

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

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



**ЕЖЕГОДНАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СТУДЕНТОВ**

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ  
В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ**

**Материалы докладов  
VII Международной конференции молодых ученых и студентов**

**25-26 марта 2015 года  
г. Бишкек**

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

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

**ЕЖЕГОДНАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СТУДЕНТОВ**

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ  
В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ**

**Материалы докладов  
VII Международной конференции молодых ученых и студентов**

**25-26 марта 2015 года  
г. Бишкек**

**УДК 001**  
**ББК 30.6**  
**C56**

Ответственные редакторы: Герман К.А., Мухамадеева В.А.

**C56 Современные техника и технологии в научных исследованиях.** - Бишкек, 2015. – 233 с.

**ISBN 978-9967-12-472-1**

В сборник включены материалы VII 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, Казахстана, России и других стран, охватывающие исследования в области мониторинга геосреды, физики и механики горных пород, оценки сейсмического и геологического риска, и других научных направлений.

Издание рассчитано на студентов, аспирантов и специалистов по механике, геофизике и геологии.

Утверждено к печати  
Ученым советом ФГБУН Научной станции  
РАН в г. Бишкеке

**УДК 001**  
**ББК 30.6**

**C 1401010000-15**  
**ISBN 978-9967-12-472-1**

©ФГБУН Научная станция РАН в г. Бишкеке

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

© Коллектив авторов, 2015

# ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ, ГЕОЭКОЛОГИЯ И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

## ИЗМЕРЕНИЕ ТАНГЕНСА УГЛА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ПРИ РАЗРУШЕНИИ ГЕОМАТЕРИАЛОВ

Асаналиев А.С.

тел.: +996 555-05-66-44; e-mail: [arman\\_as@mail.ru](mailto:arman_as@mail.ru)

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Научная станция  
Российской академии наук в г. Бишкеке, Киргизия

**Введение.** Исследование геоматериалов в лаборатории моделирования энергонасыщенных сред ИС РАН производится с помощью измерений механических, акустических и электрических характеристик. К электрическим характеристикам материала относятся: диэлектрическая проницаемость, удельное сопротивление, тангенс угла диэлектрических потерь. Угол диэлектрических потерь является важной характеристикой горных пород, представляющей собой величину, определяющую способность горной породы рассеивать энергию электрического поля и время установления поляризации, показывающее, на какие частоты электрического поля горная порода интенсивно реагирует. В настоящее время достаточно хорошо изучена и теоретически описана зависимость угла диэлектрических потерь горных пород от температуры [1], от частоты внешнего электрического поля [2], а также от их химического состава [3]. Связь тангенса угла диэлектрических потерь с физической деформацией материала является малоизученной. Изучение этой зависимости и является одной из целей планируемых экспериментов.

**Постановка задачи.** В электрическом конденсаторе с идеальным диэлектриком, т.е. диэлектриком без потерь, вектор тока  $I_c$  опережает вектор напряжения на  $90^\circ$ . В реальных диэлектриках угол между током, протекающим через емкость, и напряжением меньше  $90^\circ$  за счет потерь, которые вызывают протекание активного тока  $I_a$ , совпадающего по фазе с напряжением. Угол  $\delta$ , дополняющий угол сдвига фаз между током и напряжением до  $90^\circ$ , называется углом диэлектрических потерь.

Тангенс угла диэлектрических потерь — отношение мнимой и вещественной части комплексной диэлектрической проницаемости:

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{\varepsilon_{im}}{\varepsilon_{re}} = \frac{\sigma}{\omega\varepsilon_a}$$

Тангенс угла потерь определяется отношением активной мощности  $P_a$  к реактивной  $P_p$  при синусоидальном напряжении определённой частоты. Величина, обратная  $\operatorname{tg}\delta$ , называется добротностью конденсатора. Термины добротности и тангенса угла потерь применяются также для катушек индуктивности и трансформаторов [4].

В предстоящих экспериментах планируются измерения тангенса диэлектрических потерь горных пород, например, мрамора и гранита, являющихся диэлектриками.

Измерение тангенса угла диэлектрических потерь производится с помощью цифрового LCR-метра АКТАКОМ АМ-3001. Подключение образца к прибору осуществляется через коаксиальный кабель. На конце кабеля для подключения к образцу находятся графитовые электроды. Электроды плотно прижимаются к образцу с помощью резинового хомута.

Для автоматизации процесса измерения было написано программное обеспечение на языке C++, реализующее управление прибором и сбор данных через параллельный интерфейс RS-232. Для работы с ним использована библиотека «RS-232 forLinux, FreeBSDandWindows». Программа представляет собой консольное приложение (рис. 1). Она последовательно меняет значение частоты и считывает значения тангенса диэлектрических потерь с частотой повторения 1 раз в минуту в течение заданного промежутка времени. Считывание значений

производится на 5 частотах: 100 Гц, 120 Гц, 1 кГц, 10 кГц и 100 кГц. Данные для настройки параметров соединения с Com-портом хранятся и считываются из файла «Params.txt».

При тестировании программного обеспечения был откорректирован алгоритм измерения величины: данные считываются 3 раза на каждой частоте с интервалом 1 секунда и затем усредняются. Полученные графики значений тангенса угла диэлектрических потерь образцов гранита Мансуровского месторождения (Россия) представлены внизу на рис. 2 - 4.

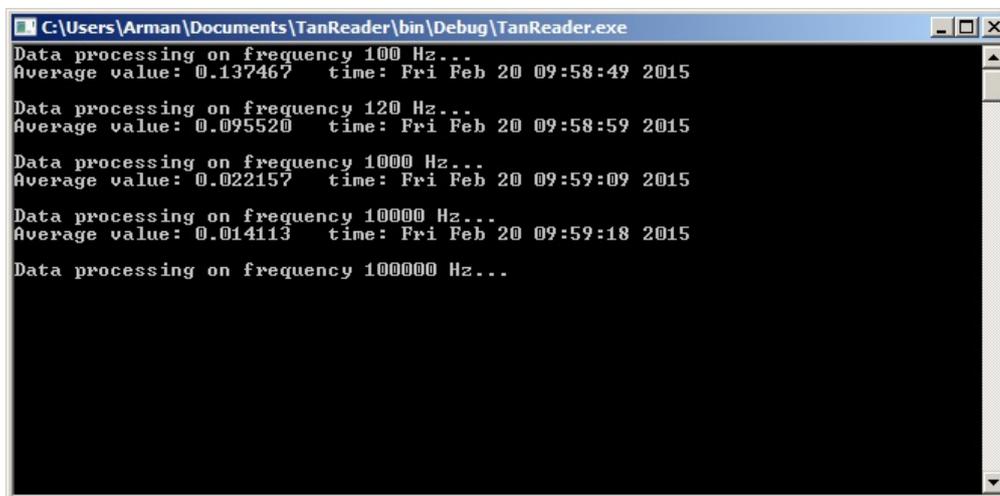


Рис. 1. Работа программы TanReader.

При 100 Гц (рис. 2) измерение тангенса дает большую вариацию результатов даже с усреднением.

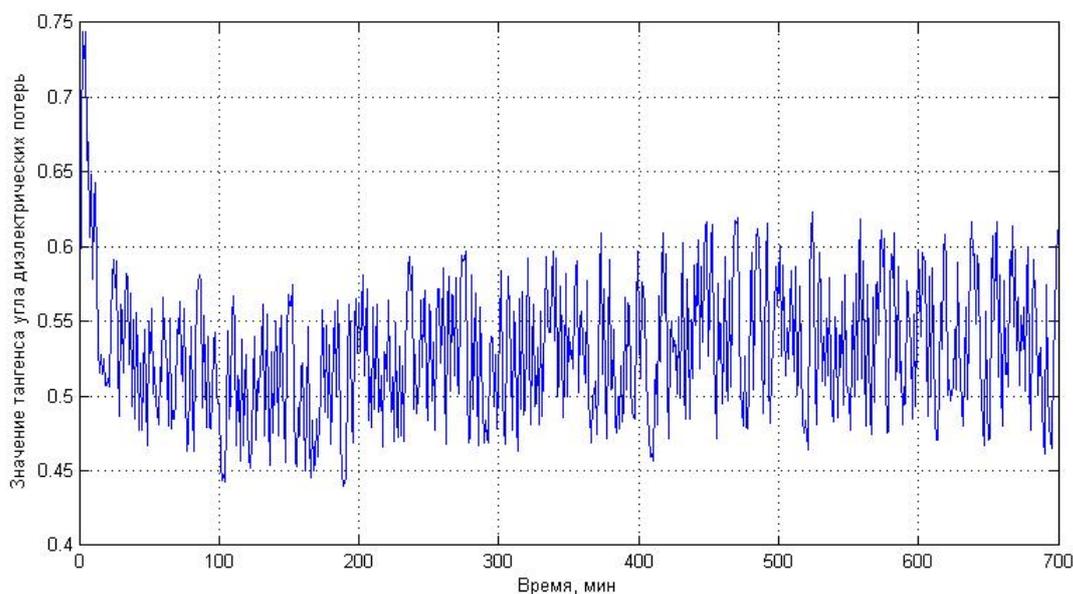


Рис. 2. Измерения тангенса угла диэлектрических потерь при 100 Гц.

На более высоких частотах отклонения значения тангенса уменьшаются, и величина сходится к одному значению. На рис. 3 представлен график для частоты измерения 120 Гц.

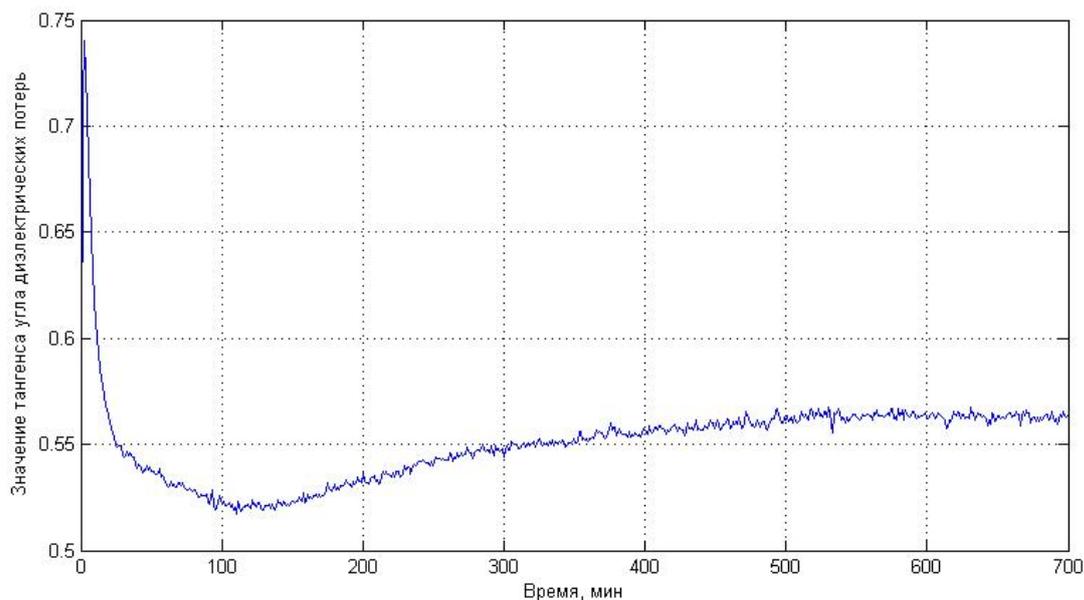


Рис. 3. Измерения тангенса угла диэлектрических потерь при 120 Гц.

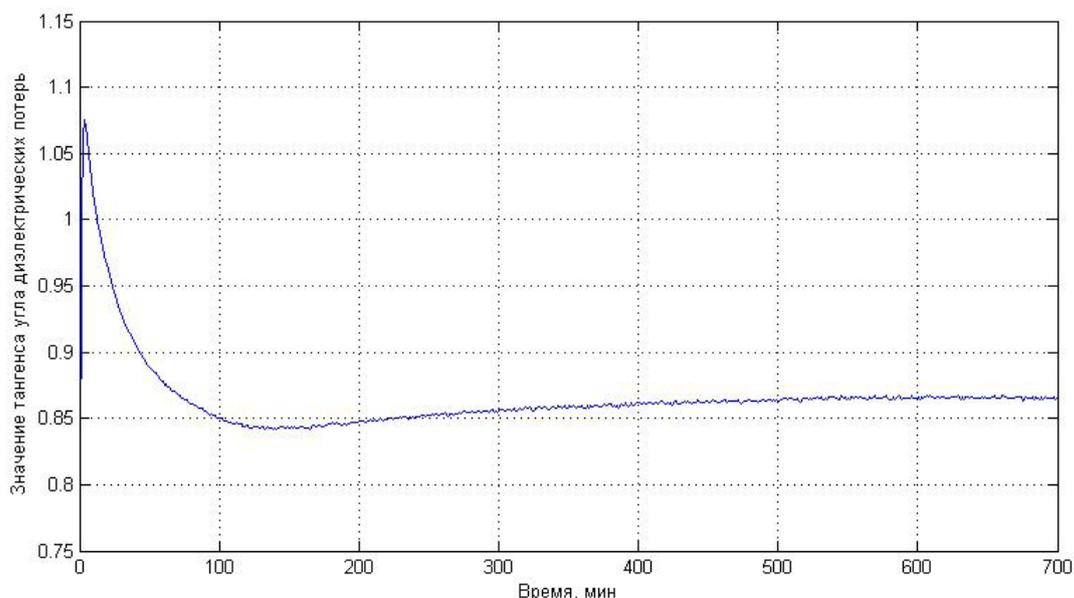


Рис. 4. Измерения тангенса угла диэлектрических потерь при 1 кГц.

При этом графики на всех частотах имеют сходный характер изменения величины: вначале на всех присутствует всплеск величины, затем плавно уменьшающийся и стабилизирующийся. Это обусловлено температурной стабилизацией работы прибора АКТАКОМ. Дальнейшие незначительные изменения могут быть объяснены температурной зависимостью тангенса угла диэлектрической проницаемости [1,2,3].

Разработанный и протестированный комплекс для регистрации тангенса угла диэлектрических потерь будет использоваться в исследованиях влияния электромагнитных полей на процесс деформирования кристаллических диэлектриков (образцов горных пород) наряду с акустоэмиссионными и деформационными измерениями.

**Заключение.** В данной работе было разработано программное обеспечение для автоматизации работы с цифровым LCR-метром АКТАКОМ АМ-3001, была рассмотрена проблема измерения тангенса угла диэлектрических потерь, изучены уже полученные результаты в этой области. Было проведено тестирование программного обеспечения на конденсаторах и материалах горных пород. В ходе тестирования были получены

высокоточные результаты регистрации тангенса угла диэлектрических потерь образцов гранита. Разработанный комплекс готов к использованию в дальнейших экспериментах лаборатории.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дортман Н.Б. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых. М.: Недра. 1984. 455 с.
2. Воробьев А.А., Тонконогов М.П., Векслер Ю.А. Теоретические вопросы физики горных пород. М.: Недра. 1972. 150 с.
3. Гусейнов А. А. Исследование электропроводности минералов класса слоистых силикатов и горных пород в зависимости от температурного и кристаллохимического факторов. Дис. ... доктор физ.-мат. наук. Москва: ИФЗ. 2012. 362 с.
4. Петров К. С. Радиоматериалы, радиокомпоненты и электроника. СПб.: Питер. 2003. 506 с.

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ НАВЕДЕННОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ ПРИ ОПИСАНИИ ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ СРЕДЫ «ГРУНТ-ЖИДКОСТЬ»

Бекмаганбетова Д. А.

тел.: 87019128747; e-mail: [rabat747@mail.ru](mailto:rabat747@mail.ru)

Казахская автомобильно-дорожная академия им. Л.Б.Гончарова, г. Алматы, Казахстан

В своем естественном состоянии среда «грунт-жидкость» может представляться как сложная существенно неоднородная слоистая среда, с набором реологических и физико-механических свойств, с развивающимися в ней неоднородностями случайного характера [1].

В процессе водонасыщения пылевато-глинистых грунтов увеличивается влажность (для набухающих – и пористость), уменьшается прочность, увеличивается деформируемость.

Для грунтов с кристаллизационными связями наряду с расклинивающим действием пленок воды происходит растворение минералов, увеличивается пористость и сжимаемость грунта.

Для территорий интенсивного строительства эта проблема становится особенно актуальной из-за нарушения естественного режима подземных вод. Изменяются параметры гидродинамики (скорость фильтрации, градиенты потоков, напоров), изменяются физические, прочностные, деформационные и фильтрационные свойства среды «грунт-жидкость». В зависимости от уровня влажности глинистые грунты обнаруживают разное деформационное поведение [5].

Модуль деформации однородных насыпных грунтов уменьшается при повышении влажности до полного водонасыщения на 14-25 % в зависимости от глубины. При этом определяют модуль деформации по таблицам в зависимости от показателя текучести  $I$  и коэффициента  $e$  пористости грунтов. Показатель текучести  $I$  связан с влажностью грунта [2]

$$I = (C - C_p)/(C_L - C_p) ,$$

где  $C$  - влажность грунта;  $C_L$  - влажность на границе текучести;  $C_p$  – влажность на границе раскатывания (пластичности).

При увеличении показателя  $I$  от 0,25 до 0,5 и, соответственно, влажности грунта, модуль деформации глинистых грунтов изменяется на 29-42 %.

Известно применение коэффициента снижения модуля деформации  $K$  как отношение модуля деформации при природной влажности к модулю деформации при полном

водонасыщении. При степени влажности 0,4-0,5  $K=1,7-2,7$ ; при степени влажности 0,6-0,7  $K=1,4-1,6$ ; при степени влажности 0,8-0,9  $K=1,2-1,3$ .

Для коричневого твердого карбонатизированного макропористого суглинка естественная влажность составляет 14,5 %, влажность при полном водонасыщении – 29,9 %, показатель текучести - меньше нуля, плотность сухого грунта – 1,5 г/см<sup>3</sup>, плотность – 1,7 г/см<sup>3</sup>, коэффициент пористости – 0,81, степень влажности – 0,49, модуль деформации при естественной влажности – 11 МПа, модуль деформации при полном водонасыщении – 6 МПа. При увеличении влажности в 2,06 раза модуль деформации уменьшился в 1,83 раза [5].

Модуль деформации сарматских и киммерийских глин после водонасыщения уменьшается более чем в три раза, хвалынских и аральских глин – в 1,5-2 раза. Для набухающе-усадочных грунтов модуль деформации может снижаться до 10 раз.

При степени влажности 17 % для бурого суглинка модуль деформации грунта равен 15,5 МПа, при влажности 24 % модуль деформации равен 4,1 МПа – уменьшается до четырех раз [2].

Типовой вид влияния влажности  $B$  среды «грунт-жидкость» на модуль деформации  $E$  для песка, супеси, суглинка и глины представлен на рисунке 1 [3].



Рис. 1. Зависимости влияния влажности среды «грунт-жидкость» на модуль деформации  $E$ .

Используется модель линейной зависимости модуля деформации грунта от влажности:

$$E(C) = (E_o - (C - C_o)) / d,$$

$$d = (C_n - C_o) / (E_o - E_n),$$

где  $C$  – влажность грунта;  $C_o$  – начальная влажность грунта;  $C_n$  – влажность, соответствующая полному водонасыщению грунта;  $E_o$  – начальный модуль деформации грунта;  $E_n$  – модуль деформации, соответствующий полному водонасыщению грунта.

Эти значения определяются при инженерно-геологических изысканиях. Однако из-за того, что даже в пределах одного участка среда «грунт-жидкость» обладает анизотропией и неоднородностью, невозможно обобщить результаты испытаний грунтов на одном участке на показатели грунтов на другом участке. Различный характер графиков зависимости модуля деформации среды «грунт-жидкость» от степени влажности объясняется различием грунтов по происхождению и генезису, разным диапазоном изменения влажности, практически для всех зарегистрирован нелинейный характер зависимости.

Расчетной моделью среды «грунт-жидкость» является некоторая условная среда, заменяющая реальный грунт, механические свойства которой считаются известными и удовлетворяющими требованиям, допускающим использование в расчетах методов механики.

К наиболее известным моделям относятся модель Винклера, модель Н.И. Фусса, модель с переменным коэффициентом жесткости, модель упругого однородного полупространства, модель П.Л. Пастернака, модель В.З. Власова и др.

Недостатком модели является отсутствие возможности учета нелинейного характера процесса деформирования среды под действием нагрузок и невозможность учета наведенной неоднородности деформационных свойств среды, вызванной внешними воздействиями, в том числе и повышением влажности. Эта особенность приводит к необходимости учета двойной нелинейности при построении математической модели среды «грунт-жидкость» - нелинейный характер деформирования и нелинейный характер изменения модуля деформации среды «грунт-жидкость» при изменении уровня влажности.

Данный класс задач относится к вопросам применения теории наведенной неоднородности при исследовании среды «грунт-жидкость», свойства которой не только не однородны, но и изменяются с течением времени под воздействием факторов климатического, техногенного или иного характера. Такой вид неоднородности и называют наведенной неоднородностью. Теория наведенной неоднородности развита в монографии В.В. Петрова, В.К. Иноземцева, Н.Ф. Синева [4].

Как развитие идей указанной статьи ставится задача построения математической модели системы «РЭЗМ – нелинейно-деформируемая многослойная среда «грунт-жидкость» с наведенной неоднородностью».

Важной особенностью исследуемых свойств среды «грунт-жидкость» является нарастающие с течением времени нарушения внутренних связей среды, изменение параметров нагрузки и агрессивности, как некоторый связный процесс, который может рассматриваться с позиции теории устойчивости процессов.

В рамках обеспечения единства представления научных и практических результатов исследования предлагается управленческая модификация использования инкрементальной теории наведенной неоднородности, уравнения которой записываются в приращениях (или скоростях). Инкрементальность определяется использованием приращений компонент тензоров напряжений и деформаций, причем их полные тензоры получаются суммированием найденных по этапам нагружения приращений и деформаций.

Для решения этих задач установлена возможность перехода от описания деформирования и деградации механических свойств среды «грунт-жидкость», как взаимосвязанного процесса эволюционного характера к применению принципов и процедур управления взаимодействием РЭЗМ в среде «грунт-жидкость» на основе пульсирующих адаптивных подналадок переменными корректирующими приращениями.

Это может быть основано на применяемой в этой теории суммы решений по шагам для минимума функционала в полных функциях. Вариационный принцип сводится к стационарности функционала. Решение в приращениях задачи о равновесии тела с наведенной неоднородностью доставляет этому функционалу минимум на множестве допустимых полей приращений перемещений. При этом задача сводится к исследованию устойчивости процесса деформирования среды «грунт-жидкость» при ее резании РЭЗМ и деградации ее механических свойств.

Информативным параметром среды «грунт-жидкость» выбирается влажность среды, который в доминирующей роли определяет состояние и изменение среды.

Использование инкрементальности позволяет деформирование среды «грунт-жидкость» описать последовательностью состояний равновесия  $S_0, S_1, S_n, S_{n+1}, \dots, S_f$ , где  $S_0$  – исходное (например, естественное, природное) состояние среды «грунт-жидкость». В природном состоянии среда имеет естественную влажность и естественное природное давление (например, в зависимости от глубины погружения под воду).  $S_f$  – конечное состояние, для которого решаются задачи определения напряженно-деформированного

состояния среды и взаимодействующего с ней РЭЗМ.  $S_n$  – произвольное промежуточное равновесное состояние, для которого известны параметры внешнего и внутреннего процесса: уровень приложенных нагрузок, уровень деградации среды «грунт-жидкость», тензоры напряжений и деформаций в точках среды, вектор перемещения точек объема. Также считаются известными состояния  $S_1, \dots, S_{n-1}$ . Каждое состояние называется шагом процесса.

На основе информации об известных состояниях  $S_n$  и найденных приращениях шага  $S_{n+1}$  получают переменные состояния  $S_{n+1}$ .

Алгоритм вычисления выполняет роль дискретизации непрерывной математической модели процесса деформирования.

Полагается, что воздействие увлажнения среды таково, что это приводит к увеличению деформаций по объему среды «грунт-жидкость» при неизменных напряжениях. Дополнительные деформации, вызванные увеличением сжимаемости увлажненной среды, приводят к снижению ее прочностных характеристик.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Недорезов И. А., Тындыбеков М. Т. Копание грунтов моделями бульдозерных отвалов под водой // Строительные и дорожные машины. 1980. № 3. С. 20-21.
2. Недорезов И. А., Дианов Х. А. Экспериментальные обоснования проектирования землеройных машин для работы под водой // Строительные и дорожные машины. 1987. № 6. С. 26-27.
3. Лобанов В.А. Новые фрезерные инструменты для подводной разработки грунтов // Строительные и дорожные машины. 1982. № 2. С. 23-25.
4. Недорезов И. А., Тургумбаев Ж. Ж. Исследование процесса резания грунтов под гидростатическим давлением // Строительные и дорожные машины. 1979. № 5. С. 8-9.
5. Рабат О.Ж. Теория и расчет параметров взаимодействия режущих элементов землеройных машин при разработке среды «грунт-жидкость»: Автореф. дисс. ... докт. техн. наук. Алматы: КазАТК. 2008. 39 с.

## О ВЗАИМОСВЯЗИ УРОВНЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД С КОЛЕБАНИЯМИ АТМОСФЕРНЫХ ЯВЛЕНИЙ КЫРГЫЗСТАНА

Бектурсунов Ж.З., Мамбетсадыкова А.А., Маметова Б.К.  
тел.: +996 772 66 13 80; e-mail: [joodar90@list.ru](mailto:joodar90@list.ru)  
Институт сейсмологии НАН КР, г. Бишкек, Кыргызстан

**Введение.** На режим подземных вод оказывают влияние сезонность функционирования источника их питания, фазовое состояние лунно-солнечных приливов и техническое изменение объема забора воды [1,2]. Экспериментальными работами, проведенными на базе ТМВ «Иссык-Ата», подтверждено единство их суточного хода и стабильности химического состава с солнечным затмением и техническим изменением дебита скважин: так, понижение дебита скв. 3 от 4,7 до 4,3 л/сек сопровождалось уменьшением компонентов до десятков мг-экв%. Как они полагают, на эту картину, наряду с многократной сменой дебита - уменьшения до 5,79 л/сек (11.05.2006), повышения от 7,04 до 10,54 л/сек (26.03.2006) и доведения снова до 10,40 л/сек (30.09.2006) наложили отпечаток подготовка и свершение Шамсинского (08.11.2006) с  $K_R=12,1$ , Кочкорского (25.12.2006) с  $K_R=14,2$  и Шамсинского (06.06.2007) с  $K_R=12,2$  землетрясений. Это отражено в скв. 3-к, а увеличение температуры в скв. 6-к на  $+0,9^{\circ}\text{C}$  в сентябре того же года приходится на Кочкорское событие (25.12.2006) с  $K_R=14,2$ , произошедшее в 109 км от них.

**Исходные данные.** В Кыргызстане в течение около 40 лет результатами режимных наблюдений за физико-химическими параметрами термоминеральных вод (ТМВ) Кыргызстана установлено (рис. 1), что большинству землетрясений  $K_R \geq 11,0$  ( $M \geq 4,0$ ) предшествуют аномальные флуктуации (%), дебита от 20 до 100, а pH,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Ca}^{+2}$  выше 10, уровня- от 0,3 до 1 м и температуры- до  $1^\circ\text{C}$ . При этом показано, что режим как верхнего, так и среднего структурно-гидрогеологических этажей в значительной степени определяется как естественными, так и техногенными факторами, что затрудняет выделение флуктуаций, связанных с геодинамическими процессами.

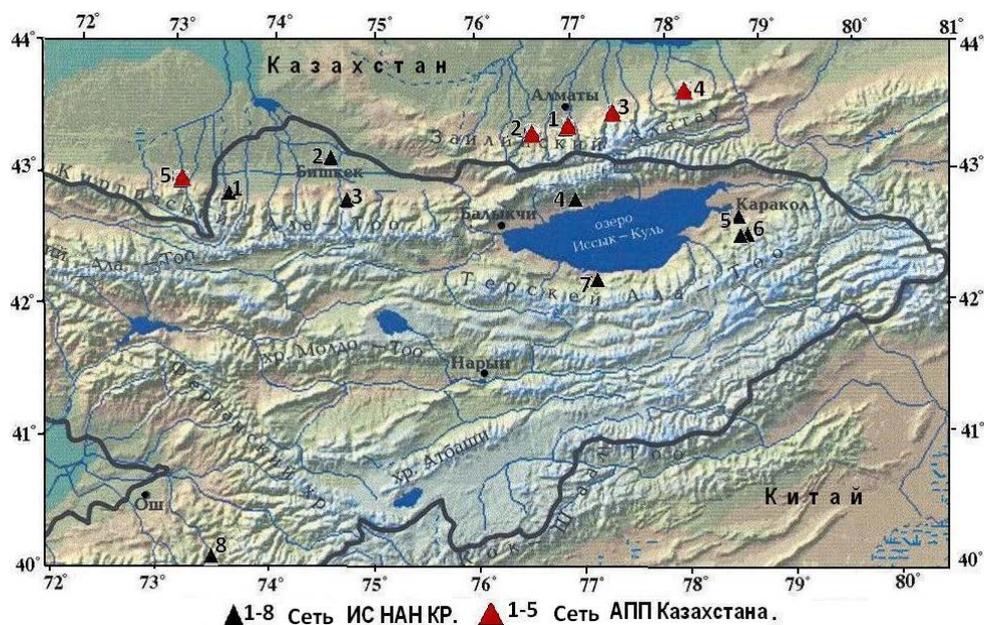


Рис. 1. Схема сейсмогидрогеологического мониторинга.

ИС НАН КР: 1- Эркин-Сай; 2 – Бишкек; 3- Аламедин- Иссык-Ата; 4- Кара-Ой; 5- Каракол; 6- Джети-Огуз; 7- Каджи-Сай; 8- Сопу-Коргон. Сеть Алматинского прогностического полигона: 1- Алма-Арасан; 2- Нижняя-Каменка; 3- Тау-Тургень; 4- Курам; 5- Мерке.

Поэтому вычислением по каждому параметру фоновых значений, среднеквадратичного отклонения, доверительных интервалов ( $\pm 2\sigma$ ), дисперсии (D), информационной энтропии (S), интегрального коэффициента корреляции ( $V_{\text{инт.}}$ ), включая спектрально-временное представление данных (СВАН) для составления карты мощности сигналов, выявлены тесные взаимосвязи между режимом химического состава ТМВ и водоотбором.

Нами, для выявления природы подземных вод по режимообразующим факторам, ниже представлены временные графики всех гидродинамических объектов (ГДО) Кыргызстана за 2012-2014 гг. [3]. Так, данные по температуре и уровню подземных вод ГДО «Сопу-Курган», где наблюдательным пунктом является родник, выходящий из-под четвертичных отложений, и «Эркин-Сай», основанный на неглубокой скважине (300 м), показывают, что на вариационных кривых, в основном, четко проявляется сезонная зависимость, на фоне которой перед землетрясениями с  $K_R > 12$  прослеживаются скачкообразные и короткопериодные всплески. Но по временным графикам родника ГДО «Сопу-Курган», несмотря на благоприятное местоположение, где ожидается возникновение сильных землетрясений, о сейсмической активизации однозначные связи отсутствуют. В целом для этого ГДО, как видно из рис. 2, свойственны сезонные связи с атмосферными процессами, проявляющиеся в виде ступенчатого хода, например, повышения гидродинамических параметров длительностью от 15-20 до 30 дней, а после летнего периода начинается снижение температуры на  $0,1-0,3^\circ\text{C}$ , достигая минимума в декабре-январе.

