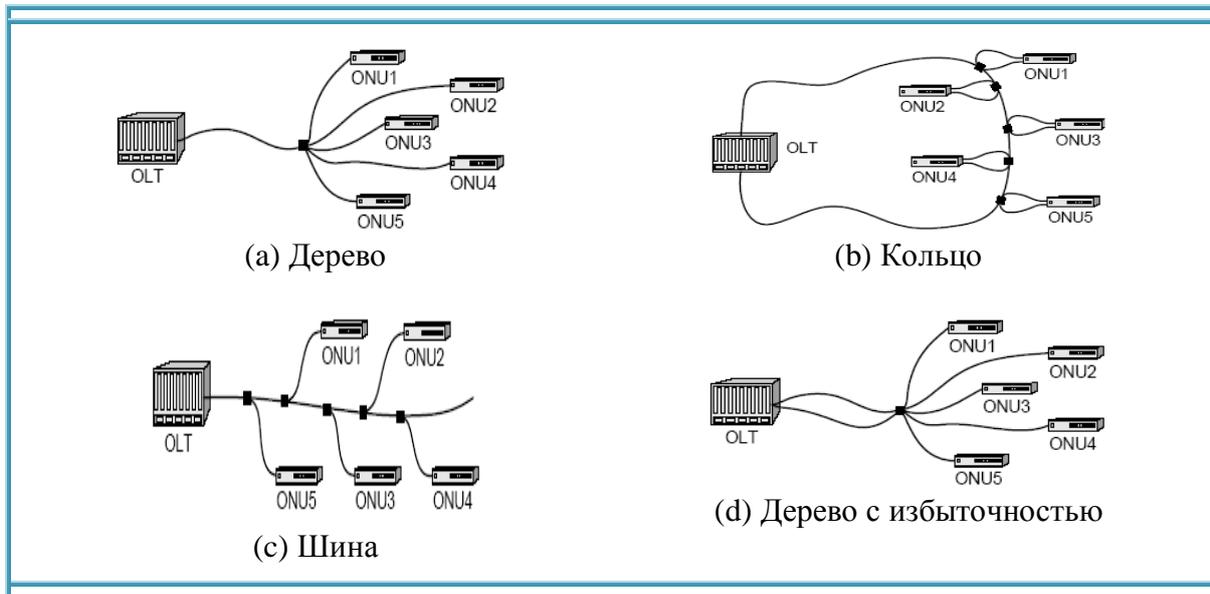


Рисунок 8 – Возможные топологии построения сети PON.

Все передачи в PON осуществляются между OLT (Optical Line Terminal) и ONU (Optical Network Unit) (рис. 2). OLT размещается в СО и соединяет оптическую сеть доступа с городской региональной сетью (MAN) или с WAN (Интернет). ONU размещается либо на стороне пользователя (FTTH - Fiber To The Home и FTTB - Fiber to The Building), либо в зоне разветвления (архитектура FTTC - Fiber To The Curb).

К преимуществам сетей PON можно отнести:

- PON допускает работу при расстоянии между СО и клиентом (вплоть до 20 км).
- PON минимизирует длины оптических волокон.
- PON предоставляет широкую полосу пропускания (до 10 Гбит/с -> IEEE P802.3av).
- Предоставляя широкополосные возможности, PON оказывается весьма эффективной для передачи видеопрограмм (цифровых или аналоговых).
- PON исключает необходимость инсталлирования активных мультиплексоров в точках разветвления, что облегчает обслуживание таких сетей и минимизирует энергопотребление. Вместо активных устройств в таких точках PON использует небольшие пассивные оптические разветвители.
- Будучи оптически прозрачными по всей длине, PON позволяет легко переходить на большую скорость обмена или применение дополнительных длин волн.

Одним из способов разделения каналов upstream ONU является мультиплексирование по длине волны (WDM), где каждый ONU работает на своей длине волны. Хотя это достаточно простое решение фактически оно нереализуемо из соображений себестоимости. WDM-вариант потребовал бы либо настраиваемого приемника, либо набора приемников в OLT, чтобы обслуживать несколько каналов. Еще более серьезная проблема возникает для сетевых операторов ONU: вместо данных о типе ONU, ему будет нужно знать, с какими длинами волн работает каждый из ONU. Каждый ONU будет должен использовать узкую и управляемую полосу и, как следствие, станет более дорогим. Для неквалифицированного пользователя будет тяжело заменить неисправный ONU, так как модуль с неправильной длиной волны может интерферировать с другим ONU в PON. Использование перенастраиваемого лазера в ONU может решить проблему замены модулей, но это решение

слишком дорого для нынешнего уровня развития технологии. По этим причинам сети WDM PON не являются сегодня привлекательными.

В сетях доступа большая часть трафика распространяется вниз по течению (downstream - из сети к пользователю) и вверх по течению (upstream - от пользователя в сеть), а не по схеме пользователь-пользователь (peer-to-peer). Таким образом, представляется разумным разделение downstream и upstream каналов. Простое разделение каналов может быть основано на пространственном разделении SDM (Space Division Multiplexing), где для передачи в каждом из направлений используются разные PON. Чтобы сэкономить на волокне и уменьшить издержки возможных ремонтов, можно применить одно волокно для обменов в обоих направлениях. В этом случае используются две длины волны: обычно 1310 нм (λ_1) для передачи upstream и 1550 нм (λ_2) для передачи downstream (рис. 9). Пропускная способность каждого из каналов может задаваться независимо.

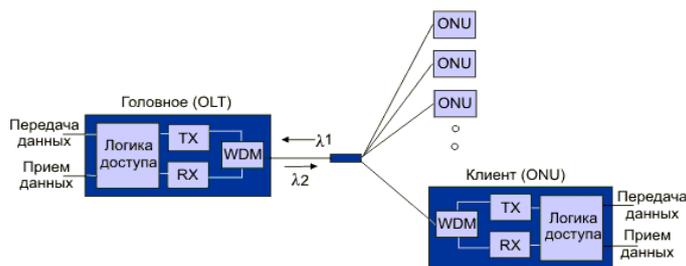


Рисунок 9 – PON с одним волокном [4].

Разделение по времени оказывается предпочтительным для оптических каналов, так как позволяет использовать в OLT одну длину волны, например, 1310 нм, и один трансивер, что снижает стоимость этого варианта.

Из-за различия расстояний между CO и ONU, ослабление оптического сигнала в PON оказывается для ONU разным. Уровень сигнала, приходящего на вход OLT будет разным для каждого временного домена.

В качестве альтернативы можно разрешить ONU регулировать его трансиверу уровень передаваемой мощности, так, что уровень сигнала на входе OLT от всех ONU будут идентичными. Этот метод не слишком привлекателен для разработчиков трансиверов, так как это делает оборудование ONU более сложным, требует специального протокола для обеспечения обратной связи со стороны OLT для каждого ONU, и что особенно важно, ухудшит рабочие характеристики всех ONU до уровня наиболее удаленного устройства.

Другой проблемой является то, что мало запретить ONU отправку данных. Дело в том, что даже в отсутствии данных лазеры генерируют шумовой сигнал. Эмиссионный шум от нескольких ONU, размещенных вблизи OLT, может легко исказить сигнал от удаленного ONU. Таким образом, ONU должен отключать свой лазер в паузах между его временными доменами. Так как лазеры охлаждаются при отключении, их следует прогревать при включении, выходная мощность лазера может флуктуировать в начале передачи. Важно, чтобы лазер мог быстро стабилизировать свои характеристики после включения.

Литература

1. Власов И.И., Новиков Э.В., Птичников М.М., Сладких Д.В. Техническая диагностика современных цифровых сетей связи. М.: Горячая линия – Телеком. 2012.
2. Петренко И.И., Убайдуллаев Р.Р. Пассивные оптические сети PON. Часть 2. Ethernet на первой миле // Lightware Russian edition. 2004. N 2.
3. IEEE, IEEE Std 802.3, "Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications". March 2002.
4. Ethernet Passive Optical Network (EPON)), 56 с.

**БАЗА ДАННЫХ ЗООНОЗНЫХ ИНФЕКЦИЙ, ВЫЯВЛЕННЫХ У ГРЫЗУНОВ НА
ТЕРРИТОРИИ ИССЫК-КУЛЬСКОЙ КОТЛОВИНЫ**

**THE DATABASE OF THE ZOONEMIC INFECTIONS REVEALED AMONG RODENTS
IN THE TERRITORY OF THE ISSYK KUL HOLLOW**

Мусуралиева Д.Н.
anadila@mail.ru

Кыргызско – Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызстан

Аннотация. База данных зоонозных инфекций позволяет визуализировать эпизоотологическую ситуацию на территории Иссык-Кульской котловины.

Ключевые слова: Иссык-Кульская котловина, база данных, грызуны, зоонозные инфекции, карта.

Грызуны занимают ведущее положение в циркуляции возбудителей многих зоонозов и имеют эпидемиологическое значение при переносе и заражении возбудителей природно-очаговых инфекций. Особый интерес представляет синантропизация и экология грызунов открытых и закрытых станций Иссык-Кульской котловины, что связано с рекреационной зоной озера Иссык-Куль. Распространение грызунов в зонах отдыха, населенных пунктах может стать источником заражения человека и животных зоонозными инфекциями, инвазиями и привести к серьезным эпидемиологическим осложнениям.

Исследование видового разнообразия грызунов, их численность и круг переносимых зоонозных инфекций определяют актуальность проведенных работ, так как при высокой плотности людей и высокой численности грызунов возникает риск обострения эпизоотологической ситуации. Всего за время полевых исследований в 2010, 2012, 2014 гг. на ловушка-линии заложен маршрут протяженностью более 115 км, организованы 17 экспедиционных выездов, из них 9 открытых и 8 закрытых лазаревых, в 63 различных местах исследований. Отловлено 1336 особей представителей 17 видов грызунов, накоплено 10507 ловушка-ночей, из них в открытых станциях 7449 ловушка-ночей отловлено 907 зверьков, в закрытых станциях 3058 ловушка-ночей отловлено 429 зверьков [1-6].

Диагностика проводилась на зоонозные инфекции: *Pasteurella spp.*, *Yersinia pseudotuberculosis*, *Brucella spp.*, *Yersinia enterocolitica*, *Yersinia kristenseni*, *Leptospira spp.*, *Listeria monocytogenes*. Данные зоонозные инфекции отбирались в связи с тем, что они регистрируются среди людей и животных, однако среди грызунов подобных исследований не проводилось [1-6].

Для изучения территориального распределения грызунов Иссык-Кульской котловины на основе технологии геодезической информационной системы (ГИС) была разработана электронная база данных. В программе QGIS создана карта из слоев малых и крупных рек, транспортные дороги, название населенных пунктов, административные районы Иссык-Кульской котловины [7].

База данных анализа зоологического материала, позволяет посмотреть состояние зараженности грызунов инфекциями, визуализировать результаты исследования, накопленные за 2010, 2012, 2014 гг. на карте Иссык-Кульской котловины. Основу базы данных составили результаты учета зоонозных инфекций, переносимых грызунами на территории Иссык-Кульской котловины

Данные, вносимые в базу данных, включают информацию: места вылова грызуна (географические координаты), зоонозную инфекцию, дату сбора материала, вид грызуна и процент зараженности инфекцией данного грызуна.

За указанный период, в виде значков, электронная карта показывает результаты зоонозных инфекций для отдельных мест, административных районов, также карта демонстрирует результаты исследования грызунов на носительство зоонозных инфекций, выявленных на данном участке, отражает географические координаты, зоонозную инфекцию, дату, название места вылова, вид грызуна на ком выявлена инфекция, процент зараженности данной инфекцией. Результаты выявленных зоонозных инфекций в каждой точке выводятся отдельно для каждой инфекции и вида грызуна (рисунок 1, рисунок 2, рисунок 3).

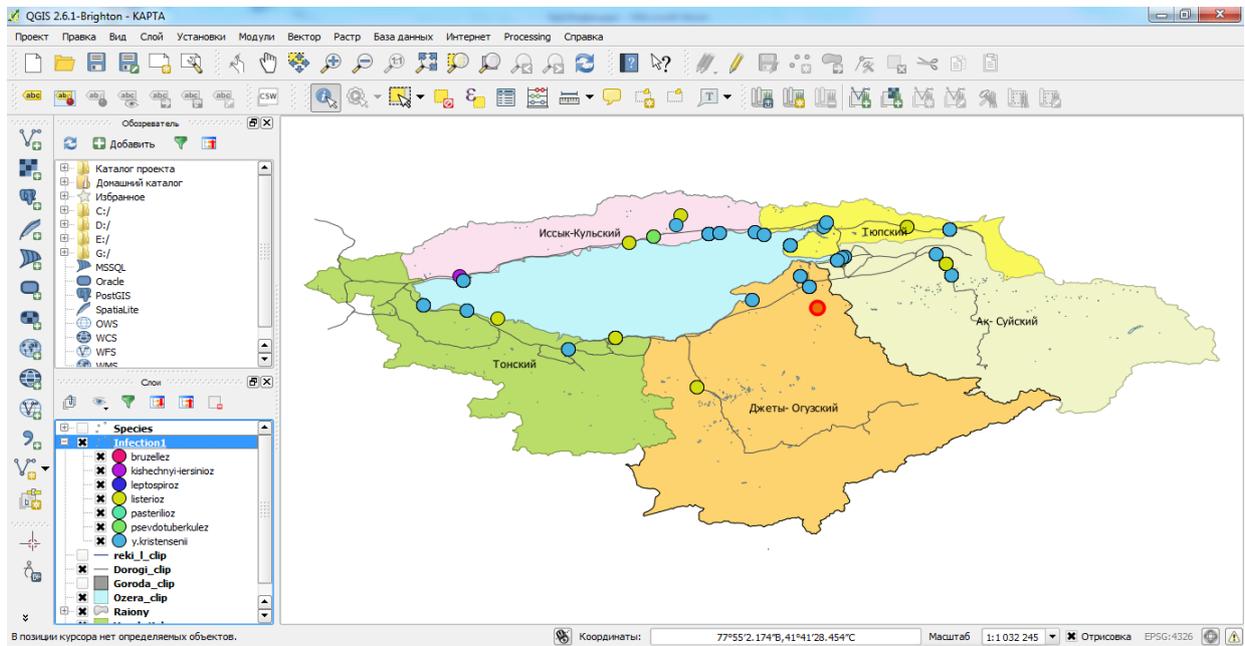


Рисунок 1 – Окно карты №1. Отмечены все точки выявленных зоонозных инфекций в 2010, 2012, 2014 гг.

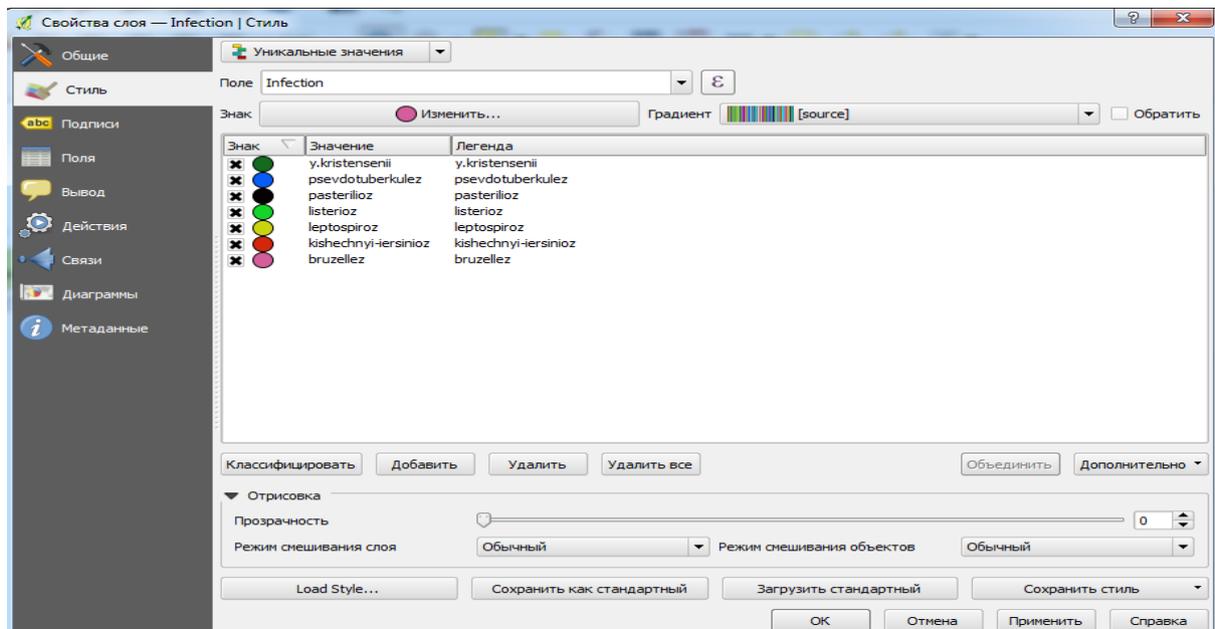


Рисунок 2 – Окно карты № 2. Указаны выявленные зоонозные инфекции.

Объект	Значение
Infection	
ID	37.000000
(Выведенные)	
(координаты щелчка)	76.2708020026, 42.3457067643
ID объекта	36
X	76,243714
Y	42,33915
(Действия)	
ID	Открыть форму объекта
X	37.000000
Y	42.339150
Infection	76.243714
Data	kishechnyi-iersinioz
Address	23.08.12г.
Rodent	Участок Торг-Там с. Оттук
Percent	Microtus arvalis Pallas, 1779
ID	25.000000
(Выведенные)	
(координаты щелчка)	38.000000
ID объекта	38.000000
X	42.339150
Y	76.243714
(Действия)	
ID	Открыть форму объекта
X	38.000000
Y	42.339150
Infection	76.243714
Data	kishechnyi-iersinioz
Address	23.08.12г.
Rodent	Участок Торг-Там с. Оттук
Percent	Apodemus sylvaticus Linnaeus, 1758
ID	15.780000
(Выведенные)	
(координаты щелчка)	71.000000
ID объекта	71.000000
X	76,243714
Y	42,33915
(Действия)	
ID	Открыть форму объекта
X	71.000000
Y	42,33915

Рисунок 3 – Окно карты № 3. Показана инфицированность грызунов на примере участка Торг-Там в селе Оттук.

У, X – географические координаты - (42°33'91.50"-76°24'37.14");

Infection- *Pasteurella spp.*, *Yersinia pseudotuberculosis*, *Brucella spp.*, *Yersinia enterocolitica*, *Yersinia kristenseni*, *Leptospira spp.*, *Listeria monocytognes*;

Data – дата (23.08.2012 г.);

Address – место вылова грызунов - (Участок Торг-Там, с. Оттук);

Rodent – вид грызуна;

Percent – процент зараженности инфекцией.

В окне карты №2 можно выделять крестиком нужную зоонозную инфекцию (рисунок 4), где он далее показывает места выявления инфекций только для данной выбранной инфекции (рисунок 5), что упрощает работу и демонстрирует необходимую информацию.

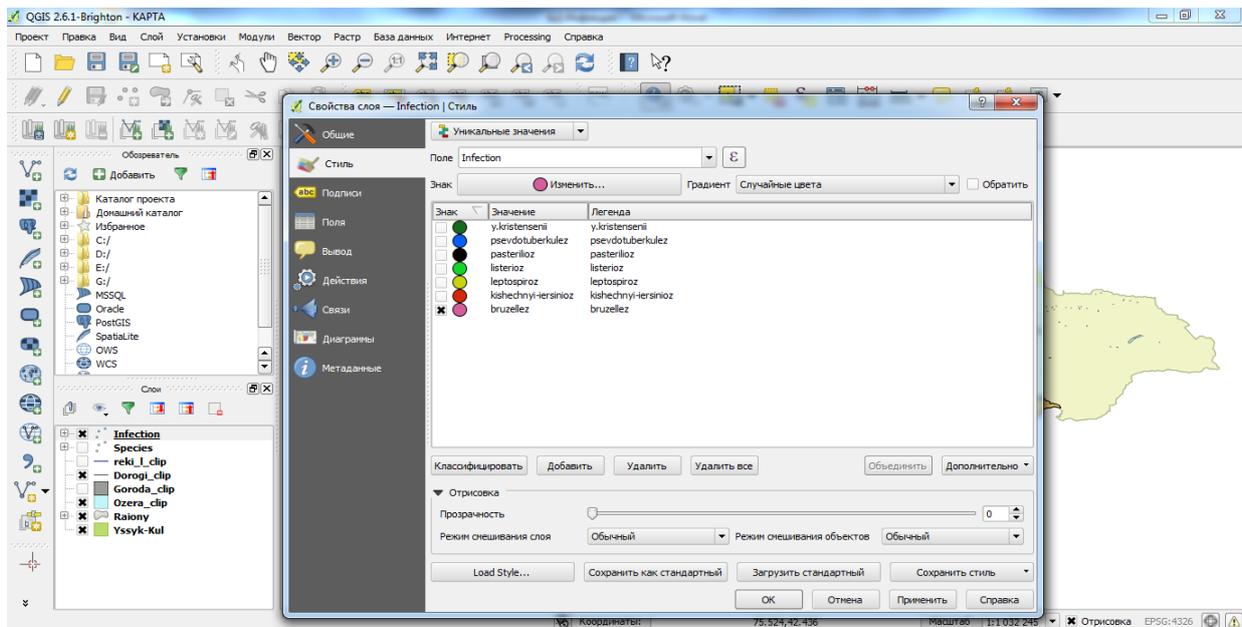


Рисунок 4 – Окно карты №2. Показан пример на бруцеллезе.

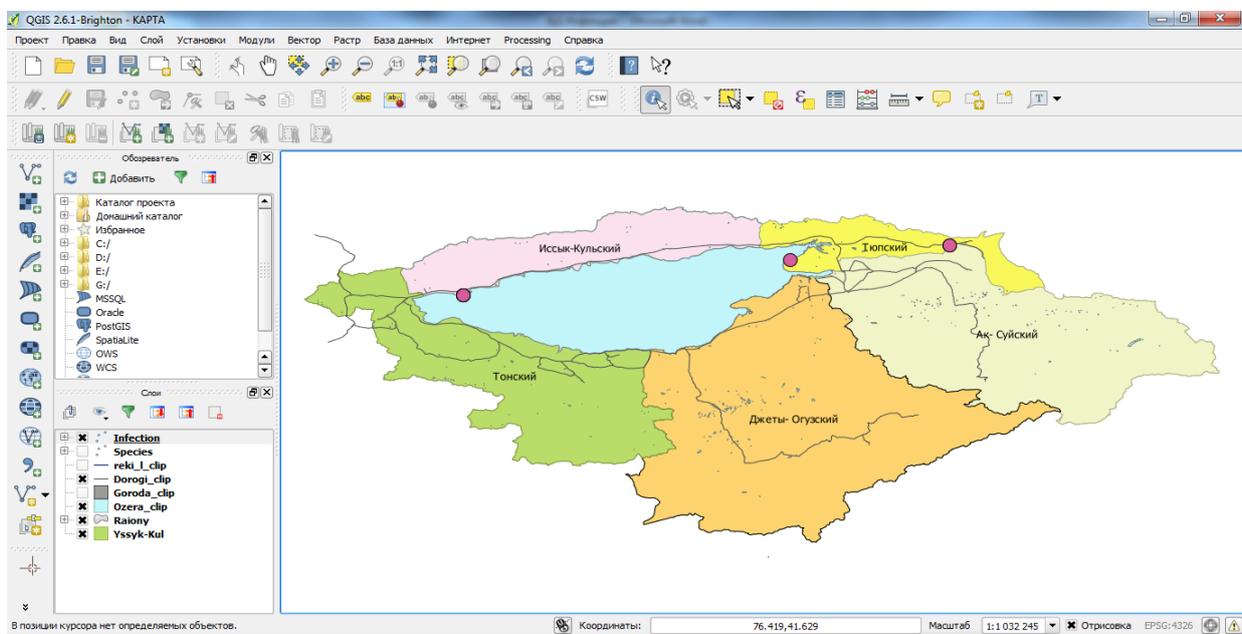


Рисунок 5 – Места бруцеллеза, выявленного у грызунов.

При нажатии любой точки будет выходить информация о выбранной инфекции (на примере бруцеллеза), программа демонстрирует базу данных зоонозных инфекций у грызунов (рис. 6).

Бруцеллез на участке с. Тору-Айгыр выявлен в 2010 г. на трех видах грызунов: *Meriones tamariscinus* Pallas, 1773 – Песчанка тамарисковая; *Apodemus sylvaticus* Linnaeus, 1758 – Мышь лесная и *Mus musculus* Linnaeus, 1766 – Мышь домовая.

База данных учета зоонозных инфекций, выявленных на грызунах Иссyk-Кульскоy котловины, позволяет четко визуализировать результаты исследования на карте Иссyk-Кульскоy котловины, может использоваться Государственной инспекцией по ветеринарной и фитосанитарной безопасности, Центром карантинных особо опасных инфекций Департамента профилактики заболеваний и Госсанэпиднадзора Министерства здравоохранения, и Центром управления в кризисных ситуациях при Министерстве чрезвычайных ситуаций Кыргызскоy Республики для прогнозирования и принятия соответствующих мер в целях организации, профилактики и проведения мероприятий по

контролю численности грызунов на носительство зоонозных инфекций на территории Иссык-Кульской котловины.

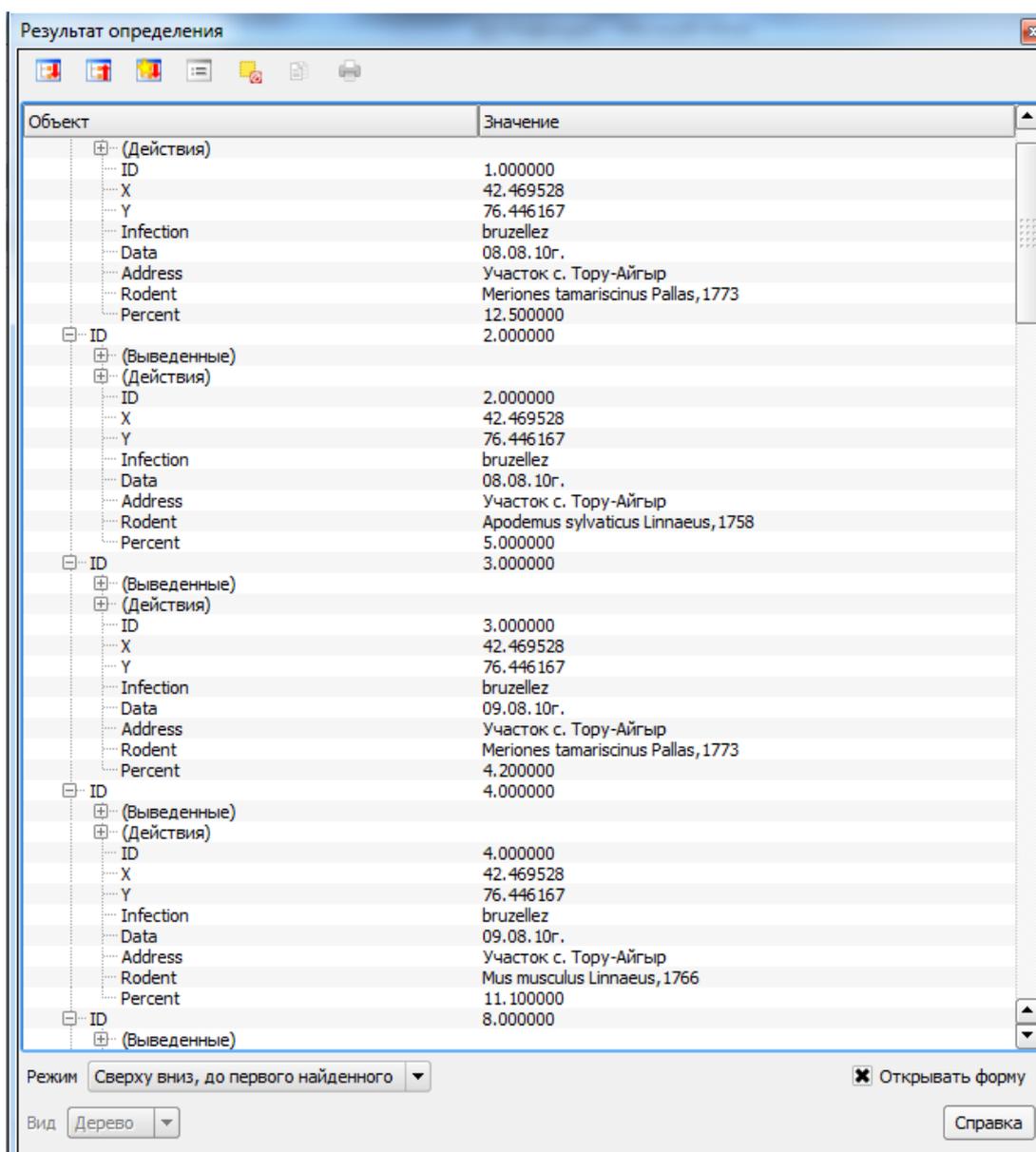


Рисунок 6 – Окно карты № 3. Результат определения показывает результаты выявленного бруцеллеза на участке с. Тору-Айгыр.

Исследованный видовой состав грызунов и переносимых ими зоонозных инфекций дают возможность прогнозирования и принятия соответствующих мер в целях организации, профилактики и проведения мероприятий по контролю численности грызунов и зоонозных инфекций.

Литература

1. Алымкулова А.А., Мека-Меченко Т.В., Мусуралиева Д.Н., Бурделов Л.А., Некрасова Л.Е., Мека-Меченко В.Г., Беляк Л.Г. Зараженность грызунов в открытых станциях Иссык-Кульской области некоторыми зоонозными инфекциями // Вестник КРСУ. 2012. Т. 12. № 7. С. 14-16.
2. Алымкулова А.А., Мусуралиева Д.Н. Грызуны закрытых и открытых станций Иссык-Кульской котловины // Вестник КНУ им. Ж. Баласагына. 2014. Спец. вып. С. 212-217.

3. Мусуралиева Д.Н. Экологическая характеристика грызунов Иссык-Кульской котловины // Известия ВУЗов Кыргызстана. 2014. № 8. С. 90-92.
4. Мусуралиева Д.Н. Характеристика грызунов Иссык-Кульской котловины по результатам экспедиции 2014 года // Наука, новые технологии и инновации. 2014. № 5. С. 63-64.
5. Алымкулова А.А., Мека-Меченко Т.В., Мусуралиева Д.Н., Бурделов Л.А., Некрасова Л.Е., Мека-Меченко В.Г., Бемяк Л.Г. Сравнительный анализ эколого-эпизоотологической характеристики грызунов Иссык-Кульской котловины // Наука, новые технологии и инновации. 2014. № 5. С.65-67.
6. Алымкулова А.А., Мусуралиева Д.Н. Мышевидные грызуны Иссык-Кульской котловины // Вестник КазНУ. Сер. биол. Алматы. 2014. № 3. Вып. 62. С. 35-39.
7. Алымкулова А.А., Мусуралиева Д.Н., Мека-Меченко Т.В. и др. Электронная база данных зоонозных инфекций, выявленных у грызунов на территории Иссык-Кульской котловины. Свидетельство об авторском праве № 23 от 20.05. 2015.

УДК 004.42

АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ РЕКОМЕНДАЦИЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДА К-СРЕДНИХ

THE ALGORITHM FOR RECOMMENDATIONS GENERATING BASED ON THE K-MEANS METHOD

Намазбек у.А., Коржов М.В.

n.u.abdysamat@gmail.com, megasdev@gmail.com

Кыргызско – Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызстан

***Аннотация.** В статье представлен алгоритм кластеризации информации для формирования рекомендаций методом к-средних. Алгоритм реализован в мобильном сервисе CitySpry для поиска культурных мероприятий города Бишкек с учетом предпочтений пользователя.*

***Ключевые слова:** кластерный анализ, метод к-средних, сегментация, порог гравитации.*

Целью интеллектуального анализа данных является обнаружение неявных закономерностей в наборах данных. Как научное направление он стал активно развиваться в 90-х годах XX века, что было вызвано широким распространением технологий автоматизированной обработки информации и накоплением в компьютерных системах больших объемов данных. И хотя существующие технологии позволяли, например, быстро найти в базе данных нужную информацию, этого во многих случаях было уже недостаточно. Возникла потребность поиска взаимосвязей между отдельными событиями среди больших объемов данных, для чего понадобились методы математической статистики, теория баз данных, теория искусственного интеллекта и ряд других областей [1].

Перед клиентским приложением стоит задача сбора и анализа данных с различных устройств пользователей. Таким образом, например, можно понять, какой тип контента предпочитают посетители приложения и как они с ними взаимодействуют. Учитывая то, что процесс сбора анонимной статистики ведётся непрерывно, к задачам серверной стороны относятся приём и обработка информации, поступающих с клиентских устройств, которая содержит данные о предпочтениях пользователей. Следующим шагом является кластеризация информации и попытка определения интересов каждого конкретного посетителя.

Задача кластеризации заключается в делении множества объектов на группы (кластеры) схожих по параметрам. При этом, в отличие от классификации, число кластеров и их характеристики могут быть заранее неизвестны и определяться в ходе построения кластеров исходя из степени близости объединяемых объектов по совокупности параметров [2]. Другое название этой задачи - сегментация. Например, интернет-магазин может быть заинтересован в проведении подобного анализа базы своих клиентов, для того, чтобы потом сформировать специальные предложения для выделенных групп, учитывая их особенности. Кластеризация относится к задачам обучения без учителя (или "неуправляемым" задачам).

Метод k-средних создает k-групп из набора объектов таким образом, чтобы члены группы были наиболее однородными. Это популярная техника кластерного анализа для исследования набора данных [3].

Кластерный анализ – это семейство алгоритмов, разработанных для формирования групп таким образом, чтобы члены группы были наиболее похожими друг на друга и не похожими на элементы, не выходящие в группу. Кластер и группа – это синонимы в мире кластерного анализа. Рассмотрим алгоритм k-means[4] на примере поставленной задачи.

Объектом исследования являются пользователи системы, обладающие набором определенных характеристик (страна, модель устройства, размер экрана, состояние сети, оперативная память, тема события, количество запросов и множество других параметров). Характеристику объекта назовем тегом (обозначим T_i). Тогда пользователя можно представить в виде n-мерного вектора тегов:

$$U = [T_1, T_2, \dots, T_n],$$

где S это есть тег, который описан двумерным вектором:

$$T_i = [F, R],$$

где i-идентификатор тега, F – частота запросов тега пользователем, R – количество обнулений, $n \leq N$, где N – общее количество тегов в базе данных.

Тег имеет численный показатель притяжения G – «сила гравитации». Тег – также является центром притяжения других тегов, в данном случае спутников. Центр тяжести можно представить N-мерным вектором тегов: $S = [T_1, T_2, \dots, T_n]$, где $n \leq N$, N – общее количество тегов в базе данных. В качестве меры близости используется Евклидово расстояние [4].

Для определения схожести тегов между собой следует ввести понятия «достоверных данных» и «недостоверных данных».