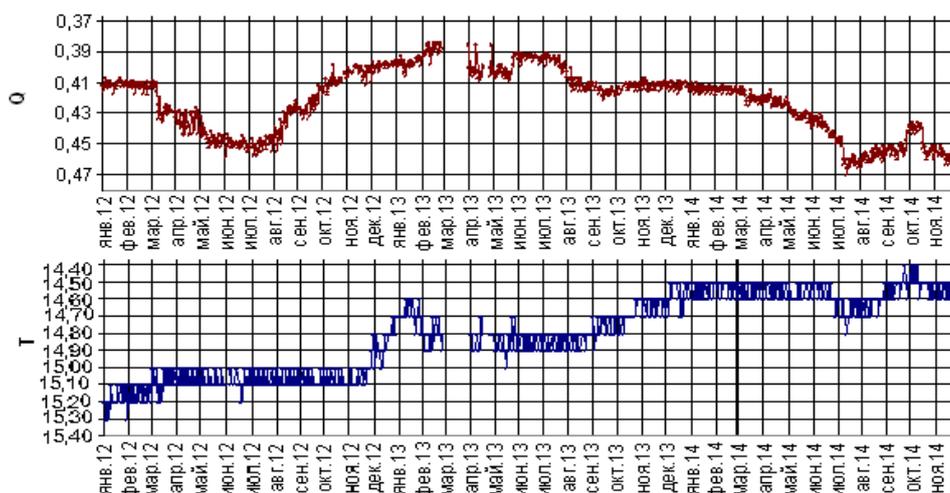


Рис. 2. Вариационные кривые временных рядов «Сопу-Курган».

Что касается ГДО «Эркин-Сай» (рис. 3), то уровень воды колеблется в широких диапазонах от 15,8 до 25,9-26,1 м, а средняя амплитуда варьирует от 9,5 до 10,2 м.

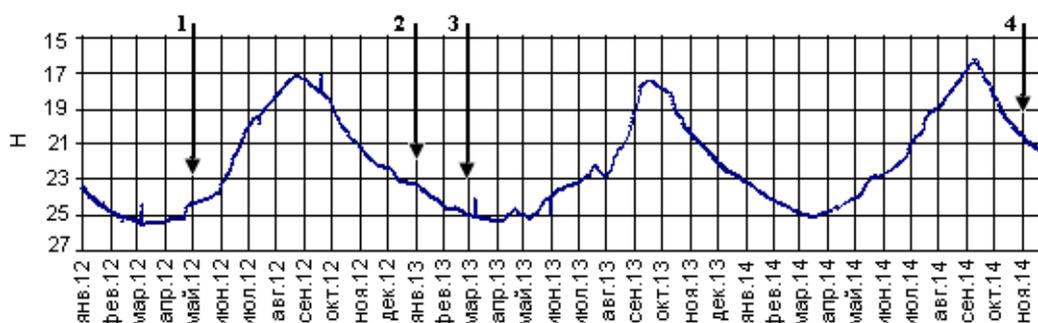


Рис. 3. Вариационные кривые временных рядов ГДО «Эркин-Сай».

Его временный ход, имея волнообразную форму, близко к дневной поверхности поднимается в летне-осенний период, а глубоко спускается зимой и ранней весной, проще говоря, максимальные значения УПВ наблюдаются летом и осенью, а минимальные – зимой.

По скважине 909 «Аламедин» отмечается понижение уровня воды в виде мигающих импульсов в среднем на 15 см и повышение дебита от 1,5783 до 1,6128 л/сек при сопровождении колебаний избыточного давления от 86,2 до 84,4 кгс/см<sup>2</sup>. Эта обстановка зафиксирована перед землетрясением с  $K = 10,8$ , произошедшим 28.03.2012 г., хотя практически на все толчки с  $K_R \geq 12$  (рис. 4) в 2012-2014 гг. имеются их реакции на фоне сезонной цикличности, что, возможно, связано с природой формирования и развития тектонических блоков.

На рис. 5 показан временный ход уровня воды неглубокой скважины «Кара-Ой», по которому видны противофазные вариации к гравитационным полям Луны и Солнца, а также прямые связи с сезонными явлениями, тогда как в аналогичных показателях скважины «Бишкек» наблюдается внутри одной геодинамической системы взаимодействие геологической среды и гидрогеологических условий, нежели внешние факторы.

В целом на этом фоне преобладает общая тенденция понижения уровня воды в скважине «Бишкек» при запаздывающих проявлениях, связанных с сезонностью года, что, по нашему мнению, связано с ухудшением технического состояния скважины: если в 2012 году его максимум приходился на март-июнь, то пик, установленный на глубине 238,5- 238,1 м в 2013 году - на лето.

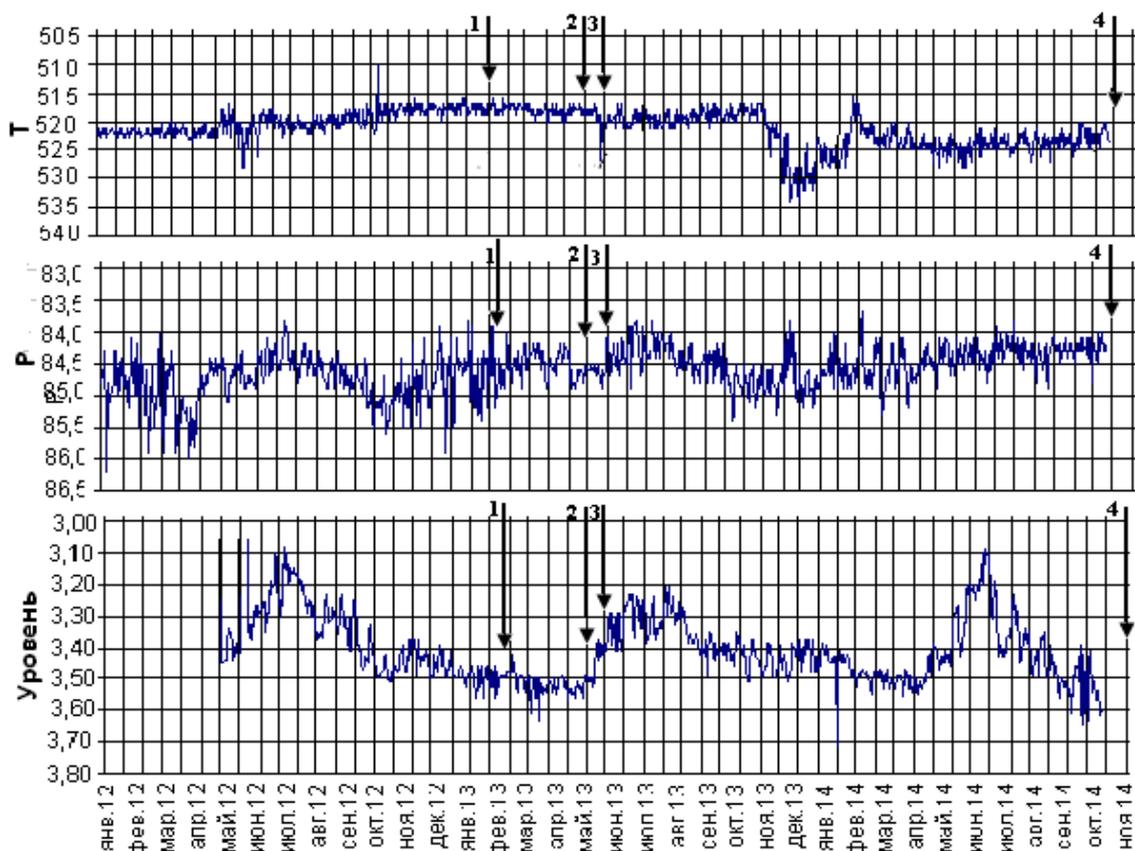


Рис. 4. Вариации гидродинамических параметров скв. 909 «Аламедин».

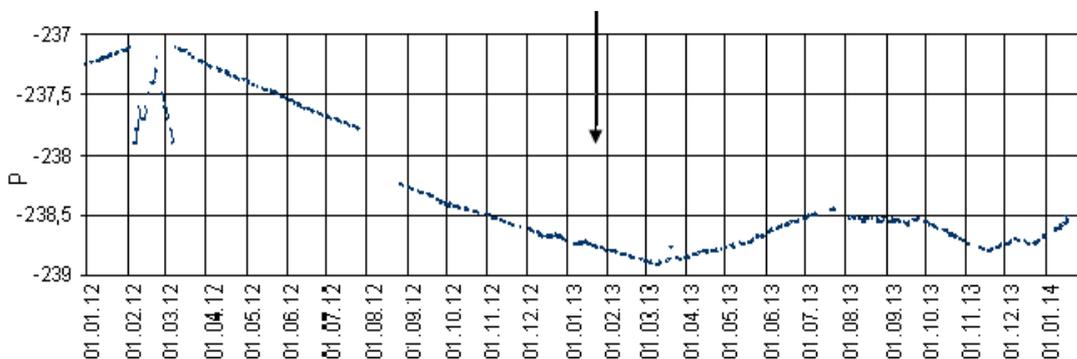


Рис. 5. Временный график уровня подземной воды «Бишкек».

Также проанализированы знаки и амплитуды колебания атмосферного давления и уровней ТМВ по типам гидрогеологических структур: после их сглаживания по скважинам 1254 «Кара-Ой» и 909 «Аламедин» выявлено, что в рассматриваемых параметрах отражаются сезонные явления, не превышающие пределы доверительного коридора, но вне связи с пульсационными значениями атмосферного давления: например, для уровня воды на ГДО «Кара-Ой» (рис. 6) иллюстрируется параболический ход с осенним максимумом, установившимся на глубине 2,28-2,8 м, а минимум неизменно появляется летом, что в скважине «Аламедин» за аналогичный период его наибольшее понижение, составив 34 см, отклонилось от среднего на +12 см.

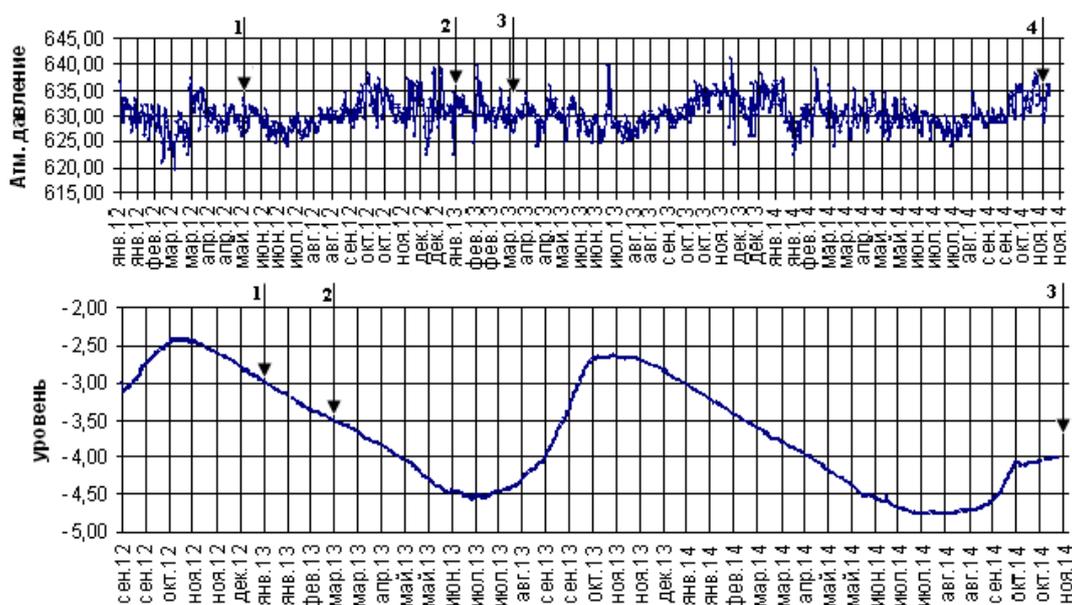


Рис. 6. Временный график уровня и атмосферного давления воды на «Кара-Ой».

С нашей позиции, исходя из анализа вариационных кривых, все физико-химические показатели пунктов чувствительны к произошедшим за этот период землетрясениям с  $K \geq 12$ , причем скважины «Бишкек» и «Кара-Ой» доставляют информации с разных глубин и из разновозрастных отложений- неоген-нижнечетвертичных и четвертичных пород соответственно, тогда как скв. 909 Аламедин- из трещин кристаллических пород гидрогеологического массива, а наиболее заметный эффект в виде понижения УПВ на 70 см при +25 см зафиксирован в последнем пункте. Такое поведение УПВ при высоком коэффициенте корреляции находится под влиянием атмосферного давления, т.е. в условиях преобладания квазиустойчивого режима, во-втором, т.е. в неустойчивом состоянии, его отклонение, связанное с изменением внутренней силы, постепенно переходит на такое положение, где частота смены и величины амплитуды колебания отличаются от закономерных «помех»-циклов. Для последнего гидрогеологического состояния характерен относительно низкий коэффициент корреляции, равный 0,204. Иными словами, в первом случае ТМВ находятся в естественных условиях, свойственных для сейсмического затишья, а во-втором-наоборот, происходит активизация при взаимодействии с вмещающей средой, возможно, со структурными блоками, и завершается подземными толчками. Если рассмотреть в этом плане показатели ТМВ «Джеты-Огуз», «Кара-Ой» и «Аламедин», где действуют по две скважины, одна- с ТМВ, а другая- с грунтовыми водами, то при прослеживаемой индивидуальности временного хода улавливается общность, которая в отдельные периоды расходится по контрастности и времени проявления. Например, в скв. 20 это имеет более четкие границы перехода, чем в скв. 6, реагирующей с некоторым запаздыванием, причем тогда, когда в первом устанавливается относительная устойчивость.

Итак, в процессе анализа временного хода состояния Н-Р по наблюдательной скважине «Кара-Ой» в первом приближении оценено состояние блоков: в этих полях, если корреляционные связи имеют положительные значения, то окружаемые скважину блоки сейсмически активны, т.е. гидродинамические параметры подземных вод реагируют на характер и интенсивность сейсмичности в районе наблюдений.

Поскольку наибольшие амплитуды изменений, связанные с сезонными всплесками и техническим ограничением водоотбора, составляют до 10%, а выше 10% нередко совпадают с землетрясениями  $K_{R \geq 12,0}$ , то этот количественный уровень, выявленный для оценки сейсмичности, представляем как предвестниковый признак по показателям подземных вод.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гребенникова В.В. Гидрогеохимические и гидродинамические исследования с целью прогноза землетрясений на территории Северного Тянь-Шаня / Сборник докладов 7-го Казахстанско-Китайского международного симпозиума. 2010. Алматы. С. 151-155.
2. Кайев Ю.А., Нургазиева В.В. Связь химического состава подземных вод с режимом эксплуатации скважин // Изв. АН Кирг. ССР. Деп. в ВИНТИ. 1987. № 3809-1387. 17 с.
3. Кендирбаева Дж. Ж. Основные принципы регионального анализа гидрогеологической системы Кыргызстана как источника информации прогноза землетрясений // Вестник Института сейсмологии НАН КР. № 3. 2013. Бишкек. С. 38-43.

### **ОСОБЕННОСТИ РЕЖИМА ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ТЕРМОМИНЕРАЛЬНЫХ ВОД ИССЫК-КУЛЬСКОЙ ВПАДИНЫ В ПЕРИОДЫ САРЫ-ДЖАЗСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ**

Бектурсунов Ж.З., Мамбетсадыкова А.А., Маметова Б.К.  
тел.: +996 708 33 34 50; e-mail: [akuly55@mail.ru](mailto:akuly55@mail.ru)  
Институт сейсмологии НАН КР, г. Бишкек, Кыргызстан

Результатами режимных наблюдений Кыргызстана показано, что подземные, особенно термоминеральные воды (ТМВ) обладают реальной реакцией на процессы подготовки и свершения сильных землетрясений, т.е. их физико-химические параметры даже при дискретных измерениях претерпевают изменения от сейсмических событий с  $K \geq 12$ . Поэтому в этой работе приводится ход геохимических показателей и гидродинамических параметров ТМВ Иссык-Кульской впадины с привязкой к Сары-Джазскому сейсмическому событию, произошедшему 28 января 2013 года, хотя имеют место и другие толчки с  $K \geq 8,1$ , некоторые из которых отнесены к афтершокам этого землетрясения, а отдельные - к самостоятельным. Кроме того, в режиме ТМВ Кыргызстана, испытывающих сезонную цикличность - с максимумами летом и минимумами зимой, аномальные изменения зафиксированы не только в периоды этого сейсмического события, но и когда на территории Северного Тянь-Шаня происходили землетрясения с  $K \geq 11$ : в 2006-2009 гг. в Кочкорском регионе ( $K_R=10,6-14,6$ ), в Китае 19.04.2009 ( $K=13,5$ ) и 24.09.2009 ( $K=12,5$ ).

По данным, приведенным в работе [1], эпицентры землетрясения и его афтершоков приурочены к области сейсмической «бреши» ( $K_{ср}=7-10$ ) с координатами  $\varphi = 42,58$  и  $\lambda = 79,50$  и находятся в зоне Предвосточно-Терскайского разлома, простирающегося в северо-восточном направлении. Его эпицентр расположен на территории Республики Казахстан - в приграничной зоне Иссык-Кульской области и восточнее эпицентра Сарыкамышского землетрясения (05.07.1970).

Для выполнения поставленных задач нами проанализированы данные трех гидрогеохимических (ГГХС) и гидродинамических (ГДО) пунктов наблюдений, где проводятся химические и динамические наблюдения; дискретность наблюдений - один раз в сутки, за исключением дней, когда происходило отключение электричества. Глубина режимных скважин - от 150 до 1500 м, уровни подземных вод в них варьируют от пьезометрического без самоизлива до естественного фонтанирования с высотой напора до 15 м над поверхностью земли (Каджи-Сай). Поступающие сведения заносятся в банк данных института, а в лаборатории они подвергаются оперативной обработке: по каждому параметру строятся временные графики, по которым сопоставляется динамика их режима в свете развития сейсмической обстановки - в зависимости от интенсивности и расстояния до эпицентров произошедших землетрясений (рис. 1).

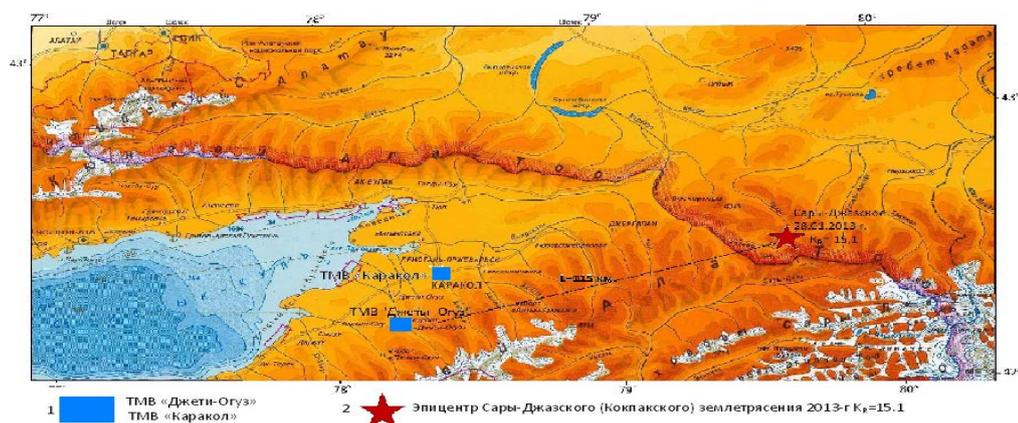


Рис. 1. Фрагмент карты с указанием положения эпицентра Сары-Джаского (Кокпакского) землетрясения и пунктов наблюдения.

Также, исходя из того, что порово-трещинное пространство, по которым ТМВ циркулируют, изменяется за счет воздействия внешних и внутренних сил [2], в основу методики анализа и обобщения включен принцип выяснения природы основных режимообразующих факторов. К первым относятся гравитационное поле Луны и Солнца, ход атмосферного давления, оказывающее влияние на столб воды в скважине, а ко вторым- гидродинамические напряжения, возникающие за счет взаимодействия структурных блоков в земной коре.

В целом разбросы химического состава ТМВ Иссык-Кульской впадины, колеблющиеся от сотых до десятых долей, не выходят за пределы фоновых значений, за исключением периодов март-май и август-сентябрь 2012 года, а также январь 2013 года, когда, например, изменение величины рН- от щелочной до нормальной среды- устойчиво находилось при таком положении в течение первого полугодия 2013 года, после чего сменились на мелкие импульсы.

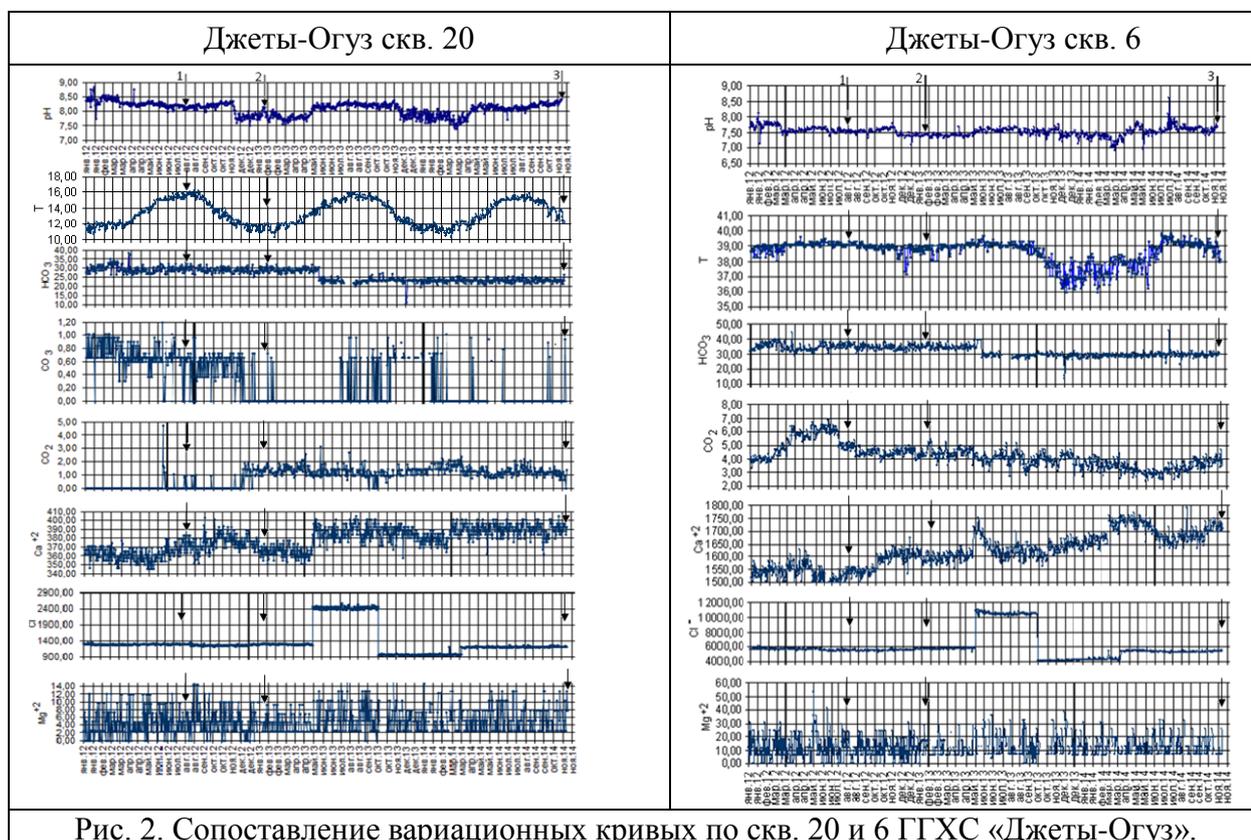


Рис. 2. Сопоставление вариационных кривых по скв. 20 и 6 ГГХС «Джеты-Огуз».

В соответствии с этой обстановкой концентрации компонентов свидетельствуют об эффекте разбавления ТМВ водами, фильтрующимися сверху-вниз: так, независимо от температуры, значения рН пульсируют, а содержание карбонатов и кальция понижается при вибрационном состоянии гидрокарбонатов, свойственных для неглубоких водоносных горизонтов.

На примере гидрогеохимической станции (ГГХС) «Джеты-Огуз» показаны реакции ТМВ, находящихся в условиях непосредственной близости друг к другу (100-150 м) и на одинаковом расстоянии к эпицентру этого сейсмического события (рис. 2).

Здесь задействованы две скважины, режим одной из которых- скв. 20- четко связан с сезонным ходом внешних условий; что касается температуры, то ее ход представляет собой двойную волнообразную кривую с минимумом, находящимся в пределах 11-12<sup>0</sup>С, на которой в конце марта наблюдается медленное повышение, а максимум (16<sup>0</sup>С) приходится на начало июля и длится до первой декады сентября, после чего происходит медленное снижение до +13<sup>0</sup>С.

Необходимо подчеркнуть, что значения рН и температура ТМВ в скв. 20 изменяются до толчка, а слабые всплески в скв. 6 связаны, главным образом, с сопутствующим эффектом. По первой скважине для режима кальция, начиная с 5 мая 2012 г., за счет небольших «миганий» сформирован ступенчатый ход, направленный на рост, причем в июле, при хорошей согласованности с температурой и величиной рН, появляется СО<sub>2</sub> при снижении гидрокарбоната, хотя картина в скв. 6 индифферентна, за исключением «мигающих» колебаний в пределах фона во второй половине декабря, идентичных аналогичному периоду прошлого года.

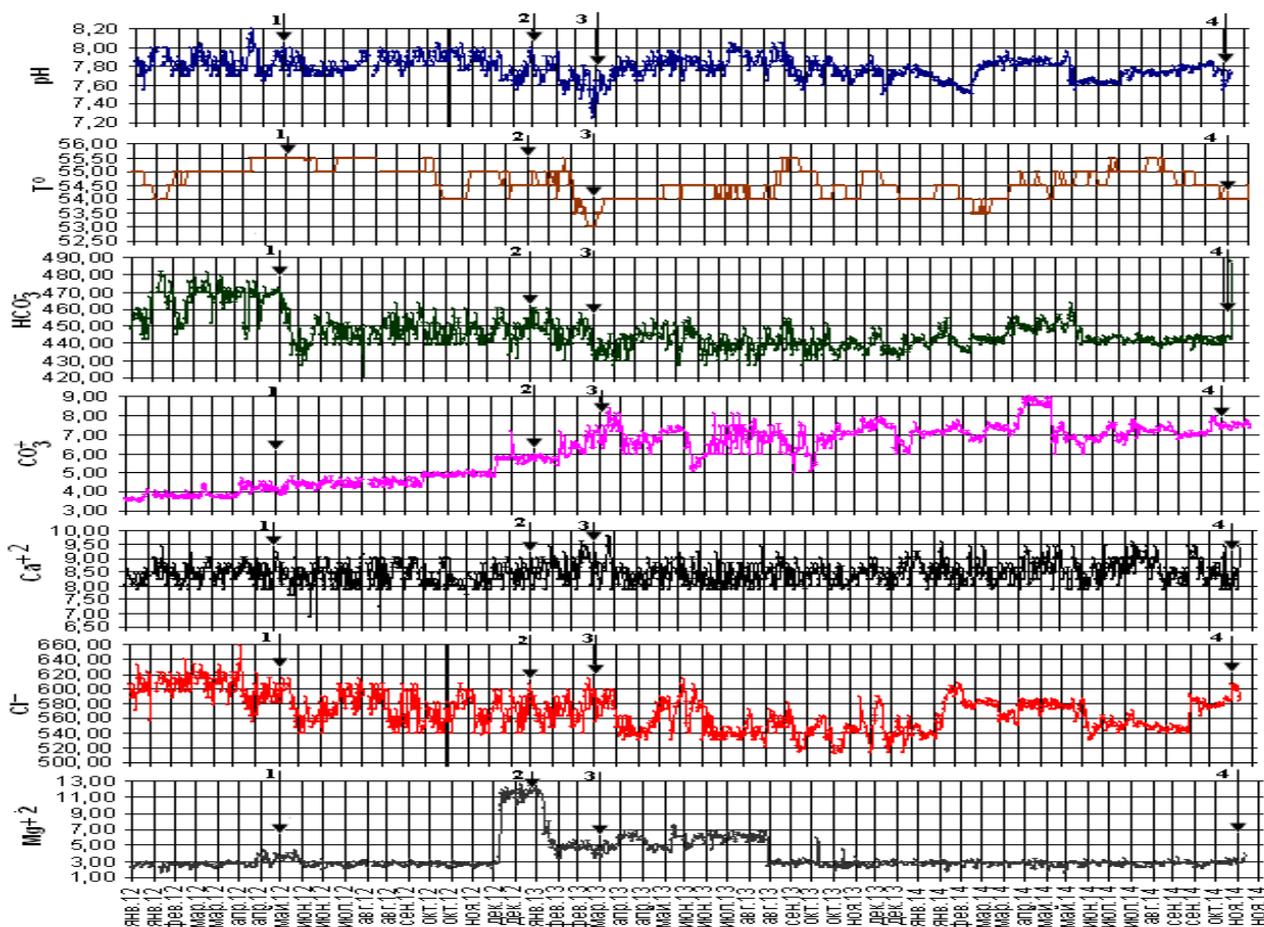


Рис. 3. Вариационные кривые временных рядов «Каджи-Сай» за 2012-2014 гг.

Влияние Сары-Джазского землетрясения на изменение режима в пунктах наблюдений в Иссык-Кульской впадины отразилось по-разному- не только в зависимости от местоположения и эпицентрального расстояния, но и в зависимости от геолого-гидрогеологического разреза скважин, что на примере ТМВ «Джеты-Огуз» объясняется следующим образом: в них гидрокарбонаты, карбонаты и углекислый газ составляют основу карбонатного равновесия, т.е. за счет заметного повышения температуры и небольшого отклонения величины рН происходит вывод  $\text{CO}_2$  из вмещающих пород, что приводит к увеличению содержания кальция с 370-380 до 400-410 мг/л, т.е. химический состав ТМВ в скважинах 20 и 6 не только формируется из разных источников, но проходит сложный путь: в скв. № 6 известняки, выступающие в качестве водовмещающей среды, заметно интенсифицируют процессы карбонатизации в ТМВ, происходящие при высоких Р-Т условиях, этим самым проявляется суммарный эффект, особенно в периоды афтершоков, тогда как «сведения» от скв. 20, поступаая по тектоническим трещинам из глубинных зон, информируют о динамике накопления напряжения в земной коре раньше.

О связи рН-Т-условий ГГХС «Каджи-Сай» с подготовкой данного землетрясения можно судить по содержанию магния, несмотря на расчетный способ определения, т.к. его ход в течение трех месяцев- с ноября 2012 года до февраля 2013 г. выражен резкими скачками от 3,8-4,1 до 11-11,8 мг/л, когда происходили толчки достаточно ощутимой силы. Например, афтершокам с  $K_R = 15$  предшествовал импульсный скачок рН до 8,45, хотя сброс  $\text{Mg}^{+2}$  до 5,6 мг/л связывается с сопутствующим эффектом, но в скважине концентрации гидрокарбонатов и кальция проявляют относительную стабильность, т.е. амплитуды их колебаний не превышают 1%, хотя на графиках для  $\text{CO}_2$  и  $\text{HCO}_3^-$  четко видна противофазная контрастность, но повышение  $\text{CO}_2$  гораздо больше, нежели понижение  $\text{HCO}_3^-$  (рис. 3).

Таким образом, вся получаемая информация представляет собой параметр, являющийся функцией распределения напряжений земной коры, а временные ряды- совокупность особенностей геологического строения, гидрогеологических условий и сейсмической активности территорий, в связи с чем режим ТМВ отражает роль внешних и внутренних факторов, прямых и обратных связей: «размазанные» по амплитуде колебания возникают внутри тектонического блока, а остроконечные и узкие пики- в межблоковых зонах глубинных разломов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мамыров Э., Маханькова В.А., Березина А.В., Молдобекова С., Хан В.В. Прогноз вероятного места сильных землетрясений на территории Кыргызстана // Вестник Института сейсмологии НАН КР. № 1. 2013.
2. Кендирбаева Дж.Ж., Гребенникова В.В. Основные результаты гидрогеологических исследований для прогноза сильных землетрясений на территории Северного Тянь-Шаня // Вестник Института сейсмологии НАН КР. № 2. Бишкек. 2013. С. 33-43.