Достоверные данные – это данные, которые принимаются как заведомо истинные. В данном случае это данные, которые принимаются сервером при создании события пользователем. Создание события всегда сопровождается наличием тегов. И если количество тегов при создании события больше одного, то теги связываются между собой, то есть, относительная «сила гравитации» между ними возрастает на единицу.

Недостоверные данные – это данные, которые проходят алгоритм проверки на определение схожести. В данном случае к недостоверным данным можно отнести запросы пользователя. Пользователь может вводить разные запросы в поиске, и нельзя достоверно сказать о том, что текущий запрос связан с последующим или с предыдущим. Для этого вводится понятие «Порог гравитации» - это численный показатель частоты набора пользователем, конкретного тега.

На рисунке 1 приведен алгоритм анализа недостоверных данных.

Пример визуализации работы алгоритма для объекта театр приведен на рисунке 2.

Здесь пользователь представлен в виде вектора тегов $U = [T_1, T_2, T_3]$, Порог гравитации равен 10, $T_1 = [10,0]$, $T_2 = [2,0]$, $T_3 = [8,0]$. Следует обратить внимание на первые аргументы векторов: (10,2,8). Когда порог гравитации достигает границы, это четко наблюдается у $T_1 = [10,0]$, то данный тег обнуляется, связавшись с ближайшим тегом $T_3 = [8,0]$.

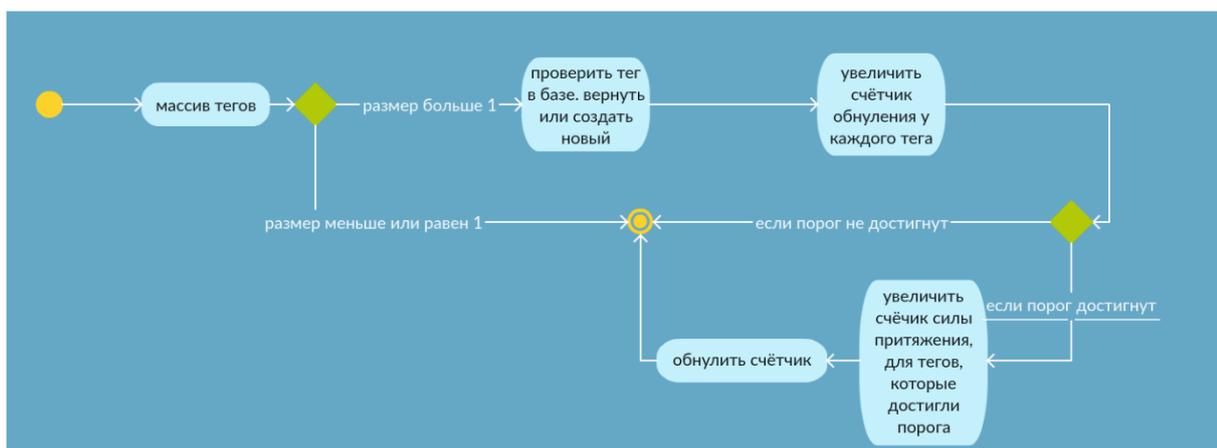


Рисунок 1 – Алгоритм анализа недостоверных данных.

После проведения данной операции теги пользователя будут иметь вид: $T_1 = [0,1]$, $T_2 = [2,0]$, $T_3 = [8,0]$, причем тег T3 не обнулится.

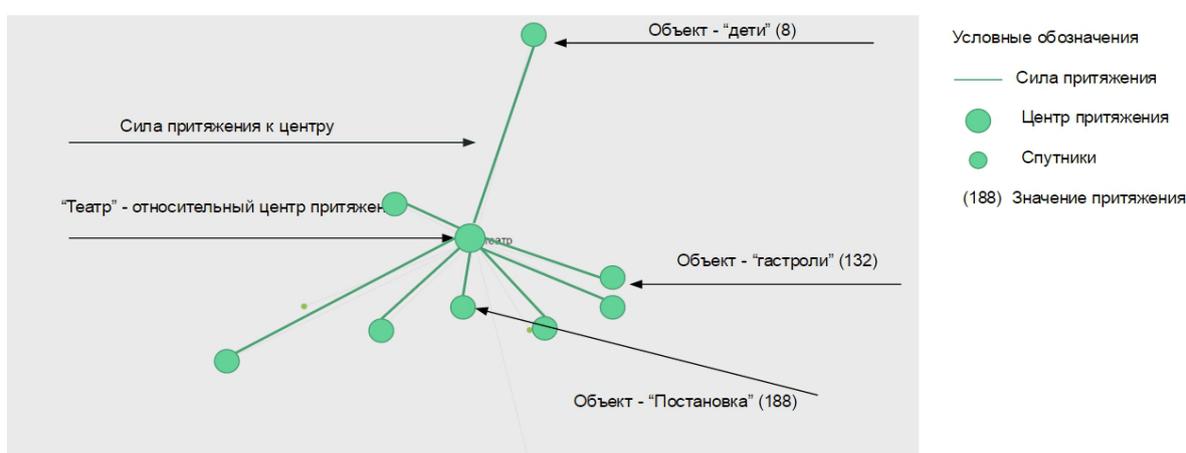


Рисунок 2 – Визуализация объекта «Театр».

На рисунке 2, стоит обратить внимание на объект «дети», который связан с объектом «театр» крайне слабо – 8 единиц притяжения. Такой результат можно было бы отнести к погрешности, однако, в ходе анализа данных было выявлено, что в театрах проходили детские утренники и спектакли, таким образом, объекты «дети» и «театр» связаны закономерно.

В результате проделанной работы было разработано мобильное приложение для поиска культурных мероприятий города Бишкек с учетом предпочтений пользователя. Механизм формирования предпочтений основан на реализации кластерного анализа методом к-средних. Разработанный сервис запущен в пользование в августе 2016г с рабочим названием «CitySpy».

Литература

1. Браун М. Методы интеллектуального анализа данных // URL: <https://www.ibm.com/developerworks/ru/library/ba-data-mining-techniques/>
2. Мандель И.Д. Кластерный анализ. М.: Финансы и статистика. 1988. 176 с.
3. Портал знаний. Кластеризация: метод к-средних // URL: <http://statistica.ru/theory/klasterizatsiya-metod-k-srednikh/>
4. Портал знаний. Евклидово расстояние <http://statistica.ru/glossary/general/evklidovo-rasstoianie/>.

ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛООВОГО ПОТОКА В ЗЕРНОСУШИЛКЕ ПРИ ИНДУКЦИОННОМ НАГРЕВЕ

RESEARCH HEAT FLOW DRYERS IN INDUCTION HEATING

Сагындикова А.Ж.

sagyndikova_aigul@mail.ru

Казахский национальный аграрный университет г. Алматы, Казахстан

***Аннотация.** Зависимости теплофизических констант от влажности описываются кривыми второго порядка, и наблюдается с ростом влажности повышение всех трех констант. Это объясняется тем, что увеличение массовой доли свободной влаги в местах соприкосновения частиц материала, играющей роль «теплового мостика», способствует созданию лучших условий для передачи частоты. Фактор температуры усиливает роль влаги, как средства теплопередачи от одной частицы к другой.*

***Ключевые слова:** продовольственная безопасность Казахстана, теплофизических изменений зерна, тепловые процессы нагрева, температуропроводности (a), теплопроводности (λ) и теплоемкости (c), влажность зерна, массообмен.*

Основной программой правительства Республики Казахстан является обеспечение продовольственной безопасности Казахстана на основе формирования эффективной системы агропромышленного комплекса, производства конкурентоспособной продукции и Государственной поддержки сельскохозяйственного производства.

В Послании Главы государства народу Казахстана «Стратегия «Казахстан -2050»: новый политический курс состоявшегося государства» перед агропромышленным комплексом поставлена задача принять Программу развития АПК страны до 2020 года, направленную на значительный рост урожайности, увеличение посевных площадей, внедрение новых технологий [1]

Самое важное место в выполнении этих мероприятий занимают послеуборочные технологические операции, связанные с удалением избыточной влаги, в частности сушка зерна перед переработкой или закладкой на хранение. Процесс сушки зерна играет первостепенную роль в сохранении качества зерна. Во многих случаях сушка является одной из важнейших операций, определяющих не только качество готовой продукции, но и технико-экономические показатели производства в целом. Следовательно, современным хозяйствам и зерноперерабатывающим предприятиям нужны недорогие зерносушильные агрегаты, отвечающие требованиям и соответствующие объемам их производства. Поскольку сушка влажных материалов является наиболее энергоемкой технологической операцией, то разработка новых сушильных установок, методов их совершенствования и повышения эффективности имеет важное экономическое значение.

Необходимость совершенствования процесса сушки зерна обусловлена значительным объемом этой операции, исчисляемой ежегодно десятками миллионов тонн, большой удельной энергоемкостью процесса и высокими требованиями к сохранению качества зерна как сырья для производства самых массовых продуктов питания. В связи с этим исследования, направленные на совершенствование процесса сушки зерна, являются актуальными и обладают важным народнохозяйственным значением.

Создано экспериментальное оборудование, которое может быть использовано фермерскими хозяйствами, элеваторами и разработчиками сушильного оборудования.

Обобщая, нужно отметить, что сушка зерна является не только теплофизическим процессом, на который расходуется много теплоты и энергии, но и технологическим процессом, при котором происходят необратимые физико-механические, коллоидно-физические процессы в зерне.

Методика теплофизических изменений зерна. Теплофизические характеристики любого материала, в том числе и зерна, необходимы при расчетах тепловых процессов нагрева, сушки, охлаждения. Особенностью теплофизических характеристик зерна является их зависимость от влажности, температуры, от размера зерен, от плотности зернового слоя.

Применительно к методике процесса тепловой обработки рассмотрим следующие теплофизические свойства зерна [2].

К теплопроводности зерновой массы можно отнести способность передавать теплоту при непосредственном соприкосновении зерна друг с другом, или от нагреваемой поверхности. Оценивают теплопроводность зерна и зернового слоя коэффициентом теплопроводности, который изменяется в пределах 0,120...0,140 Вт/(м·°C).

Температуропроводность – это теплофизическая величина, характеризующая скорость изменения температуры в материале, оценивается коэффициентом температуропроводности $1,7 \cdot 10^{-7} \dots 1,9 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$.

По известным значениям теплопроводности и температуропроводности определялся коэффициент удельной теплоемкости

$$C = \frac{\lambda}{a\rho} \quad (1)$$

Исследования проводились в заданных пределах варьирования факторами: температура нагрева от 45-55°C, время нагрева от 12 до 24 мин, толщина слоя 5-15 см. Опыты проводились в трехкратной повторности [3].

В пределах изменения значений коэффициентов температуропроводности (а), теплопроводности (λ) и теплоемкости (с), для зерна пшеницы получены соответствующие математические зависимости от времени нагрева (t), температуры нагрева (τ) и толщины слоя (h).

Теплофизические коэффициенты зерна представлены в виде зависимостей времени нагрева, температуры и толщины слоя (рисунках (1,2,3)).

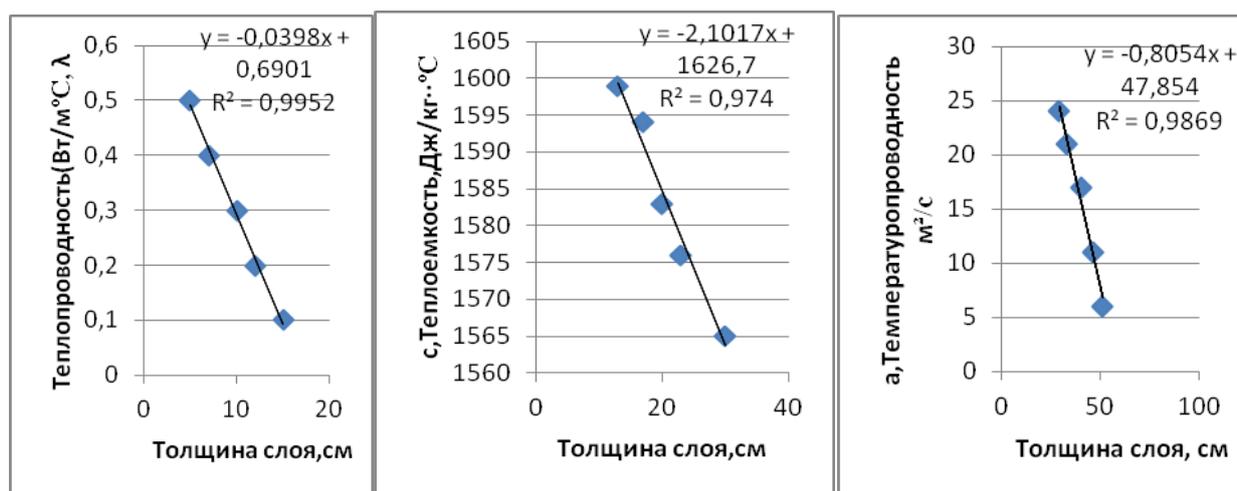


Рисунок 1 – Влияние толщины слоя зерна на теплофизические характеристики.

Закономерности изменения рассматриваемых констант от толщины слоя зерна показали, что зависимости подчиняются линейному закону, в конечных значениях толщины слоя растет быстрее теплопроводность [4]. Коэффициент температуропроводности очень быстро поднимается. Коэффициент теплоемкости также является кривой второго порядка, достигает максимального значения при 1600 Дж/кг·°C.

Результаты исследований теплофизических характеристик зерна пшеницы от второго фактора температуры нагрева зерна представлены в виде графиков (рисунок 2).

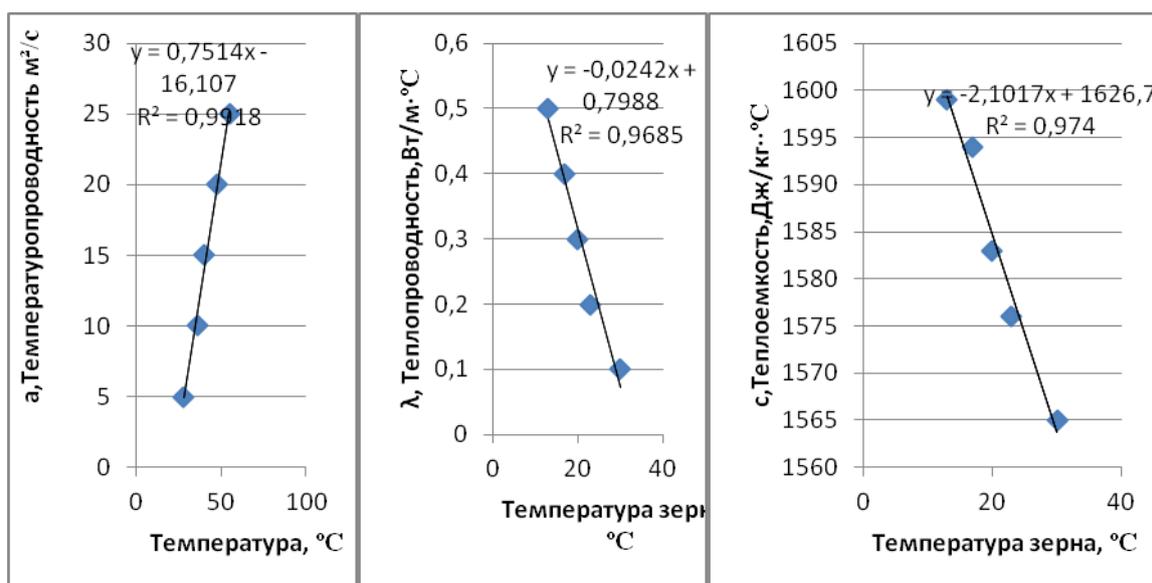


Рисунок 2 – Влияние температуры зерна на теплофизические характеристики.

Коэффициент теплопроводности от температуры зерна выглядит как кривая второго порядка, причем возрастает с увеличением температуры. Это объяснимо тем, что все поры материала заполнены жидкостью и такое явление происходит с коэффициентом теплоемкости зерна как линейная функция.

Результаты исследований теплофизических характеристик зерна пшеницы от третьего фактора времени нагрева зерна представлены в виде графиков (рисунок 3).

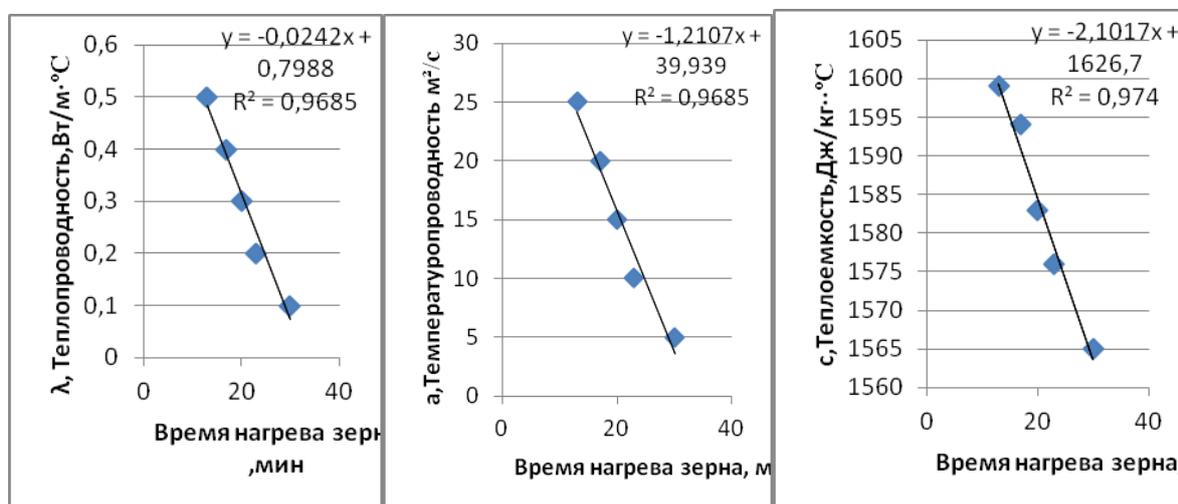


Рисунок 3 – Влияние времени нагрева зерна на теплофизические характеристики.