## ИНЖЕНЕРНЫЕ НАГРУЗКИ НА ГЕОЛОГИЧЕСКУЮ СРЕДУ ТАДЖИКИСТАНА

Валиев Ш.Ф.

тел.: (+992) 93-523-70-85, (+992) 90-999-44-14; e-mail: [valiev\\_sh@mail.ru](mailto:valiev_sh@mail.ru)

Таджикский национальный университет, г. Душанбе, Таджикистан

Таджикистан, расположенный в сложной высокогорной стране, и в XXI веке вошел в эпоху интенсивного современного технологического развертывания строительства крупных инженерных сооружений, нагрузки от последних и сферы их влияния оказывают весьма ощутимые геодинамические воздействия на геологическую среду.

Исследуемая геологическая среда высокогорной страны представлена в верхней части земной коры многокомпонентной динамической системой взаимосвязанных между собой региональных и локальных массивов горных пород, которые представлены подземными водами, газами, физическими полями (тепловые, гравитационные, электромагнитные и др.) [1-6].

В пределах указанных выше компонент в последние годы осуществляется преобразующая природную среду инженерно-хозяйственная и техногенно-строительная деятельность человека.

В связи с приведенными особенностями исследуемая окружающая геологическая среда испытывает возрастающие техногенно-трансформирующие активные воздействия от инженерной и хозяйственной деятельности человека, вследствие чего наблюдаются следующие чрезвычайно опасные в ней изменения [1, 3-6]:

1. В самих горных породах и почвах, как на их поверхности, так и на различных глубинах их заложения, техногенез создает искусственные грунты.

2. Геологические породы и полезные их компоненты извлекаются, преобразуются и перемещаются на различные расстояния от места их отбора в виде нарушенных техногенных грунтов.

3. При промышленных взрывах, а также нагрузках от веса огромного объема воды в водохранилищах и ГЭС нарушается изостазийное равновесие в пределах литосферных блоков и астеносферы.

4. Инженерные проходки туннелей, выемки грунтов для линейных сооружений нарушают природное равновесие, преобразуя облик различными проранами, изменяют рельеф и геоморфологические особенности территории.

5. Возведение ГЭС и водохранилищ, горнорудные углубления вглубь недр Земли изменяют состав и структуру движения подземных вод.

6. От инженерной деятельности человека индуцируются ранее не имевшие место новые геологические и инженерно-геологические процессы и явления, создающие геориски природного и техногенного характера.

При этом, по Трофимову В.Т. (1995), в геологической среде происходят преобразования в четырех основных экологических функциях литосферы: 1) ресурсной; 2) геодинамической; 3) геохимической и 4) геофизической [2, 3].

В Таджикистане, в результате антропогенной деятельности, заметно активизировавшейся начиная с конца 30-х гг. прошлого столетия, происходило заметное изменение различных компонентов геологической среды [1, 4-6].

В настоящее время для стабилизации и развития экономики страны настойчиво решаются следующие фундаментальные проблемы стратегического значения:

1. Достижение энергетической независимости.
2. Выход из коммуникационной изоляции.
3. Обеспечение продовольственной безопасности.

В целях решения 1-ой и 2-ой стратегических проблем продолжаются затраты ресурсов и сил на эксплуатацию действующих крупных сооружений, также одновременно осуществляется строительство новых крупных гидроузлов, мостов межгосударственного значения, транспортных туннелей, заводов и горнопромышленных объектов.

Так, за последние 20 лет суверенного развития Таджикистана были построены: 4 туннеля, 5 крупных трансграничных мостов, свыше 180 км железных дорог, 2 крупные ГЭС, сотни мини- и малых ГЭС, крупные заводы, а также активизирована горнопромышленная деятельность.

Окружающая геологическая среда обладает определенными физическими, геохимическими, биологическими и инженерно-геологическими свойствами.

Например, водные ресурсы Таджикистана являются одним из важнейших богатств и требуют рационального их освоения.

С водными ресурсами тесно связана потенциальная гидроэнергетическая емкость и потенциальные возможности страны, где, по оценкам, годовая выработка электроэнергии может достигать 527 млрд. кВт/ч, а в настоящее время используется не более 6% от указанных ресурсов.

Сегодня более 95% всей электроэнергии в республике вырабатывается гидроэлектростанциями.

Увеличение выработки электроэнергии посредством строительства средних и крупных ГЭС необходимо развивающимся странам данного Центрально-Азиатского региона, поэтому Республика Таджикистан в программе ООН по «Устойчивой энергии для всех» признана в качестве пилотной страны.

Из общих годовых потенциальных гидроэнергетических ресурсов, которые оцениваются в 527 млрд. кВт/ч, до 40-50% являются технически пригодными для выработки электроэнергии.

В связи с выше приведенными обоснованиями, в настоящее время осуществляются инженерно-технические работы на следующих стратегических объектах Таджикистана:

- **на гидроузлах**, в районах продолжающегося строительства и действующих створов плотин ГЭС, предназначенных для выработки электроэнергии: Рогунской ГЭС, Шуробской ГЭС, Перепадной ГЭС, Центральной ГЭС, каскада Варзобских ГЭС;

- **на плотинах водохранилищ** различного назначения в районах действующих створов и введения новых объектов: а) энергетически-ирригационного: Кайраккумское, Нурекское, Байпазинское, Головное; б) ирригационного: Даганасайское, Катгасайское, Муминабадское, Сельбурское; в) энергетического: Фархадское, Сангтудинское-I, Сангтудинское-II;

- **на туннелях различного назначения**: а) ирригационного: Яванский, б) транспортного: Шахристан-Южный портал, Истиклол- Южный портал, Хатлон (Чормагзак) Западный створ, Озоди (Шар-Шар);

- **на трансграничных автотранспортных мостах** через реки: Пяндж, Рузвай, Ванч, Ген Ишкашим, Нижний Пяндж;

- **на горнопромышленных предприятиях**:

• Анзобском ГОКе с подземной добычей сурьмы и ртути (за счет технологий обогащения геориски связаны с возможным ртутным заражением воды, почвы и воздуха).

• Таджикском золоторудном комбинате, где проводится открытая и подземная добыча золота, здесь же осуществляется обогащение и аффинаж. Данный объект в целом включает карьер, серию штолен, рудник, обогатительный комбинат, хвостохранилище. Геориски исходят от токсичных отходов хвостохранилища, а также от горно-рудничных гидрогеологических и инженерно-геологических опасностей.

• Шурабской угольной шахте, где проводится подземная разработка угля. Геориски исходят от шахтных газов, возможных горных ударов, пожароопасности угольной пыли.

• Балджуванском нефтепромысле, где ведется откачка нефти, сопряженная с экологическими рисками и последствиями.

• Душанбинском цементном заводе, где производится добыча известняка, суглинков с канатной откаткой сырья. При производстве цемента в карьере, вследствие дробления, истирания, транспортирования, цементная пыль представляет угрозу здоровью персонала, населению из близко расположенных населенных пунктов и экологии района в целом.

На рисунке 1 представлена обобщающая «Карта гидрографической сети и схема размещения крупных инженерно-хозяйственных объектов, воздействующих на геологическую среду территории Таджикистана».

Из карты видно, что гидроузлы и водохранилища расположены в руслах магистральных рек и возводятся в зонах с 8- и 9-балльной интенсивностью возможных землетрясений.

Туннели транспортного и ирригационного назначения, трансграничные мосты, горнопромышленные предприятия также построены и строятся ныне в 8- и 9-балльных зонах сейсмического риска.

- |   |                          |   |                               |
|---|--------------------------|---|-------------------------------|
| ☆ | Гидроузлы, водохранилища |   | Трансграничные мосты          |
| ↔ | Транспортные туннели     | ✕ | Горнопромышленные предприятия |
| ↔ | Ирригационные туннели    |   |                               |

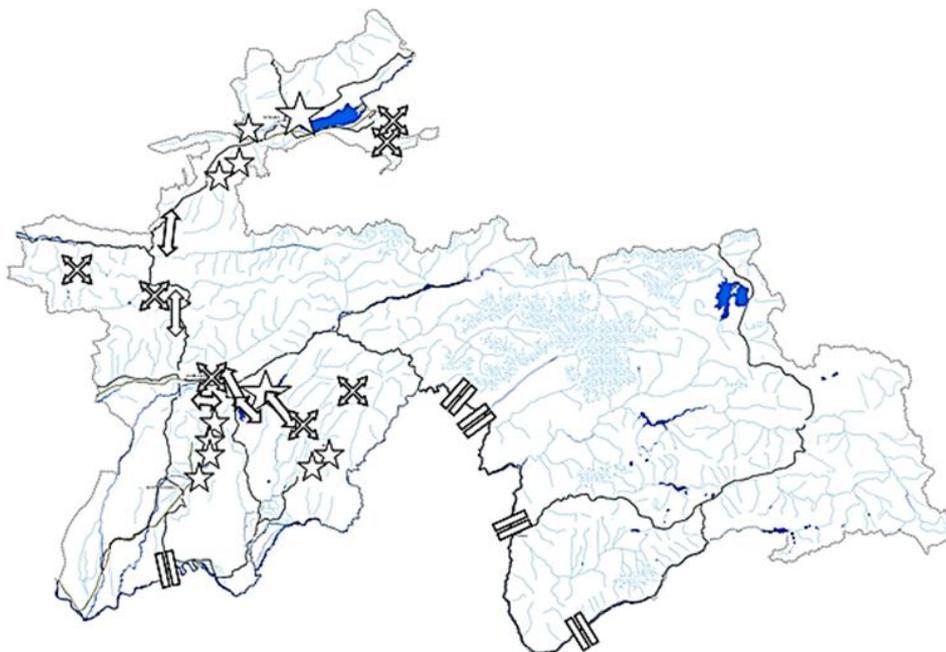


Рис. 1. Карта гидрографической сети с размещением на ней крупных инженерно-хозяйственных объектов, влияющих на геологическую среду и территорию Таджикистана.

На таблице 1 приведена разработанная «Классификационная таблица влияния эксплуатируемых и вновь строящихся инженерных сооружений (гидроузлов и ГЭС, трансграничных мостов, горнопромышленных предприятий и туннелей) на индуцирование георисков техногенного характера в окружающей геологической среде Таджикистана».

Из таблицы следует, что любое искусственное вмешательство, тем более инженерно-техническое разрушение горных массивов, связанное со строительством крупных инженерных сооружений, сопровождается возникновением георисков природного и техногенного характера на различных стадиях их возведения.

В целях снижения георисков и управления ими, необходимо ведение такой инженерно-хозяйственной деятельности, которая позволит рационально использовать природные ресурсы.

В связи с этим при исследовании процессов взаимодействия основных компонентов геологической среды с инженерными сооружениями следует оценивать сферы их влияния на окружающую геологическую среду.

Таблица 2. Классификационная таблица влияния эксплуатируемых и вновь строящихся инженерных сооружений (гидроузлов и ГЭС, трансграничных мостов, горнопромышленных предприятий и туннелей) на индуцирование георисков техногенного характера в окружающей геологической среде Таджикистана

Объект	Влияние на окружающую геологическую среду при:		Наиболее опасные, несущие угрозы геориски
	строительстве	эксплуатации	
Гидроузлы, ГЭС	<p>Оккупация, захват территорий, земельных ресурсов</p> <p>Перемещение огромных земляных масс</p> <p>Воздушно-газовое, вибрационное воздействие при массовых взрывных и горнопроходческих работах</p> <p>Возникновение и активизация современных геодинамических процессов (оползней, селей, суффозии и др.)</p> <p>Транспортное влияние</p>	<p>Нарушение режима стока</p> <p>Затопление и подтопление территорий</p> <p>Повышение уровня, режима и химического состава подземных вод</p> <p>Заболачивание береговой зоны</p> <p>Возникновение и активизация современных геодинамических процессов (оползни, обвалы, осыпи, сплывы, карсты, суффозия и др.), растворение и выщелачивание карбонатов и солей</p> <p>Появление наведенной сейсмичности</p> <p>Подмыв, переработка берегов, оврагообразование</p> <p>Заиление</p> <p>Аккумуляция тепловой энергии</p> <p>Осветление воды</p> <p>Нарушение экосистем верхнего и нижнего бьефов и разрыв связей между ними</p> <p>Биологическое и бактериальное загрязнение</p>	<p>Активизация обвально-оползневых явлений</p> <p>Заиление</p> <p>Осветление воды</p>
Трансграничные мосты	Бурение, вибрация	Постоянное	Нарушение режима подземных вод, химизма воды
Горнопромышленные предприятия	Взрывные работы, вибрация	Выброс твердых, жидких и газообразных отходов	Твердые, жидкие отходы
Туннели	Взрывные работы, вибрация, аэрация	Выхлопные газы, рудничная вода, рудничные газы	Загрязнение воздуха

### Выводы

1. От возведения гидротехнических узлов и гидроэлектростанций проявляются следующие геориски: индуцированные землетрясения, переработка берегов, подтопления территорий, изменения гидрогеологических условий, активизация обвально-оползневых явлений, заиление дна водоема.

2. На участках строительства трансграничных мостов наблюдается нарушение режима подземных вод, химизма воды, сами мосты несут опасные нагрузки от паводков и катастрофических селей при прорывах высокогорных озер.
3. В районах строительства горнопромышленных предприятий на различных стадиях освоения месторождений полезных ископаемых проявляются геориски: горные удары, обрушения стенок карьеров, обводнения шахт, оседания поверхности земли, загрязнения от отходов горного производства.
4. Строительство туннелей приводит к концентрации выхлопных газов от проходящего по ней автотранспорта, дренажу воды и проявлениям горно-рудничных газов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Инженерная геология СССР / Под ред. Сергеева Е.М. и др. Т. 7: Средняя Азия. М.: изд-во МГУ. 1978. 352 с.
2. Трофимов В.Т. Экологические функции литосферы. М. 1997. 432 с.
3. Варга А.А. и др. Итоги и задачи изучения изменений геологической среды при крупном гидротехническом строительстве // Проблемы рационального использования геологической среды. М.: Наука. 1988. С. 139-152.
4. Валиев Ш.Ф. Нарушение почв Таджикистана при строительстве водохранилищ и проблемы их восстановления // Дистанционные и наземные исследования Земли в Центральной Азии: материалы Междунар. конф. (Бишкек, 08-09 сент. 2014 г.). Бишкек. С. 133-135.
5. Валиев Ш.Ф. Изменение геоэкологических условий речных систем Таджикистана в связи со строительством водохранилищ // Вестник Таджикского аграрного университета. 2014. № 3. С. 38-39.
6. Валиев Ш.Ф., Ниёзов М.А., Одинаев Ш.Х. Крупные инженерные сооружения Таджикистана и связанные с ними вероятные геоопасности и геориски / Дистанционные и наземные исследования Земли в Центральной Азии: материалы Междунар. конф. (Бишкек, 08-09 сент. 2014 г.). Бишкек. С. 136-137.

### О ТРАНСФОРМАЦИИ ЛИТОСФЕРЫ ГЕОРИСКАМИ В ТАДЖИКИСТАНЕ

Валиев Ш.Ф.<sup>1</sup>, Усупаев Ш.Э.<sup>2</sup>

телефон: (+992) 93-523-70-85, (+992) 90-999-44-14; e-mail: [valiev\\_sh@mail.ru](mailto:valiev_sh@mail.ru)

<sup>1</sup>Таджикский национальный университет, г. Душанбе, Таджикистан

телефон: (+996) 312 55 63 63(222); факс: +996 312 55 52 52; e-mail: [sh.usupaev@caiaig.kg](mailto:sh.usupaev@caiaig.kg)

<sup>2</sup>Центрально-Азиатский институт прикладных исследований Земли, г. Бишкек, Кыргызстан

Современное состояние литосферы горных стран, на примере Таджикистана, есть результат многомиллионных лет циклического развития геологической формы движения материи, состоящей из взаимодействий твердой, флюидной (жидкой), газовой и биогенной (живой) компонент окружающей геологической среды [1-9].

По определению Сергеева Е.М. и Королева А.В., по отношению к геологической среде внешними средами выступают атмосфера, поверхностная гидросфера, поверхностная биосфера и техносфера [2-5].

При таком воздействии могут происходить уплотнение или разуплотнение массивов, разрушение грунтов, изменение рельефа, перепланировка рельефа терриконами, породными отвалами, покрытие и отчуждение земель обогатительными котлованами-прудами, зумпфами.

Основным фактором физико-механического разрушения массивов грунтов при их освоении инженерной и хозяйственной деятельностью человека является искусственное

вибрационное действие, создаваемое механизмами при взрывных работах, проходке горных выработок, туннелей, строительстве мостов, дорог, коллекторов, геологоразведочных и добычных работах, возведении плотин и т.д.

Таджикистан представляет собой область активного горообразования, с широким проявлением современных геодинамических процессов и высокой сейсмичностью. При этом в процессе геоэволюции эндо- и экзогенные процессы быстрого и медленного характера, сопряженные с законами орогенеза, трансформировали и преобразовывали облик литосферы исследуемого региона, что сопровождалось развитием георисков.

Кровля литосферы в таджикской части Тянь-Шаня под крупными инженерными сооружениями представлена палеозойскими, мезозойскими и кайнозойскими породами.

**Палеозойские** комплексы региона представлены терригенными, часто метаморфизованными образованиями: сланцами, мраморами, вулканитами и широко развитыми магматическими образованиями.

К основным **мезозойским** структурным элементам относятся Южно-Таджикская (Афгано-Таджикская) и Ферганская депрессии. Здесь небольшие поднятия возникли в конце мела, имели северо-западные простирания и доформировали альпийский структурный план в виде их осложнений прогибами и поднятиями высших порядков.

**Юрские** отложения представлены песчаниками, сланцами, известняками, терригенно-гипсо-соленосными отложениями, участвующими в образовании солянокупольных структур Таджикской депрессии, которые при их освоении несут угрозы появления георисков природного и техногенного характера.

**Меловые** отложения наиболее широко развиты в Таджикской депрессии, представлены пестрыми изменчивыми фациями: нижнемеловая часть их разреза – красноцветными терригенными породами, а верхний мел – сероцветными известняково-песчано-глинистыми отложениями.

Исследуемая приповерхностная часть кровли литосферы Таджикистана в **кайнозойский** период геологического развития была трансформирована альпийском складкообразованием, которое продолжается ныне и выработало современный структурный и геоморфологический облик горной страны. При этом границы тектонических зон ограничены глубинными разломами.

Крупные инженерные сооружения построены, как правило, в верхней части кровли литосферы, состоящей из молодых мезо-кайнозойских комплексов пород, которые представлены преимущественно маломощными отложениями триаса.

**Палеогеновые** отложения в подошве представлены лагунно-морскими и морскими образованиями и заканчивается в их кровле красноцветными песчано-глинистыми осадками, постепенно переходящими в мощные неогеновые континентальные молассы орогенических впадин Ферганского и Юго-Западного Таджикистана.

Верхняя часть кровли литосферы в районе Нурекского гидроузла, Рогунской ГЭС, каскада Вахшских ГЭС, западной части проектируемого каскада ГЭС на реке Зеравшан, представлена меловыми, палеогеновыми и **неогеновыми** отложениями.

**Четвертичные** отложения выражены террасовыми и пойменными аллювиальными отложениями, широко распространенными в Таджикской и Ферганской депрессиях.

На рисунке 1 представлена “Карта геолого-тектонико-географических районов Таджикистана”. Из карты видно, что в настоящее время кровля литосферы Таджикистана по схеме геологического районирования представлена 5 следующими геолого-структурными районами: I – Кураминский хребет и Моголтау (Северный Таджикистан); II – западная часть Ферганской депрессии (Северо-Восточный Таджикистан); III – горные сооружения Южного Тянь-Шаня (Центральный Таджикистан); IV – Южно-Таджикская депрессия (Юго-Западный Таджикистан), V – Памир и Дарваз (Юго-Восточный Таджикистан) (рис. 1).

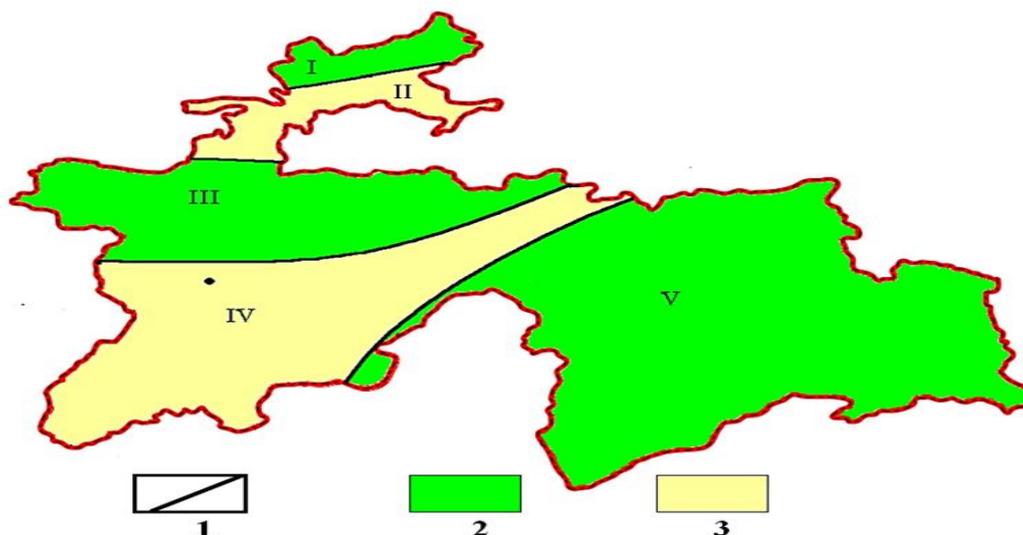


Рис. 1. Карта геолого-тектонико-географических районов Таджикистана: I– Кураминский хребет и Моголтау (Северный Таджикистан); II– западная часть Ферганской депрессии (Северо-Восточный Таджикистан); III– горные сооружения Южного Тянь-Шаня (Центральный Таджикистан); IV– Южно-Таджикская депрессия (Юго-Западный Таджикистан); V– Памир и Дарваз (Юго-Восточный Таджикистан). Условные обозначения: 1- глубинные разломы; 2-области устойчивых поднятий; 3-области преимущественных прогибов.

Территория Таджикистана характеризуется весьма высокой сейсмичностью. Она охватывает зоны 7-9-балльных землетрясений.

Выделенные по геологическим особенностям в кровле литосферы части территории (I-III), на карте сейсмического районирования характеризуются землетрясениями интенсивностью 8 баллов.

В геолого-структурных частях IV и V исследуемой территории до 70 % ее площади имеют 9-балльную интенсивность землетрясений. При этом 8-балльные участки выделяются в юго-западной части IV геолого-структурного района и в юго-восточной части V района.

В связи с этим кровля литосферы Таджикистана сейсмически активна и требует для инженерных сооружений и жилых домов ведения сейсмостойкого строительства.

В геолого-тектоническом строении исследуемой территории выделяются:

1. Область устойчивых поднятий: Кураминская и Гиссаро-Алайская.

**Кураминское** поднятие имеет максимальное новейшее воздымание более 2,0 км. Общий размах вертикальных перемещений за неоген-четвертичное время достиг 5-6 км.

**Гиссаро-Алайское** поднятие заключено между Ферганской впадиной и Таджикской депрессией и является широтно вытянутым клином; представлен Туркестанским, Зеравшанским и Гиссарским хребтами.

По яркости рельефа амплитуды новейших движений в Гиссаро-Алае оценены: для олигоцен-миоцена – 10 см/тыс. лет; для плиоцен-нижнечетвертичного времени - 16,6 см/тыс. лет; для времени после нижнечетвертичного -333 см/тыс. лет.

2. Область прогибов: Ферганская межгорная впадина, представленная мезокайнозойскими отложениями, и Таджикская депрессия, зажатая между Гиссаро-Алайской областью на севере и Памирской на юге.

В регионе, из-за высотной поясности, получили развитие процессы гравитационных смещений масс, морозного выветривания и солифлюкции, обвалы и оползни, селевые процессы и геокриологические опасные явления.

К природным процессам, активно трансформирующим верхнюю часть кровли литосферы Таджикистана, к медленным и быстрым по воздействию георискам эндо- и экзогенного характера, добавляется растущая инженерная и хозяйственная деятельность

человека, сравнимая с геологическими силами и техногенно преобразующая окружающую геологическую среду региона [1, 5-9].

На территории страны зафиксированы около 4000 источников загрязнения геологической среды и имеют место до 50000 оползневых участков.

Продолжается загрязнение атмосферного воздуха промышленными предприятиями и транспортом, происходят нарушения компонентов геологической среды при горнопромышленной деятельности, строительстве и эксплуатации гидротехнических сооружений, транспортных туннелей, крупных промышленных предприятий.

Так, накоплены огромные объемы отходов горного производства в 22 опасных хвостохранилищах и горных отвалах.

В районе разработки нефтяных месторождений Бальджуван и Нефтебад нефтепромысловые сточные воды сконцентрированы в прудах-накопителях, которые превратились в источники загрязнения грунтовых вод и геологической среды. Сильно деградированными стали и почвы близлежащих территорий.

Техногенным нагрузкам подвержено более 95% территории Северного Таджикистана (Абдурахимов, 2003); терриконы, отвалы, хвостохранилища давно превратились в элементы ландшафта Исфаринского, Гафуровского, Аштского районов [1].

Морфологическим выражением техногенного воздействия на геологическую среду являются также оседание и провалы на дневной поверхности, сдвигание, активизация геодинамических процессов: оползней, селей, обвалов, эрозии.

В связи с активным распространением роли инженерно-хозяйственной деятельности на окружающую среду следует выделить особый вид нарушения геологической среды Таджикистана (Лаврусевич, 2012) на примере лёссовых псевдокарстов [6].

Лёссы образуют обширную часть ландшафтов в низко- и среднегорных районах на севере Ферганской долины и юго-западе республики в Вахшской долине и представляют собой сильно просадочные породы.

Основным фактором образования псевдокарстов является водно-механическое воздействие на лёссы, при котором они вымываются и образуются огромные карстоподобные, часто оврагообразные формы рельефа.

При таком нарушении лёссовые 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 лёссовых полей [6].

Следует ожидать, что в условиях активной инженерно-хозяйственной деятельности в регионах интенсивность формирования лёссового псевдокарста будет только возрастать.

На рисунке 2 представлена «Карта типизации георисков техногенного характера в поверхностной части кровли литосферы для территории Таджикистана». Предлагается использовать ИГН (инженерно-геономическую) 12-мерную шкалу для оценки и прогнозирования георисков. На составленной для этого карте видно, что категории уязвимости, степени рисков и уровни опасности георисков связаны с закономерностью высотного (поясного) развития горной страны и одновременно с урбанизированностью исследуемой территории жителями и инфраструктурой населенных пунктов. При этом ожидаемые максимальные геориски приурочены к территориям наибольшего освоения инженерной и хозяйственной деятельности человека.

Территории развития георисков от интенсивной и систематической инженерно-хозяйственной деятельности размещены в долинах и устьевых частях крупных ущелий. В этих регионах находятся также и основные объекты горнопромышленной деятельности. С географо-топографической позиции такая экспозиция делает эти объекты экологически уязвимыми.

В области чрезмерной инженерно-хозяйственной нагрузки от крупных инженерных сооружений при несоблюдении соответствующих мер возможны необратимые изменения геологической среды.

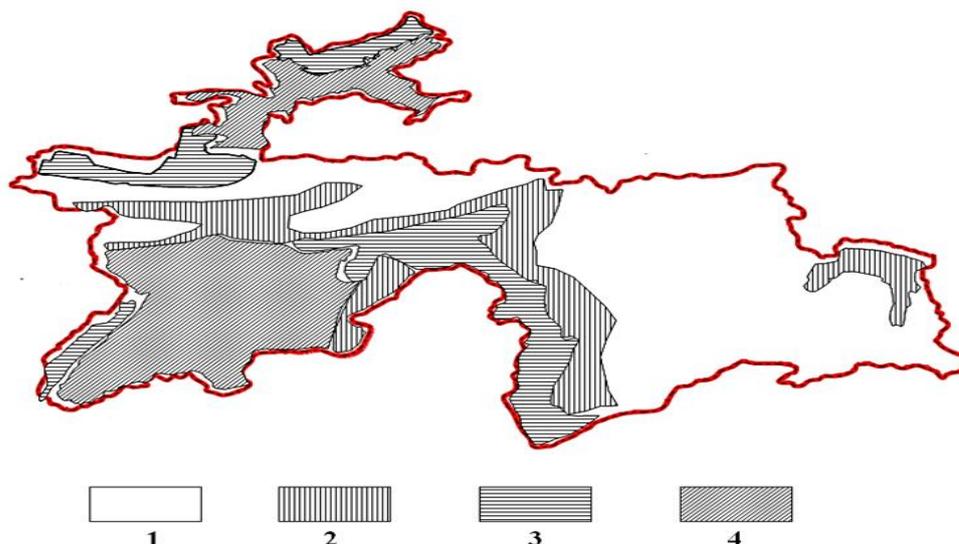


Рис. 2. Инженерно-геономическая карта-схема типизации георисков техногенного характера в кровле литосферы территории Таджикистана. 1- развитие георисков природного характера в условиях мало затронутой инженерно-хозяйственной нагрузки; 2- геориски в условиях несистематической умеренной инженерно-хозяйственной нагрузки; 3- геориски в условиях сильной инженерно-хозяйственной нагрузки; 4- геориски в условиях интенсивной и систематической инженерно-хозяйственной нагрузки.

На основе обобщения характеристик влияния инженерно-хозяйственной деятельности на геологическую среду составлена классификационная таблица оценки и прогнозирования георисков, которая подразделяется на три ИГН-категории по их сложности (табл. 1).

Таблица 1. Инженерно-геономическая оценка георисков на территориях размещения крупных инженерных сооружений

ИГН-категории сложности	ИГН-устойчивость геологической среды	ИГН-оценка георисков
I. Простые	Устойчивые условия. Нарушение сероземных почв. Повышение уровня подземных вод. Локальные загрязнения атмосферы.	Низкая
II. Средней сложности	Относительно устойчивые условия. Нарушение почв, загрязнение атмосферы, подземных вод.	Средняя
III. Сложные	Слабо устойчивые. Активная эрозия, оползне- и обвалообразование.	Высокая

Таким образом, верхняя часть литосферы Таджикистана характеризуется исключительным разнообразием и специфическими региональными особенностями развития георисков природного и техногенного характера.

**Выводы:**

1. Произошло значительное сокращение площади плодородного почвенного слоя, особенно в долинных, густонаселенных районах севера и юго-запада Таджикистана.
2. В районах активной инженерно-хозяйственной деятельности человека созданы техногенные ландшафты, отчуждающие большие площади с загрязнением геосреды.
3. Общее состояние трансформированной верхней части литосферы в пределах территории Таджикистана, территорий, где размещены крупные инженерные сооружения,

оценивается как относительно неблагоприятное и требует проведения превентивных мер по их защите и обеспечению безопасности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Абдурахимов С.Я. Проблемы изменения, рационального использования и охраны геологической среды в Таджикистане. Автореф. дис.... д-ра г-м. наук. Худжанд. 2003. 52 с.
2. Инженерная геология СССР (в 8-ми томах). Под ред. Сергеева Е.М. и др. Т. 7: Средняя Азия. М.: изд-во МГУ. 1978. 352 с.
3. Сергеев Е.М., Ларионов А.К., Комиссарова Н.Н. Лессовые породы СССР. В 2-х томах. Т. 1. М.: Недра. 1986. 232 с.
4. Сергеев Е.М. и др. Теоретические основы инженерной геологии. В четырех томах. Т. 1: Геологические основы. М.: Недра. 1985. 332 с.
5. Трофимов В.Т. Экологические функции литосферы. М. 1997. 432 с.
6. Лаврусевич А.А. Лессовый псевдокарст в условиях техногенеза. Автореф. дис.... д-ра г.-м.наук. М. 2012. 44 с.
7. Валиев Ш.Ф., Ниёзов М.А., Одинаев Ш.Х. Влияние строительства и эксплуатации гидротехнических сооружений на окружающую среду Таджикистана // Безопасность гидротехнических сооружений в сейсмически активных районах: материалы междунар. науч. конф. Душанбе: Недра. 2013. С. 109-113.
8. Валиев Ш.Ф., Ниёзов М.А., Одинаев Ш.Х. Крупные инженерные сооружения Таджикистана и связанные с ними вероятные геоопасности и геориски // Дистанционные и наземные исследования Земли в Центральной Азии, посвященная 10-летию ЦАИИЗ: материалы междунар. конф. (Бишкек, 08-09 сент. 2014). Бишкек. С. 136-137.
9. Усупаев Ш.Э., Молдобеков Б.Д., Мелешко А.В., Абдыбачаев У.А., Абдрахманова Г.А., Абдрахманов М.Т., Сакыев Д.Ж. Унифицированная нормативная шкала оценки и прогнозирования стихийных бедствий на примере землетрясений // Труды Международной конференции по снижению сейсмического риска, посвященной 60-летию со дня Хаитского землетрясения 1949 г. в Таджикистане, г. Душанбе, 11 -19 июля 2009 г. Душанбе. 2009. С. 269 -273.

## ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОСЕЙСМИЧЕСКИЕ И СЕЙСМОИОНОСФЕРНЫЕ ЭФФЕКТЫ

Воронцова Е.В.

тел.: (+996 312) 613-140; e-mail: [vorontsova@gdirc.ru](mailto:vorontsova@gdirc.ru)

Научная станция Российской академии наук, г. Бишкек, Кыргызстан

В естественных электромагнитных полях проявляются сейсмоэлектрические и сейсмамагнитные явления, возникающие при распространении сейсмических волн в проводящих слоях земной коры. Сейсмоэлектрические явления обусловлены электрокинетическим эффектом в пористых водонасыщенных средах. Деформация пористой породы в сейсмической волне создаёт градиент давления в жидкости, заполняющей поры. При этом возникают условия для появления электрокинетического тока. Это косейсмический эффект, проявляющийся практически одновременно с началом сейсмических колебаний (рис.1). Источником возмущений геомагнитного поля, инициируемых сейсмической волной, являются сторонние токи, которые генерируются вследствие движения проводящей среды во внешнем магнитном поле [1].

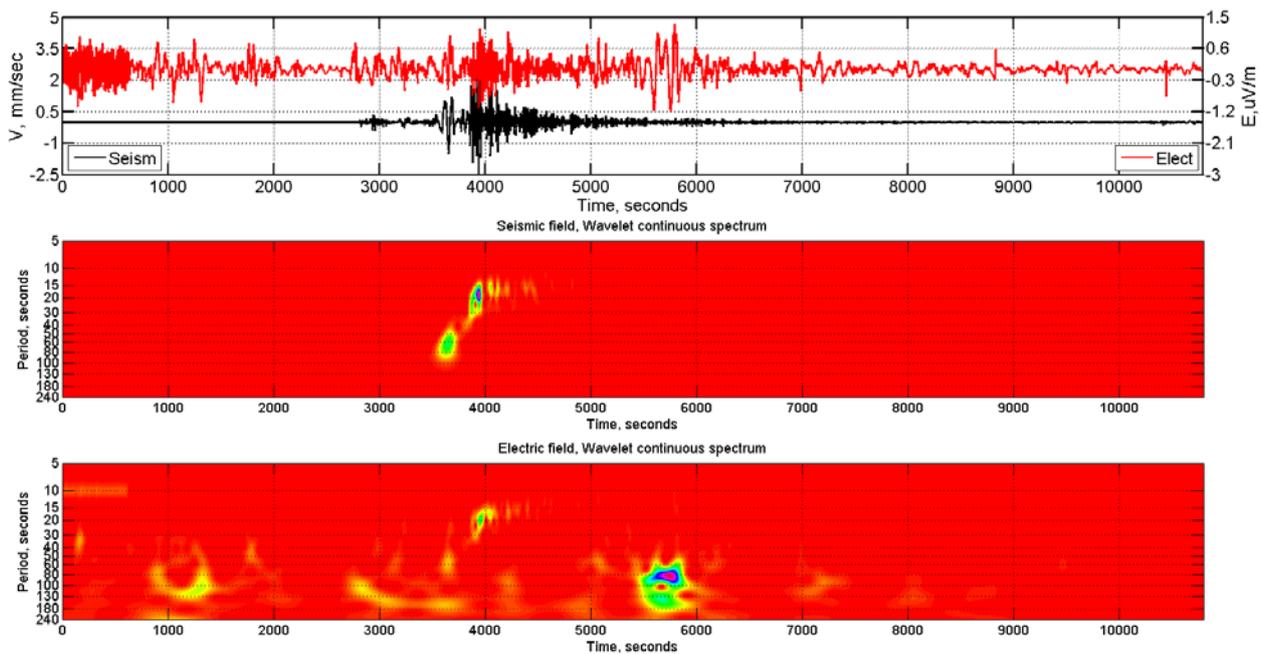


Рис. 1. Результаты синхронной записи электрического и сейсмического полей в пунктах Шавай и Ала-Арча (ААК) соответственно после землетрясения М 8.2, 11 апреля 2012 г. 08:38:36.72 UTC.

Еще одним эффектом, представляющим интерес, является сейсмоионосферный эффект, который проявляется в возникновении перемещающихся ионосферных возмущений, вызванных появлением акустико-гравитационных волн после прохождения сейсмических волн Рэлея, и, как следствие, связанных с ними вариациях электромагнитного поля Земли. После двух сильных японских землетрясений, произошедших в регионе Тохоку (1-ое: М 7.3, 38.435 N, 142.842 E, 9 марта 2011 г. 02:45:20 UTC и 2-ое: М 9.0, 38.322 N, 142.369 E, 11 марта 2011 г. 05:46:23 UTC), через 15 мин. на станции ионосферного зондирования IC437 (37.14 N, 127.54 E) на ионограммах были зафиксированы возмущения характерного вида (рис. 2).

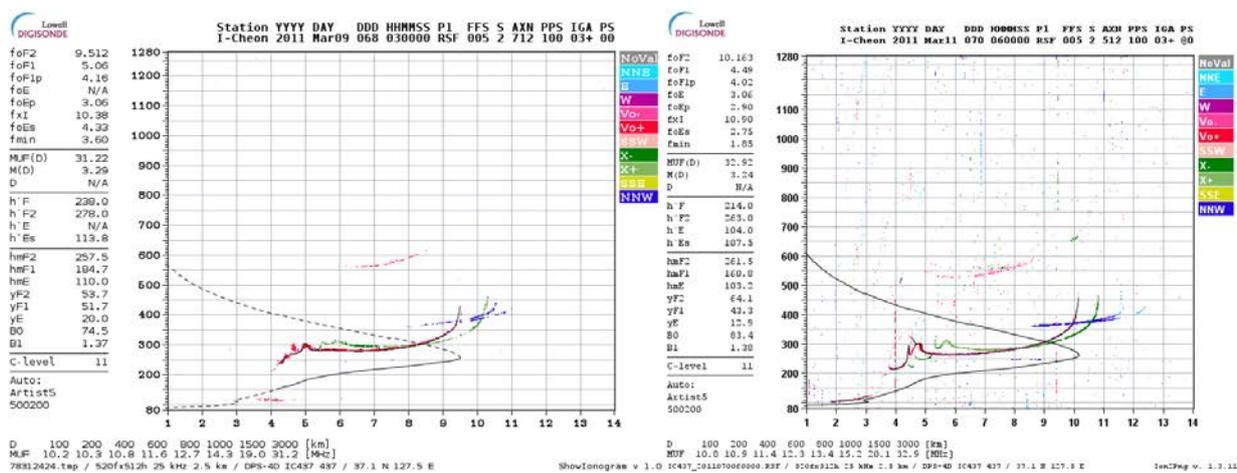


Рис. 2. Ионограммы на станции IC437 после японских землетрясений 9 и 11 марта 2011 г.

Такие же характерные возмущения наблюдались на ионограммах на станциях NI135 (35 N, 33.2 E) и DV049 (50.1 N, 4.6 E) после пакистанского землетрясения М 7.7 (26.951 N, 65.501 E, 24 сентября 2013 г. 11:29:47 UTC). Анализ показал, что развитие возмущенной области на обеих станциях происходит сходным образом с разницей по времени 10 мин.

На рис. 3 показаны синтетические сейсмограммы с Европейских и Центрально-Азиатских станций сети IRIS (<http://www.iris.edu/hq/programs/gsn>). Сейсмограммы, соответствующие ионосферным станциям NI135, DB049 и сейсмостанции ААК (Ала-Арча), ближайшей к электромагнитной станции Шавай, выделены синим цветом. Красным цветом показаны вариации полного электронного содержания на станциях сети IGS JASK (спутник № 21) и NICO (спутник № 15). Точками обозначены времена появления возмущения на ионограммах, а кружками – ожидаемое время возникновения ионосферного возмущения на станции Шавай. Как видно из рисунка, в это же время наблюдается возмущение в естественном электрическом поле.

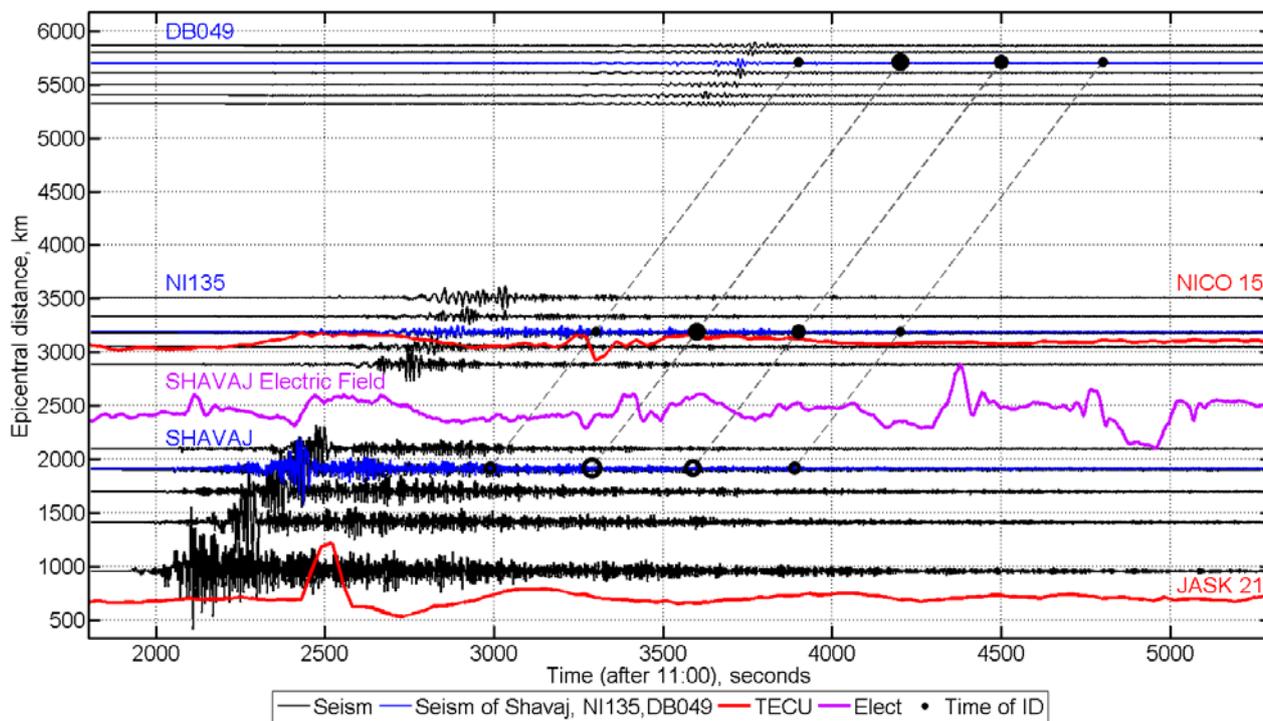


Рис. 3. Сейсмограммы после пакистанского землетрясения 24 сентября 2013 г. (пояснения в тексте).

Следовательно, показанный характер возмущений на ионограммах соответствует сейсмоионосферному возмущению после сильных землетрясений, согласуется со скоростями распространения рэлеевских волн и может быть обнаружен для землетрясений с магнитудой от 7.7 на эпицентральных расстояниях до 6000 км. Задержка между приходом рэлеевских волн и возникновением сейсмоионосферного возмущения составляет примерно 10-13 мин., что при средней высоте максимума ионосферы  $\sim 250$  км соответствует скоростям акустико-гравитационных волн  $\sim 300-400$  м/с. Однако отметим, что средний период колебаний сейсмоионосферных возмущений составляет 60-130 с и соответствует диапазону распространенных ионосферных пульсаций Pc4, что в определенной мере осложняет уверенную идентификацию их на записях наблюдений электромагнитных полей. Для исключения возможной ошибочной интерпретации геомагнитных пульсаций как сейсмоионосферного эффекта необходимо проводить сравнение записей с локальной геомагнитной станции и нескольких обсерваторий глобальной сети, желательно расположенных в высокоширотной области и с примерно таким же положением по долготе. Для нашего региона в качестве контрольных станций могут быть использованы станции NVS, BOX, SOD сети обсерваторий Intermagnet.

Таким образом, при исследовании связи сейсмических явлений и динамических процессов в естественных электромагнитных полях необходимо:

- 1) учитывать уровень общепланетарной геомагнитной возмущенности – для этого проводить анализ магнитограмм с различных географически удаленных друг от друга станций;
- 2) учитывать уровень общепланетарной сейсмичности, поскольку сейсмоэлектрические и сейсмамагнитные эффекты, а также перемещающиеся ионосферные возмущения после сильных землетрясений наблюдаются на больших расстояниях от эпицентра - не менее 6000 км для коровых землетрясений с  $M 7.7$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сурков В.В. Электромагнитные эффекты при землетрясениях и взрывах. М.: МИФИ. 2000. С. 237, 448.

## СОВРЕМЕННЫЕ ДВИЖЕНИЯ НА ПЛОЩАДКЕ POLIGON ПО ДАННЫМ ЛИНЕЙНО-УГЛОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Дрокин Д.А.

тел.: +996 312 613140; e-mail: [drokin\\_d\\_a@gdirc.ru](mailto:drokin_d_a@gdirc.ru)

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Научная станция Российской академии наук в г. Бишкеке, Кыргызстан

**Введение.** Площадка POLIGON пересекается активными разрывными нарушениями: Аламединским сдвигом и Шекуленским взбросом, расположенным вдоль подъездного пути к территории Научной станции РАН. На данной площадке установлено 6 фундаментальных пунктов наблюдения. В связи с условиями рельефа линейно-угловым измерениям (ЛУИ) подлежат 11 базовых линий (БЛ). Измерения каждой БЛ проводятся тахеометрами фирмы LEICA TC2003 и TC09 в двух направлениях в течение 5 минут, что обеспечивает повышенную точность измерений.

**Исходные данные.** В период с 2012 по начало 2015 г. на площадке POLIGON производились еженедельные ЛУИ, в результате чего были выявлены БЛ с преобладанием среднегодовой скорости укорочения и удлинения.

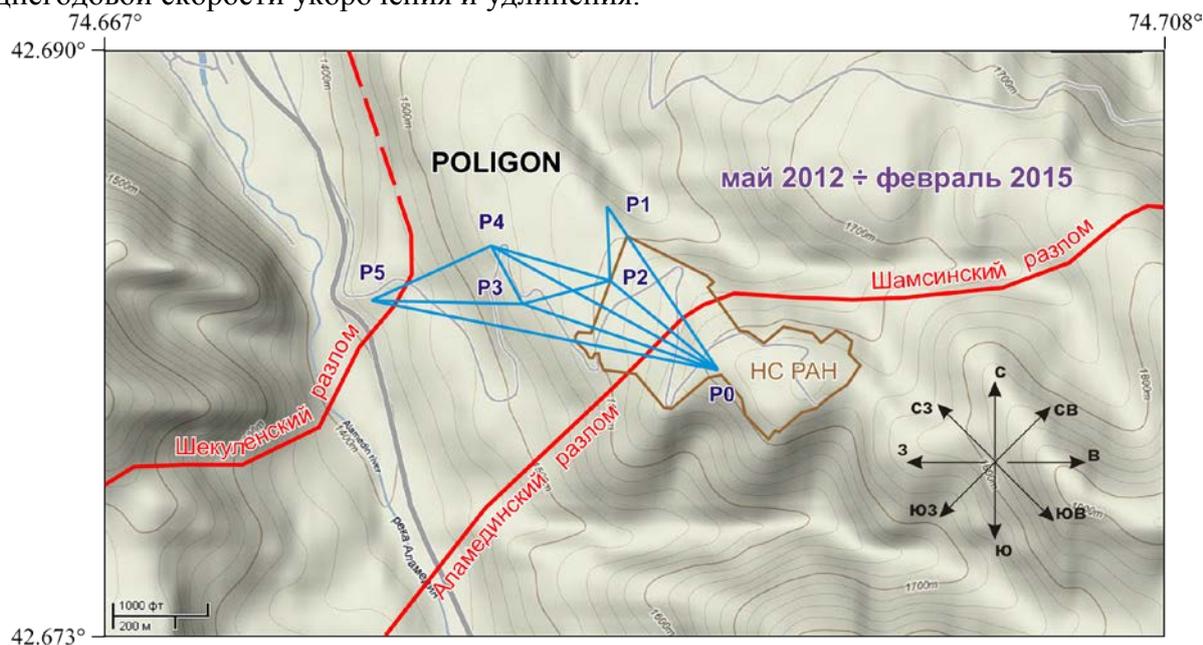


Рис. 1. Схема расположения базовых линий на площадке POLIGON.

Линии, расположенные веером P0=1 и P0=2 имеют скорости удлинения до 0,2 мм/год, БЛ P0=3 – до 0,5 мм/год. Данные величины незначительны и балансируют в пределах ошибок измерения. Меридиональная линия P1=2 имеет удлинение 0,8 мм/год. Линия P0=4 имеет наибольшее для данной площадки удлинение 2,5 мм/год. Вышеперечисленные БЛ имеют СЗ простирание и устойчивое среднегодовое удлинение, что, по-видимому, происходит в результате влияния движений в зоне Аламединского разлома. СЗ линии в центральном блоке между Шекуленским и Аламединским разломами также удлиняются: P2=4 1,92 мм/год и P3=4 1,32 мм/год. А СВ линия P2=3 укорачивается до 1 мм в год. В результате влияния зоны Шекуленского разлома БЛ укорачиваются: P3=5 0,5 мм/год и P4=5 0,7 мм/год. Линия P0=5, пересекающая оба разлома, имеет укорочение до 0,6 мм/год. На рисунке 1 изображена схема расположения базовых линий на площадке POLIGON.

Из анализа временных рядов еженедельных длин базовых линий площадки наиболее стабильными являются БЛ P0=1, P0=2 и P0=3. Эти линии имеют минимальные среднегодовые скорости изменения длин. Кроме этого, у них наиболее отчетливо проявляется циклический сезонный ход изменения длин (рис. 2). При этом максимумы длин БЛ приходятся на летние месяцы (июнь-июль), а минимумы циклов – на зимние месяцы (ноябрь-декабрь). Максимальный средний разброс вариаций сезонного изменения длин БЛ (интервал между средними максимумом и минимумом длин) составляет ~ 5 мм.

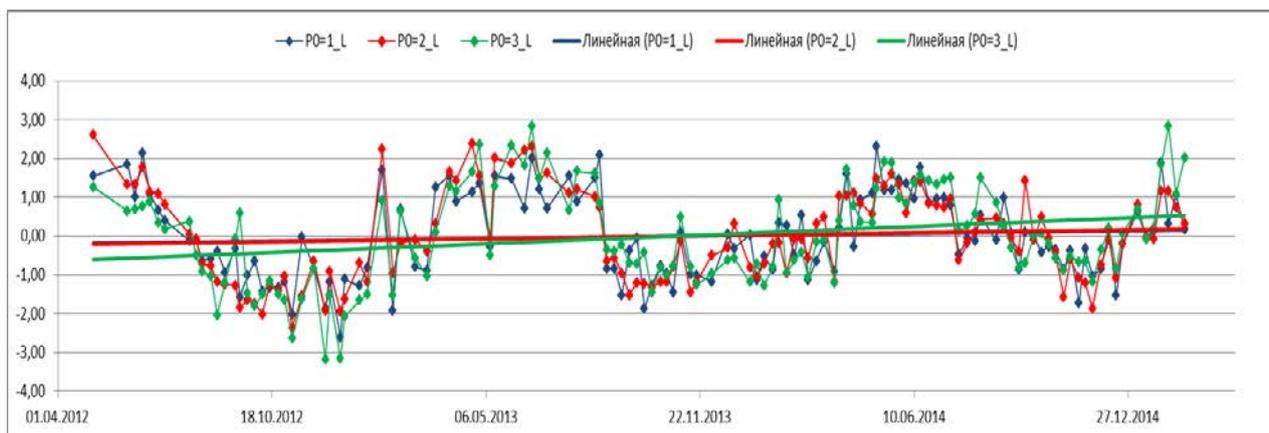


Рис. 2. Сезонное изменение центрированных значений длин базовых линий в зоне Аламединского разлома.

**Выводы.** На основании всех вышеприведенных результатов можно сделать заключение о том, что на площадке POLIGON из 11-ти БЛ семь линий имеют устойчивое ежегодное удлинение. Причем 6 из них имеют северо-западное простирание и одна (P1=2) расположена меридионально. Кроме этого, 4 из них пересекают зону Аламединского разлома и могут отражать результаты его движений. И только на 4-х БЛ отмечается среднегодовое укорочение длин. Примечательно то, что 3 из них имеют северо-восточное простирание. Линии P3=5 и P4=5 имеют соизмеримые скорости укорочения (до 0,7 мм/год) и пересекают зону Шекуленского разлома, что, скорее всего, отражает характер движений в зоне его влияния. Из выше обозначенных закономерностей только самая длинная БЛ (1183 м) имеет СЗ простирание и среднегодовое укорочение, чем отличается от остальных БЛ. Это можно объяснить более сложным характером движений в зоне ее охвата двух активных разломов.

## АВТОМАТИЧЕСКАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ И АНАЛИЗ ПЕРВИЧНЫХ ДАННЫХ ЛИНЕЙНО-УГЛОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Енягин Ю.В.

тел.: +996 312 613140; факс: +996 312 611459; e-mail: [eyv@gdirc.ru](mailto:eyv@gdirc.ru)

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Научная станция РАН  
в г. Бишкеке, Кыргызстан

**Введение.** В лаборатории GPS НС РАН линейно-угловые измерения применяются для определения расстояния и угловых характеристик между двумя геодезическими пунктами. Эти измерения выполняются с помощью высокоточных тахеометров Leica TC 2003 / TS 09.

С помощью данного метода можно изучать приповерхностные деформации земной коры по вариациям линейно-угловых характеристик между пунктами.

К 2015 году измерения ведутся на трёх площадках (Алмалы, Кентор, Полигон), на каждой из которых находится от шести до четырнадцати пунктов. При проведении линейно-угловых измерений с помощью прибора вычисляются расстояние между двумя пунктами, вертикальный и горизонтальный углы. Два измеряемых пункта называются базовой линией (рис. 1). Причём, если прибор установлен на одном пункте, а отражатель на другом – то это одна линия, а если наоборот – другая. Казалось бы, если поменять местами прибор с отражателем, то должны измениться лишь знаки при углах. Но на самом деле это не так. Прибор находится над опорой выше, чем отражатель, из-за чего опорное расстояние измеряется с небольшой погрешностью. Поэтому было принято решение мерить линию дважды, меняя местами прибор с отражателем. Далее с помощью математических расчётов можно восстановить опорное расстояние и углы.

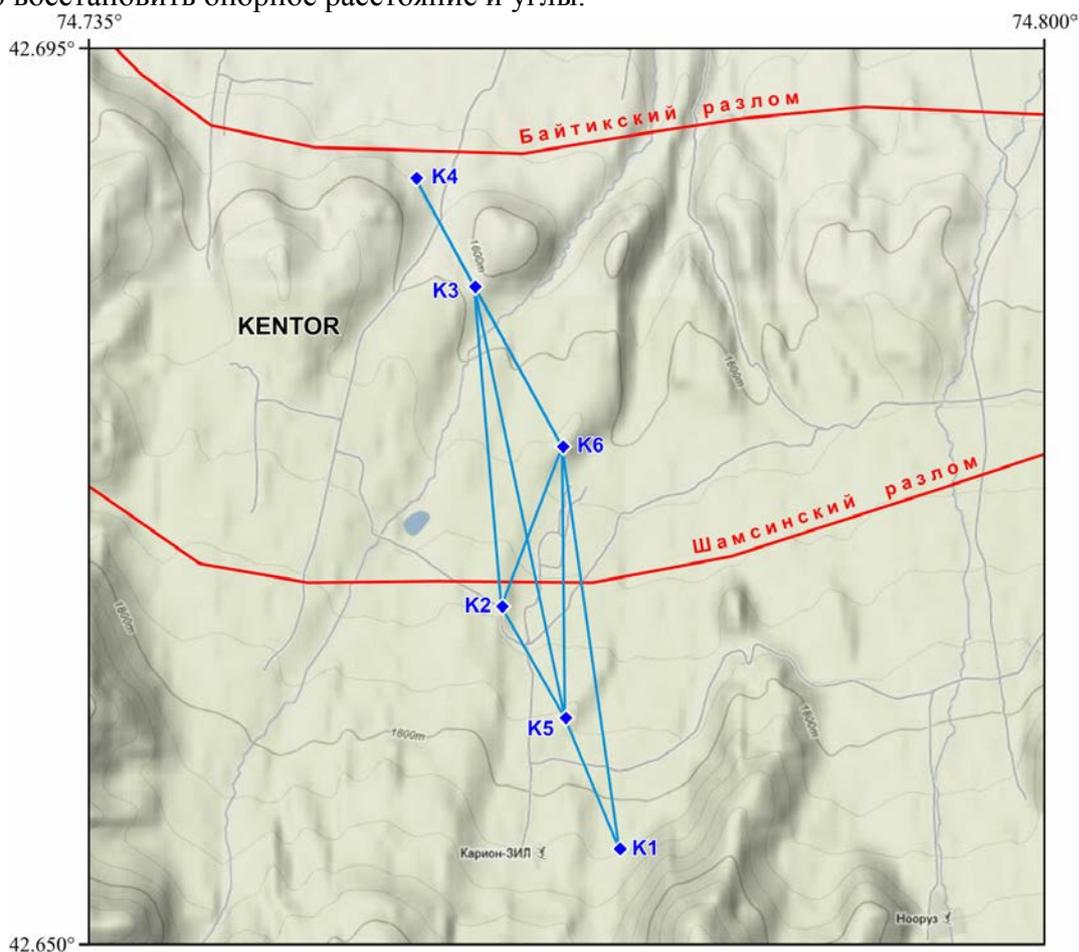


Рис. 1. Пункты (K1-K6) и базовые линии на площадке Кентор.

Данные по линиям, получаемые с приборов, хранятся в текстовых файлах с расширением \*.gsi. При анализе gsi-файлов перед оператором стоят следующие задачи:

- проверка данных на валидность;
- исправление неправильно указанных названий базовых линий;
- удаление не валидных данных измерений;
- набор статистики по проведённым измерениям.

Ввиду того, что все данные хранятся в закодированном виде, а однотипные ошибки встречаются довольно часто, ручное исправление становится трудоёмким и рутинным.

Виды ошибок:

- 1) отсутствие одной или нескольких ключевых колонок (наклонного расстояния, горизонтального и вертикального углов);
- 2) значение наклонного расстояния равно нулю;
- 3) неизвестное имя линии;
- 4) данные измерений не соответствуют указанному имени линии;
- 5) различные ошибки формата;
- 6) несоответствие даты/времени в имени файла и данных, хранящихся в файле.

**Проверка данных.** Некоторое время назад было создано программное обеспечение, позволяющее проверять файлы в автоматическом режиме. Разработанное программное обеспечение предназначено для проверки данных линейно-угловых измерений, исправления ошибок в именах линий, а также для набора статистики.

Программа имеет графический интерфейс и работает в интерактивном режиме. Для корректной работы необходимо ввести в программу все возможные имена площадок и имена линий, соответствующие этим площадкам. Эти данные достаточно ввести один раз и сохранить.

Список всех загруженных файлов располагается в главном окне программы (рис. 2) слева. После проверки данных на ошибки цвет названия файла может измениться. Цвет зависит от результата проверки:

- чёрный: ошибок не найдено;
- синий: все ошибки исправлены автоматически;
- серый: часть измерений перенесена в другой файл (например, в результате переименования линии);
- фиолетовый: не критическая ошибка (ошибка формата, несоответствие даты в имени файла и его содержимом или неизвестное имя линии);
- оранжевый: имеются критические ошибки: например, длина линии равняется нулю (ошибка прибора);
- красный: файл не соответствует формату GSI.

Справа в главном окне расположены данные, хранящиеся в выбранном файле, а также лог проверки. Данные можно просмотреть как в исходном виде, так и в декодированном. Здесь пользователь может вручную отредактировать данные внутри файла.

Программное обеспечение может работать в двух режимах:

1. Набор статистики.
2. Проверка данных с учётом набранной статистики.

**Набор статистики.** Набор статистики проходит в три этапа. На первом этапе происходит загрузка всех измерений. На этом этапе измерения с допустимыми именами приписываются соответствующим линиям, а неопознанные измерения записываются отдельно.

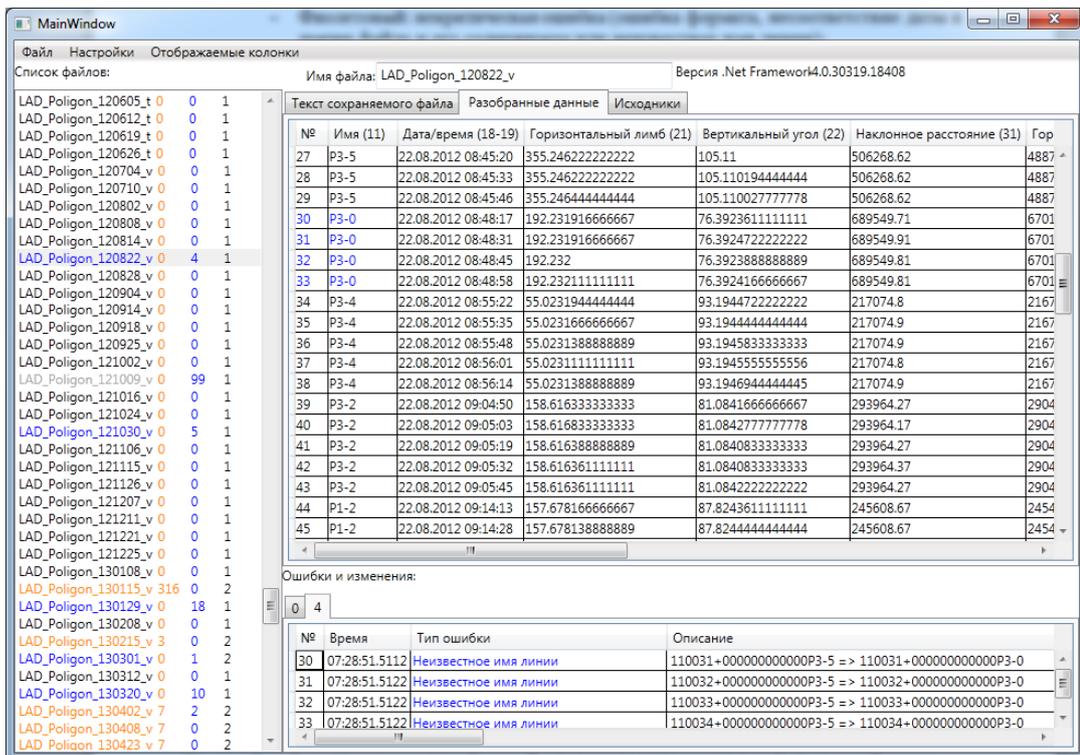


Рис. 2. Главное окно программы.