Коэффициент температуропроводности выглядит обратно зависимой с коэффициентом теплоемкости. Это вполне обосновано, изменение всех теплофизических констант от температуры зерна происходит в возрастающем режиме.

Повышение температуры более значительно влияет на теплоемкость за счет увеличения объема жидкости в порах, в скелете материала увеличивается воздух. При повышении плотности зерна происходит уменьшение коэффициента температуропроводности. Это объясняется уменьшением жидкой среды в скелете. Температуропроводность в начальный момент повышения плотности снижается. Это

объясняется тем, что влага не успевает нагреваться, начиная с 1000 кг/м³ плотности. Теплопроводность резко возрастает в пределах от 1000 до 1100 кг/м³. С коэффициентом теплоемкости происходит обратное явление. Максимальное значение при влажности 1000 кг/м³.

При этом перенос теплоты происходит и за счет переноса теплоты. Таким образом, при повышенных температурах одновременно может происходить два процесса:

- перенос теплоты за счет теплопроводности;
- частичный перенос теплоты путем массообмена.

С ростом температуры все константы теплофизических характеристик от температуры возрастают. Причем коэффициент температуропроводности ближе к линейному закону, хотя является кривой второго порядка. Это явление можно объяснить тем, что влага внутри материала выполняет теплопередачу равномерно по линейной зависимости, (рисунок 4).

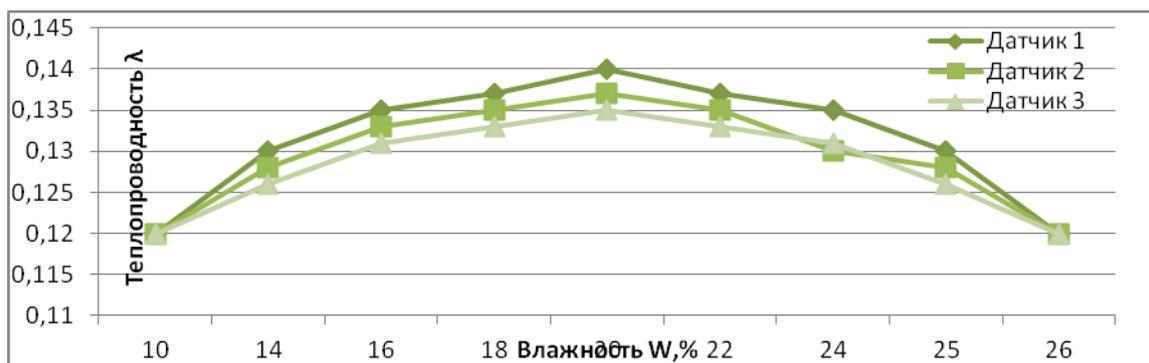


Рисунок 4 – Зависимость теплопроводности слоя зерна от влажности зерна.

Теплопроводность зернового слоя с повышением влажности зерна вначале увеличивается, а затем снижается (рис.4). Для слоя 5см и температуры 25⁰С теплопроводность достигает максимума 0,138Вт/(м⁰С) при влажности 18%. При расположении датчиков: вначале Датчик 1, в середине Датчик 2 и около кожуха Датчик 3. С повышением (понижением) температуры зерна на каждые 10⁰С теплопроводность возрастает (понижается) на 2,5% по сравнению со значением ее при 25⁰С.

Специальные эксперименты, проведенные ранее, показали, что теплоемкость зерна сложным образом зависит от его влажности и температуры, (рисунок 5).

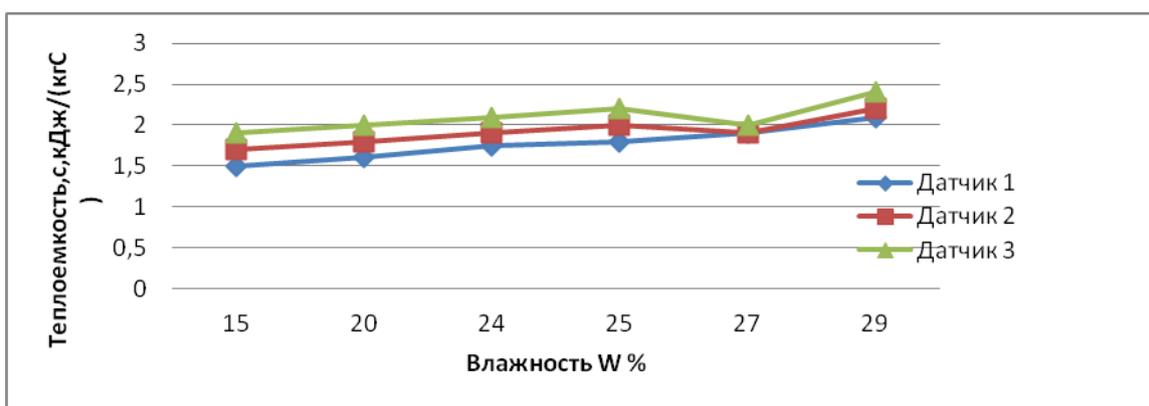


Рисунок 5 – Зависимость теплоемкости зерна от влажности и температуры, Датчик 1=1,5кДж/(кг·°C), Датчик 2=1,75кДж/(кг·°C), Датчик 3=1,8кДж/(кг·°C).

При влажности зерна 25% она не зависит от температуры, но при меньшей влажности с повышением температуры возрастает, а при большей влажности, напротив, уменьшается [5].

В зерновом слое с повышением влажности с 10 до 25% температуропроводность непрерывно снижается (рисунок 6).

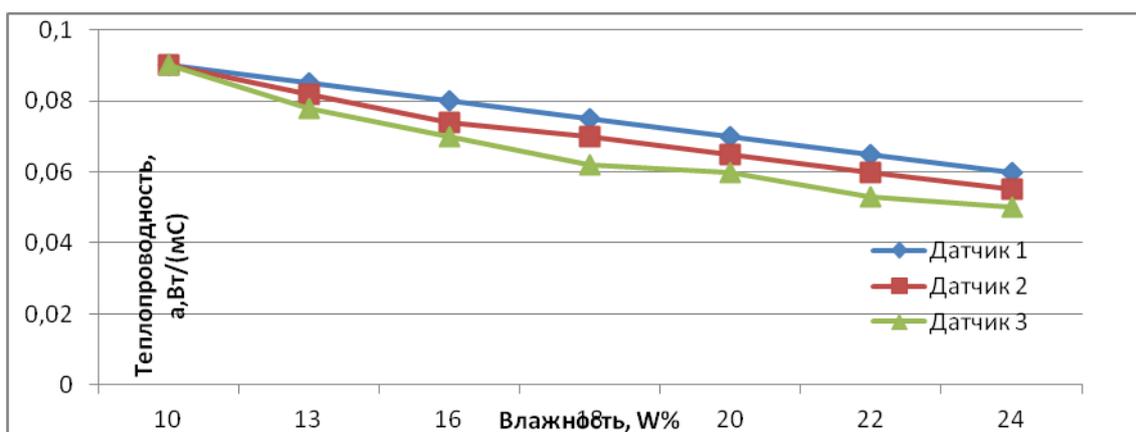


Рисунок 6 – Зависимость температуропроводности слоя зерна от влажности при Датчик 1=0,06Вт/(м·°C), Датчик 2=0,055Вт/(м·°C), Датчик 3=0,5Вт/(м·°C).

Зерновая масса отличается очень низким значением температуропроводности, которая в 1000 раз ниже, чем у алюминия.

Литература

3. Назарбаев Н.А. Послание Президента Республики Казахстан народу Казахстана «Казахстанский путь - 2050: Единая цель, единые интересы, единое будущее», (Астана, 17 января 2014 г.).
4. Резчиков В.А., Налеев О.Н., Савченко С.В. Технология зерносушения. Алматы: Изд-во Алматинского технологического университета. 2000. 400 с.
1. З.Лысаков А.А. Электротехнология. Курс лекций: Учеб. пособие. Ставрополь: СтГАУ. 2013. 124 с.
4. Геращенко О.А., Федоров В.Г. Тепловые и температурные измерения. Киев: Наукова думка. 1965. 304 с.
5. Суворов С.С., Масленникова М.С. Исследование температурного коэффициента электрического сопротивления пшеницы // Сообщения и рефераты ВНИИЗ. 1961. Вып. 5. С. 18-22.

УДК 550.3

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ О ПОВЕДЕНИИ ЖИВОТНЫХ В СЕЙСМИЧЕСКИ АКТИВНОЙ ЗОНЕ КАЗАХСТАНА И КИТАЯ

MODERN METHODS AND TECHNOLOGIES OF RECEPTION AND PROCESSING OF INFORMATION ABOUT THE BEHAVIOR OF ANIMALS IN A SEISMICALLY ACTIVE ZONE OF KAZAKHSTAN AND CHINA

Серазетдинова Б.З., Нью В.А., Шимов С.В., Бекбаулиева Н.Н., Суворцева Н.В.
bella80@mail.ru, nu_viktoriya@mail.ru, bekbauliyeva.n.n@gmail.com, natali.s71@mail.ru
ТОО «Институт сейсмологии», г. Алматы, Казахстан

Аннотация. *Мировой опыт показывает, что накануне сильных землетрясений многие виды животных воспринимают электрические и магнитные поля, низкочастотные звуки и вибрации. Поскольку процессы подготовки землетрясений сопровождаются изменением геофизических полей, которые также воздействуют на биосферу, естественно ожидать различные проявления реакций на эти воздействия со стороны биообъектов. В этом аспекте организация сети биологических наблюдений является первым и ответственным шагом в процессе разработки научно-методических основ краткосрочного прогноза землетрясений по данным сейсмобиомониторинга.*

Ключевые слова: *методы, технологии обработки информации, биопредвестники, сейсмобиомониторинг, землетрясение, биополигон.*

Развитие и современное состояние сети биологических наблюдений в Казахстане.

Научными предпосылками для организации работ по созданию системы сейсмобиологического мониторинга в зонах сейсмического риска с целью краткосрочного прогноза землетрясений явились следующие [1]:

1. Экспериментальные материалы, полученные в районе города Алматы (город Верный) И.В.Мушкетовым при обследовании очаговой зоны разрушительного Верненского землетрясения 9 июня 1887 года. В своей работе (1890г) он приводит очень интересные сведения о странном беспокойстве животных накануне основного толчка (магнитуда 7,3). И.В. Мушкетов пишет, что «лошади не брали корм, местами их с трудом удерживали на дворах; рогатый скот, особенно коровы, также были "не по себе"; свиньи бросались со дворов и их приходилось запирасть; такое же тревожное состояние наблюдалось и на собаках. В комнаты через открытые окна влетали ласточки, воробьи, голуби... Домашние животные – лошади, коровы, собаки – еще за несколько минут до первых ударов землетрясения предчувствовали близость страшной катастрофы и дрожали в ужасе; при сильных же ударах ужас их сделался непреодолимым; лошади перескакивали через заборы и мчались по улицам; другие животные с неестественною силою порвали свои привязи»;
2. Накопленные в мировой практике данные о необычных реакциях животных, выявленных перед землетрясениями в различных регионах земного шара, свидетельствующие о том, что они обнаруживаются накануне как катастрофических землетрясений ($M > 7$), так и более слабых ($4 < M < 6$). Эпицентры сейсмических событий, предварявшихся аномальными явлениями в поведении животных, находятся в сейсмически активных регионах, расположенных как в континентальной, так и в океанической частях земного шара;
3. Концепция, согласно которой очаговые зоны землетрясений являются результатом дислокационных процессов, отражающих следствие формирования в земной коре участков геодинамической неустойчивости. Эти процессы наиболее активно происходят в зонах "живых" (активных) разломов, что является принципиальной основой размещения биостационаров (пунктов наблюдения за аномальным поведением животных);
4. Карты долгосрочного прогноза землетрясений, на основе которых определена локализация областей сейсмического риска на ближайшие 10 лет;
6. Материалы среднесрочного прогноза землетрясений, на основе которых выделены и уточнены области вероятного возникновения сейсмических событий с магнитудой 5–6, приуроченные к зонам активных разломов - Алматинского, Кемино-Чиликского;
7. Карты прогнозного поля максимального сейсмопотенциала Джунгаро-Северо-Тянь-Шаньского региона по признаку остаточной энергонасыщенности структур;
8. Материалы ретроспективного обследования эпицентральных районов произошедших в Казахстане сильных землетрясений – Байсорунского ($M=6,3; 1990г.$), Зайсанского ($M=7,0; 1990г.$), Текелийского ($M=5,6; 1993г.$), предварявшихся биопредвестниками;

9. Материалы о поведении животных Алматинского зоопарка за период 1987 – 1990 гг., на основе которых отрабатывалась методика наблюдений и были выявлены реакции млекопитающих, рыб, птиц, рептилий накануне ощутимых землетрясений с $16 \geq K \geq 11$;
10. Экспериментальные работы, на основе которых определены сенсорные возможности восприятия животными геофизических полей.

Проблема выделения полезного сигнала в поведении животных, обусловленного сейсмическим процессом, в большей степени зависит от качества и эффективности работы наблюдательной сети.

Основное требование к сети для всех видов наблюдений, в том числе и биологических – сосредоточение пунктов наблюдений в сейсмоопасных регионах и сведение влияния антропогенных помех к минимуму. В связи со спецификой биологических наблюдений наиболее важными требованиями к системе сейсмобиомониторинга являются:

- выбор территории для размещения биологических пунктов наблюдений в сейсмически опасном регионе;
- выбор информативных объектов наблюдения;
- определение стандартного видового и количественного набора животных, достаточного для получения статистически значимых данных;
- объективизация наблюдений при использовании автоматизированных комплексов регистрации активности животных, работающих в непрерывном режиме;
- обеспечение бесперебойной работы связи для передачи информации в центр анализа (лаборатория сейсмобиологии).

Для поиска наиболее эффективных биологических критериев в системе комплексного краткосрочного прогноза в 1985 – 2016 гг. реализованы основные этапы выполнения научно-методических работ, из которых важнейшим является создание экспериментальной базы – биополигона, представляющего собой локальную сеть сейсмобиологических наблюдений за поведением животных. В настоящее время биологическая информация поступает из 5 биостационаров (б/с), расположенных в сейсмически опасных зонах в пределах координат Алматинского прогностического полигона $\varphi = 42^\circ - 44^\circ$, $\lambda = 75^\circ - 80^\circ$

Разработка методики прогноза землетрясений на основе материалов наблюдений за поведением животных включает следующие основные этапы:

1. Анализ фоновых значений вариаций активности животных.
2. Выявление аномальных периодов вариаций активности животных.
3. Оценка длительности и амплитуды аномальных периодов.
4. Генетическая классификация аномалий в поведении животных.
5. Анализ времени формирования аномальных периодов у одних и тех же видов животных на разных пунктах наблюдений.
6. Анализ пространственно-временных закономерностей формирования аномалий у животных различных систематических групп.
7. Анализ массовости возникновения и развития аномалий.
8. Прогнозные оценки аномалий по месту, времени и силе ожидаемого землетрясения.

Наблюдения за поведением животных в условиях сейсмобиомониторинга призваны выявить ранние признаки отклонений от фона, возникновение и развитие аномалий в пространстве и во времени. Поэтому на пунктах наблюдений использовались животные различных систематических групп, обладающие различными сенсорными возможностями восприятия таких внешних факторов как ультра- и инфразвуки, высоко- и низкочастотные колебания, вибрации, газовые компоненты и др. Это позволяет в комплексе с анализом вариаций регистрируемых на полигоне геофизических полей выявить стадии развития сейсмического процесса и подготовки землетрясений. Для оценки информативности активности животных используются визуальные, автоматизированные наблюдения в круглосуточном режиме на основе датчиков движения, звуковой активности.

Аппаратурные наблюдения позволяют регистрировать электрические параметры кожи норных животных (активную проводимость, электрическое сопротивление).

Прогноз времени, силы и места землетрясения, осуществляемый на базе предвестников, должен быть основан на знании законов, управляющих предвестниками. Отсюда возникает необходимость оценки информативности биопредвестников с точки зрения использования их при прогнозе землетрясений.

На основе анализа пространственной локализации землетрясений и биологических аномалий, выявленных в процессе сейсмобиомониторинга у норных животных (кроликов), построена 3-х мерная модель (рис. 1). Согласно этой модели аномалии активной проводимости в биологически активных точках (АП БАТ) у животных накануне землетрясений формируются в пределах до 140 км от пункта наблюдения. Накануне землетрясений с энергетическим классом $K \leq 10$ количество наблюдаемых аномалий незначительно. Наибольшее число биологических аномалий формируется в радиусе 60-90 км от пункта наблюдений при энергетическом классе землетрясений $K \geq 10$. Это подтверждает данные, полученные ранее при эпицентральных обследованиях зон произошедших землетрясений – Зайсанского (1990 г.), Байсорунского (1990 г.), Суусамырского (1992 г.) и Текелийского (1993 г.).