Второй этап заключается в «просеивании» измерений с допустимыми именами, чтобы исключить измерения, которые имеют одно имя линии, но относятся к другой. Эти измерения также помещаются к неопознанным.

На заключительном этапе все неопознанные измерения проверяются на принадлежность существующим линиям.

Такой режим набора статистики позволяет одновременно исправлять сырые данные, но ему требуется большая выборка данных.

**Проверка данных.** В режиме проверки ПО не набирает статистику по линиям, а использует набранную заранее. При проверке автоматически исправляются ошибки в именах линий. По результатам проверки ведётся лог, который хранится в отдельной папке.

#### Основные возможности программы:

- Просмотр файлов GSI в исходном и разобранном виде.
- Редактирование, переименование и объединение файлов в ручном режиме.
- Набор статистики по линиям.
- Автоматическая проверка и исправление загруженных данных на основе набранной статистики.
- Ведение лога.

**Возможности анализа.** Помимо основной программы для проверки данных была разработана дополнительная, предназначенная для вычисления среднего опорного расстояния и линейно-угловых характеристик каждой линии за один цикл измерений для всего временного ряда. Данная программа не имеет пользовательского интерфейса. На вход она принимает папку с валидными файлами данных в формате GSI, а на выходе генерирует таблицы опорных расстояний и углов для каждой площадки. Выходные данные записываются в файлы формата CSV.

При наличии измерений базовой линии в 2-х направлениях (прямом и обратном) возникает следующая ситуация, где нужно найти  $S$  и  $\alpha_s$  (рис. 3).

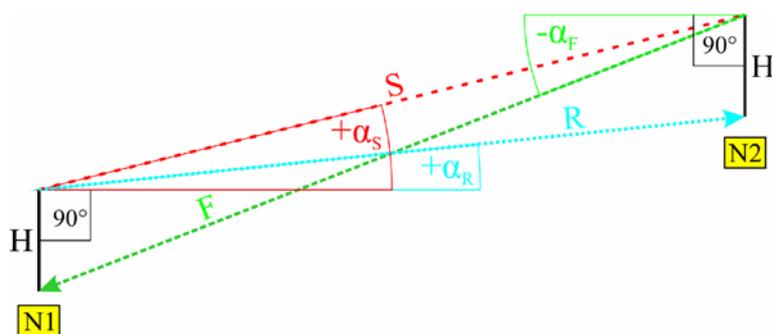


Рис. 3. Соотношение линейно-угловых величин при прямом и обратном измерениях БЛ, где:

- $N1, N2$  – номера геодезических реперов;
- $H$  – превышение ( $\sim 115$  мм) тахеометра над отражателем, может быть  $-H$ ;
- $F$  – длина базовой линии, измеренная в произвольно первичном (прямом) направлении;
- $\pm\alpha_F$  – угол вертикальный базовой линии от горизонта при первичном измерении;
- $R$  – длина базовой линии, измеренная в обратном направлении;
- $\pm\alpha_R$  – угол вертикальный базовой линии от горизонта при обратном измерении;
- $S$  – длина базовой линии опорная (искомая);
- $\pm\alpha_S$  – угол вертикальный от горизонта (искомый) для опорной базовой линии.

Ориентировка в пространстве, значения  $H$  известны и постоянны. Для первичного (прямого) и обратного измерений вычислить  $S$  и  $\alpha_S$  можно 6-ю вариантами парных сочетаний измеренных величин  $F, \alpha_F, R, \alpha_R$  с  $H$ ; и 4-мя вариантами их тройных сочетаний. Итого, 10 вариантов: 1)  $H, F, \alpha_F$ ; 2)  $H, R, \alpha_R$ ; 3)  $H, F, \alpha_R$ ; 4)  $H, R, \alpha_F$ ; 5)  $H, F, R$ ; 6)  $H, \alpha_F, \alpha_R$ ; 7)  $F, R, \alpha_F$ ; 8)  $F, R, \alpha_R$ ; 9)  $F, \alpha_F, \alpha_R$ ; 10)  $R, \alpha_F, \alpha_R$  (материал предоставлен Кузиковым С.И.).

Ряды, полученные всеми десятью вариантами, были протестированы на устойчивость. В результате выяснилось, что наиболее устойчивыми являются варианты № 7:  $F, R, \alpha_F$  и № 8:  $F, R, \alpha_R$ . Но для того, чтобы воспользоваться одним из них, необходимо, чтобы в цикле присутствовало прямое и обратное измерения одной линии. Но это не всегда возможно, т.к. данные могут отсутствовать по различным причинам. Тогда становится возможным использовать лишь вариант № 1:  $H, F, \alpha_F$  или №2:  $H, R, \alpha_R$ , в зависимости от того, измерения в какую сторону присутствуют. Эти варианты пересчёта на опорное расстояние также дают хороший результат.

## О МЕТОДАХ УПРАВЛЕНИЯ ГЕОРИСКАМИ ПРИ ОСВОЕНИИ НЕФТИ И ГАЗА

Жумашева З.Н., Жумашов Ж.Н.

тел.: +996 312 555775 (222); e-mail: [sh.usupaev@caiag.kg](mailto:sh.usupaev@caiag.kg)

Институт горного дела и горных технологий им. академика У. Асаналиева, г. Бишкек,  
Кыргызская Республика

Техногенные аварии и катастрофы тесно связаны с наличием эффективных методик, обеспечивающих безопасность в сфере деятельности человека при освоении месторождений

нефти и газа [1-12]. По сведениям ООН, за последние 30 лет ущерб от техногенных катастроф увеличился в три раза и оценивается в 200 млрд. долл. США в год. В России годовой материальный ущерб от техногенных аварий, включая затраты на их ликвидацию, превышает 40 млрд. рублей [1, 2-4].

Промышленная и экологическая безопасность является одним из важнейших факторов, определяющих экономическую устойчивость топливно-энергетического производства. Проведенный анализ динамики техногенных рисков в нефтяной и газовой промышленности показывает, что только за последние десять лет экономический ущерб от них возрос более чем в 2 раза. В России ежегодно на объектах нефтяной и газовой промышленности происходит около 20 тысяч аварий, связанных с опасным загрязнением воздуха, природных водоемов и территорий [1, 5].

Вовлечение в разработку нефтяных и газовых месторождений с высоким содержанием сероводорода существенно повышает уровень техногенных рисков, из-за выброса пластовых флюидов в окружающую среду. Высокая токсичность сероводорода, его вредное воздействие на человека и окружающую среду, а также пожаро- и взрывоопасность данного вещества повышают опасность технологических процессов при освоении сероводородсодержащих нефтяных и газовых месторождений для персонала, населения и окружающей среды. В США совокупный ущерб от крупной аварии на сероводородсодержащих месторождениях нефти и газа превышает 50 млн. долл. США [3].

Опасные выбросы наносят вред здоровью и жизни персонала и населения, приводят к загрязнению природной среды и вызывают материальные потери. Например, при разработке месторождения сероводородсодержащего газа Лак во Франции имело место более 40 человеческих жертв. При аварийном фонтанировании скважины Лоджпол в Канадской провинции Альберта произошло опасное загрязнение окружающей среды на территории более 1000 км, что создало угрозу здоровью детей, лиц пожилого возраста на удалении до 60 км. Следующим примером является открытый нефтегазовый фонтан на разведочной скважине Тенгизского нефтяного месторождения, приведший к реальной опасности для уязвимых экосистем Прикаспия на территории более 600 км<sup>2</sup>, что потребовало эвакуации людей из зоны радиусом более 10 км.

Обеспечение безопасности персонала, населения и защита природной среды требуют эффективного управления техногенными рисками. Такое управление основано на системном анализе причин и условий формирования чрезвычайных ситуаций, достоверном прогнозе их развития и последствий и адекватных организационных и технических мероприятий [3, 8-11].

В Кыргызстане ущерб от чрезвычайных ситуаций составляет, по среднестатистическим оценкам за последние 24 года, около 40 млн. долларов США в год, однако сведения о последствиях от георисков нефтегазовой отрасли здесь не учтены.

На территории Кыргызстана районы углеводородного сырья сосредоточены в южном регионе страны, где со времени их освоения имеет место опасное загрязнение окружающей геологической среды на всех стадиях освоения месторождений.

Одной из острых проблем в нефтегазовой отрасли является отсутствие надлежащего пакета документов, особенно в сфере обеспечения методов и средств промышленной и экологической безопасности.

Закон о нефти и газе в редакции от 9 марта 2004 года № 19 принят Законодательным собранием Жогорку Кенеша Кыргызской Республики 18 мая 1998 года. По данному закону, нефтегазовая отрасль является составной частью промышленности. Данная отрасль включает комплекс организационных, технических и технологических процессов, связанных с поисками, разведкой, добычей, хранением, переработкой, транспортировкой и продажей нефти, газа и продуктов их переработки. Поэтому для успешного функционирования отрасли необходимо разработать:

- методы анализа техногенных рисков;
- методы управления техногенным риском;
- методы защиты от техногенного загрязнения водоемов и почвогрунтов;

- экономические методы управления техногенными рисками.

Для анализа и разработки комплексного алгоритма управления техногенными рисками необходимо разработать методы проведения: оценки вероятности возможных аварий; прогнозирования последствий возможных аварий; создания программно-технических средств прогнозирования последствий ЧС [2, 4-7].

**К первому этапу** исследований относится необходимость проведения анализа и корректировки проектных решений по управлению техногенными рисками, для осуществления которой требуется: 1. Обеспечить надежность технологического оборудования. 2. Автоматизировать производственное оборудование и технологические процессы. 3. Утилизировать технологически неизбежные выбросы вредных веществ. 4. Повысить промышленную и экологическую безопасность технологических процессов. 5. Совершенствовать технологии пусконаладочных и регламентных работ. 6. Совершенствовать технологии консервации скважин. 7. Повысить промышленную и экологическую безопасность при выполнении профилактических и ремонтных работ. 8. Обеспечить безопасность профилактики и ремонта оборудования в условиях наличия пиррофорных отложений. 9. Обеспечить безопасность при ремонте трубопроводов.

**Вторым этапом** предусматриваемых работ является подбор и внедрение новых технологий управления рисками аварийного загрязнения атмосферы, для чего предусматривается:

1. Экспериментальные исследования термического воздействия на аварийный выброс.
2. Разработка и внедрение метода зажигания аварийного выброса при разрушении трубопроводов.
3. Исследование эффективности и разработка технических методов защиты типа "тепловая завеса".
4. Исследование эффективности и разработка технического метода защиты с применением средств динамического воздействия на выброс.
5. Исследование и разработка методов защиты с применением нейтрализаторов сероводорода.
6. Разработка методов и средств мониторинга техногенных ЧС.
7. Разработка и внедрение комплексных систем аварийного реагирования.
8. Система оповещения о газовой опасности.
9. Оценка эффективности внедрения системы аварийного реагирования на чрезвычайные ситуации [2, 4-10].

**Третий этап** исследований заключается в разработке научно-технических решений по очистке природных водоемов и почвогрунтов от загрязнения сероводородсодержащими нефтепродуктами, а именно:

- 1) в разработке метода очистки природных водоемов от загрязнения сероводородсодержащими нефтепродуктами;
- 2) в разработке и внедрении новой технологии защиты природных водоемов от загрязнения сероводородсодержащими нефтепродуктами;
- 3) в разработке метода очистки почвогрунтов от сероводородсодержащих нефтепродуктов;
- 4) в разработке и внедрении технологий объемной очистки почвогрунтов.

**Четвертый этап** исследований связан с необходимостью разработки новых для Кыргызстана научно-методических основ комплексного страхования техногенных рисков, в целях решения которой предусмотрены:

1. Проведение исследований в системе "Риск-Анализ."
2. Обоснование технико-экономических показателей страхования.
3. Реализация процедуры комплексного страхования промышленных рисков.
4. Практическая реализация методологии комплексного страхования.

На территории Кыргызстана предусмотрено (на технологически развитой базе российской нефтегазовой промышленности) после проведения поисковых

геологоразведочных работ и бурения поисковых скважин, приступить к разработке новых месторождений нефти и газа, что безусловно потребует внедрения высокоэффективных технологий и мощностей технологического оборудования [11, 12].

Существенным недостатком, снижающим эффективность управления рисками, является отсутствие достоверных критериев, определяющих опасность токсичного воздействия сероводорода на человека при аварийном загрязнении атмосферы. Важной проблемой является весьма низкая эффективность типовых методов защиты населения и окружающей природной среды от техногенных выбросов токсичных веществ в атмосферу.

Как показали результаты, если эффективность использования средств индивидуальной защиты обученным персоналом превышает 90%, для населения она не достигает 80%.

Расчетная эффективность средств коллективной защиты в этих условиях, включая средства временной эвакуации, составляет около 30% для населенных пунктов, находящихся в зоне часового достижения опасных концентраций [4, 8, 10].

Как показала практика, отсутствуют приемлемые для производства технические и организационные решения, обеспечивающие защиту природных водоемов от загрязнения сероводородсодержащими продуктами при авариях на объектах добычи и транспортировки нефти и газа [4, 8-10].

Специфические опасности, обусловленные наличием сероводорода и коррозионно-агрессивных веществ в пластовых флюидах, требуют исследований, направленных на повышение эффективности методов и средств управления техногенными рисками.

Для достижения вышеуказанной цели в работе сформулированы следующие основные задачи:

- анализ эффективности методов и средств защиты населения, персонала и окружающей природной среды от техногенных рисков, обусловленных освоением месторождений нефти и газа, включая чрезвычайные ситуации, связанные с аварийными выбросами пластовых флюидов и технологических сред в атмосферу, природные водоемы и на почвогрунты;

- обоснование алгоритма выбора рациональных методов и средств управления техногенными рисками на основе количественных критериев опасности, достоверных методов и эффективных программно-технических средств прогнозирования развития и последствий возможных чрезвычайных ситуаций;

- обоснование эффективных технических, технологических, организационных и экономических решений для исключения неприемлемых и снижения прочих техногенных рисков на всех стадиях освоения сероводородсодержащих месторождений нефти и газа;

- апробация и внедрение эффективных методов и средств аварийного реагирования, направленных на обеспечение безопасности персонала и населения, снижение уровня загрязнения атмосферы, защиту природных водоемов и почвогрунтов при аварийных выбросах сероводорода и других вредных веществ.

Предусматриваемые исследования и ожидаемые результаты работы заключаются:

- в создании научно-методических основ системы управления техногенными рисками на опасных производственных объектах обустройства сероводородсодержащих нефтяных и газовых месторождений, разработанных месторождений нефти и газа;

- в обоснованных принципах, методах и технических средствах обнаружения, предотвращения и оперативной ликвидации чрезвычайных ситуаций, связанных с загрязнением атмосферного воздуха, природных водоемов и почвогрунтов сероводородом и другими вредными веществами;

- в создаваемых пакетах аварийных технологий, обеспечивающих защиту персонала, населения и сокращение ущербов окружающей природной среде при техногенных чрезвычайных ситуациях, связанных с выбросами сероводорода и других вредных веществ;

- в разрабатываемых требованиях, введенных в нормативные правовые органы исполнительной власти, включая "Правила безопасности в нефтяной и газовой

промышленности", "Инструкцию по безопасному ведению работ при разведке и разработке нефтяных и газовых месторождений с высоким содержанием сероводорода".

#### **Выводы:**

1. Предлагается адаптировать новейшие методы и средства управления техногенными рисками при освоении месторождений нефти и газа, для снижения рисков бедствий на селитебных территориях. Разработать программно-технические средства для оценки и прогнозирования техногенных рисков в районах сероводородсодержащих месторождений.

2. С целью снижения рисков на всех стадиях освоения сероводородсодержащих месторождений нефти и газа необходимо включать следующие технические решения: технологии регламентных работ, обеспечивающие сокращение выбросов в атмосферу и утилизацию вредных веществ; технологию консервации скважин с использованием подземного оборудования, обеспечивающую снижение загрязнения воздушной среды.

3. Необходимо разработать аварийные технологии, методы, обеспечивающие защиту населения и окружающей природной среды при возможных чрезвычайных ситуациях от георисков техногенного характера.

4. Разработать концепцию основы комплексного страхования техногенных рисков для объектов освоения нефтяных и газовых месторождений на территории Кыргызстана.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Гриценко А.И., Аكوпова Г.С., Максимов В.М. Экология. Нефть и газ. М.: "Наука". 1997. 596 с.
2. Фалеев М.И. Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций-важнейшее направление государственной политики устойчивого развития Российской Федерации // Экология и промышленность России. № 12. 1997. С. 4-8.
3. Варвалин Ч.Х. Оценка риска при эксплуатации нефтеперерабатывающих предприятий // Нефть, газ и нефтехимия за рубежом. 1986. № 2. С. 79-88.
4. Измалков А.В. Методологические основы управления риском и безопасностью населения и территорий // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. Вып. 1. 1997. С. 48-62.
5. Безопасность в ЧС. Термины и определения основных понятий. ГОСТ Р 22.0.02-94.
6. Безопасность в ЧС. Техногенные ЧС. Термины и определения. ГОСТ Р 22.0.05-94.
7. Методика оценки последствий аварийных взрывов топливовоздушных смесей. М.: НТЦ Промышленная безопасность. 1993.
8. Сборник методик по прогнозированию возможных аварий, катастроф, стихийных бедствий в РСЧС. Кн. 2. М.: МЧС России. 1994. 76 с.
9. Рагозин А.Л. Оценка и картографирование опасности и риска от природных и техноприродных процессов (история и методология) // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. 1993. Вып. 3. С. 16-41.
10. Куцын П.В., Гендель Г.Л. Комплексный мониторинг промышленных рисков при разработке месторождений нефти и газа // Горный вестник. 1997. № 6. С. 81-87.
11. Усупаев Ш.Э., Жумашов Ж.Н., Жумашева З.Н. Инженерно-геономические особенности размещения нефти и газа на Земле и в регионе Центральной Азии // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. Бишкек. 2013. № 28. С. 57-61.
12. Усупаев Ш.Э., Жумашева З.Н., Жумашов Ж.Н. Геориски природного и экологического характера в районах освоения нефти и газа в Кыргызском Тянь-Шане // Известия Кыргызского государственного технического университета. 2014. № 33.

## ОБ УГЛЕВОДОРОДНОМ СЫРЬЕ ФЕРГАНЫ И ГЕОРИСКАХ ОТ ЕГО ОСВОЕНИЯ

Жумашов Ж.Н., Жумашева З.Н.

тел.: +996 312 612306; e-mail: [zulfiya2408@mail.ru](mailto:zulfiya2408@mail.ru)

Институт горного дела и горных технологий им. академика У.А. Асаналиева, г. Бишкек,  
Кыргызстан

Изученность вопросов о генезисе углеводородного сырья в мировой литературе в настоящее время представлена достаточно детально, комплексно и обширно, однако отсутствует единая точка зрения на его происхождение [1-10].

Калинко М.К. (1965 г.) и Конторович А.Э., Фотиади Э.Э., Демина В.И., Леонтович В.В., Растегин А.А. (1981 г.) детально изучили труды М. Бергло, Д.И. Менделеева, В. Д. Соколова, И.М. Губкина, Н.А. Кудрявцева, В. Б. Порфирьева, Г.Н. Доленко и др., А.П. Виноградова и Э. М. Галимова, в результате анализа которых были получены следующие важные сведения об истории воззрений на генезис нефти и газа [4, 5].

М. Бергло, французский химик, предположил в 1866 г., что нефть образуется при воздействии углекислоты на щелочные металлы в недрах Земли.

Д. И. Менделеев предложил минеральную (карбидную) гипотезу в 1877 г., по которой вода, проникая вглубь Земли по разломам, в результате взаимодействия "углеродистых металлов" - карбидов - образуются углеводороды и оксид железа.

В. Д. Соколов в 1889 предложил гипотезу космического происхождения нефти, согласно которой возникновению нефти способствовали углеводороды, содержащиеся в газовой оболочке Земли ещё во время её звёздного состояния. Позднее, по мере остывания Земли, углеводороды переходили в расплавленную магму. В процессе формирования земной коры, газообразные углеводороды сконденсировались в осадочных породах, образуя нефть.

Открытие оптической активности нефти и тесной связи её с органическим веществом осадочных пород способствовало возникновению в конце 19-го начале 20 вв. сапропелевой гипотезы, высказанной впервые немецким ботаником Г. Потонье в 1904 г.

В трудах И. М. Губкина "Учение о нефти" в 1932 г. было дано обобщение данных о развитии представлений генезиса нефти и формировании её залежей.

Н.А. Кудрявцев, В.Б. Порфирьев, Г.Н. Доленко (Россия) и Ф. Хойл (Великобритания), Т. Голд (США) и другие учёные в 50-60-е годы 20-го века предложили различные гипотезы неорганического происхождения нефти.

А. П. Виноградов, Э. М. Галимов, в связи с обнаружением в составе нефти хемофоссилий - своеобразных молекулярных структур, унаследованных от органического вещества, а также вследствие изучения распределения стабильных изотопов углерода, серы, азота, кислорода, водорода в нефти, органических веществах пород и в организмах подтвердили связь нефти с органическим веществом осадочных пород [4-5].

В настоящее время из 600 нефтегазоносных провинций общей площадью 80 млн. км<sup>2</sup>, в т.ч. 50 млн. км<sup>2</sup> на суше и 30 млн. км<sup>2</sup> на шельфах, к промышленным относятся 160 провинций, а остальные перспективны для их поисков на планете Земля.

При этом 25% из известных запасов нефти приурочены к кайнозойским, мезозойским - 55% и 20% к палеозойским отложениям.

В пределах нефтегазоносных провинций из известных 30 тысяч месторождений нефти, не менее 80% имеют извлекаемые запасы менее 1 млн. т.

Месторождения с запасами более 300 млн. т. относятся к уникальным и составляют 0,2% от общего количества и содержат до 70% запасов нефти на нашей планете.

На Азию приходится 53% запасов нефти, в т.ч. 98% углеводородного сырья находится на Ближнем и Среднем Востоке, а два месторождения Гавар (Саудовская Аравия) и Большой Бурган (Кувейт) содержат 20% всех разведанных запасов нефти мира.

Нефть- маслянистая и горючая жидкость, содержащая газообразные углеводороды из метановых, нафтеновых и ароматических и не углеводородных сернистых и азотистых соединений, которые расположены на глубине свыше 1,2-2 км.

Состав нефти представлен так: С 83-87%; Н 12-15%; О 0,05-0,7%; S 0,001-6%; N 0,02-2%.

Цвет нефти варьирует от светло-коричневого до тёмно-бурого и чёрного; плотность от 800 до 980-1050 кг/м<sup>3</sup> (менее 800 кг/м<sup>3</sup> имеют газовые конденсаты).

По плотности нефти делятся на 3 группы: на долю лёгких нефтей с плотностью до 870 кг/м<sup>3</sup> в мировой добыче приходится около 60% (в СНГ - 66%); на долю средних нефтей (871-910 кг/м<sup>3</sup>) в СНГ - около 28%, за рубежом - 31%; на долю тяжёлых (свыше 910 кг/м<sup>3</sup>) - соответственно около 6% и 10%.

Температура начала кипения нефти выше 28°C, а застывания варьирует от +26 до -60°C и зависит от содержания парафина: чем его больше, тем температура застывания выше. Температура вспышки колеблется от 35 до 120°C в зависимости от фракционного состава и давления насыщенных паров [3, 6].

Исследуемая Ферганская депрессия в орогенный этап, в период от средне-верхнеолигоценового до нижнеплейстоценового времени, интенсивно и длительно погружалась. При этом одновременно южная, юго-восточная и северо-восточная части данной впадины испытывали восходящие движения. Резкоконтинентальные тектонические движения здесь проявились в нижнеплейстоценовое время, с сокращением площади впадины вследствие надвига Кураминского хребта на осадочный чехол [3].

При этом нисходящие движения происходили в южной и юго-восточной частях депрессии, что привело к увеличению мощности отложений сохской серии в направлении от северо-запада к югу и юго-востоку.

В **четвертичное** время восходящие движения происходили в южной и юго-восточной части впадины, а северо-западная и центральная части впадины вновь испытывали погружение. При этом накопление отложений в кирпично-красной свите в центральной и северо-западной частях впадины происходило в условиях солоновато-водного бассейна. Устойчивое и длительное прогибание Северо-Западной и Центральной Ферганы за орогенный период привели к накоплению моласс мощностью до 6,5 км., что создало благоприятные условия для миграции углеводородов из погруженных к прибортовым частям впадины по отложениям палеогена и неогена, на что указывают:

1. Гумусовый тип рассеяния органического вещества в прибортовых частях депрессии.
2. Достаточное для газообразования, процентное содержание гумуса с закономерным увеличением с глубиной по направлению к центральной части исследуемой впадины.
3. Благоприятные литолого-фациальные условия, с уменьшением размеров частиц, чередованием глин, алевроитов и песчаников и ростом открытой пористости на глубинах свыше 4,5 км.
4. Наличие покрывок от 6 до 21 в низах верхней и нижней молассы.
5. Прямые признаки нефтегазоносности в процессе бурения до вскрытия палеогеновых отложений.
6. Открытие промышленных залежей нефти на ряде площадей.

Вышеприведенные данные свидетельствуют о наличии нефти и газа в отложениях кирпично-красной свиты в погруженных частях Ферганской впадины.

Наряду с данными бурения, сейсмические материалы и результаты комплексной геолого-геофизической интерпретации, а также данные по обнажениям позволили выделить по степени интенсивности движений пять следующих тектонических зон:

1) **Южно-Ферганскую**, которая представлена группой поднятий: Раватской, Айританской, Маданиятской, Ачисуйской, Нефтеабдской, Сохской, Капчагайской, Андижанской, Чимионской, Аввальской и Аимской.

2) **Нарынскую**, в которую входят Майлисуйская, Избаскентская, Джейтерекская группы поднятий.

3) **Наманганскую**, включающую Испаранскую, Наманганскую, Учкурганскую и Джельмесскую группы поднятий.

4) **Северо-Западную**, в которой находятся Акчоп-Абдусаматский вал, Алмасский и Найданский прогибы.

5) **Центрально-Ферганскую**, где выделены слабовыраженные валы субширотного простирания, осложненные группами антиклинальных поднятий и четырьмя прогибами: Присырдарьинским, Карадарьинским, Варыкским, Учкурганским.

Приведенные материалы свидетельствуют о том, что наиболее интенсивно восходящие тектонические движения проявились в орогенный этап в Южно-Ферганской, Нарынской и Наманганской тектонических зонах.

В Нарынской тектонической зоне на основе детальной корреляции каротажных диаграмм в тесной увязке с имеющимися нефтегазопроявлениями выделены коллекторы для литологических залежей между Майлисуйской и Избаскентской группами поднятий.

В погруженной части впадины имеется большое количество положительных складок, подготовленных для бурения по палеогеновым отложениям. Такие складки представляют большой интерес по открытию в отложениях кирпично-красной и бледно-розовой свиты залежей газа и нефти.

Вышеизложенные обоснования подтверждены открытием ряда промышленных залежей нефти и газа в Андижанской группе (Южно-Ферганская тектозона) и на площадях Шорбулак и Тергачи (Наманганская тектозона).

В Ферганской впадине нефтепродукты, как правило, при попадании на поверхность земли образуют линзы, которые в различных частях геосферы реализуются в виде следующих процессов: а) в воздушной среде- химическое окисление и испарение; б) в подземной среде, в капиллярах, образуют заземленные формы углеводородов; в) в почвогрунтах - биоокисление и биоразложение; г) в зоне насыщения растекаются по линзе и мигрирует в виде растворенных форм [1-3].

В связи с вышеприведенным обстоятельством, рано или поздно, по цепочке техногенное загрязнение поверхностных и подземных вод, почв, растительности приводит к рискам, влияющим на жизнедеятельность человека [9-10].

Исследования районов с впервые осваиваемыми месторождениями, в сравнении с территориями многолетней добычи сырья, показали, что загрязнения нефтепродуктами в районах их длительного извлечения, как правило, имеют на больших площадях и в разрезе значительные объемы загрязнения.

При этом геофталаты, образующиеся в окислительных условиях, проникают практически во все сферы и представляют опасность для репродуктивной функции и гормональной системы человека.

Ферганская депрессия характеризуется наличием множества месторождений и сотен скважин, где нефть и газ извлекаются на территории Узбекистана и Кыргызстана. В Узбекистане углеводороды добывают в качестве основных энергетических ресурсов республики, к которым относится природный газ. Добыча сосредоточена главным образом в районах Газли и Карши.

Примером проявления георисков от добычи углеводородного сырья является извлечение природного газа из пластов в районе города Газли (Узбекистан). При условии увеличения газоотбора в районе проявляются техногенные землетрясения, несущие риск разрушения жилых домов и объектов соцкультбыта [1, 10].

Национальная холдинговая компания «Узбекнефтегаз» подготовила к поисковому бурению 21 структуру, к глубокому поисково-разведочному бурению- 10 площадей. Завершено строительство 36 поисково-разведочных скважин, открыты 7 месторождений: Шеркент, Сагиртау, Дарахтли, Ойдин, Рубойи, Каратепа и месторождение малоподвижной вязкой нефти и природных битумов - Дасманага.

Переданы в эксплуатацию 13 поисково-разведочных скважин. Завершен подсчет и пересчет запасов месторождений: Кушимча, Чегаракум, Матонат, Феруза, Восточный Хартум, Хартум, Сардоб, Бостон, Марказий Авваль, Лялмикар.

Загрязнение окружающей среды нефтепродуктами в настоящее время является одним из наиболее распространенных опасных процессов и явлений на планете и в регионе. Загрязнения нефтепродуктами являются неотъемлемой частью в указанных выше объектах добычи углеводородов, а также они имеют место в районах расположения нефтебаз, хранилищ авиатоплива, военных объектов, железнодорожных станций, автозаправок, на путях транспортировки нефтепродуктов, на нефтеперерабатывающих предприятиях, автостоянках и гаражах государственного, частного сектора.

Интенсивная разработка газовых и нефтяных месторождений приводит к просадке поверхности земли, что способствует изменению ландшафта, характера пластики рельефа местности, динамике новейших и современных структур.

К экологической проблеме относится водоснабжение населения качественной питьевой водой, где часто имеет место факты загрязнения грунтовых вод фенолами и нефтепродуктами.

Например, река Кашкадарья загрязняется коммунальными хозяйствами Карши и Шахрисабза: минерализация воды составляет до 1220 мг/л, что превышает ПДК в 1,2 раза, а содержание в ней нефтепродуктов доходит до 0,41 мг/л. Отсюда происходит рост заболеваемости населения желчекаменной и мочекаменной болезнями.

На примере Бухарской области следует отметить, что нефтеперерабатывающий завод является основным загрязнителем водных ресурсов района. При этом содержание фенолов и нефтепродуктов в воде превышает ПДК в 2-3 раза. Так, высокое содержание нефтепродуктов в почве наблюдается в районе поселка Мубарек и на территории станции Караулбазар. Одновременно, запасы пресных подземных вод истощены, население испытывает дефицит питьевой воды, т.к. минерализация воды составляет до 1,5 г/л, а ее жесткость - 11-12 мг-экв [1-3].

В Ферганской долине подвержены георискам Андижанская, Наманганская и Ферганская области Узбекистана. Продолжаются утечки газа и нефти из-за устаревшей инфраструктуры, что приводит к загрязнению атмосферы метаном- его выбрасывается в атмосферу примерно 1 млн. т. в год.

В Баткенской области Кыргызстана расположены объекты, находящиеся в эксплуатации у Узбекистана. Это месторождение Бургонду. Из пробуренных на нем в 2002 г. 194 скважин 190 оказались непригодными для добычи.

В Кыргызстане, например, в результате добычи газа, нефти и урановых руд в районе города Майлуу-Суу с 60-ых годов двадцатого столетия начали проявляться оползни техногенного характера, число которых к началу 21 века достигло 260.

Известны на территории Кыргызстана несколько месторождений нефти и газа, в т.ч. нефтяные: Восточно-Избаскентское, Чангыр-Ташское, Карагачское, Тогап-Бешкентское; нефтегазовые: Майли-Суйское-IV, Избаскентское, Майли-Суйское-III, Северо-Риштанское; газовые: Кызыл-Алмаское, Сузакское, Чигирчикское, Сары-Камышское, Сары-Токское; газоконденсатное: Северо-Каракчумское.

Основные запасы нефти приурочены к отложениям палеогена, газа- к породам юры и мела. Нефти в основном лёгкие, малосернистые, парафинистые, высокосмолистые со значительным содержанием лёгких фракций.

В истории тектонического орогенного этапа развития Ферганской впадины главными условиями генезиса нефти и газа являются образование зоны устойчивого и интенсивного прогибания в северо-западной части Ферганской впадины до нижнеплейстоценового времени, а также крупного надвига Кураминского хребта и массивов Карамазар и Моголтау на осадочный чехол.

#### **Выводы:**

1. Необходимо при определении генезиса углеводородного сырья проводить исследования по оценке и прогнозу георисков природного и техногенного характера.

2. Целесообразно внедрять безопасные технологии разведки, извлечения и добычи углеводородного сырья в исследуемом регионе.
3. Следует увеличить объемы работ сейсморазведкой по изучению глубинного строения площадей, а бурение скважин довести до глубины 3-5 км.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Акрамходжаев А.М. и др. Нефтегазообразование и нефтегазонакопление в Ферганской впадине. Ташкент: Фан. 1966. 252 с.
2. Ботнева Т.А. Цикличность процессов нефтегазообразования / Тр. ВНИГНИ. 1972. Вып. 126. 256 с.
3. Джумагулов А.Д., Каширин Ф.Т., Цехмейстрюк А.К. Нефтяная и газовая промышленность Киргизской ССР и её сырьевые ресурсы. В кн.: Новые данные по геологии и нефтегазоносности Киргизии. Фрунзе:Илим. 1975. С. 3-16.
4. Калинин М.К. Основные закономерности распространения нефти и газа в земной коре. М.: Недра. 1965. 206 с.
5. Конторович А.Э., Фотиади Э.Э., Демин В.И., Леонтович В.В., Растегин А.А. Прогноз месторождений нефти и газа. М.: Недра. 1981. 350 с.
6. Мамыров Э. Геохимические условия осадконакопления кайнозойских моласс Ферганской впадины в связи с оценкой перспектив их нефтегазоносности. В кн. Новые данные по геологии и нефтегазоносности Киргизии. Фрунзе: Илим. 1975. С. 98-105.
7. Мамаджанов А. Прогноз нефтегазоносности глубоководных отложений Ферганской впадины. Автореф. канд. дис. М. 1981. 24 с.
8. Рябухин Г.Е., Рожков Э.Л., Павлинич М.Ф. Геология и нефтегазоносность межгорных впадин СССР. М.: МИНХ и ГП. 1977. 99 с.
9. Усупаев Ш.Э., Жумашов Ж.Н., Жумашева З.Н. Инженерно-геономические особенности размещения нефти и газа на Земле и в регионе Центральной Азии // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. Бишкек. 2013. № 28. С. 57-61.
10. Усупаев Ш.Э., Жумашева З.Н., Жумашов Ж.Н. Геориски природного и экологического характера в районах освоения нефти и газа в Кыргызском Тянь-Шане // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. № 33.

### **О КОЛИЧЕСТВЕННОМ ИЗУЧЕНИИ ТЕКТОНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ МЕЗОЗОЙ-КАЙНОЗОЙСКИХ ДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ НА ПРИМЕРЕ ВПАДИН ЮГО-ВОСТОКА ТУРАНСКОЙ ПЛИТЫ**

Жураев Ф.Ф., Умурзаков Р.А.

тел.: +998909275347; +998935401854; e-mail: [umrah@mail.ru](mailto:umrah@mail.ru)

Ташкентский государственный университет им. А.Р.Беруни, г. Ташкент, Узбекистан

В последние десятилетия при разработке научных основ нефтегазопромышленных исследований значительное внимание уделяется созданию тектонических и геодинамических моделей на основе количественных параметров геологической среды [1]. Проводится апробация новых моделей (напр.: миксгенетической) формирования месторождений углеводородов [2]. Вместе с тем следует отметить, что палеогеологические данные об особенностях формирования и развития тектонических структур нефтегазоносных областей сохраняет свою актуальность и значимость. В пределах впадинных территорий Туранской плиты - это изучение характера тектонических движений и развития структурных элементов

осадочного мезозой-кайнозойского чехла. Анализ опубликованных работ по региону показывает, что наибольший размах изучения историко-структурных особенностей тектонической деформации на основе изменений мощности отложений различных этапов в мезозое – кайнозое относится ко времени 50-80 гг. прошлого столетия и связан с именами О.А.Рыжкова, Ш.Д.Давлятова, А.Г.Бабаева, С.В.Екшибарова, К.А.Сотириади и др. [3-5].

Можно отметить, что в те и последующие годы анализ тектонических особенностей развития структур осадочных бассейнов Турана выполнялся, преимущественно, на качественном уровне. Количественные показатели ограничивались лишь обращением к значениям амплитуд движений, или их отношением ко времени деформации – с определением скорости тектонических движений. К настоящему времени уже имеется серия опубликованных работ, посвящённых оценке влияния амплитуд ранговых составляющих тектонических движений на распределение нефтяных и газовых месторождений [6]. Полученный положительный опыт успешно используется при прогнозных исследованиях на территории России.

Следует отметить, что использование одних только амплитудных карт не позволяет в достаточной мере выявлять информативность геологических данных для решения поставленных задач. Отмеченная в работах [7,8] возможность извлечения информации, вытекающая из расчётов «производных» показателей тектонических движений, до настоящего времени остаётся без внимания. Для восполнения этого пробела нами проводятся исследования, составной частью которых являются расчёты активности тектонических движений за отдельные этапы мезозой-кайнозойской истории. Подробное описание основ методики расчётов приводится в работе [8]. Значения показателя тектонической активности ( $A_T$ ) определяются по формуле:

$$A_T = 100 * \frac{h_1 + h_2}{2 \pi R^2 * T} \quad (1)$$

где  $h_1$  и  $h_2$  - значения амплитуд движений соседних изолиний в метрах; R – радиус вписанной между соседними изолиниями окружности; T – время формирования толщи, в млн. лет.

В качестве исходных данных для расчётов активности послужили карты мощностей осадочных отложений соответствующих этапов [4,5], на основе которых были получены ранговые составляющие [9]. В докладе мы приводим описание результатов, полученных лишь для первой (для данного региона) ранговой составляющей тектонических движений и деформаций, соответствующих наиболее крупным ритмам.

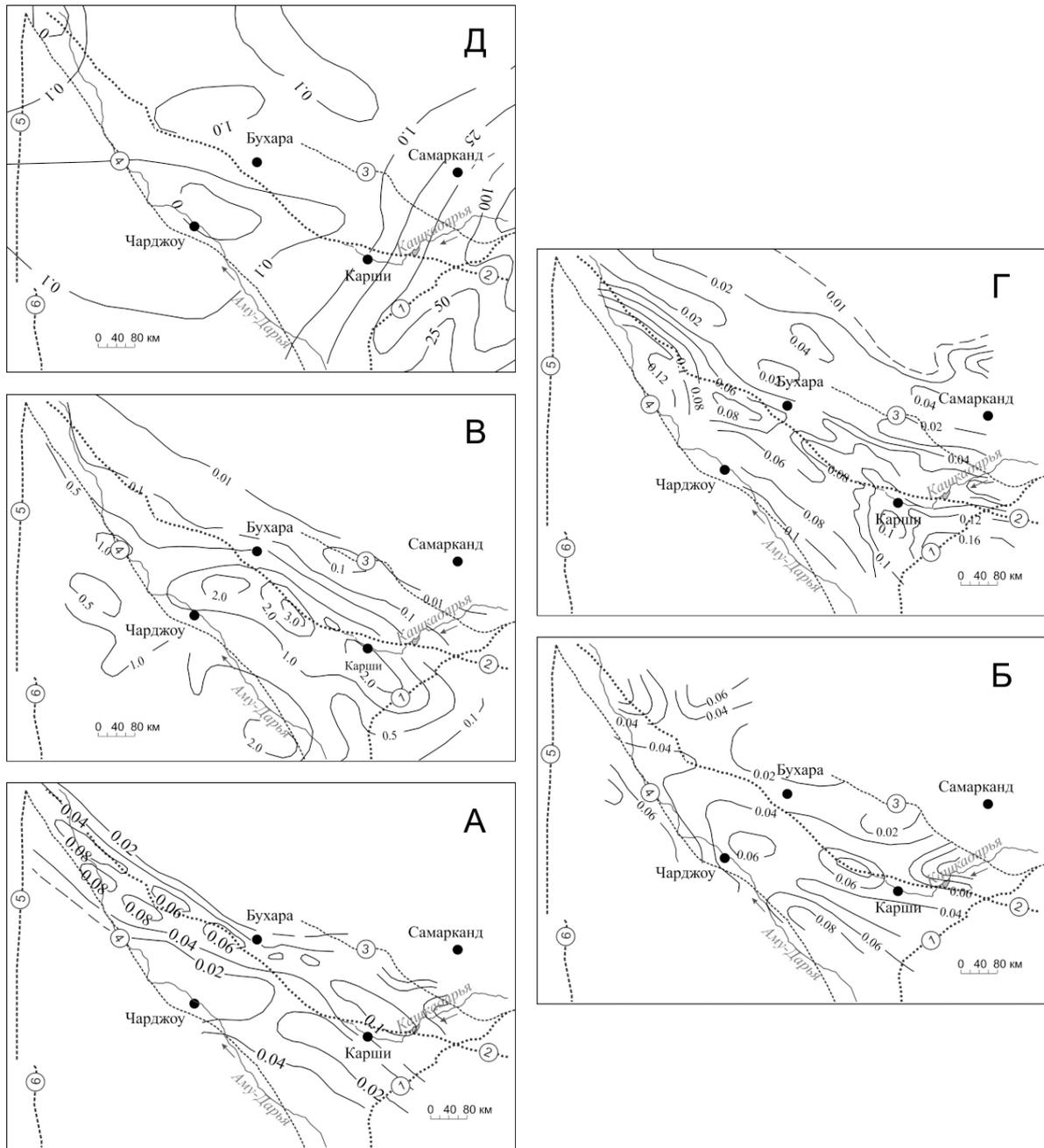


Рис. 1. Карты значений (в изолиниях) активности тектонических движений первого (для данного района) ранга различных этапов MZ-KZ истории юго-восточной части Туранской плиты.

Буквы на диаграммах соответствуют «активным» (А, В, Д) и «пассивным» (Б, Г) фазам различных ритмов первого ранга тектонических движений (подробности см. в тексте). Цифрами в кружочках обозначены: (1-2) - глубинные разломы: 1-Западно-Тяньшанский; 2- Бухарский; (3-6) – региональные разломы: 3- Предкызылкумский; 4-Амударьинский; 5- Хорезмский; 4- Мургабский.

В мезозой-кайнозойское время установлено три таких ритма первого ранга соответствующие интервалам геохронологии:

- поздний триас (Т<sub>3</sub>) –келловей-оксфорд поздней юры (J<sub>3</sub> cl+ox);
- титон поздней юры (J<sub>3</sub> t) – палеоцен (Pg<sub>2</sub>) [9];
- поздний олигоцен –четвертичный (представлена активной фазой).

В пределах этих интервалов отмечены активные фазы восходящих движений и относительно спокойные фазы нисходящих движений. Началам активных фаз предшествует

небольшой перерыв осадконакопления, за которым начинается активизация. Например, продолжительность перерыва осадконакопления перед поздне-титон – аптской активизацией составила около 13 млн. лет [10].

В позднем оксфорде - раннем киммеридже отмечается общий подъем территории, в результате которого произошёл размыв верхнеюрских пород. К этому времени относится сокращение седиментационных бассейнов, накопление в отдельных частях континентальных красноцветных образований. Затем наблюдаются дифференцированные движения. Амплитуда движений первого ранга поздне-титон-неокомской фазы в южной части территории достигает 1200-1300 м, в районе Карши -600м. В апт-палеогеновое время происходило максимальное погружение с проявлением морских условий осадконакопления. Значения опусканий достигают здесь 900 -1600 м, в районе Карши -1300 м.

Сами по себе амплитудные карты первого ранга не имеют значимых “аномальных” участков. Внешне их можно уподобить пологому крылу некоторой вытянутой в северо-западном направлении антиклинальной структуры, ось которой приближённо можно провести в центральной части Нуратинских и Центрально-Кызылкумских поднятий. Выполненные расчёты и построения карт тектонической активности вертикальных составляющих движений для отмеченных интервалов трёх ритмов позволили выявить следующие особенности.

Приведённые на рисунке 1 карты активности ( $A_T$ ) получены для движений первого (для данного района) ранга проявленные в виде трёх ритмов:

- первый ритм охватывает время поздний триас ( $T_3$ ) –келловей-оксфорд поздней юры ( $J_3\ c1+ox$ ) - диаграмма А соответствует “активной” фазе, наиболее отчетливо проявившейся в ранней средней юре; диаграмма Б – “пассивной” фазе, проявившейся в средней юре;

- второй ритм первого ранга охватывает время титон поздней юры ( $J_3\ t$ ) – палеоцен ( $Pg_2$ ) – диаграмма В соответствует активной фазе (киммеридж-титон - неоком), диаграмма Г – «пассивной» (апт - эоценовой) фазе второго ритма первого ранга;

- третий ритм охватывает поздний олигоцен - четвертичное время и диаграмма Д соответствует «активной» её фазе.

Как видно из рисунка, во всех диаграммах наблюдается дифференцированное изменение активности движений во времени с постепенным возрастанием в активных фазах от 0,04 -0,1 первого ритма (диаграмма А) до 0,1 – 2,0 второго ритма (диаграмма В) и, значительно увеличиваясь, в третьем ритме до 0.1 – 100 (диаграмма Д). Между этими «активными» фазами значения активности в «пассивных» фазах второго и третьего ритмов практически одинаковы (диаграмма Б – 0,06, диаграмма Г – 0,06). В сравнении с исходной картой амплитуд тектонических движений, которая представляется в виде пологого крыла антиклинали, на этих картах появляются различия в виде отдельных локальных изменений по площади. Вместе с различиями в значениях и общего структурного рисунка, на диаграммах наблюдаются и сходства. Например, на диаграммах А («активная» фаза) и Б («пассивная» фаза) в районе города Карши наблюдается относительно широкая «синклинальная впадина», имеющая северо-запад – юго-восточное простирание. В западной части она затухает практически на уровне одного меридиана. На других участках дело обстоит иначе. На диаграммах В и Г, например, в районе Карши локальная «антиклинальная зона» повышенной активности (диаграмма В) меняется на локальную «синклинальную зону» значительного уменьшения активности. На диаграмме Д значения активности в восточной части (орогенная область) значительно преобладают над значениями в западной части, которая характеризуется платформенным режимом развития. Хотя ряд исследователей часть этой территории относят к орогену. Здесь и рисунок изолиний, и их значения явно свидетельствуют о возможной границе между орогеном и платформой. Следовательно, эта граница на уровне первого ранга соответствует зоне Западно-Тяньшанского глубинного разлома.

Полученные карты активности тектонических движений за различные периоды можно использовать для определения историко-геологических (палеотектонических) критериев распределения нефтегазоносных областей. Для этого необходимо выполнить прослеживание изменений значений активности, приуроченных к отдельным структурам и участкам, а также

оценить влияние активности на распределение месторождений углеводородов. Полученные результаты могут быть использованы также и для выявления историко-геологических критериев оценки сейсмической опасности платформенных территорий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Абидов А.А., Ходжиметов А.И. О численном моделировании формирования палеорифтовых систем // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. М.: ВНИИОЭНГ. 2003. № 6. С. 26-29.
2. Абидов А.А. Нефтегазоносность литосферных плит мира. Ташкент. 2009. 628 с.
3. Рыжков О.А. (отв. ред.) Тектоника и нефтегазоносность мезо- и кайнозоя Узбекистана. Ташкент: изд-во АН УзССР. 1962. 144 с.
4. Давлятов Ш.Д. Тектоника нефтегазоносных районов Узбекистана. Ташкент: Фан. 1971. 176 с.
5. Рыжков О.А., Давлятов Ш.Д., Екшибаров С.В. и др. Тектоническое строение и нефтегазоносность Западного и Южного Узбекистана // Вопросы геологии и нефтегазоносности Западного Узбекистана и Каракалпакии. Ташкент: изд-во АН УзССР, 1962. С. 28-38.
6. Зайцев В.А. и др. Влияние амплитуд неотектонических движений на характер распределения нефтяных и газовых месторождений по разрезу Тимано-Печорского бассейна // Геология нефти и газа. 1999. № 9-10. С. 3-6.
7. Николаев Н.И. Новейшая тектоника и геодинамика литосферы. М.: Недра. 1988. 490 с.
8. Николаев Н.И. Неотектоника и её выражение в структуре и рельефе территории СССР. М.: Госгеолтехиздат. 1962. 392 с.
9. Умурзаков Р.А., Джалилова М.Ф. Ритмохронологические аспекты и ранговый анализ этапности мезозойско-кайнозойской истории тектонического развития западной части Южного Тянь-Шаня и прилегающих районов Туранской низменности // Узбекский геологический журнал 1993. № 5. С. 4-12.
10. Бабаев А.Г. и др. Формации юрских палеоседиментационных бассейнов Узбекистана и их нефтегазоносность. Ташкент: Фан. 1990. 289 с.

### **ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ ОДНОМЕРНОЙ ЗАДАЧИ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ**

Забинякова О.Б.

тел.: 0555 666592; e-mail: [perah.92@inbox.ru](mailto:perah.92@inbox.ru)

Научная станция Российской академии наук, г. Бишкек, Кыргызстан

В настоящее время метод магнитотеллурического зондирования (МТЗ) широко используется как один из экологических методов геофизического исследования Земли. Одна из главных проблем, возникающих при применении этого метода - адекватная интерпретация данных полевых измерений, которую проводят в рамках математических моделей, основанных на системе дифференциальных уравнений Максвелла.

Известно также, что множество теоретических задач можно разбить на две большие группы: прямые и обратные задачи. В работах [1], [2] предлагалось построение численных методов решения прямой 1D задачи МТЗ на базе проекционного варианта интегроинтерполяционного метода (ПВИИМ). В данной работе предполагается построение численных методов решения обратной одномерной задачи МТЗ на основе полученных в [1],[2] разностных схем.

В модели Тихонова – Каньяра Земля рассматривалась как горизонтально-слоистая среда: совокупность горизонтальных слоев различного электрического сопротивления, сопротивление внутри каждого слоя полагается равным постоянной величине, а сопротивление верхнего полупространства (воздуха) считается бесконечным [3], [4]. Смысл решения обратной задачи заключается в определении геоэлектрических свойств среды по электромагнитным полям, регистрируемым на поверхности Земли. Иными словами, при 1D – инверсии решение обратной задачи сводится к определению электрического сопротивления и мощности каждого из слоев.

Итак, рассмотрим геологическую среду, разделенную на  $J$  горизонтальных изотропных пронумерованных слоев. Для каждого  $j$ -того слоя ( $j = \overline{1, J-1}$ ) введем следующие обозначения:

$z = z_j$  - кровля  $j$ -того слоя,  $z_1$  - поверхность Земли;

$z = z_{j+1}$  - подошва  $j$ -того слоя;

$\Delta z_j = z_{j+1} - z_j$  - мощность  $j$ -того слоя; слои с номерами  $j = \overline{1, J-1}$  имеют конечную мощность, а мощность последнего  $J$ -того слоя считается бесконечной;

$Z_{s,j} = Z(\omega_s, z_j)$  - значение функции импеданса на поверхности  $j$ -того слоя, измеренное на частоте  $\omega_s$ ,  $s = \overline{1, S}$ ,  $S$ - число частот, на которых производились измерения;

$\rho_j$  - удельное электрическое сопротивление  $j$ -того слоя.

По смыслу задачи, для некоторого набора частот  $\{\omega_s\}_1^S$  нам также известны величины  $Z_{s,1}$  (на земной поверхности путем непосредственного измерения определяются значения электромагнитных полей, а значит, и функции импеданса).

В[1], [2] с помощью ПВИИМ были получены следующие рекуррентные соотношения для вычисления значений функции импеданса на различных глубинах

$$Z_{s,j} = \frac{2i\omega_s\mu_0}{\left( ch(2k_{s,j-1}\Delta z_{j-1}) - 1 \right) \left( \frac{Z_{s,j-1}}{\rho_{j-1}} - k_{s,j-1}cth(k_{s,j-1}\Delta z_{j-1}) \right)} - k_{s,j-1}\rho_{j-1}cth(k_{s,j-1}\Delta z_{j-1}), \forall j = \overline{2, J} \quad (1)$$

где  $k_{s,j-1} = \sqrt{\frac{-i\omega_s\mu_0}{\rho_{j-1}}}$  - волновое число среды. Установлено, что рекуррентные соотношения (1)

задают точное решение уравнения Риккати:

$$\frac{dZ}{dz} - \sigma(z) \cdot Z^2 = i\omega\mu_0, \quad z \in [0, 1].$$

Введем следующую вспомогательную функцию:

$$K_{s,j-1} = K(\omega_s, z_{j-1}) = \left( ch(2k_{s,j-1}\Delta z_{j-1}) - 1 \right) \left( \frac{Z_{s,j-1}}{\rho_{j-1}} - k_{s,j-1}cth(k_{s,j-1}\Delta z_{j-1}) \right). \quad (2)$$

Тогда (1) примет вид

$$Z_{s,j} = \frac{2i\omega_s\mu_0}{K_{s,j-1}} - k_{s,j-1}\rho_{j-1}cth(k_{s,j-1}\Delta z_{j-1}), \forall j = \overline{2, J}$$

Известно, что на поверхности последнего  $J$ -го слоя бесконечной мощности значение импеданса на некоторой частоте  $\omega_s$  задается следующей формулой:

$$Z_{s,J} = k_{s,J}\rho_J \quad (3)$$

Тогда, считая в (1)  $j = J$ , приравниваем его к (3), и, с учетом (2), получаем, что:

$$\varphi_s(\bar{\rho}, \overline{\Delta z}) \equiv \frac{2i\omega_s\mu_0}{K_{s,j-1}} - k_{s,j-1}\rho_{j-1}cth(k_{s,j-1}\Delta z_{j-1}) - k_{s,J}\rho_J = 0, s = \overline{1, S}, \quad (4)$$

где  $\bar{\rho} = (\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_J)$  – вектор электрических сопротивлений,  $\bar{\Delta z} = (\Delta z_1, \Delta z_2, \dots, \Delta z_{J-1})$  – вектор мощностей. Очевидно, что количество неизвестных переменных в системе (4) равно  $(2J - 1)$ , так как для данной  $J$ -слойной модели имеется  $J$  слоев с неизвестными электрическими сопротивлениями и  $(J - 1)$  слоев с неизвестными мощностями. Будем считать далее  $S = 2J - 1$ . Тогда (4) представляет собой систему  $(2J - 1)$  нелинейных алгебраических уравнений относительно  $(2J - 1)$  неизвестных, решение которой, вообще говоря, можно найти.

Пусть  $\bar{x} = (\bar{\rho}, \bar{\Delta z}) = (\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_J, \Delta z_1, \Delta z_2, \dots, \Delta z_{J-1})$  – вектор неизвестных переменных;

$$\Phi(\bar{x}) = \varphi_s(\bar{x}), s = \overline{1, 2J - 1},$$

$$\Phi'(\bar{x}^{(m)}) = \begin{pmatrix} \left. \begin{array}{cccc} \frac{\partial \varphi_1(\bar{x})}{\partial \rho_1} \Big|_{\bar{x}^{(m)}} & \dots & \frac{\partial \varphi_1(\bar{x})}{\partial \rho_J} \Big|_{\bar{x}^{(m)}} & \frac{\partial \varphi_1(\bar{x})}{\partial \Delta z_1} \Big|_{\bar{x}^{(m)}} & \dots & \frac{\partial \varphi_1(\bar{x})}{\partial \Delta z_{J-1}} \Big|_{\bar{x}^{(m)}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial \varphi_J(\bar{x})}{\partial \rho_1} \Big|_{\bar{x}^{(m)}} & \dots & \frac{\partial \varphi_J(\bar{x})}{\partial \rho_J} \Big|_{\bar{x}^{(m)}} & \frac{\partial \varphi_J(\bar{x})}{\partial \Delta z_1} \Big|_{\bar{x}^{(m)}} & \dots & \frac{\partial \varphi_J(\bar{x})}{\partial \Delta z_{J-1}} \Big|_{\bar{x}^{(m)}} \\ \frac{\partial \varphi_{J+1}(\bar{x})}{\partial \rho_1} \Big|_{\bar{x}^{(m)}} & \dots & \frac{\partial \varphi_{J+1}(\bar{x})}{\partial \rho_J} \Big|_{\bar{x}^{(m)}} & \frac{\partial \varphi_{J+1}(\bar{x})}{\partial \Delta z_1} \Big|_{\bar{x}^{(m)}} & \dots & \frac{\partial \varphi_{J+1}(\bar{x})}{\partial \Delta z_{J-1}} \Big|_{\bar{x}^{(m)}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial \varphi_{2J-1}(\bar{x})}{\partial \rho_1} \Big|_{\bar{x}^{(m)}} & \dots & \frac{\partial \varphi_{2J-1}(\bar{x})}{\partial \rho_J} \Big|_{\bar{x}^{(m)}} & \frac{\partial \varphi_{2J-1}(\bar{x})}{\partial \Delta z_1} \Big|_{\bar{x}^{(m)}} & \dots & \frac{\partial \varphi_{2J-1}(\bar{x})}{\partial \Delta z_{J-1}} \Big|_{\bar{x}^{(m)}} \end{array} \right. & (5) \end{pmatrix}$$

матрица частных производных. В дальнейшем будем предполагать её обратимой.

Тогда, решая систему (4) итерационным методом Ньютона, получаем, что:

$$\bar{x}^{(m+1)} = \bar{x}^{(m)} - [\Phi'(\bar{x}^{(m)})]^{-1} \Phi(\bar{x}^{(m)}), \quad (6)$$

где  $m$  – индекс итерации,  $m = 0, 1, 2, \dots$ ,  $\bar{x}^{(0)}$  – задано. Для вычисления элементов матрицы (5) получены следующие соотношения:  $\forall s = \overline{1, 2J - 1}$

$$\frac{\partial \varphi_s(\bar{x})}{\partial \rho_j} = \begin{cases} -\frac{1}{2} k_j & \text{при } j = J; \\ -\frac{2i\omega_s \mu_0}{K_{s,J-1}^2} \frac{\partial K_{s,J-1}}{\partial \rho_j} - \frac{1}{2} k_{s,j} \text{cth}(k_{s,j} \Delta z_j) - \frac{k_{s,j}^2 \Delta z_j}{\text{ch}(2k_{s,j} \Delta z_{j-1}) - 1} & \text{при } j = J - 1; \\ -\frac{2i\omega_s \mu_0}{K_{s,J-1}^2} \frac{\partial K_{s,J-1}}{\partial \rho_j} & \text{при } j = \overline{1, J - 2}. \end{cases}$$

$$\frac{\partial \varphi_s(\bar{x})}{\partial \Delta z_j} = \begin{cases} -\frac{2i\omega_s \mu_0}{K_{s,J-1}^2} \frac{\partial K_{s,J-1}}{\partial \Delta z_j} + \frac{2k_{s,j}^2 \rho_j}{\text{ch}(2k_{s,j} \Delta z_j) - 1} & \text{при } j = J - 1; \\ -\frac{2i\omega_s \mu_0}{K_{s,J-1}^2} \frac{\partial K_{s,J-1}}{\partial \Delta z_j} & \text{при } j = \overline{1, J - 2}. \end{cases}$$

Для вычисления значений  $\frac{\partial K_{s,J-1}}{\partial \rho_j}$  и  $\frac{\partial K_{s,J-1}}{\partial \Delta z_j}$  определены следующие рекуррентные формулы:

$$\forall s = \overline{1, 2J - 1}, j = \overline{1, J - 1}, m = \overline{1, J - 1}$$

$$\frac{\partial K_{s,j}}{\partial \rho_m} = \begin{cases} 0 \text{ при } m > j; \\ -\frac{k_{s,j}\Delta z_j}{\rho_j} \operatorname{sh}(2k_{s,j}\Delta z_j) \left( \frac{Z_{s,j}}{\rho_j} - k_{s,j} \operatorname{cth}(k_{s,j}\Delta z_j) \right) + \\ \quad + \left( \operatorname{ch}(2k_{s,j}\Delta z_j) - 1 \right) \left( -\frac{Z_{s,j}}{\rho_j^2} + \frac{k_{s,j}}{2\rho_j} \operatorname{cth}(k_{s,j}\Delta z_j) \right) - \frac{k_{s,j}^2 \Delta z_j}{\rho_j} \text{ при } m = j; \\ \frac{\operatorname{ch}(2k_{s,j}\Delta z_j) - 1}{\rho_{j-1}} \left( -\frac{2i\omega_s \mu_0}{K_{s,j-1}^2} \frac{\partial K_{s,j-1}}{\partial \rho_m} + \frac{k_{s,j-1}^2 \Delta z_{j-1}}{\operatorname{ch}(2k_{s,j-1}\Delta z_{j-1}) - 1} - \frac{1}{2} k_{s,j-1} \operatorname{cth}(k_{s,j-1}\Delta z_{j-1}) \right) \text{ при } m = j-1; \\ \frac{2k_{s,j}^2 (\operatorname{ch}(2k_{s,j}\Delta z_j) - 1)}{K_{s,j-1}^2} \frac{\partial K_{s,j-1}}{\partial \rho_m} \text{ при } m < j-1. \end{cases}$$

$$\frac{\partial K_{s,j}}{\partial \Delta z_m} = \begin{cases} 0 \text{ при } m > j; \\ 2k_{s,j} \operatorname{sh}(2k_{s,j}\Delta z_j) \left( \frac{Z_{s,j}}{\rho_j} - k_{s,j} \operatorname{cth}(k_{s,j}\Delta z_j) \right) + 2k_{s,j}^2 \text{ при } m = j; \\ 2k_{s,j}^2 (\operatorname{ch}(2k_{s,j}\Delta z_j) - 1) \left( \frac{1}{K_{s,j-1}^2} \frac{\partial K_{s,j-1}}{\partial \Delta z_m} + \frac{1}{\operatorname{ch}(2k_{s,j-1}\Delta z_{j-1}) - 1} \right) \text{ при } m = j-1; \\ \frac{2k_{s,j}^2 (\operatorname{ch}(2k_{s,j}\Delta z_j) - 1)}{K_{s,j-1}^2} \frac{\partial K_{s,j-1}}{\partial \rho_m} \text{ при } m < j-1. \end{cases}$$

Далее приведем некоторые результаты **численных экспериментов**, проведенных для трех тестовых задач. Для каждой из них строилась синтетическая (тестовая) модель, определяемая следующим параметрами: количество слоев  $J$ , значение электрического сопротивления каждого из этих  $J$  слоев, значение мощности каждого из  $(J-1)$  верхних слоев.