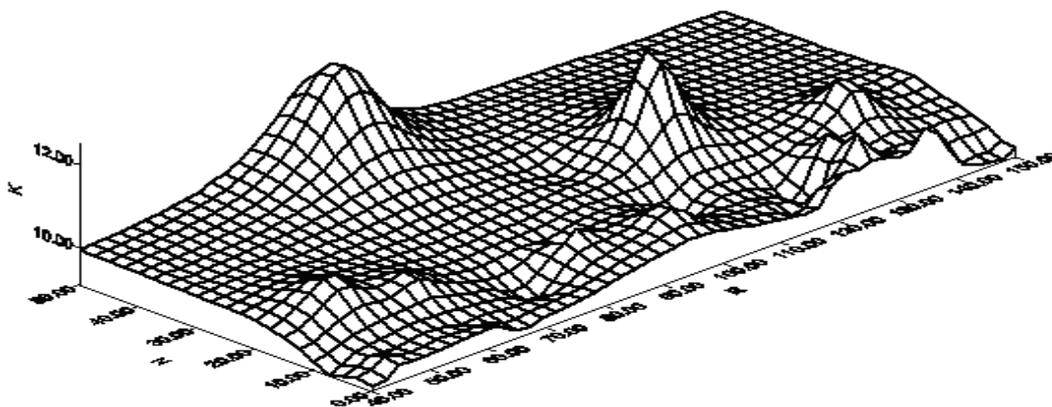


Рисунок 1 – Модель, иллюстрирующая зависимость количества аномалий (N) АП БАТ от эпицентрального расстояния (R) и класса землетрясений ($K \geq 10$).

Интенсивность их проявления зависит от энергетического класса землетрясения и эпицентрального расстояния. Она ощутима накануне сейсмических событий с $K \geq 12$. На расстоянии 100-110 км интенсивность проявления аномалий значительно уменьшается.

Таким образом, система сейсмобиомониторинга с режимным непрерывным контролем поведения животных позволяет выявить процесс формирования аномалий электрического параметра накануне землетрясений с $K \geq 10$ на расстоянии до 150 км от пункта наблюдений. Используемые визуальные и автоматизированные методы наблюдений за активностью животных в комплексе с геофизической информацией позволяют объективизировать критерии аномального поведения животных накануне сильных землетрясений.

Развитие биологических исследований в Китае. Больших успехов в области прогноза землетрясений по необычному поведению животных добились ученые Китая [2-4]. Здесь в комплексе прогностических признаков используются результаты биологических наблюдений, проводимых населением сейсмически опасных районов. Многочисленные коммуны явились массовыми наблюдателями за поведением животных. Благодаря высокой гражданской ответственности населения за жизни людей удалось избежать огромных человеческих жертв. Население г. Хайченга было своевременно оповещено о приближающейся катастрофе и люди покинули свои жилища. Хайченгское землетрясение с $M=7,3$ (1975 г.) стало поистине энциклопедическим примером успешного прогноза в

мировой практике. Именно после него появилось значительное количество работ в области сейсмобиологии. Китайским сейсмологам удалось на основе комплексных параметров – уровня подземных вод, содержания радона и аномального поведения животных, о котором сообщили в сейсмический центр местные жители (добровольные дружины), сделать успешный прогноз.

В монографии Серазетдиновой Б.З. [1] приведены примеры успешного прогноза с использованием биологических данных. Многочисленные наблюдения, полученные путем привлечения жителей 400 коммун, в комплексе с геофизическими параметрами позволили предсказать еще два больших землетрясения в Китае (Похай-Ван, 1969 г., $M=7,5$; Ляонин, 1975 г., $M=7,3$). Необычное поведение замечено у чаек, акул и пяти видов рыб за несколько дней до землетрясения Похай-Ван, произошедшего 18 июля 1969 г. Успешный прогноз выдан на основе отклонений в поведении животных Тьен Тзинского зоопарка. Манчжурские тигры, гигантские панды, яки, олени, гольцы и другие животные за 2 часа до события проявили признаки сильного беспокойства или находились в состоянии депрессии.

Шиньхайское землетрясение ($M=7,0$) произошло 26 апреля 1990г в провинции Циньхай. За несколько часов до землетрясения обнаружены аномалии в поведении собак, цыплят, куриц, кроликов, крыс, голубей, рыб и кошек. Биологические предвестники наблюдались наряду с аномалиями содержания радона в подземных водах, вертикальных деформаций, сейсмической активности, метеорологических явлений.

Наряду с использованием биологической информации от населения, в 70-90-х годах прошлого столетия Китай обладал сетью биологических станций, где велись наблюдения за поведением животных с использованием автоматизированных методов. Необычное поведение голубей в период подготовки землетрясений исследовалось на биостанциях в провинциях Сингтай (с 1968 г.) и Синкян (б/с «Аксу», 1971 г.).

В провинции Шан-Дунь проведены автоматизированные наблюдения за поведением животных на биостанции. Разработаны датчики регистрации различных видов активности животных – звуковой (чирикание волнистых попугайчиков), двигательной (механические датчики типа педали, датчики для регистрации частоты перемещений биообъектов; сенсоры для водных животных). Наиболее детально изучены биоритмы звуковой активности волнистых попугайчиков и ее вариации накануне землетрясений с $M>3$, эпицентры которых находились в пределах расстояния 200 км от пункта биологических наблюдений.

В провинции Шанхай в 10 пунктах бионаблюдений проведены исследования поведения волнистых попугайчиков и голубей. Перед землетрясением (1987 г., $M=5,1$) на станции, находящейся в 50 км от эпицентра за 3-5 дней повысилась звуковая активность птиц. Кроме того, данные биологических наблюдений и изменений уровня подземных вод передавались населением через местный кабинет по прогнозу землетрясений. Сенсорные механизмы восприятия геофизических стимулов исследованы в Биологическом институте при Академии наук Китая (Пекин), результаты которых изложены в монографии Диан Динь Чан «Чувства, поведение, землетрясения» (1989 г.). Для поиска биологических предвестников землетрясений используются результаты микробиологических исследований [5].

В период недавнего посещения Китая (Ню В.А.) в 2016 г. был представлен доклад о работе, проводимой в области изучения аномального поведения животных. Была представлена схема сети пунктов сейсмологических станций в Китае, откуда поступает информация о поведении животных в близлежащем регионе, а также 12 наиболее типичных примеров поведения животных перед землетрясением.

Первоначальным этапом является сбор информации о прошедшем землетрясении, а также об аномальном поведении животных, путем опроса местного населения. Составляется отчет по форме №б/3 (Анкета для опроса населения о необычном поведении животных), который передается непосредственно соответствующим государственным органам.

Специалисты из Китая, провели статистическую характеристику собранных данных об аномальном поведении животных, и сделали вывод, что домашние животные реагируют

только за несколько часов или во время землетрясения, домашний скот (свиньи, овцы, лошади и т.д.) реагируют за 2-3 дня до события, а дикие животные проявляют аномальное поведение за 10 дней.

Была продемонстрирована схема макропрогнозирования (этапы сейсмобиомониторинга), в которой отражены этапы обработки входящих данных по поведению животных и также были представлены примеры аномального поведения животных на севере Китая: за 2 дня до землетрясения движение птиц было настолько затруднено, что можно было с легкостью их поймать. Мыши собирались на вершине электрических столбов.

Применив опыт Серазетдиновой Б.З., на станции Хутуби, проводятся автоматизированные наблюдения за волнистыми попугаями. В вольере был установлен датчик, фиксирующий двигательную активность наблюдаемого вида. В результате эксперимента было выявлено, что за несколько часов до события попугаи проявляли аномалию.

В ближайшем будущем планируется расширение сети наблюдаемых пунктов и строительство лабораторий биологических наблюдений.

Китайскими учеными дана информация о специфике работы по биологическим предвестникам землетрясений и по историческим фактам о поведении животных перед сейсмическими событиями.

Литература

1. Серазетдинова Б.З. Сейсмобиология: теория, методы, практика прогноза землетрясений. Алматы: Эверо. 2012. 238 с.
2. Shen L. Can animal help to predict earthquakes, China Features Agency. Peking., Peoples Republic of China // Earthquake Inform. Bull. 1978. 10. № 6. Pp. 231-233.
3. Xu Baoshan, Dizhen Yanjiu // Seismology Res. 1994. Vol. 17. № 4. Pp. 389-395.
4. Yang M. Precursory anomalies before Xinghai Earthquake with M 7.0 in Qinghai province. China // Теория и практика прогноза землетрясений на территории Тянь-Шаня. Алматы. 1996. С. 73-75.
5. Kai Lou. The research of spring microbiological community based on earthquake prediction. The report on the eighth International Symposium on Tianshan Earthquakes. Urumqi, China. Sept. 24. 2013.

УДК 553.94(575.3):553.078

ПРЕСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАМЕННОУГОЛЬНЫХ ТОПЛИВНЫХ ОТХОДОВ (НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН)

PROSPECTS COAL WASTE FUELS (ON THE EXAMPLE OF THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN)

Фозилов Д.Н., Алидодов Б.А., Валиев Ш.Ф.

fozilov.tj@mail.ru

Геологический факультет Таджикского национального университета, г. Душанбе,
Таджикистан

Аннотация. Для комплексного и эффективного использования зольных отходов каменного угля необходимо выполнение соответствующих геохимических и химических исследований. Такие исследования способствуют рациональному и комплексному использованию топливных промышленных отходов каменного угля, оздоровлению экологической обстановки.

Ключевые слова: коэффициенты концентрации, элементы, шлаковые отходы, техногенные, угленосность, зольность, золотоносность, дегазация, рентабельность, концентрация, токсичные элементы, утилизация отходов.

Таджикистан обладает значительными ресурсами угля, превышающими по современным оценкам 5 млрд. тонн. Геологические работы, связанные с углём, в республике начались ещё в начале XX века и выполнялись в основном в советское время. За этот период было открыто и детально исследовано большое количество угольных месторождений, изучено геологическое и тектоническое их строение, угленосность, гидрогеологические условия, подсчитаны запасы каменноугольных месторождений. В связи с осложнившейся политической ситуацией в стране в 90-х годах геологоразведочные работы были временно прекращены. Принятые тогда стандарты по оценке качества углей не предусматривали геохимического исследования попутных элементов примесей в углях. По этой причине, а также в связи с незначительными масштабами угледобычи, геохимические исследования угленосности и углеобразования Таджикистана до настоящего времени практически не проводились.

На территории Таджикистана выделено четыре района развития угленосных отложений, отличающиеся целым рядом характерных особенностей: Зеравшано-Гиссарский, Южно-Гиссарский, Памиро-Алайский и Южно-Ферганский. Наиболее перспективными в отношении угленосности являются на сегодняшний день отложения ниже-среднеюрского возраста, имеющие сравнительно большое распространение в пределах указанных районов[1].

Кроме того, встречаются угли, связанные с осадочными породами триасового и каменноугольного возраста, которые не представляют промышленный интерес. Юрские угли каменные, марочные, состав их разнообразен. Пласты в основном маломощные: средняя мощность рабочих пластов составляет 1,2-3 м [2].

Наметившийся рост добычи и потребления угля в стране, повышенное содержание в них ряда ценных химических компонентов обусловили необходимость проведения исследований по оценке их химического состава, качества и ценности как комплексного сырья. Для организации таких исследований необходимо проведение опережающих прогнозно-оценочных геохимических работ, позволяющих на предварительной стадии оценить и выделить угли со свойственными им определенными химическими характеристиками.

В 30-х годах прошлого века были получены первые данные по радиоактивности углей Сибири. Лабазин Г.С. проводил изучение радиоактивности угленосных отложений в Минусинском бассейне, а Е.С.Брукер с соавторами опубликовал сведения о радиоактивности каменных углей Кузбасса. В эти же годы были выполнены первые исследования по изучению геохимии германия и бериллия в образцах углей Кузнецкого, Минусинского и Иркутского бассейнов.

Следует отметить, что ещё ранее в 1908 году К.А.Кулибин, исходя исключительно из общих геологических соображений, предсказал аномальную золотоносность углей Богатского и Картовинского районов Кузбасса и предложил технологию их комплексного использования. В конце XX века его выводы были подтверждены работами Б.Ф.Нифантова и других исследователей. Потенциальная золотоносность углей также показана проведенными исследованиями в пределах угленосных площадей Центрального Таджикистана.

Исходя из вышеизложенного, изучение химического состава углей и геохимических особенностей их образования в плане комплексного использования, включая топливные отходы, является задачей весьма актуальной. В настоящее время геохимия углей является одним из наиболее динамично развивающихся направлений научных исследований геологического профиля в развивающихся странах [3].

В своё время ещё Сауков А.А. (1966), крупный ученый-геохимик советского времени, указал на потенциальную возможность извлечения из золы каменных углей алюминия и ряда

других ценных компонентов. Отходы от сжигания углей для различных целей составляют громадные количества и практически не используются. Например, в бывшем Советском Союзе ежегодно добывалось свыше 500 млн. тонн угля разных марок, при сжигании которых остается в среднем около 15 % золы, т.е. около 75 млн. тонн в год. Наряду с другими окислами в золе каменного угля содержится значительное количество глинозема, достигающего до 35 %, т.е. не уступает содержанию его в нефелине, из которого он извлекается. Потребление алюминия, редких и рассеянных элементов растёт быстрыми темпами, что делает вопрос ещё более актуальным.

Значительными также являются отходы от сжигания каменного угля, используемого для различных целей в Республике Таджикистан. Особенно сильно возрастает их количество в связи с переходом существующих и вновь строящихся энергоёмких предприятий (Душанбинский цементный завод, Турсунзадевский алюминиевый завод, Турсунзадевский металлургический комбинат, Душанбинский ТЭЦ и др.) в республике на потребление каменного угля. В связи с этим ожидаются огромные отходы от использования каменного угля, утилизация, целенаправленное и эффективное использование которых для нужд народного хозяйства составляет одну из важнейших задач исследовательских работ, в первую очередь геохимической направленности ближайшего времени [3].

Потребление редких металлов Li, Be, Nb, TR, Ge, Re, Sc и др. в мире активно растёт и, поэтому, в большой мере происходит снижение количества месторождений металлических полезных ископаемых, рентабельных для отработки в условиях рыночной экономики. Что в первую очередь связано с ухудшением горно-геологических условий месторождений, ростом затрат на электроэнергию и транспортировку минерального сырья. Это лишний раз подтверждает актуальность использования ценных цветных и редких металлов, содержащихся в углях. Например, в Кемеровской области (Россия) накоплены значительные объёмы отходов минеральной продукции, большую часть которых составляет зольные и шлаковые отходы углей. Они соответствуют определению техногенных месторождений, как многотонных скоплений отходов добычи и переработки минерального сырья, которые могут с успехом быть использованы в различных народно-хозяйственных областях [3].

Технологическая и энергетическая политика угольной промышленности Таджикистана должна быть направлена на повышение эффективности отработки угольных пластов с максимальным использованием положительных качеств углей и снижением влияния их отрицательных свойств на безопасность угледобычи и экологическую обстановку среды. В этом направлении нужно вести работы по дегазации и утилизации метана угольных пластов, глубокой переработки углей и т.д. [1].

Один из путей повышения рентабельности добычи угля связан с разработкой мероприятий по комплексному использованию металлов-примесей в добываемых углях, которые можно рассматривать как ценные и экологически вредные. Использование ценных металлов предполагает предусматривать сбыт товарных углей, отличающихся повышенными концентрациями ценных металлов с повышенным коэффициентом извлечения.

Таким образом, интенсивный рост промышленного использования каменного угля в республике взамен природного газа неизбежно сопровождается накоплением значительных объёмов зольных отходов, для качественного и эффективного использования которых необходимо выполнение соответствующих геохимических и химических исследований состава ископаемых углей и отходов их использования. Извлечение металлов из углей, несколько снижает рентабельность использования традиционно используемых металлических руд и наиболее рациональным становится извлечение ценных компонентов параллельно с промышленным сжиганием углей [3].

В настоящее время основным объектом добычи угля для обеспечения нужд промышленных объектов города Душанбе и прилегающих районов республики является Фан-Ягнобское месторождение, обладающее крупными разведанными запасами (около 1 млрд. тонн). Поэтому, вопросы утилизации отходов и комплексного их использования представляет значительный интерес. Угли каменноугольного месторождения Фан-Ягноб

характеризуются повышенными концентрациями таких сопутствующих малых элементов, как цинк, барий, фосфор, ванадий, хром, никель, марганец, олово, серебро (КК-10-55). За некоторыми исключениями, их содержание повышено и в золах углей (100-760 г/т). Эти данные могут представлять интерес при комплексном использовании угольного месторождения.

Первые результаты о содержании микроэлементов в углях месторождения Фан-Ягноб получены Н.С. Огневым (1955-1958). Полуколичественным спектральным методом с расшифровкой спектра на 26-элементов было проанализировано 670 угольных проб. Содержание германия в большинстве проб не превышало 10-30 г/т золы; в трех пробах составило 60-100 г/т золы (Западная площадь).

С 1980 г. изучением металлоносности месторождения углей занимался ОМГП № 24 МОМГЭ (Альтгаузен М.М., Шарова И.Г.). Собранный ими фактический материал позволил дать оценку металлоносности углей отдельных площадей месторождения, оценить общие перспективы на германий и германиеносность отдельных угольных пластов, а также определить предварительный уровень концентрации токсичных элементов.

По результатам анализа 730 проб угля и вмещающих пород, отобранных из керна скважин Западной площади месторождения, изучена металлоносность 5-ти угольных пластов (12, 10, 9, 8 и 6) этой площади.

Содержание экологически потенциально опасных элементов в углях на Западной площади месторождения повышенное. Здесь выделены зоны с достаточно высокими концентрациями фтора, мышьяка, ртути и ванадия. Свинец, бериллий и марганец образуют более локальные зоны повышенных концентраций. Вовлечение в потребление углей Западной площади необходимо сопровождать изучением концентрации токсичных элементов, а при централизованном их использовании в качестве топлива при проектировании углеперерабатывающего предприятия, следует предусмотреть установку оборудования, исключающего загрязнение окружающей среды.