Затем для каждой построенной тестовой модели решалась прямая одномерная задача МТЗ. Периоды (частоты), выбранные для решения прямой задачи, определены геометрической прогрессией с первым членом, равным 0.01, и знаменателем, равным 2; их количество ограничено 27. То есть по формуле (1) вычислялись значения функции импеданса на поверхности Земли  $Z_{s,1}, s = \overline{1, 27}$ . Полученные значения использовались в качестве исходных данных при дальнейшем решении соответствующей обратной задачи. Также, учитывая, что на практике геофизики проводят первичный анализ полевых измерений по графикам кажущегося сопротивления и фазы импеданса, для каждой модели производился расчет значений кажущихся сопротивлений и фаз импеданса по формулам:

$$\rho_{\text{каж}} = \frac{1}{\omega_s \mu_0} |Z_{s,1}|, \varphi = \arg(Z_{s,1}).$$

Для решения обратной задачи частоты выбирались из имеющегося набора произвольным образом, а их число ограничивалось количеством неизвестных переменных задачи. Также при тестировании численных методов решения обратной задачи применялись два подхода: в первом значения мощностей слоев фиксированы, во втором – мощности неизвестны. Критерием качества работы полученных методов выступает максимальная (по всей совокупности используемых для решения обратной задачи частот) относительная погрешность в процентах, вычисляемая по значениям входного импеданса.

### **Тестовая задача 1. Двухслойная модель**

Номер слоя	Сопротивление, Ом*м	Мощность, км
1	100	0,5
2	1000	$\infty$

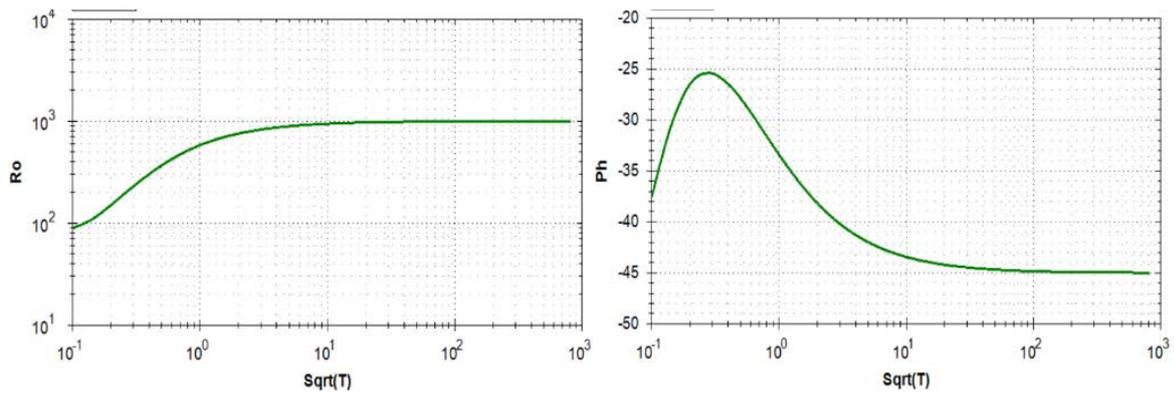


Таблица 1. Результаты решения обратной задачи

Номер слоя	Стартовая модель		Полученная модель		
	Сопротивление, Ом*м	Мощность, км	Сопротивление, Ом*м	Мощность, км	Погрешность, %
1	100	0,5	100	0,5	$1,675 \cdot 10^{-7}$
2	100	$\infty$	1000	$\infty$	
1	50	0,5	100	0,5	$1,662 \cdot 10^{-7}$
2	50	$\infty$	1000	$\infty$	
1	250	0,5	100	0,5	$1,725 \cdot 10^{-7}$
2	250	$\infty$	1000	$\infty$	
1	100	0,3	100	0,5	$1,597 \cdot 10^{-6}$
2	100	$\infty$	1000	$\infty$	
1	100	0,65	100	0,5	$1,574 \cdot 10^{-6}$
2	50	$\infty$	1000	$\infty$	
1	50	0,15	100	0,5	$1,649 \cdot 10^{-6}$
2	10000	$\infty$	1000	$\infty$	

**Тестовая задача 2. Трехслойная модель**

Номер слоя	Сопротивление, Ом*м	Мощность, км
1	100	2
2	1000	20
3	10	$\infty$

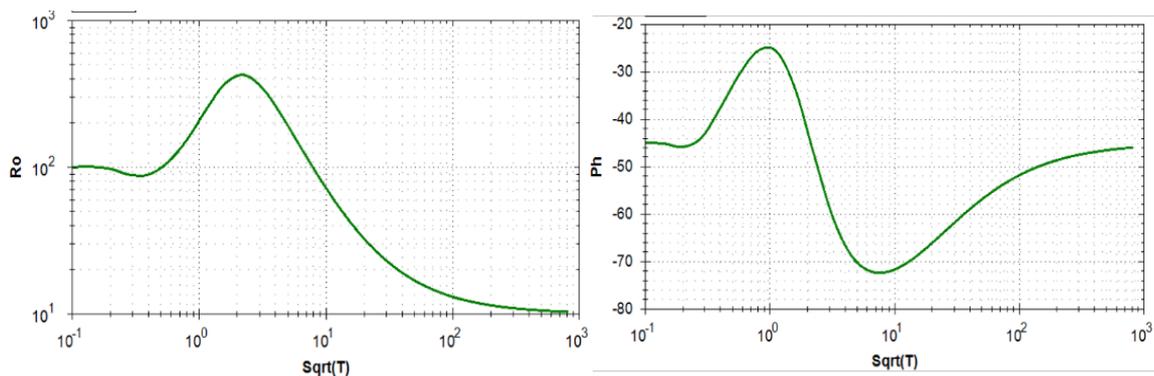


Рис. 2. Трехслойная модель. Графики функции кажущегося сопротивления и фазы.

Таблица 2. Результаты решения обратной задачи

Номер слоя	Стартовая модель		Полученная модель		
	Сопротивление, Ом*м	Мощность, км	Сопротивление, Ом*м	Мощность, км	Погрешность, %
1	100	2	99,98	2	$1,901 \cdot 10^{-4}$
2	100	20	1000,51	20	
3	100	$\infty$	10	$\infty$	
1	500	2	100	2	$1,858 \cdot 10^{-5}$
2	500	20	999,99	20	
3	500	$\infty$	10	$\infty$	
1	100	2	99,67	1990,98	$1,826 \cdot 10^{-5}$
2	500	15	998,91	20009,08	
3	500	$\infty$	10	$\infty$	
1	100	1	99,69	1991,5	$1,706 \cdot 10^{-5}$
2	500	10	998,97	20008,56	
3	10	$\infty$	10	$\infty$	

**Тестовая задача 3. Четырехслойная модель**

Номер слоя	Сопротивление, Ом*м	Мощность, км
1	50	1
2	500	2
3	600	0,5
4	200	$\infty$

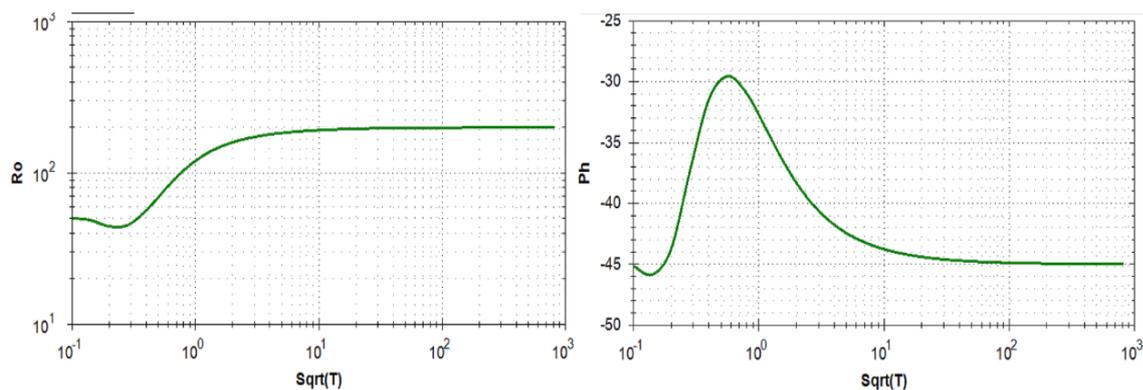


Рис. 3. Четырехслойная модель. Графики функции кажущегося сопротивления и фазы.

Таблица 3. Результаты решения обратной задачи

Номер слоя	Стартовая модель		Полученная модель		
	Сопротивление, Ом*м	Мощность, км	Сопротивление, Ом*м	Мощность, км	Погрешность, %
1	50	1	50	1	$1,084 \cdot 10^{-4}$
2	500	2	500	2	
3	500	0,5	600,03	0,5	
4	500	$\infty$	200	$\infty$	
1	50	1	50	1	$2,727 \cdot 10^{-4}$
2	500	2	500	2	
3	1000	0,5	599,93	0,5	
4	1000	$\infty$	200	$\infty$	
1	50	1	49,93	1	$3,708 \cdot 10^{-2}$
2	500	2	511,14	2	
3	100	0,5	559,54	0,5	
4	100	$\infty$	200	$\infty$	

Для анализа работы предложенного способа решения обратной одномерной задачи МТЗ было проведено множество численных экспериментов, не ограниченных описанными выше тремя тестовыми задачами. В отличие от приведенных результатов расчетов, соответствующих малым относительным погрешностям вычислений, рассматривались и модели, для которых адекватность полученного метода решения не была подтверждена: отсутствовала сходимость итерационного процесса к известному точному решению. Также было установлено, что:

- при увеличении числа неизвестных переменных (случай более сложных тестовых моделей) результат решения обратной задачи предложенным методом ухудшается;
- в некоторых случаях сложность представляет выбор частот – их число должно быть ограничено числом неизвестных переменных, а диапазон, из которого делается выбор, зачастую достаточно обширен; неудачно подобранный набор частот приводит к большому отклонению полученного решения от точного;

- так как при решении системы нелинейных алгебраических уравнений используется итерационный метод Ньютона, то большое влияние на результат оказывает подбор начального приближения;
- в некоторых случаях проявляется сильная неустойчивость задачи: небольшие изменения начальных данных провоцируют большие отклонения результатов.

Из этого следует, что для адекватного функционирования полученного способа необходимо вводить какие-либо дополнительные стабилизаторы, регулирующие ход итерационного процесса, а также для окончательного вывода о решении обратной задачи каким-либо образом использовать весь или большую часть имеющегося диапазона частот.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Забинякова О.Б., Зинченко Д.И., Кулагина М. А., Рыбин А.К., Скляр С.Н. Численные методы решения прямых задач магнитотеллурического зондирования // Актуальные проблемы теории управления, топологии и операторных уравнений: материалы второй международной юбилейной конференции, посвященной 20-летию образования КРСУ им. Б.Ельцина и 100-летию проф. Я. Быкова / Под общ. ред. проф. А. К. Керимбекова. Бишкек: Maxprint. Т. 2. С. 194-198.
2. Забинякова О.Б. Проекционные разностные схемы для системы уравнений Максвелла // Современная техника и технологии в научных исследованиях: материалы докладов 6-ой Международной конференции молодых ученых и студентов. Бишкек. 2014. С. 134-138.
3. Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И. Модели и методы магнитотеллурики. М.: Научный мир. 2009. 680 с.
4. Жданов М.С. Электроразведка: учебник для ВУЗов. М.: Недра. 1986. 316 с.

## ГЕОМАГНИТНЫЕ БУРИ И СЕЙСМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ НА СЕВЕРНОМ ТЯНЬ-ШАНЕ

Кайраткызы Д., Хачикян Г.Я., Жумабаев Б.Т.

тел.: +7 7714078886; e-mail: [kairatkyzy.dina@mail.ru](mailto:kairatkyzy.dina@mail.ru)

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

**Введение.** Тема работы находится в русле исследований [1-4] и направлена на изучение связи сейсмичности на Северном Тянь-Шане с геомагнитными бурями. Отличие данной работы в том, что в работах [1-4] в качестве реперного события выбиралась дата внезапного начала геомагнитной бури (Storm Sudden Commencement – SSC) и методом наложения эпох определялся эффект в сейсмичности после бури (положительный или отрицательный), а в нашей работе, наоборот, за реперное событие выбирается дата землетрясения и методом наложения эпох определяется образ-предвестник в вариациях геомагнитного Dst-индекса, который характеризует интенсивность кольцевого тока в радиационном поясе Земли, ответственного за возникновение и развитие геомагнитной бури [5]. В работах [1-4] показано, что в районах с разным геолого-тектоническим строением отклик сейсмичности на магнитную бурю может быть разным (после бури число землетрясений либо уменьшается, либо возрастает), поэтому мы провели анализ лишь для локального района Северного Тянь-Шаня, ограниченного координатами 42.8–43.5°N, 76-78°E с заведомо одинаковым геолого-тектоническим строением. Можно добавить, что этот район является одним из высокосейсмичных, где в недалеком прошлом произошли катастрофические землетрясения: Верненское (1887 г., M=7.3, 43.1°N, 76.8°E) и Кеминское (1911 г., M=8.2, 42.9°N, 76.9°E).

**Данные.** Для анализа выбраны землетрясения с энергетическим классом  $K \geq 11.0$ , зарегистрированные в указанном районе в 1970 – 2007 гг. (23 события, таблица 1).

Таблица 1.

№	Год - месяц - день - - время UT	Широта эпицентра (град)	Долгота эпицентра (град)	Энергети- ческий класс	Глубина гипоцен- тра (км)
1	1970-06-20 – 19,35	42,87	77,57	11,0	-1
2	1981-06-30 – 19,54	43,10	77,40	11,0	15
3	1982-12-31 – 19,77	42,87	77,37	13,7	18
4	1983-03-13 – 12,34	43,22	77,40	11,7	13
5	1983-09-27 – 05,17	42,98	77,93	11,0	3
6	1986-01-25 – 16,01	43,10	77,38	12,7	18
7	1986-07-17 – 08,26	43,28	78,00	12,4	13
8	1987-05-26 – 13,74	42,87	77,93	11,5	8
9	1987-09-20 – 03,90	42,93	77,62	11,9	13
10	1988-06-17 – 13,51	43,00	77,42	13,4	15
11	1990-05-03 – 10,04	42,92	76,83	12,2	13
12	1990-11-12 – 12,48	42,93	77,93	14,6	18
13	1990-11-12 – 12,69	43,03	77,97	11,1	20
14	1990-12-28 – 00,44	42,98	77,95	11,7	18
15	1992-09-21 – 03,34	42,97	77,37	11,3	10
16	1992-12-19 – 21,40	43,20	76,27	11,3	8
17	1994-09-13 – 04,67	43,12	77,45	11,2	3
18	1996-12-28 – 07,67	43,00	77,98	12,1	13
19	1997-08-15 – 18,99	43,02	77,85	11,8	8
20	2005-06-24 – 09,55	42,93	77,27	11,0	10
21	2005-10-09 – 12,00	42,13	77,33	11,0	11
22	2007-10-09 – 16,01	42,88	77,78	12,7	15
23	2007-12-29 – 21,45	42,90	77,85	11,5	20

В работе также использованы часовые значения Dst-индекса, которые были выбраны на сайте Мирового центра данных C2, г. Киото, Япония (World Data Center for Geomagnetism, Kyoto), <http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/index.html>. В терминах Dst, образ геомагнитной бури включает три фазы [5, 6]: 1) начальную фазу (Initial Phase), во время которой Dst, возрастает, при этом зачастую, но не всегда, возрастание имеет внезапное начало (Storm Sudden Commencement-SSC); 2) главную фазу (Main Phase), когда происходит резкое уменьшение интенсивности геомагнитного поля в течение нескольких часов; и 3) фазу восстановления (Recovery Phase) продолжительностью до нескольких суток. Согласно принятой классификации бурь по Dst – индексу [6], слабые бури имеют значения Dst от -30 nT до -50 nT, умеренные с Dst от -50 nT до -100 nT, сильные (strong) - от -100 до -200 nT, очень сильные (severe) от -200 до -350 nT и экстремальные (great) ниже -350 nT.

**Результаты.** На рисунке 1 показаны, для примера, вариации часовых значений Dst-индекса за период с 19 по 30 июня 2005 г. Вертикальная штриховая линия маркирует дату землетрясения с энергетическим классом  $K=11.0$ , произошедшего 24 июня 2005 г. в 9.55 по Гринвичу с координатами эпицентра  $42.93^{\circ}\text{N}$ ,  $77.27^{\circ}\text{E}$ .

Из рисунка 1 видно, что умеренная буря ( $Dst = -85$ ) началась внезапно 21 июня примерно в 19 часов по Гринвичу; максимальное положительное значение  $Dst = 23$  пришлось на первые часы 22 июня, а максимальное отрицательное значение  $Dst = -85$  наблюдалось 23 июня около 10-11 часов по Гринвичу; фаза восстановления бури продолжалась примерно до 28 июня. Землетрясение с  $K=11.0$  (вертикальная линия) произошло на фазе восстановления геомагнитной бури, примерно через трое суток после ее внезапного начала.

В работе [3] изучен отклик сейсмичности на геомагнитные бури в разных регионах планеты и показано, что в среднем максимум эффекта приходится на 2-7 сутки после внезапного начала магнитной бури, но может быть и продолжительнее. Поэтому мы

проанализировали вариации Dst-индекса, сопутствующие каждому из 23 землетрясений, за 432 часа (18 суток) до землетрясения и 432 часа (18 суток) после. Исходные вариации часовых значений Dst, сопутствующие каждому из 23 землетрясений, показаны на рис. 2.

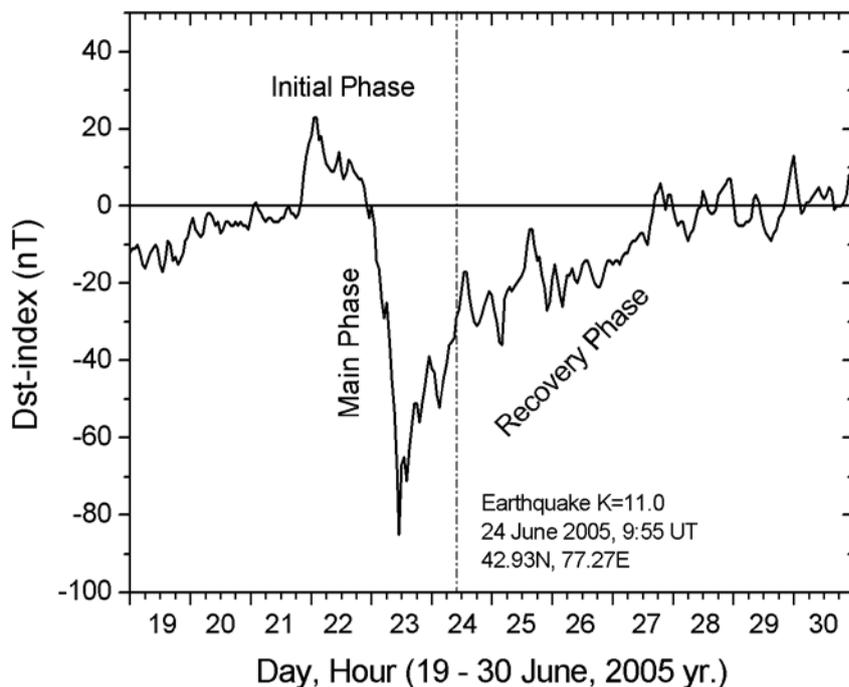


Рис. 1. Умеренная геомагнитная буря ( $Dst = -85$ ) в июне 2005 г., вертикальная линия маркирует дату землетрясения с энергетическим классом  $K=11.0$ , произошедшего 24 июня в 9.55 по Гринвичу с координатами эпицентра  $42.93^{\circ}N, 77.27^{\circ}E$ .

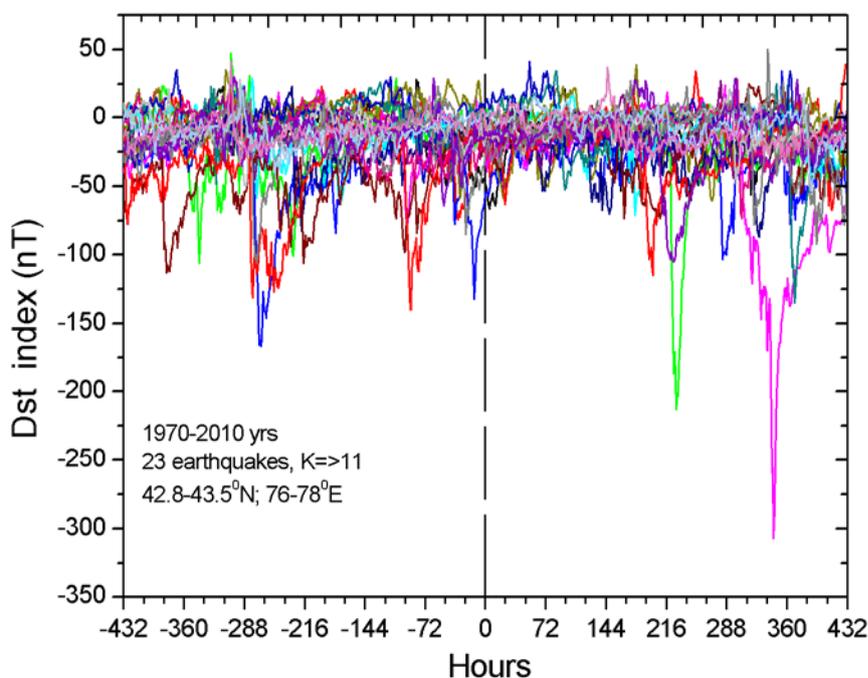


Рис. 2. Вариации часовых значений геомагнитного Dst-индекса за 432 часа (18 суток) до землетрясения и 432 часа (18 суток) после землетрясения (таблица).

В общем, из рисунка 2 видно, что умеренные и даже сильные геомагнитные бури наблюдались перед землетрясением «0-событие», но отсутствовали в течение примерно пяти суток после землетрясения. Иными словами, рисунок 2 подтверждает, что ощутимые землетрясения на исследуемой территории Северного Тянь-Шаня имели тенденцию возникать после геомагнитных бурь, что согласуется с результатами [1-4].

На рисунке 3 приведены вариации значений Dst-индекса, усредненные для 23 событий. Полученный по методу наложения эпох результат показывает «образ-предвестник» в вариациях Dst-индекса сопутствующих ощутимым ( $K \geq 11.0$ ) землетрясениям на исследуемой территории Северного Тянь-Шаня. С качественной стороны, вариации Dst-индекса на рис. 3 напоминают ситуацию для двух последовательных геомагнитных бурь (помечены цифрами 1 и 2), разнесенных по времени практически на 27 суток, то есть двух рекуррентных бурь. Сравнивая рис. 3 и рис. 1, можно заключить, что образ-сигнал первой бури на рис. 3 достаточно точно соответствует образу геомагнитной бури на рис. 1. А именно, буря (1) включает начальную фазу, продолжающуюся несколько часов, главную фазу, продолжающуюся примерно сутки, и фазу восстановления, продолжающуюся практически до развития бури (2). Время возникновения землетрясений приурочено к фазе восстановления первой геомагнитной бури и сдвинуто примерно на 12 суток от ее внезапного начала, что достаточно близко соответствует результатам [1-4].

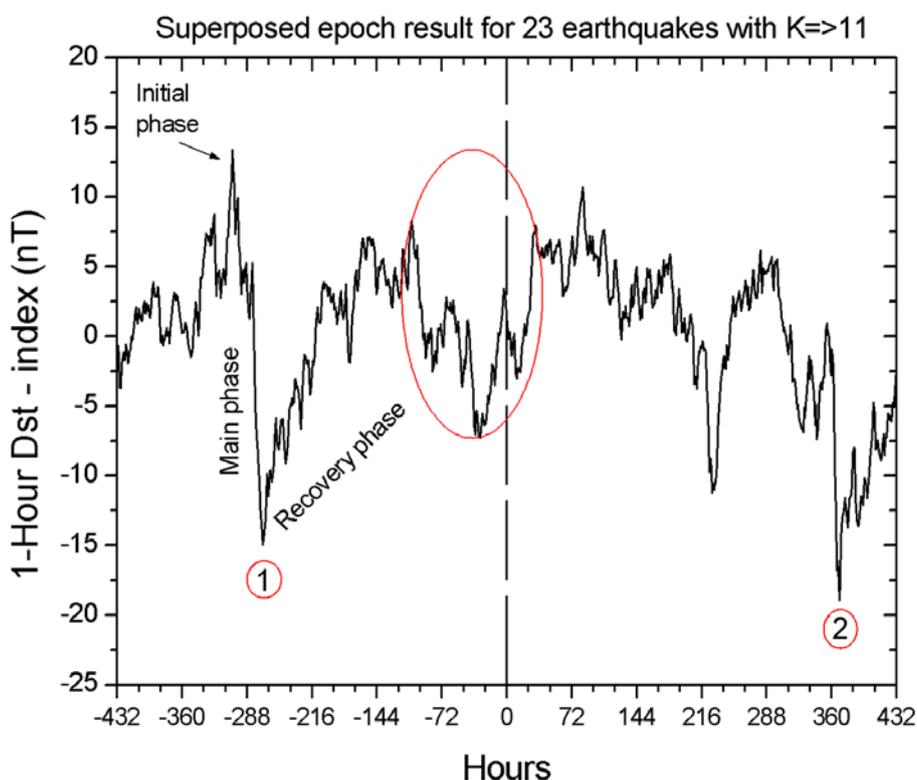


Рис. 3. Результат анализа методом наложения эпох вариаций часовых значений геомагнитного Dst-индекса, сопутствующих 23 землетрясениям, указанным в таблице.

**Вывод.** Данные 23 землетрясений с энергетическим классом  $K \geq 11$ , произошедших в 1970-2007 гг. на локальной территории Северного Тянь-Шаня ( $42.8-43.5^{\circ}N$ ,  $76-78^{\circ}E$ ), где в недалеком прошлом произошли катастрофические землетрясения Верненское и Кеминское, показывают, что землетрясения имели тенденцию возникать на фазе восстановления геомагнитной бури примерно через 12 суток после ее внезапного начала, что, в общем, совпадает с результатами [1-4]. Дополнительно результаты показывают, что землетрясения имели тенденцию возникать примерно в середине между двумя последовательными рекуррентными геомагнитными бурями. Для окончательного утверждения результатов требуется проведение аналогичных исследований для других сейсмически активных регионов планеты.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Соболев Г.А., Закржевская Н.А., Харин Е.П. О связи сейсмичности с магнитными бурями // Физика Земли. 2001. № 11. С. 62–72.
2. Закржевская Н.А., Соболев Г.А. О возможном влиянии магнитных бурь на сейсмичность // Физика Земли. 2002. № 4. С. 3–15.
3. Закржевская Н.А. Исследование влияния магнитных бурь с внезапным началом на сейсмичность. Автореф. дис... канд. физ.-мат. наук. М. 2002. 99 с.  
<http://www.dissercat.com/content/issledovanie-vliyaniya-magnitnykh-bur-s-vnezapnym-nachalom-na-seismichnost>.
4. Закржевская Н.А., Соболев Г.А. Влияние магнитных бурь с внезапным началом на сейсмичность в различных регионах // Вулканология и сейсмология. 2004. № 3. С. 63–75.
5. Gonzalez W. D., J. A. Joselyn, Y. Kamide, H. W. Kroehl, G. Rostoker, B. T. Tsurutani, and V. M. Vasyliunas. What is a Geomagnetic Storm? // Journal Geophysical Research. 1994. V 99 (A4). P. 5771–5792.
6. Loewe C. A., G. W. Prölss. Classification and mean behavior of magnetic storms // Journal Geophysical Research. 1997. V. 102 (A7). P. 14209 —14213.

## ИМИТАТОР СИГНАЛОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

Копылов Е.Ю.

тел.: +996 556 256512; e-mail: [kopylov\\_slavic\\_university@mail.ru](mailto:kopylov_slavic_university@mail.ru)

Научная станция РАН в г. Бишкеке, Кыргызская Республика

В работе представлены результаты разработки, изготовления и испытаний экспериментального образца имитатора сигналов (ИС), предназначенного для проверки работоспособности, контроля технических параметров и характеристик электроразведочного измерительного комплекса с шумоподобными сигналами (ЭРК ШПС), разрабатываемого в НС РАН [1-4]. На рисунке 1 показана схема подключения имитатора сигналов к ЭРК ШПС.

Точками на схеме показаны цепи, в разрыв которых включается имитатор сигналов. ИС обеспечивает физическое моделирование ниже перечисленных сигналов:

- 1) импульсы тока в зондирующей индукционной рамке;
- 2) входной сигнал индукционного датчика;
- 3) выходной сигнал индукционного датчика;
- 4) выходной сигнал БУФС.

С помощью имитатора моделируется сигнал на входе ИДС в виде потока магнитной индукции  $B(t)$ , наблюдаемого в точке приема. Принимаемый сигнал представляет собой сумму нескольких сигналов:

- 1) сигнал прямого поля, определяемый как

$$B_{np}(t) = \mu \cdot \mu_0 \cdot P_{up} \cdot I_z(t),$$

где  $B_{np}(t)$  – индукция магнитного потока, создаваемого прямым сигналом распространяющегося через воздух;  $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м – магнитная постоянная вакуума;  $\mu$  – относительная магнитная проницаемость исследуемой среды, для слабомагнитных сред, к которым относятся горные породы, слагающие земную кору, можно принять  $\mu \approx 1$ ;  $P_{up}$  – постоянная зондирующей рамки, определяемая через величину, обратную ее эффективному диаметру;  $I_z(t)$  – ток в зондирующей рамке;

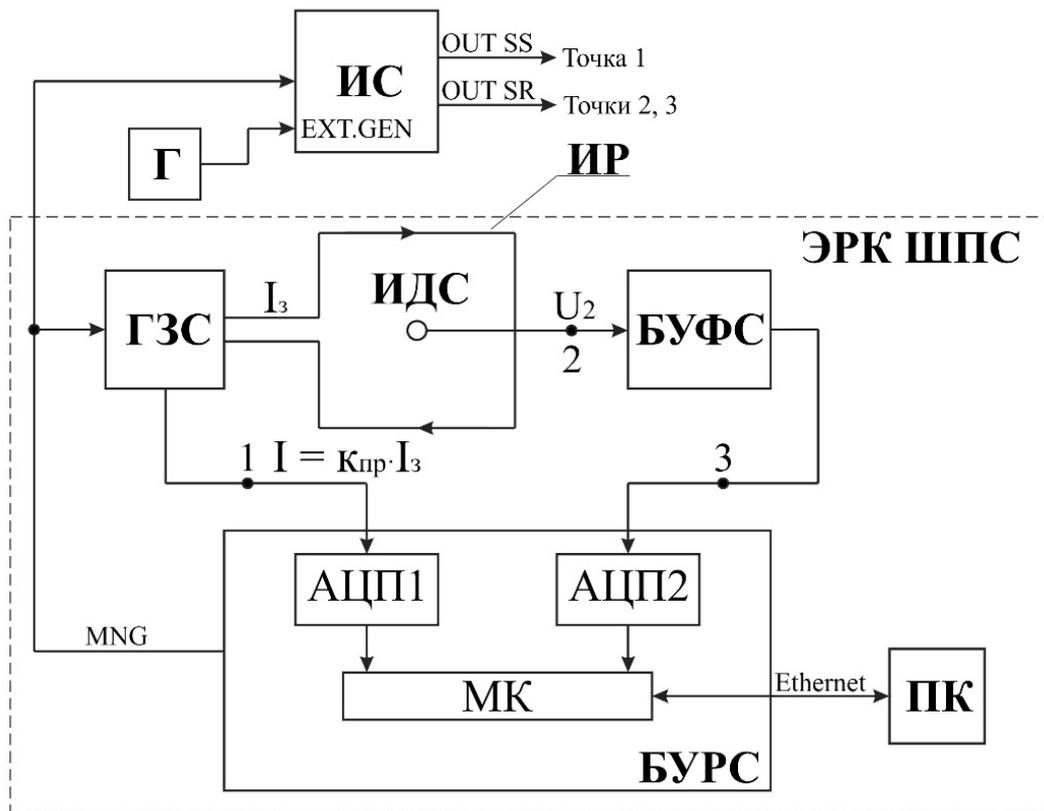


Рис. 1. Функциональная схема подключения имитатора сигналов к ЭРК ШПС: ИС – имитатор сигналов; Г - внешний генератор сигналов; ИДС – индукционный датчик сигналов; ИР – индукционная зондирующая рамка; ГЗС – генератор зондирующих сигналов; БУФС – блок усиления и фильтрации сигналов; БУРС - блок управления и регистрации сигналов; ПК – персональный компьютер; АЦП1,2 – аналого-цифровые преобразователи; МК - микроконтроллер.