Изучение распределения содержания элементов, представляющих возможный промышленный интерес, показало, что почти все угольные пласты Западной площади месторождения отличаются повышенной концентрацией цинка. Отдельные угольные пласты несут значительные концентрации скандия, кобальта и серебра (Альтгаузен М.М., 1987).

Металлоносность угольных пластов Восточной площади изучена по результатам фактического материала, собранного И.Т. Шаровой (1986) и материала Джикрутской ГРП в процессе производства разведочных работ на этой площади в период 1986-1990 гг.

Результаты изучения содержания малых элементов в четырех угольных пластах Восточной площади месторождения. Приведены в табл. 1.

Таблица 1 - Среднее содержание основных элементов-индикаторов германиевого оруденения в углях месторождения Фан-Ягноб и значения прогнозных показателей

Пласты	Элементы-индикаторы (в г/т угля)						Прогнозные показатели		
	Ge	W	Sp	Mn	Mo	Be	Ge*Wx SpхMn	Gex WxMo	Gex WxBe
Западная площадь, пласт 17	1,1	1,6	15	55	611	6,4	1x10 ³	-	-
Пласт 16	0,15	0,4	76	52	6,6	4,0	1x10 ³	-	-
Пласт 15	0,3	0,15	35	105	0,7	3,6	1x10 ²	-	-
Пласт 15 ^а	1,0	0,6	63	64	10	1,5	2x10 ³	-	-
Пласт 14	0,5	1,2	97	763	5,7	5,0	4x10 ⁴	3x10 ⁰	3x10 ⁰
Пласт 14 ^а	1,4	0,6	44	240	8	4,5	8x10 ³	-	-
Пласт 13 ^б	0,3	н/об	27	70	3	1,2	4x10 ²	-	-
Пласт 13 ^в	11,2	н/об	27	99	10,8	0,8	2x10 ⁴	9x10 ¹	7x10 ⁰
Пласт 12 ^б	1,2	0,9	5	208	1,5	1,7	1x10 ³	-	-

Пласт 12 ^a	1,2	0,7	19	114	3	2	2x10 ³	-	-
Пласт 12	2,5	2,5	8	232	2,2	3,6	1x10 ⁴	1x10 ¹	2x10 ¹
Пласт 11	4,4	1,1	31	140	2,1	5,1	9x10 ⁴	4x10 ¹	1x10 ²
Пласт 10	3	22	16	323	3,3	4,6	3x10 ⁵	3x10 ²	3x10 ²
Пласт 9	1,5	6,2	14	53	2,3	3,2	1x10 ⁴	4x10 ¹	5x10 ¹
Пласт 8	2,3	1,7	52	103	0,3	3,7	2x10 ⁴	3x10 ¹	1x10 ¹
Пласт 6	1,1	6,5	12	104	1,4	2	2x10 ⁴	1x10 ¹	1x10 ¹
Восточная площадь Пласт 13 ^a	04	2,3	18	89	8,4	3,9	6x10 ⁴	1x10 ²	5x10 ¹
Пласт 12	1,3	3,3	71	231	2,2	7,9	7x10 ⁵	9x10 ¹	3x10 ¹
Пласт 9	1,1	7,2	48	178	2,9	2,2	6x10 ⁴	1x10 ¹	1x10 ¹
Пласт 6	1,6	1,0	62	171	2,9	2,2	8x10 ³	-	-

Анализ показывает, что угольные пласты в целом имеют сходную геохимическую специализацию. Угли большинства пластов специализированы ($KK > 5$) на ванадий, молибден, медь, серебро, сурьму, олово и фосфор, а также ($KK > 2$) хром, свинец, цинк, галлий, бериллий, вольфрам, германий, барий, стронций и скандий. Минимальные коэффициенты концентрации ($KK < 2$) характерны для марганца, никеля, кобальта, мышьяка, иттрия. На примере угольных пластов Восточной площади (9 и 6) изучена закономерность распределения содержаний микроэлементов в углях с различной зольностью. Элементы, на которые специализированы угли площадей ($KK \geq 3-53$) концентрируются в высокозольных ($A^b > 40\%$) пачках угольных пластов. Это титан, германий, медь, серебро, олово, сурьма, ванадий, свинец, хром, цинк и бериллий.

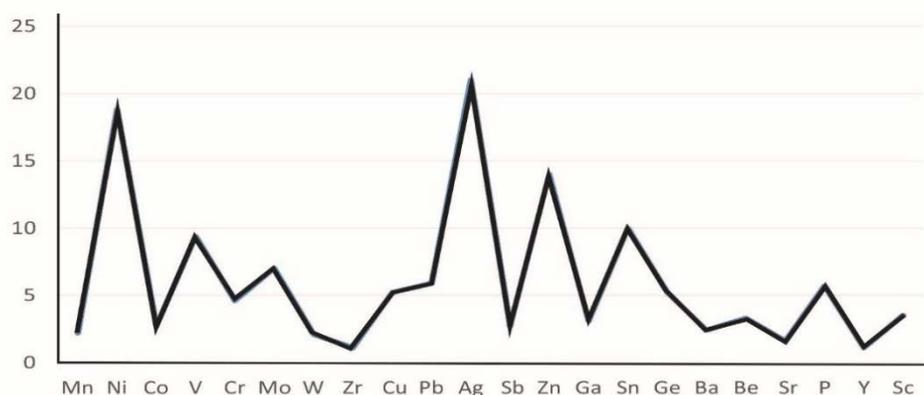
На рис.1 приведены вариационные диаграммы коэффициента концентрации малых элементов в углях месторождения Фан-Ягноб. Как видно, эти величины для двух площадей неравнозначны и колеблются от 0,8 до 21,0. Наибольшими колебаниями и сравнительно значительными величинами коэффициента концентрации характеризуются угленосные образования Восточной площади, где они наиболее высоки для Ni, Ag, Zn, Sn и Ge (до 20 и более). Сравнительно стабильны коэффициенты концентрации для Западной площади, где отмечается аномально высокий коэффициент только одного элемента – олова (более 50) [4,5].

Отмеченные выше отличия в коэффициентах концентрации малых элементов в углях Восточной и Западной площадях, судя по всему, связаны с особенностями геологического строения, рудогенеза и угленосности этих площадей.

Как видно из кривых вариации содержания малых элементов в зависимости от зольности углей Восточной площади каменноугольного месторождения Фан-Ягноб (рис.2), в золах этих углей отмечается повышенные концентрации цинка, бария, фосфора, ванадия, хрома, никеля и марганца, колеблющиеся в пределах от 0,15 до 760 г/т. Хотя эти данные в целом коррелируются с данными в углях месторождения Фан-Ягноб (рис.1), все же отмечаются и отличия в содержании некоторых элементов (олово, серебро, фосфор и др.) что, по-видимому, связано с подвижностью и летучими их свойствами. Такие элементы как галлий, фосфор и ртуть концентрируются в основном в низкозольных углях ($A^b < 20\%$); молибден, барий, цирконий равномерно распределены во всех разностях углей.

Оценка угольных пластов 6, 9, 12 на содержание германия осуществлена посредством определения значений прогнозных показателей (табл. 1). К числу потенциально перспективных относятся пласты 9 и 13. Перспективным на германовое оруденение может быть признан пласт 12, значения прогнозных геохимических показателей которого равны или на порядок выше аналогичного показателя германия угольного месторождения Ангрэн.

В целом по углям Западной площади



В целом по углям Восточной площади

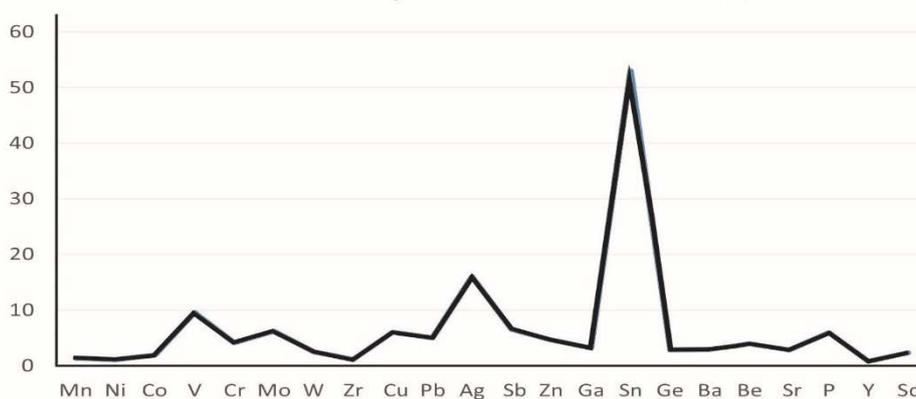


Рисунок 1 – Вариационные диаграммы коэффициента концентрации малых элементов в углях месторождения Фан-Ягноб.

Таблица 2 – Содержание малых элементов в углях различной зольности Восточной площади месторождения Фан-Ягноб (г/т)

Пласт	13	12	9	8
Кол-во проб	2	3	9	2
Зольность A ^b (%)	20	30	10	10
Ti	н/об	9,11	99	340
Mo	1,7	3	2	0,8
W	0,6	6	н/об	н/об
Zr	н/об	11	9	10
Cu	24	14	8	12
Ag	0,15	3	0,04	0,2
Zn	380	37	9	34
Sb	0,3	0,3	0,06	0,4
Ge	0,3	0,3	0,06	0,4
Ga	1,9	н/об	0,8	1,2
Ba	104	н/огр	64	116
Sr	38	72	10	19
P	760	280	106	485
Y	4,2	2	4	02
Sn	4,2	н/об	08	н/об
Hg	н/об	н/об	н/об	н/об
Be	2,1	7	0,4	0,6
V	47	352	15	24

Co	12	12	4	3
Ni	24	64	17	15
Pb	22	24	4	9
Cr	11	777	21	24
Mn	76	557	52	31
н/об		12	2	н/об

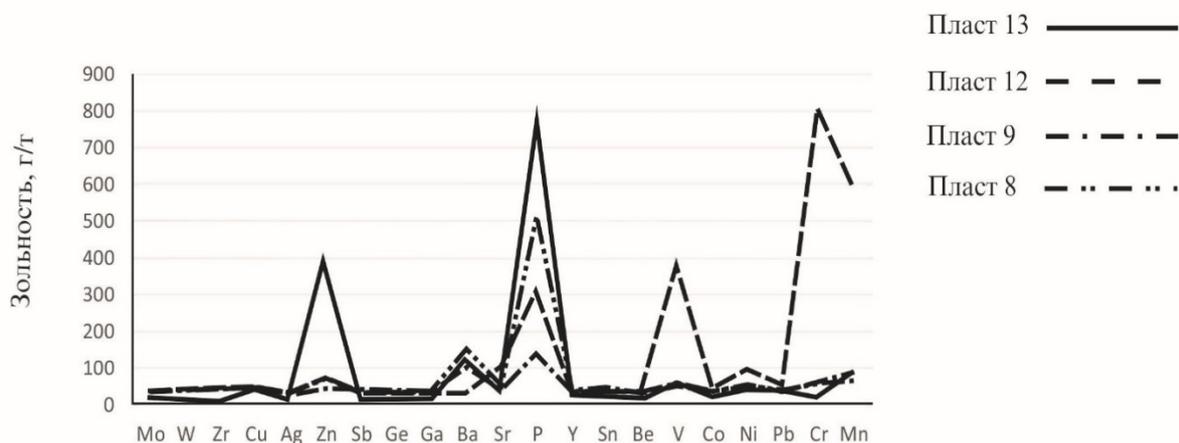


Рисунок 2 – Вариации содержания малых элементов в зависимости от зольности углей Восточной площади.

По распределению значений коэффициента концентрации и прогнозных показателей в пределах 12 угольного пласта околонура площадь, в пределах которой возможно обнаружение промышленных концентраций германия.

Происхождение высоких концентраций сурьмы и мышьяка в углях месторождения Фан-Ягноб объясняется расположением месторождения в пределах Зеравшано-Гиссарского сурьмяно-ртутного пояса. Наличие в обрамлении депрессии месторождений и рудопроявлений олова обуславливает высокие концентрации этого металла в угольных пластах; со вмещающими сланцами палеозоя связаны повышенные содержания в углях скандия и ванадия. Происхождение высоких концентраций германия, бериллия, стронция, вольфрама могут быть, по-видимому, объяснены как синугольной термальностью, так и обогащенных этими элементами пород прилегающих площадей[4,5].

Литература

1. Мухамадиев П.А., Валиев Ш.Ф., Одинаев Ш.А. Особенности разработки месторождений в высокогорных условиях // Новые идеи в науках о земле. Материалы 12 Междунар. науч.-практ. конф. МГРИ-РГГРУ им. С. Орджоникидзе. М. 2015. С. 552-553.
2. Фозилов Дж.Н. История изучения угленосности Зеравшано-Гиссарской горной области и Дарваза // Геология и проблемы освоения недр республики Таджикистан. Материалы Респ. конф., посвященной 1310-летию Имоми Азама. Душанбе. 2009. С. 130-134.
3. Фозилов Дж.Н., Алидодов Б.А. Каменноугольные топливные отходы и перспективы их использования в Республике Таджикистан // Вестник ТНУ. 2014. №1-1(126). Душанбе. С. 266-268.
4. Фозилов Дж.Н. Особенности геологического строения и литологии каменноугольного месторождения Фан-Ягноб // Проблемы разработки месторождений полезных

ископаемых. Материалы Респ. науч.-практ. конф., посвященной Дню независимости Республики Таджикистан. Горно-металлургический институт Таджикистана. Чкалов. 2015. С. 34-37.

5. Брик М.И. Юрские отложения Центрального Таджикистана // Геология СССР. Т. 24. Таджикская ССР. Ч. 1. М.: Госгеолиздат, 1959.

УДК 551.50

ПРОГРАММНО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЗАХСТАНСКОЙ СЕТИ ГРОЗОПЕЛЕНГАЦИИ

THE SOFTWARE OF THE KAZAKHSTAN LIGHTNING DETECTION NETWORK

Шпади М.Ю., Инчин А.С., Шпади Ю.Р., Лозбин А.Ю.

inchinas@mail.ru, Lozbin@mail.ru

Институт космической техники и технологий, г. Алматы, Казахстан

Аннотация. В статье дается описание программного обеспечения казахстанской научной сети грозопеленгации (Kazakhstan Lightning Detection Network - KLDN), создаваемой в рамках проекта «Создать систему электромагнитных измерений для грозопеленгации и исследования атмосферно-литосферных связей». Приводится программная структура сети и описание программного обеспечения серверного и пользовательского.

Ключевые слова: грозопеленгация, молния, метод треугольников, программно-математическое обеспечение, низкочастотные электромагнитные возмущения.

Введение. С 2015 года в Казахстане создается распределенная научная сеть станций, выполняющих непрерывный процесс измерений напряженности электромагнитного поля вблизи поверхности Земли. Учитывая значительное повышение сейсмической активности на Земле, проблема научных данных и исследований в области атмосферного электричества и атмосферно-литосферных связей является актуальной как для горных районов Казахстана, так и в глобальном масштабе.

Данные о грозовой активности используются для научных исследований и для практических целей. Основные научные направления, заинтересованные в информации о грозовых разрядах:

- исследования глобальной электрической сети [1];
- исследования спрайтов и джетов в верхних слоях атмосферы [2];
- исследования литосферно-ионосферных связей [3];
- исследование сезонного и пространственного распределения грозовой активности;
- исследование атмосферного электричества;
- исследование возникновения гамма-излучения в атмосфере во время грозы [4];
- исследование связи электромагнитных возмущений с техногенными и естественными источниками изучения с привлечением спутниковых измерений.

Ключевые области экономики, заинтересованные в информации о грозовых разрядах:

- прогнозирование погоды: уточнение прогноза неблагоприятных погодных условий для общего предупреждения (в настоящее время в РК молнии фиксируются только визуально-слуховым методом);
- электроэнергетические компании: предварительное уведомление ремонтных групп о приближающихся штормовых угрозах и точное указание координат поврежденных опор линий электропередач для проведения оперативных ремонтных работ;

- повышение уровня проектирования путей прокладки новых линий электропередач за счет анализа уровня грозовой активности региона [5,6];
- авиационно-диспетчерская служба: уточнение и подтверждение радарных данных для изменение маршрута воздушного судна в условиях опасных гроз;
 - аэропорты: приостановка крайне рискованных операций, например, временное прекращение заправки топливом во время ударов молнии;
 - добыча нефти и газа: выбор электрически наиболее безопасных маршрутов прокладки трубопроводов и мест нефтехранилищ [7];
 - геологоразведка: информация о молниях используется для помощи поиска нефти, газа, вода, минералов и других природных ресурсов [8];
 - чувствительные к отключению питания промышленные объекты и производства: подготовка к прекращению подачи энергии из-за штормовых условий путем заблаговременного подключения резервного питания;
 - лесное хозяйство: оперативная отправка рабочих бригад к предполагаемым источникам пожаров.

Методология. Мониторинг проводится в длинноволновом диапазоне радиочастот (до 250 кГц).

Электромагнитная информация, непрерывно поступающая со станций, сохраняется в базе данных и далее используется для выявления сигналов молниевых разрядов и определения их параметров.

Алгоритм выделения молниевых сигналов состоит в следующем. Собираются данные измерений об электромагнитных возмущениях с разных станций. Таких станций должно быть не менее 4-х и время зарегистрированных возмущений на них должно отличаться, например, не более, чем на 1 миллисекунду. В противном случае можно получить ситуацию расчета местоположения молнии по сигналам от различных молний. Для грубого выявления молниевых разрядов используется критерий превышения значения измеренного сигнала заданного уровня напряженности магнитного и электрического полей. Более тонкое сравнение принятых сигналов напряженности магнитного и электрического полей выполняется с помощью вычисления коэффициента корреляции Пирсона для каждой пары сигналов, принятых от разных станций.

После фиксации события молнии более чем на 3-х станциях производится расчет места и времени произошедшего разряда. Расчет выполняется в рамках сферической модели Земли методом треугольников, основанном на оценке разностей времени прихода молниевых сигналов на станции и подробно изложенным в работе [9].

Согласно этому методу все множество станций разбивается на группы из трех станций. В работе [9] показано, что задача определения молниевых разрядов для трех станций разрешима, однако имеет два решения, для вычисления которых выведены аналитические выражения. Рассматривая множество решений для всех групп, однозначно определяем среднее время и координаты разряда молнии. Данный метод реализован в программе *SolverLightning*, на которую получено авторское свидетельство РК [10].

В 2016 году были реализованы аппаратные и программные средства измерительного оборудования системы грозопеленгации, которые были установлены на нескольких станциях юго-восточной части Казахстана для проведения опытной эксплуатации. На рисунке 1 показан комплект измерительного оборудования в сборе и пример монтажа аппаратуры на измерительном пункте (станция Курты).

Программная структура казахстанской сети грозопеленгации. На рисунке 2 приведена блок-схема программной структуры сети грозопеленгации KLDN. Основными элементами структуры являются:

- центральный сервер грозопеленгации;
- измерительные станции;

- клиентское программное обеспечение (ПО) «Программа для грозопеленгации “KLDN”».

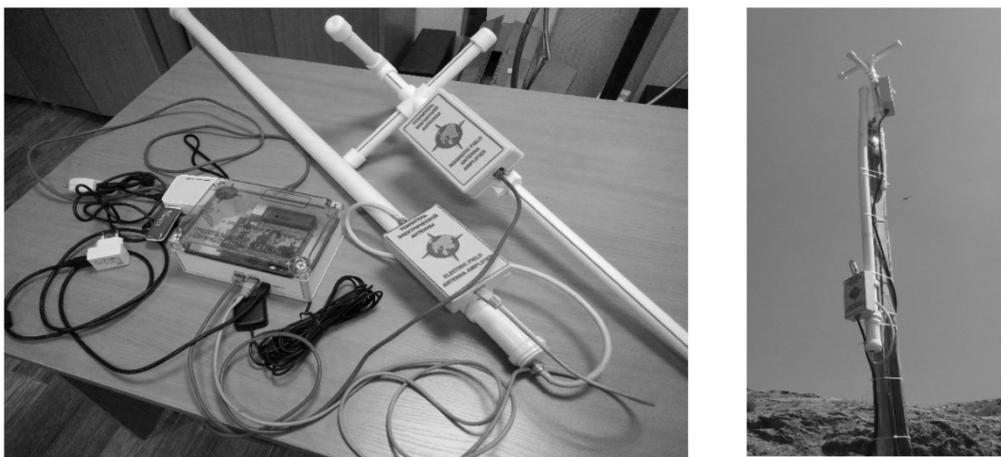


Рисунок 1 – Измерительное оборудование казахстанской сети грозопеленгации.

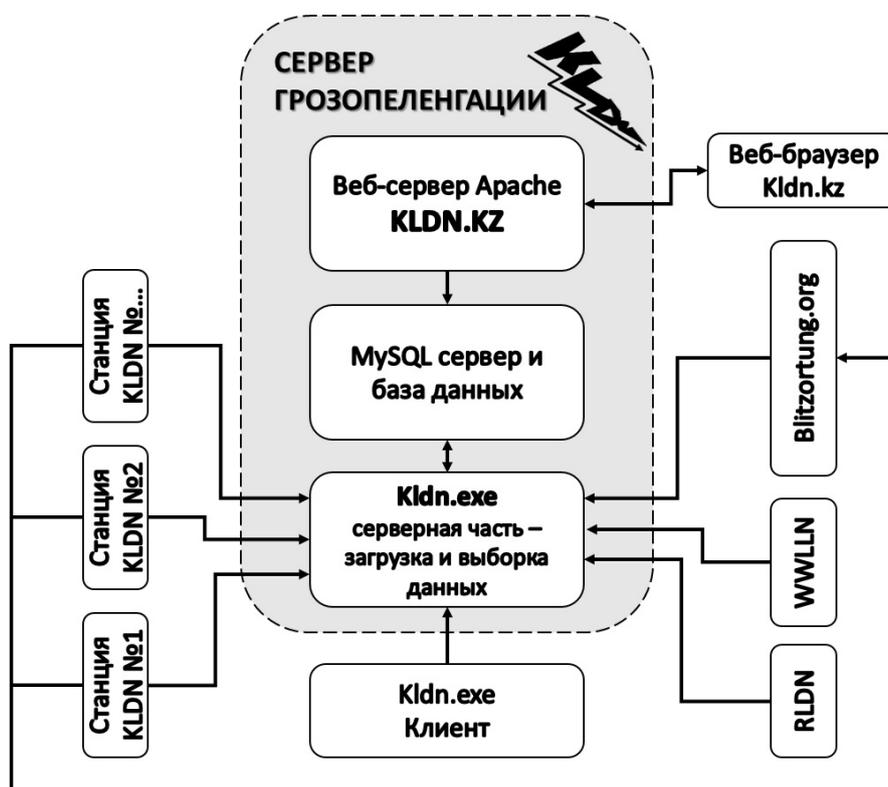


Рисунок 2 – Блок-схема программной структуры сети грозопеленгации.

Электрические и магнитные возмущения, превышающие заданный порог, отправляются по UDP протоколу на центральный сервер казахстанской сети грозопеленгации и на сервер проекта *Blitzortung.org*. На сервере KLDN реализованы веб-сервер, отвечающий за сайт *kldn.kz* (в настоящее время сайт используется только для внутреннего пользования), серверная часть программы KLDN, обеспечивающая загрузку и выборку данных, и MySQL-сервер для базы данных.

Серверная часть ПО «Программа для грозопеленгации “KLDN”» обеспечивает выполнение следующих функций:

- 1) сбор по UDP протоколу данных с магнитных и электрических датчиков казахстанской сети гронопеленгации и сохранение их в базе данных на центральном сервере;
- 2) расчет по методу треугольников местоположения и времени разряда молнии по собранным с датчиков сигналам;
- 3) сбор данных о разрядах молний сети Blitzortung.org;
- 4) сбор и обработка данных о разрядах молний сети Worldwide Lightning Location Network (WWLLN) [11];
- 5) сбор данных о разрядах молний с гронопеленгаторов компании Boltek (boltek.com), установленных в Российской Федерации;
- 6) сбор данных о разрядах молний сети Ереванского института физики (<http://www.crd.yerphi.am/>).

Клиентское ПО «Программа для гронопеленгации “KLDN”». Основное предназначение программы – предоставление пользователю полной информации о грозовой активности как в Республике Казахстан, так и за ее пределами за заданный временной отрезок и отображение этой информации на различных картах.

Клиентская часть ПО «Программа для гронопеленгации “KLDN”» имеет возможности выборки и обработки следующих данных:

- 1) о разрядах молний сети KLDN;
- 2) о разрядах молний сети Blitzortung.org;
- 3) о разрядах молний сети WWLLN;
- 4) о разрядах молний с гронопеленгаторов Boltek, установленных в Российской Федерации;
- 5) о разрядах молний сети Ереванского института физики;
- 6) отображение выбранной информации о молниях на различных картах (физической карте мира, спутниковой карте GoogleMaps и др.).

На рисунке 3 показан скриншот программы на примере выборки данных за 4 декабря 2016 года. Выборка была произведена по данным сети WWLLN (светлые значки) и сети KLDN (темные значки) за период с 6 до 12 часов (UTC).

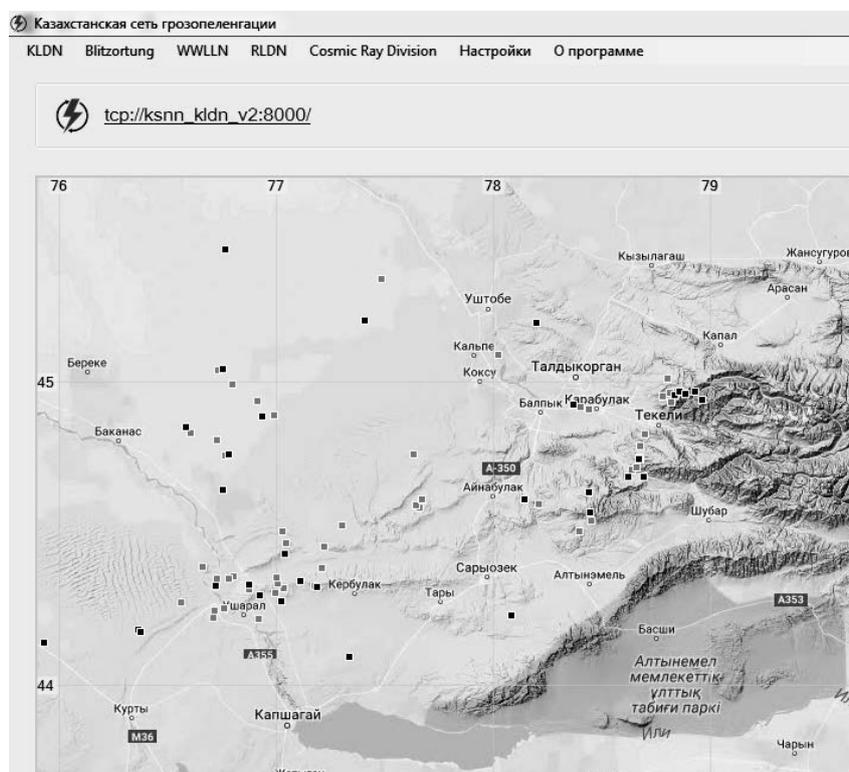


Рисунок 3 – Скриншот программы KLDN с примером выборки данных за 4 декабря 2016.

При выборке молний по данным казахстанской сети гронопеленгации, пользователь может варьировать следующие параметры:

- 1) период времени, за который производится расчет молний (последние 10, 20 или 30 минут, последний час, последние 2 часа или пользовательский период);
- 2) минимальное количество станций, участвующих в расчетах (не менее 4-х);
- 3) максимальная разность во времени начала возмущения;
- 4) минимальная и максимальная долгота и широта рассматриваемой территории;
- 5) максимальная погрешность местоопределения молнии (в километрах).

Также, реализована возможность экспорта результатов расчета в форматы *.kml, *.kmz или *.csv для дальнейшей обработки и анализа.

По каждой молнии возможен просмотр волновой и спектральной формы всех сигналов, по которым был произведен расчет этого события (рисунок 4).

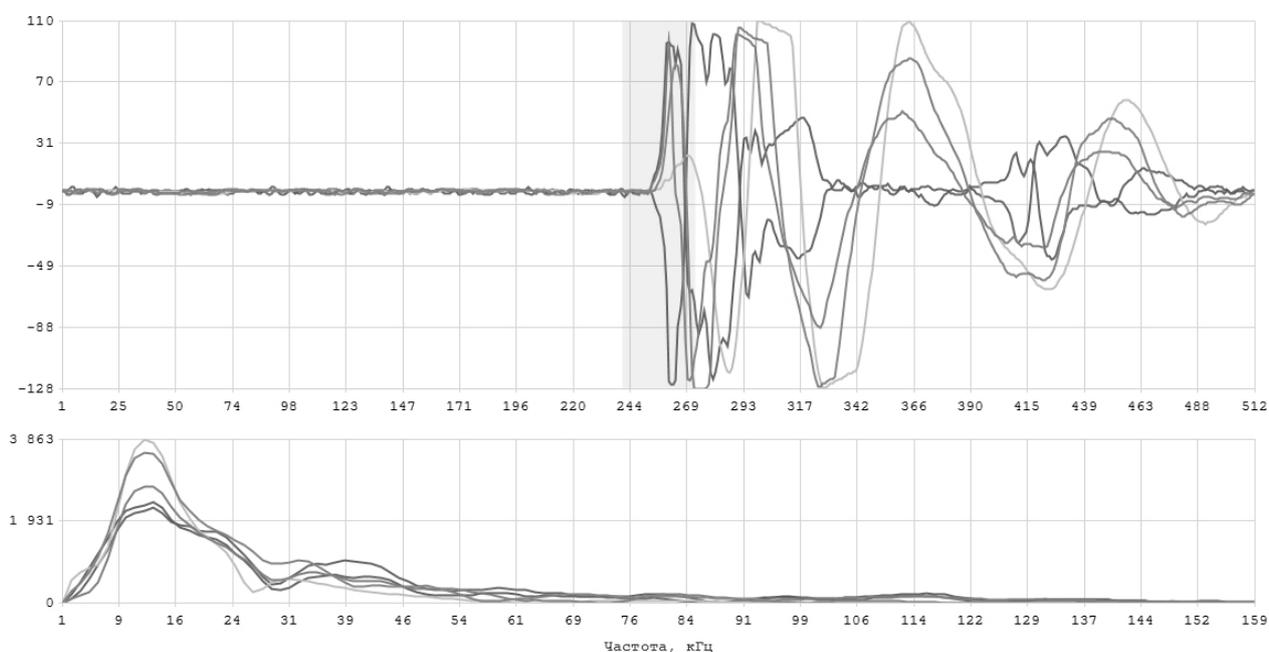


Рисунок 4 – Пример волновой и спектральной формы сигнала, используемого для расчета параметров молнии.

Реализована возможность просмотра волновой и спектральной формы всех сигналов с датчиков, превышающих заданный порог, даже тех, которые не участвовали в расчете молний. Данная функция может быть полезна, например, при научных исследованиях атмосферного электричества.

Заключение. В настоящее время реализовано программное обеспечение казахстанской научной сети гронопеленгации, которое позволяет собирать, накапливать, обрабатывать и визуализировать информацию, связанную с грозовой активностью в юго-восточном регионе Казахстана и сопредельных территориях. Сеть функционирует в тестовом режиме и планируется до конца 2017 года ввести ее в эксплуатацию. Пользователи получают доступ ко всей интересующей их грозовой информации на сайте www.kldn.kz, либо с помощью клиентской программы.

Работа выполнена по программе 217 «Развитие науки», подпрограмма 102 «Грантовое финансирование научных исследований в рамках темы «Создать систему электромагнитных измерений для гронопеленгации и исследования атмосферно-литосферных связей» (грант 0100/ГФ4, регистрационный номер (РН) 0115РК00434).

Литература

1. Hutchins M.L., Holzworth R.H., Brundell J.B. Diurnal variation of the global electric circuit from clustered thunderstorms // *Journal of Geophysical Research: Space Physics*. 119 (1). P. 620-629.
2. Jehl A., Farges T., Blanc E. Color pictures of sprites from non-dedicated observation on board the International Space Station // *J. Geophys. Res.: Space Physics*. Vol. 118. P. 454-461.
3. Harrison R.G., Aplin K., Rycroft M. Atmospheric electricity coupling between earthquake regions and the ionosphere // *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. 2010. № 72 (5-6). P. 376-381.
4. Hazelton B.J., Grefenstette B.W., Smith D.M., Dwyer J.R., Shao X.-M., Cummer S. A., Chronis T., Lay E.H., Holzworth R.H. Spectral dependence of terrestrial gamma-ray flashes on source distance // *Geophysical Research Letters*. Vol. 36, L01108.
5. Cummins K.L., Krider E.P., Malone M.D. The U.S. National Lightning Detection Network™ and Applications of Cloud-to-Ground Lightning Data by Electric Power Utilities. *IEEE transactions on electromagnetic compatibility*. 1998. Vol. 40. No. 4. P. 465-480.
6. Никитин Д. Системы грозопеленгации на страже электросетевого хозяйства // *Энергорынок*. 2010. № 6 (78). С. 17-20.
7. Chang J.I., Lin C.-C. A study of storage tank accidents // *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2006. V.19. P. 51–59.
8. Nelson H.R., et al. Method for Locating Sub-Surface Natural Resources. United States Patent US 8,344,721 B2, Jan. 1, 2013.
9. Lozbin A., Shpadi Yu., Inchin A. Triangles Technique for Time and Location Finding of the Lightning Discharge in Spherical Model of the Earth // *Journal of Geoscience and Environment Protection*. USA. 2016. 4. P. 125-135.
10. Свидетельство о государственной регистрации прав на объект авторского права №1281 от 27.06.2016.
11. Brundell R.L., Brundell J.B., Rodger C.J. VLF lightning location by time of group arrival (TOGA) at multiple sites Dowden // *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. 2002. V. 64. N 7. P. 817-830.

СОДЕРЖАНИЕ

ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ, ГЕОЭКОЛОГИЯ И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Айдаров Ф.А., Шозиёев Ш.П. АНАЛИЗ ЦИКЛИЧНОСТИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В РАЙОНЕ ВОДОХРАНИЛИЩА	4
Байкулов С.К. ГЕОЛОГИЯ КАЙНОЗОЯ И СЕЙСМИЧНОСТЬ СУУСАМЫРСКОЙ ВПАДИНЫ И ЕЁ ГОРНОГО ОБРАМЛЕНИЯ	8
Батирова Н.У. О ПОТЕНЦИАЛЕ ПРОДУКТИВНОСТИ И ДАЛЬНЕЙШЕМ НАПРАВЛЕНИИ ИЗУЧЕНИЯ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ПАЛЕОЗОЙСКОГО КОМПЛЕКСА УЗБЕКИСТАНА	16
Валиев Ш.Ф., Одинаев Ш.А. НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ЭКЗОГЕННО- ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В БАССЕЙНЕ РЕКИ ЯХСУ И СВЯЗАННЫЕ С НИМИ ГЕОРИСКИ	22
Воронцова Е.В. РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДУБЛЕТОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ	27
Гарибмахмадова С.Н. ДИНАМИКА ПРИВНОСА-ВЫНОСА КОМПОНЕНТОВ В ОКОЛОЖИЛЬНЫХ ИЗМЕНЕННЫХ МЕТАСОМАТИТАХ АМЕТИСТОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ СЕЛЬБУР (ЮЖНЫЙ ГИССАР)	29
Давлатшоев Д.А., Ошурмамадов А.К. ЖЕЛЕЗОРУДНЫЕ СКАРНЫ БАССЕЙНА РЕКИ КАФАНДАР НА ПРИМЕРЕ УЧАСТКА ГЛАВНЫЙ КСЕНОЛИТ (ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ТАДЖИКИСТАН)	36
Дзалба А.Л., Нелин В.О. ПРОБЛЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ГОРНЫХ УСЛОВИЯХ	40
Долгополов Б.К., Сычев В.Н., Имашев С.А. МЕТОДИКА МУЛЬТИФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА СИГНАЛА НА ПРИМЕРЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО ШУМА	46
Дубровин В.И. СЕТЬ СТАНЦИЙ ИНФРАЗВУКОВОГО МОНИТОРИНГА КАЗАХСТАНА	52
Имашев С.А., Сычев В.Н. ОЦЕНКА ПАРАМЕТРА ХЕРСТА СЕЙСМИЧЕСКОГО СИГНАЛА	56

Кайраткызы Дина, Андреев А. АНАЛИЗ ВАРИАЦИЙ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ В 1973-2015ГГ	65
Капытин В.И., Андреев А.Б. ПРОЯВЛЕНИЕ СЕЙСМОЭФФЕКТОВ В ИОНОСФЕРЕ ПО ДАННЫМ ДВУХЧАСТОТНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ НЕПАЛЬСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ	68
Комилов О.К., Гайратов М.Т. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЛЁССОВЫХ ПОРОД ДАНГАРИНСКОЙ ДОЛИНЫ (ЮЖНЫЙ ТАДЖИКИСТАН)	72
Лазарева Е.А., Мухамадеева В.А. О СВЯЗИ НАБЛЮДАЕМЫХ ВАРИАЦИЙ РАЗНОСТИ ПОЛНОГО ВЕКТОРА МАГНИТНОГО ПОЛЯ С СЕЙСМИЧНОСТЬЮ НА ТЕРРИТОРИИ БИШКЕКСКОГО ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО ПОЛИГОНА	76
Лашин О.А. РАЗРАБОТКА БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ И РЕГИСТРАЦИИ СИГНАЛОВ ДЛЯ ГЕОЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА С ШУМОПОДОБНЫМИ СИГНАЛАМИ	84
Лютикова В.С. РОИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КАК ОТКЛИК ЭНЕРГОНАСЫЩЕННЫХ СТРУКТУР ЗЕМНОЙ КОРЫ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ АСТРОФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ	92
Малосиева М.Т. ОТРАЖЕНИЕ ВИЗУАЛЬНО НАБЛЮДАЕМЫХ И СКРЫТЫХ РАЗЛОМОВ В ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЯХ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ СЕВЕРО-ТЯНЬ- ШАНЬСКОЙ СЕЙСМОГЕННОЙ ЗОНЫ	94
Мансуров А.Н., Сычева Н.А. ДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ УМЕРЕННЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ЦЕНТРАЛЬНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ	99
Мансуров А.Н., Сычева Н.А. АЛГОРИТМ ПОДГОТОВКИ ДАННЫХ ДЛЯ РАСЧЕТА ДОБРОТНОСТИ НА ОСНОВЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ОТНОШЕНИЙ ДВУХ СТАНЦИЙ	105
Матюков В.Е. ГЛУБИННЫЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИССЫК-КУЛЬСКОЙ МЕЖГОРНОЙ ВПАДИНЫ	108
Мирзаев М.А., Ибрагимова Т.Л. ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОГО МАКРОСЕЙСМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА В ЗОНАХ ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА НА ТЕРРИТОРИИ УЗБЕКИСТАНА	113

Мубассарова В.А., Богомолов Л.М., Закупин А.С., Пантелеев И.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ПРОЦЕСС АКТИВНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ ОБРАЗЦОВ МРАМОРА	120
Мукашева С.Н., Соколова О.И., Бурлаков Г.В., Качусова О.Л., Шарипова Г. АНАЛИЗ ГЕОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ И СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НА СЕВЕРНОМ ТЯНЬ-ШАНЕ ЗА ПЕРИОД 2010-2016 ГОДЫ	121
Мусрепов А.В., Соколов А.Н. СИЛЬНЕЙШЕЕ ГИНДУКУШСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 26 ОКТЯБРЯ 2015г.	129
Назаревич Л.Е., Нищименко И.М., Назаревич А.В., Олийнык Г.И. СЕЙСМИЧНОСТЬ БОРИСЛАВСКОГО НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕГО РАЙОНА	134
Одинаев Ш.А., Андамов Р.Ш., Набиев Н.Ф. ГЕОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РОССЫПНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА ДУЛЯБИ-САНГОУ (ЮЖНО ТАДЖИКСКАЯ ДЕПРЕССИЯ)	138
Ошурмамадов А.К., Валиев Ш.Ф., Алидодов Б.А. ЭВОЛЮЦИЯ ВУЛКАНИЗМА ЮЖНО ГИССАРСКОЙ ЗОНЫ	142
Рахмединов Э.Э. К ВОПРОСУ СЕЙСМИЧНОСТИ ЦЕНТРАЛЬНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ	148
Саламатина Ю.М., Кузиков С.И. РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ЗЕМНОЙ КОРЫ ПО GPS ДАННЫМ	153
Сералиев А.М. ИЗУЧЕНИЕ СЕЙСМО-МАГНИТНЫХ СВЯЗЕЙ ПО ДАННЫМ ГРУППИРОВКИ СПУТНИКОВ SWARM	160
Серикбаева Э.Б., Виляев А.В. ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ТЕКТОНИЧЕСКИХ РАЗЛОМОВ	166
Скулкин А.А. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОЛЯ НАПРЯЖЕНИЙ НА СОЛЯНОМ РУДНИКЕ В СОЛИКАМСКЕ	168
Сулайманов А.Б., Чарский В.П. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАКРИСТАЛЛОВ ПИРИТА НА МЕСТОРОЖДЕНИИ ТАЛДЫБУЛАК ЛЕВОБЕРЕЖНЫЙ	174
Тойшиев Н.С. СВЯЗЬ МЕЖДУ ГЕОМАГНИТНОЙ Z_{GSM} КОМПОНЕНТОЙ И M_{MAX} В РАЗЛИЧНЫХ СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКИХ РАЙОНАХ	178

Усупаев Ш.Э., Мамыров Э.М., Маралбаев А.О., Атыкенова Э.Э., Сычев В.В. ИНТЕГРАЛЬНАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ГЕОРИСКАМИ ЗОНЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА КУМТОР	182
Усупаев Ш.Э., Айтеков М-П. Б. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОНОМИЧЕСКАЯ ТИПИЗАЦИЯ ГЕОРИСКОВ ЛИТОСФЕРЫ ДАГЕСТАНА	188
Шозиёв Ш.П., Айдаров Ф.А. К ВОПРОСУ О РЕЖИМЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВИЗАЦИИ В ОБОБЩЕННОЙ ОКРЕСТНОСТИ СИЛЬНОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ (ПО ДАНЫМ КАТАЛОГА ТАДЖИКИСТАНА)	192
Эргешов И.М., Хамидов Х.Л., Хусомидинов А.С. ВОЗМОЖНОСТИ ИЗУЧЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ДВИЖЕНИЙ ВОСТОЧНОГО УЗБЕКИСТАНА С ПРИМЕНЕНИЕМ GPS-ТЕХНОЛОГИЙ	198
Юсупов В.Р., Абдуллабеков К.Н. ИССЛЕДОВАНИЕ АНОМАЛЬНЫХ ВАРИАЦИЙ ЕСТЕСТВЕННОГО ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ	200
ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ ОПАСНОСТИ	
Айдаралиев Б.Р., Садабаева Н.Дж. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ И ИНФРАСТРУКТУРЫ ОТ ОПОЛЗНЕЙ НА ТЕРРИТОРИИ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ	204
Алдыраман кызы Айкерим, Иманбеков С.Т. ЗАЩИТА НАСЕЛЕНИЯ ПРИ УГРОЗЕ И ВОЗНИКНОВЕНИИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ	207
Биримкулов Т.Р., Мамбетов А.М. СИСТЕМА РАННЕГО ОПОВЕЩЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ ПРИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ	211
Камчыбеков М.П., Егембердиева К.А., Камчыбеков Ы.П., Кынатова З.Р. КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ СЕЙСМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ В РАЗЛИЧНЫХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ	215
Коваленко В.А., Воробьев Д.А., Райымкулов М.А., Борисенко В.А. МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ МАССОВЫХ ВЗРЫВАХ С УЧЕТОМ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ ГОРНОГО МАССИВА	221
Коваленко В.А., Райымкулов М.А., Воробьев Д.А. МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗРЫВА РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ СКВАЖИННОГО ЗАРЯДА В МАССИВЕ	225
Кумарбекова Ж. К. УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ В ДЖУМГАЛЬСКОМ РАЙОНЕ НАРЫНСКОЙ ОБЛАСТИ	229

Скакальська Л.В., Назаревич А. В. ПОИСК ЗАЛЕЖЕЙ НЕФТИ И ГАЗА В РАЗРЕЗАХ СКВАЖИН ПО ДАННЫМ КАРОТАЖА	236
Смирнов С.Б., Ордобаев Б.С., Абдыкеева Ш.С. О МЕХАНИЗМЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ГРУНТА	239
Смирнов С.Б., Ордобаев Б.С., Абдыкеева Ш.С., Султанова А. М. ОСОБЕННОСТИ СЕЙСМОЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ	242
Тажибаев К.Т., Султангазиев Б.У. ИССЛЕДОВАНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ И ИХ ПРОЯВЛЕНИЙ	243
Тамбовцева А.Е., Молдоканов К.С. СИСТЕМА СИГНАЛИЗАЦИИ О РАЗРУШЕНИИ КРЕПИ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ	247
Усупаев Ш.Э., Молдобеков Б.Д., Орунбаев С.Ж. КАРТЫ САЙТ-ЭФФЕКТА И РАННЕЕ ОПОВЕЩЕНИЕ НАСЕЛЕНИЯ ГОРОДОВ О ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ	251
Ялымов Р.Н., Токтогул уулу Эльдияр УПРАВЛЕНИЕ ГОРНЫМ ДАВЛЕНИЕМ ПРИ ОЧИСТНОЙ ВЫЕМКЕ НА РУДНИКАХ КЫРГЫЗСТАНА	257
МЕХАНИКА	
Адигамов Н.С., Дьяченко Е.И. К ЗАДАЧЕ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ ЭФФЕКТОВ СТАРЕНИЯ МАТЕРИАЛА	261
Зулпуев А.М., Абдыкеева Ш.С. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАСЧЕТА ПЛОСКОСТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НЕСУЩИХ СИСТЕМ МНОГОЭТАЖНЫХ ДОМОВ МЕТОДОМ СОСРЕДОТОЧЕННЫХ ДЕФОРМАЦИЙ	264
Киблицкая А.С., Аскербекков И.Н. СИСТЕМА ОЧИСТКИ И СМАЗКИ ТЯГОВОГО КАНАТА ШАХТНОЙ ПОДЪЕМНОЙ УСТАНОВКИ	266
Кочемасов Р.Е., Муслимов А.П. РАЗРАБОТКА МЕТОДА И УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ НЕКРУГЛОСТИ (ПОГРЕШНОСТИ ФОРМЫ) И РАДИАЛЬНОГО СМЕЩЕНИЯ ЦЕНТРА МАСС ИЗДЕЛИЙ ТИПА ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ С МАЛОЙ МАССОЙ И ГАБАРИТАМИ	272
Кулагина М.А. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДЕФОРМАЦИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ ДИОРИТА ПРИ ТРЕХОСНОМ СЖАТИИ	275

Куприев Р.Н. О КИНЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРАХ МОДЕЛИ ДИНАМИЧЕСКОЙ СВЕРХПЛАСТИЧНОСТИ	279
Мамадалиева М.А., Сычев В.Н. ПРЕДЕЛ ПРОЧНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ОДНООСНОМ СЖАТИИ	284
Молчанов И.В., Дартаев Б.К. УНИВЕРСАЛЬНАЯ АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПОДАЧЕЙ ИНСТРУМЕНТА ГИДРОСУППОРТА ТОКАРНОГО СТАНКА, ПРЕДНАЗНАЧЕННАЯ ДЛЯ ЧЕРНОВОЙ И ЧИСТОВОЙ ОБРАБОТОК ДЕТАЛЕЙ	287
Ненахова И.В., Криулин Е.В. К ЗАДАЧЕ О МОДЕЛИРОВАНИИ И РАСЧЁТУ ДВУХЭТАЖНОГО ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ЖИЛОГО ДОМА ДЛЯ СЕЙСМООПАСНЫХ РАЙОНОВ	291
Нехорошева К.В., Муслимов А.П. РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ УСИЛИЯ И ПОДАЧ ГИДРОПРИВОДА СИЛОВОЙ ГОЛОВКИ	297
Ничков В.Н., Шакенова Ж.Н. РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ОБРАБОТКИ НЕЖЕСТКИХ ВАЛОВ	301
Резин П.М. О КРИТЕРИИ ПЛАСТИЧНОСТИ ПРИ РАСЧЕТЕ ТОЛСТОСТЕННЫХ ТРУБ	307
Степанова Ю.Ю. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УПРУГИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕСЧАНИКА	311
МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ	
Асанов Б.Д., Кожобаев К.А. СОВРЕМЕННАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАССЕЯННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ВОДЕ - НА ПРИМЕРЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАДМИЯ В ВОДАХ РЕКИ НАРЫН	316
Аязбаев Г.М., Быкаев Р.Ж., Инчин П.А., Лозбин А.Ю. АППАРАТНАЯ И ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ СБОРА И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА	321
Балдук Р.А., Врублевский Д.А. ПРОКЛАДКА ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ В УСЛОВИЯХ ГОРНОЙ МЕСТНОСТИ	326
Гейбель Ю.А., Муслимов А.П. РАЗРАБОТКА МЕТОДА И УСТРОЙСТВО АВТОМАТИЧЕСКОГО СЧЕТА ИЗДЕЛИЯ И НАЛИЧИЯ ФАСКИ В ИЗДЕЛИЯХ ТИПА ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ	332

Гесь В.П., Сычева Н.А. КЛАСТЕРИЗАЦИЯ НОВОСТНОГО ПОТОКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ТЕКСТА	338
Забинякова О.Б. РЕШЕНИЕ СИСТЕМЫ ЛИНЕЙНЫХ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ КАК ОДИН ИЗ ЭТАПОВ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ОДНОМЕРНОМ ПОЛУПРОСТРАНСТВЕ	341
Иванова Н.И., Аристархова А.О., Матюкова А.Е. ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПОЛИВА ПО БОРОЗДАМ ИЗ ЛОТКОВ – ОРОСИТЕЛЕЙ	350
Кожоголова А.К. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ В ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМАХ	354
Лисимов М.О. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ХИМИЧЕСКОГО ТРАВЛЕНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ ПРИ ЕДИНИЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ	360
Макушева С.В., Андреев М.В. АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОЗДОРОВИТЕЛЬНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЕ ПОЖИЛЫХ ЛЮДЕЙ	367
Маликов Н.В., Демиденко А.П. АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАИБОЛЕЕ ВЫГОДНЫХ РАЙОНОВ ДЛЯ ОТКРЫТИЯ БИЗНЕСА НА ОСНОВЕ DATA MINING КЛАСТЕРИЗАЦИИ	373
Мамахатов Т.М. РОЛЬ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА В ЭКОНОМИКЕ РОССИИ	375
Мамедгасанов Р.М., Ташкулов Д. М. ОБЛАЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ЗАДАЧИ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ	378
Мурзабекова Д.У, Касымакунова М.С. СПОСОБЫ ПОСТРОЕНИЯ СЕТИ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИИ ПАССИВНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ (PON)	382
Мусуралиева Д.Н. БАЗА ДАННЫХ ЗООНОЗНЫХ ИНФЕКЦИЙ, ВЫЯВЛЕННЫХ У ГРЫЗУНОВ НА ТЕРРИТОРИИ ИССЫК-КУЛЬСКОЙ КОТЛОВИНЫ	389
Намазбек уулу Абдысамат, Коржов М.В., Хмелева И.В. АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ РЕКОМЕНДАЦИЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДА K-СРЕДНИХ	394
Сагындикова А.Ж. ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОвого ПОТОКА В ЗЕРНОСУШИЛКЕ ПРИ ИНДУКЦИОННОМ НАГРЕВЕ	397

Серазетдинова Б.З., Нью В.А., Шимов С.В., Бекбаулиева Н.Н., Суровцева Н.В. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ О ПОВЕДЕНИИ ЖИВОТНЫХ В СЕЙСМИЧЕСКИ АКТИВНОЙ ЗОНЕ КАЗАХСТАНА И КИТАЯ	401
Фозилов Дж.Н., Алидодов Б.А., Валиев Ш.Ф. ПРЕСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАМЕННОУГОЛЬНЫХ ТОПЛИВНЫХ ОТХОДОВ (НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН)	406
Шпади М.Ю., Инчин А.С., Шпади Ю.Р., Лозбин А.Ю. ПРОГРАММНО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЗАХСТАНСКОЙ СЕТИ ГРОЗОПЕЛЕНГАЦИИ	413