- 2) сигнал становления поля, формируемый в земной коре и определяемый как

$$B_{cn}(t) = \kappa_{np} \cdot [I_3(t) \otimes g(t)],$$

где  $B_{cn}$  – индукция магнитного потока, создаваемого токами, наведенными в земной коре (сигнал становления поля);  $\kappa_{np}$  – коэффициент пропорциональности, связывающий поле, создаваемое рамкой с зондирующим током;  $g(t)$  – импульсная переходная характеристика земной коры (искомая характеристика);

- 3) широкополосные шумы и помехи  $B_{un}(t)$ , представляющие собой сумму сигналов, создаваемых теллурическими токами в земной коре, и собственных шумов измерительной аппаратуры. В первом приближении эти помехи можно считать нормально распределенными с постоянной спектральной плотностью в полосе пропускания измерительного канала;
- 4) непрерывные тональные помехи  $B_{nc}(t)$ , основной вклад в которые вносит промышленная сеть частотой 50 Гц и ее гармонические составляющие;
- 5) импульсные помехи  $B_{um}(t)$ , различного вида, например, сигналы от грозových разрядов.

Индукционный датчик преобразует переменное магнитное поле, наблюдаемое в точке приема  $B(t) = B_{np}(t) + B_{cn}(t) + B_{un}(t) + B_{nc}(t) + B_{um}(t)$ , в электрический сигнал  $U_2(t)$  (рис.1, точка 2):

$$U_2(t) = S_3[B(t) \otimes g_{нд}(t)],$$

где  $g_{нд}(t)$  – импульсная переходная характеристика индукционного датчика.

При работе с шумоподобными зондирующими сигналами необходимо, чтобы выходной сигнал индукционного датчика был пропорционален магнитному потоку, наблюдаемому в точке приема. Согласно закону Фарадея электродвижущая сила (э.д.с.), индуцируемая в измерительной катушке датчика, пропорциональна скорости изменения магнитного потока, поэтому для получения сигнала, пропорционального потоку магнитной индукции, измеряется не э.д.с., а ток, создаваемый этой э.д.с. в короткозамкнутой катушке [2]. Таким образом, можно считать, что  $g_{нд}(t) = I(t)$  – функция Хевисайда (единичный скачок), а т.к. катушка индукционного датчика имеет малую площадь сечения витков, то поле в точке приема равномерно и выражение для магнитного потока запишется как:

$$\Phi(t) = \int_S B(t) ds = S_3 \cdot B(t),$$

где  $\Phi(t)$  – магнитный поток в точке приема;  $S_3$  – эффективная площадь катушки индукционного датчика, зависящая от геометрических размеров катушки, количества витков и магнитной проницаемости сердечника.

На основании выше изложенного при имитации сигналов не учитывалась импульсная переходная характеристика индукционного датчика. Таким образом, с помощью сигнала  $B(t)$ , подаваемого в точку 2 (рис.1), обеспечивается проверка работоспособности и измерение параметров ЭРК ШПС в целом. При этом обеспечивается возможность исследования характеристик передачи отдельных составляющих этого сигнала (шумов, помех) через измерительный тракт.

Сигнал OUT SS, подаваемый в точку 1, моделирует зондирующие токовые импульсы, формируемые в ГЗС, поступает на вход АЦП 1 для регистрации и последующей обработки совместно с зарегистрированным сигналом  $B(t)$ , прошедшим через БУФС. Сигнал, подаваемый в точку 3, отличается от сигнала точки 2 только уровнем.

С помощью дополнительного внешнего генератора сигналов Г (рис.1), в качестве которого могут быть использованы различные специализированные генераторы сигналов, обеспечивается моделирование тональных, импульсных и других видов помех.

На рисунке 2 представлена функциональная схема имитатора.

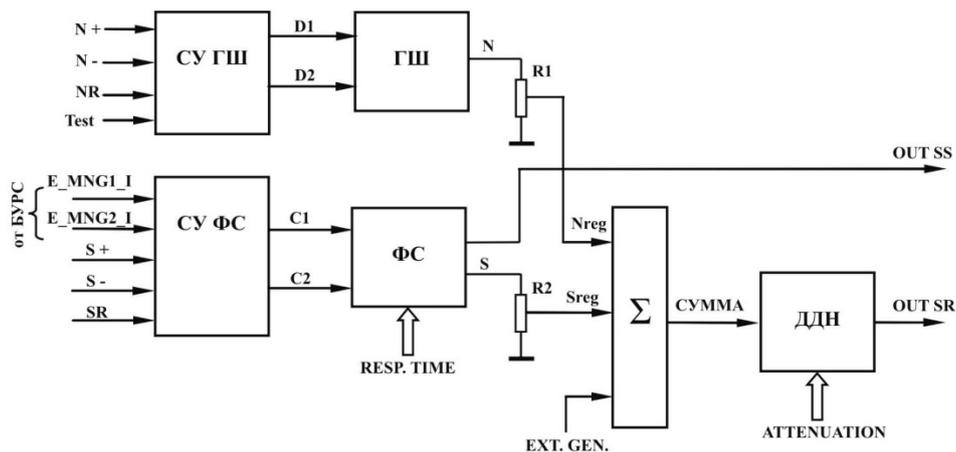


Рис. 2. Имитатор сигналов для ЭРК ШПС, схема функциональная:

ГШ – генератор шума; СУ ГШ – схема управления ГШ; ФС – формирователь сигналов; СУ ФС – схема управления ФС;  $\Sigma$  – сумматор; ДДН – декадный делитель напряжения.

ГШ совместно с СУ ГШ обеспечивают формирование сигнала в виде “белого” (с равномерным спектром) шума в широкой полосе частот с нормальным гауссовским законом распределения амплитуд, нулевым математическим ожиданием и заданной дисперсией. Такой

сигнал в первом приближении моделирует естественные магнитотеллурические помехи, регистрируемые в точке приема индукционным датчиком электроразведочного комплекса, а также собственные шумы измерительного канала. Для оценки степени подавления такого рода помех при цифровой корреляционной обработке регистрируемых измерительным комплексом сигналов ширина спектра генерируемого модельного шума должна быть согласована с полосой пропускания измерительного канала (от 0,1 Гц до 10000 Гц).

СУ ГШ представляет собой цифровое устройство, генерирующее два сигнала - D1 и D2 в виде непрерывно повторяющихся шумоподобных импульсных M-последовательностей, под управлением которых в ГШ формируется широкополосный шумовой сигнал с нормальной плотностью вероятности распределения амплитуд (“белый шум”) [5]. На рисунке 3 приведена структурно-функциональная схема СУ ГШ.

Основным элементом СУ ГШ является многоразрядный регистр сдвига RG, на вход С (синхронизация) которого поступают импульсы с фиксированной стабильной частотой повторения от генератора тактовых импульсов СРG. Регистр охвачен обратной связью через специальную логическую схему LC. Выходной сигнал логической схемы LD поступает на D вход регистра, при этом часть выходных сигналов регистра (Q1, Q3, Q4 и Q24) подается на вход логической схемы, обеспечивая обратную связь. Схема формирования сброса CR осуществляет автоматическую установку регистра сдвига в начальное состояние ( $Q1=1; Q2 \div Q24=0$ ) при включении питания или по специальной внешней команде NR. При NR=0 и Test = 0 схема генерирует на выходах D1 и D2 периодически повторяемые шумоподобные M-последовательности логических импульсов, при этом формируемые сигналы взаимно инверсны ( $D1 = \overline{D2}$ ).

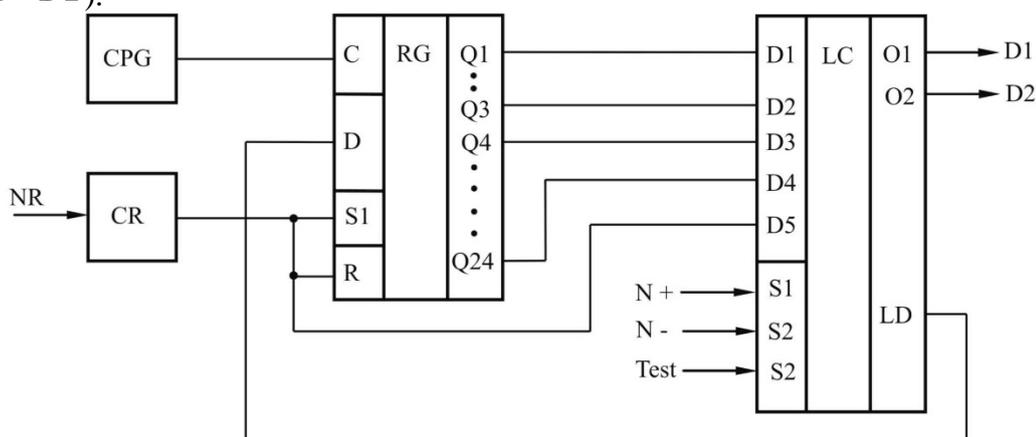


Рис. 3. СУ ГШ, структурно-функциональная схема:

CPG (clock pulse generator) – генератор тактовых импульсов; CR (reset circuit) – схема формирования сброса; RG – регистр сдвига многоразрядный (24 бит) ; LC (logic circuit) – логическая схема.

Сигналы N+, N-, NR и Test, поступающие на вход логической схемы, управляют ее работой и являются технологическими. Под управлением этих команд (сигналов) формируемые логической схемой выходные сигналы (D1 и D2), поступающие в схему ГШ, принимают статическое значение, что позволяет в процессе настройки и регулировки схемы генератора шума осуществлять точную настройку параметров двуполярной шумоподобной M-последовательности (амплитуды положительных и отрицательных импульсов, смещение нуля в паузах между импульсами), формируемой в ГШ. Под управление команды (сигнала) Test = 1 осуществляется переход регистра сдвига из режима генерации M-последовательности в режим счетчика Джонсона, при котором на выходах D1 и D2 формируются сигналы в виде противофазных меандров с периодом повторения импульсов  $24 \cdot T_{CPS}$ , где  $T_{CPS}$  – период повторения импульсов тактового генератора CPG. Такой режим работы СУ ГШ удобно

использовать при отладочных и настроечных операциях с имитатором сигналов для тестирования работоспособности всех триггеров регистра сдвига.

Выходные сигналы СУ ГШ D1 и D2 поступают в генератор шума (ГШ), структурно-функциональная схема которого приведена на рисунке 4.

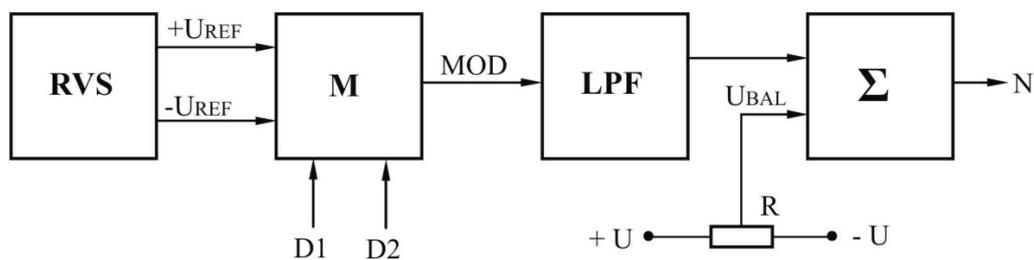


Рис. 4. Генератор шума, схема структурно-функциональная:

RVS (reference voltage source) – источник опорного напряжения; M – модулятор; LPF (low-pass filter) – фильтр низкой частоты;  $\Sigma$  – сумматор.

Сигналы D1 и D2 поступают на вход модулятора (M), на другой вход которого подаются два разнополярных напряжения постоянного тока  $+U_{REF}$  и  $-U_{REF}$  от источника опорного напряжения RVS. Под действием D1 и D2 в модуляторе происходит преобразование постоянных напряжений  $+U_{REF}$  и  $-U_{REF}$  в непрерывно повторяемую шумоподобную двуполярную M-последовательность (сигнал MOD). Далее сигнал MOD пропускается через низкочастотный фильтр Баттерворта высокого (шестого) порядка LPF, на выходе которого получается полигармонический шумовой сигнал, параметры которого достаточно близки к параметрам “белого” шума [6].

На выходе схемы ГШ установлен сумматор  $\Sigma$ , выполняющий роль схемы балансировки (компенсации) смещения нулевого уровня сигнала, возникающего за счет не идеальности используемых в схеме микросхем (операционных усилителей). Компенсирующее напряжение снимается с движка переменного резистора R и подается на второй вход сумматора.

На рисунке 5 показана структурно-функциональная схема формирователя сигналов.

В ФС по сигналам C1 и C2, поступающим с выхода СУ ФС, обеспечивается генерация двух сигналов OUT SS и S. Сигнал OUT SS является выходным сигналом имитатора сигналов, представляет собой идеальную модель импульсов тока в зондирующей рамке и используется в качестве опорного (базового) при лабораторных проверках аппаратуры ЭРК ШПС. Формирование модели зондирующего сигнала осуществляется под управлением логических команд (E\_MNG1\_I и E\_MNG2\_I), поступающих в СУ ФС от БУРС и совпадающих по времени с сигналами управления, подаваемыми в генератор зондирующих сигналов из БУРС для формирования зондирующих импульсов [7, 8].

Сигналы S+, S- и SR, поступающие на вход логической схемы СУ ФС, являются технологическими, управляют работой СУ ФС и выполняют аналогичные функции, что и в случае СУ ГШ. При условии  $SR = 1$  управляющие сигналы E\_MNG1\_I и E\_MNG2\_I, поступающие из БУРС в СУФС, проходят на ее выход (выходы C1 и C2) и далее поступают на модулятор, в котором осуществляется преобразование их в последовательность двуполярных импульсов с паузами или без пауз практически прямоугольной формы (с очень малыми фронтами), которые представляют собой идеальную модель импульсов тока, формируемых в зондирующей индукционной рамке генератором зондирующих сигналов.

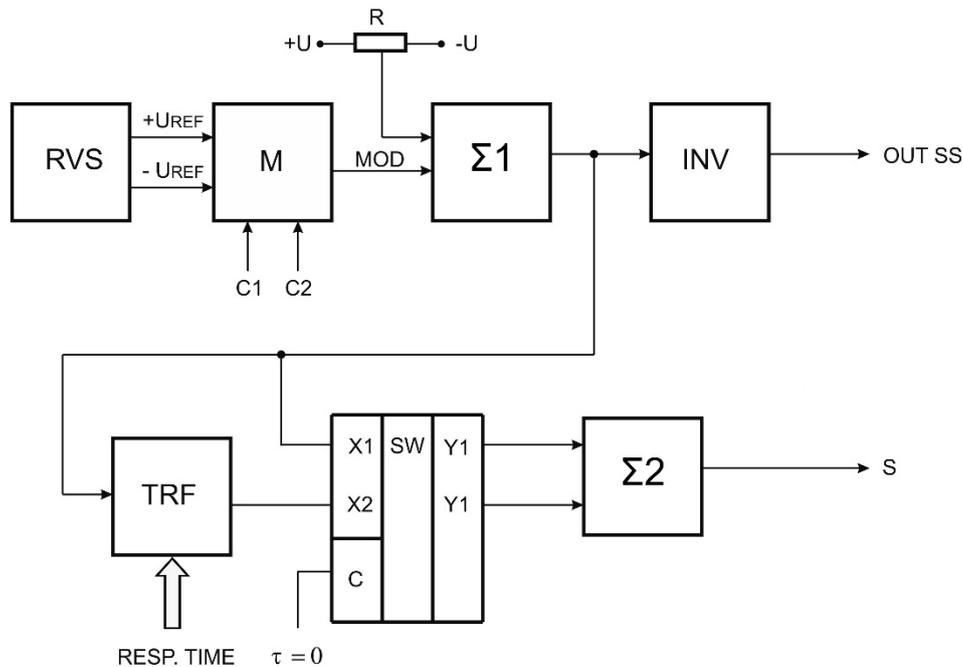


Рис. 5. Формирователь сигналов (ФС), схема структурно-функциональная: RVS (reference voltage source) – источник опорного напряжения; М – модулятор;  $\Sigma 1$ ,  $\Sigma 2$  – схемы суммирования (сумматоры); INV – буферный каскад (инвертирующий); TRF (transient response former) – формирователь переходной характеристики среды; SW – электронный ключ (переключатель).

В сумматоре  $\Sigma$  (рис. 2) обеспечивается алгебраическое сложение сигнала  $S_{reg}$  с широкополосным нормальным шумом  $N_{reg}$ , поступающим с выхода генератора шума ГШ. С целью имитации помеховой обстановки, более приближенной к реальным условиям, в имитаторе сигналов предусмотрена возможность суммирования с сигналом  $S_{reg}$  не только шума  $N_{reg}$ , но и других видов помех и сигналов. Поэтому сумматор  $\Sigma$  имеет дополнительный вход для сигналов от внешних источников, в роли которых могут выступать различные измерительные генераторы сигналов (синусоидальные, импульсные, специальной формы и другие).

Для обеспечения необходимого динамического диапазона модельных сигналов в имитаторе, помимо плавной регулировки амплитуды формируемых внутри его сигналов, предусмотрена ступенчатая регулировка амплитуды выходного сигнала. Эту функцию выполняет декадный делитель напряжения (ДДН), на вход которого поступает сигнал с выхода сумматора, а сигнал, снимаемый с его выхода, является выходным сигналом имитатора. ДДН обеспечивает ступенчатое переключение уровня выходного сигнала с помощью механического переключателя в соответствии с таблицей 1:

Таблица 1. Коэффициенты передачи ДДН

Положение переключателя "ATTENUATION"	Коэффициент передачи ДДН
0 дБ	1,0
20 дБ	0,1
40 дБ	0,01
60 дБ	0,001

Основные требования, предъявляемые к схеме ДДН, - это обеспечение необходимой точности коэффициента передачи (не хуже  $\pm 1\%$ ), низкого выходного сопротивления, а также отсутствие искажений формы выходных сигналов во всем их динамическом и частотном

диапазонах и низкий уровень собственных шумов, особенно при малых коэффициентах передачи.

В таблице 2 приведены технические параметры имитатора сигналов, полученные в результате его испытаний:

Таблица 2. Технические параметры имитатора сигналов для ЭРК ШПС

№ п.п.	Параметр	Ед. изм.	Значение	Примечание
1	Максимальный уровень выходного сигнала	В	$\pm 3,0$	при $R_H = 100 \text{ Ом}$
2	Коэффициент передачи выходного делителя напряжения	-	(1,0; 0,1; 0,01; 0,001) $\pm 1,0 \%$	
3	Выходное смещение нуля	мВ	$\pm 1,0$	
4	Уровень собственных шумов	мкВ	5,0	СКО, в полосе 0,1 ÷ 10000 Гц
5	Границы спектра шумового сигнала	Гц	0,1 ÷ 10000	
6	Постоянная времени модели переходной характеристики среды	мкс	(20; 40; 80; 160) $\pm 2\%$	
7	Длительность фронта и среза модели зондирующего сигнала	мкс	1,0	
8	Напряжение источника питания	В	190 ÷ 240	Сеть 220 В 50 Гц

Проведены работы с экспериментальным образцом ЭРК ШПС по регистрации сигналов, формируемых с помощью имитатора сигналов.

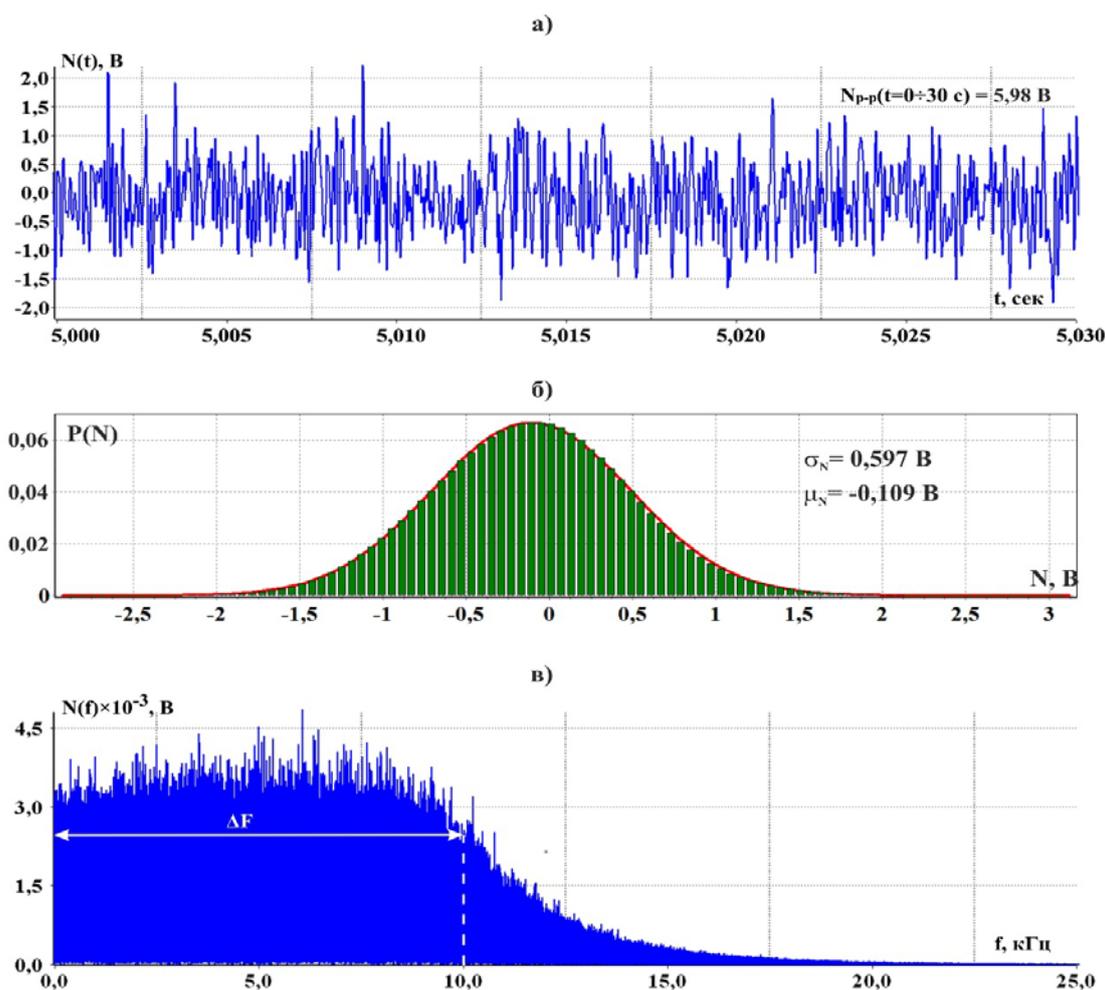


Рис. 6. Характеристики шума, генерируемого имитатором: а) фрагмент зарегистрированного шума; б) гистограмма плотности распределения вероятности шума; в) спектр зарегистрированного шума.

Регистрировались и обрабатывались как отдельные составляющие сигнала  $V(t)$ , так и их сумма. На рисунке 6 показаны фрагмент волновой формы широкополосного шума, генерируемого имитатором, и его статистические характеристики.

Из рис. 6 видно, что генерируемый имитатором шум имеет нормальную плотность распределения вероятности и большую ширину спектра  $\Delta F \approx 10$  кГц.

Исследовалась эффективность подавления зарегистрированного шума в двух режимах работы ЭРК ШПС: при зондировании шумоподобными сигналами (режим ШПС) и типовыми периодическими последовательностями биполярных прямоугольных импульсов (режим ПП). Результаты экспериментов приведены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты измерения уровня подавления широкополосного шума

Режим	$T_H$ , сек.	$\sigma_{KB}$ , ед. АЦП	$\sigma_K$ , ед. АЦП	$\sigma_H$ , ед. АЦП	$K_{ЛК}$ , дБ	$K_{ЛН}$ , дБ	$K_{\Sigma}$ , дБ
ШПС	0,1499	4319,1596	74,4608	7,8379	35,269	19,555	54,824
	0,3099	4321,0825	51,9939	5,3480	38,393	19,755	58,148
	0,6299	4321,5002	35,5875	3,6740	41,687	19,723	61,410
ПП	0,1600	4301,6262	—	510,8491	—	18,507	18,507
	0,3200	4312,1404	—	498,9139	—	18,733	18,733
	0,6400	4318,0178	—	502,2028	—	18,688	18,688

В таблице  $T_H$  - длительность окна накопления;  $\sigma_{KB}$  - среднеквадратичное значение шума после регистрации;  $\sigma_K$  - среднеквадратичное значение шума после корреляционной обработки;  $\sigma_H$  - среднеквадратичное значение шума после синхронного накопления;  $K_{ЛК}$  - коэффициент подавления шума после корреляционной обработки;  $K_{ЛН}$  - коэффициент подавления шума после синхронного накопления;  $K_{\Sigma}$  - суммарный коэффициент подавления шума.

Результаты измерений, представленные в таблице 3, свидетельствуют о значительном выигрыше в подавлении широкополосных шумов, получаемом в режиме ШПС по сравнению с режимом ПП.

Проводилось измерение импульсной переходной характеристики (ИПХ) создаваемой имитатором сигналов физической модели среды. ИПХ измерялась путем вычисления взаимной корреляционной функции (ВКФ) между зарегистрированным шумоподобным сигналом с выхода имитатора сигналов, моделирующего отклик исследуемой среды (земной коры) на зондирующую последовательность шумоподобных сигналов, с идеальной одиночной зондирующей М-последовательностью импульсов.

На рисунке 7 показан пример вычисления параметров импульсной переходной характеристики модели среды по зарегистрированным сигналам имитатора.

По графику ИПХ (рис. 7а) вычислялась постоянная времени модели среды (интегрирующее звено 1-го порядка). Полученное значение постоянной времени  $\tau$  хорошо согласуется с постоянной времени генерируемого имитатором экспоненциального сигнала отклика среды на зондирующую шумоподобную импульсную последовательность.

На рис. 7б на установившемся участке ИПХ хорошо видны импульсные помехи, возникающие после корреляционной обработки зарегистрированных модельных шумоподобных сигналов. Природа этих помех в настоящее время выявляется. Появление их связывается с «пролезанием» управляющих цифровых сигналов (MNG) в измерительную цепь и (или) нелинейными свойствами измерительного канала.

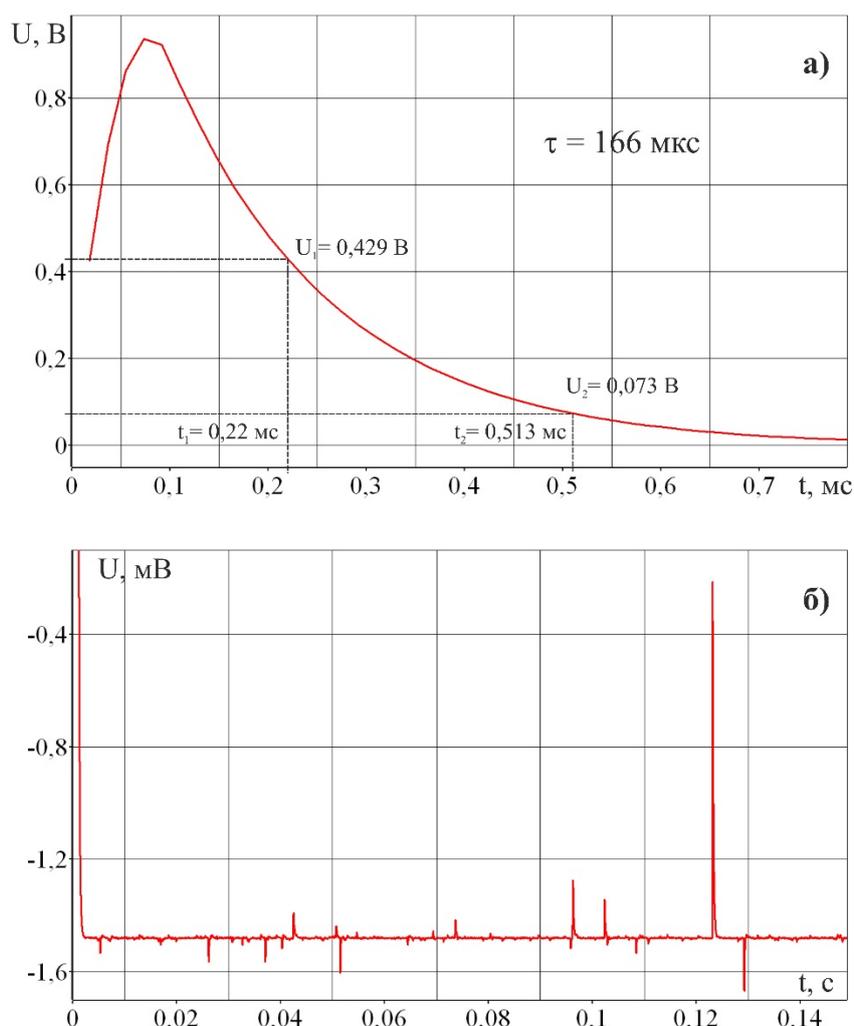


Рис. 7. Импульсная переходная характеристика модели среды (интегрирующее звено 1-го порядка с постоянной времени 160 мкс): а) начальный фрагмент экспоненциально спадающей области ИПХ; б) фрагмент установившейся области ИПХ.

**Выводы.** Разработан и изготовлен специализированный имитатор сигналов, обеспечивающий проверку работоспособности и контроль технических параметров и характеристик электроразведочного измерительного комплекса с шумоподобными сигналами (ЭРК ШПС) в лабораторных условиях.

Первые эксперименты с ЭРК ШПС и имитатором сигналов позволили выявить важную особенность использования шумоподобных сигналов в электроразведочной аппаратуре, проявляющуюся в процессе их корреляционной обработки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ильичев П.В., Бобровский В.В., Мясников Д.С., Лашин О.А., Плисовицкая Е.А. Отчет (промежуточный) по НИР: Разработка аппаратно-программных средств и основ технологий электромагнитного мониторинга геодинамических процессов в сейсмоактивных зонах и оценки их опасностей. Бишкек: НС РАН. 2011. Гос. рег. № 0120.0713073. 137 с.
2. Ильичев П.В., Бобровский В.В., Мясников Д.С., Лашин О.А., Плисовицкая Е.А. Отчет (промежуточный) по НИР: Разработка аппаратно-программных средств и основ технологий электромагнитного мониторинга геодинамических процессов в сейсмоактивных зонах и оценки их опасностей. Бишкек: НС РАН. 2012. Гос. рег. № 0120.0713073. 146 с.

3. Ильичев П.В., Бобровский В.В., Мясников Д.С., Лашин О.А., Плисовицкая Е.А., Копылов Е.Ю. Отчет (промежуточный) по НИР: Разработка аппаратно-программных средств и основ технологий электромагнитного мониторинга геодинамических процессов в сейсмоактивных зонах и оценки их опасностей. Бишкек: НС РАН. 2012. Гос. рег. № 0120.0713073. 146 с.
4. Ильичев П.В., Бобровский В.В., Мясников Д.С., Лашин О.А., Копылов Е.Ю. Отчет (промежуточный) по НИР: Разработка аппаратно-программных средств и основ технологий электромагнитного мониторинга геодинамических процессов в сейсмоактивных зонах и оценки их опасностей. Бишкек: НС РАН. 2014. Гос. рег. № 0120.0713073. 122 с.
5. Диксон Р. К. Широкополосные системы: Пер. с англ./ Под ред. В.И. Журавлева. М.: Связь. 1979. 86 с.
6. Гутников В.С. Фильтрация измерительных сигналов. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отделение, 1990. 146 с.
7. Гутников В.С. Фильтрация измерительных сигналов. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отделение. 1990. 131 с.
8. Васильев Д.В., Витоль М.Р., Горшенков Ю.Н., Самойло К.А., Федосова Т.С., Черниговская Э.М. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебное пособие для вузов. М.: Радио и связь. 1982. 283 с.

## **ИНТЕНСИВНОСТЬ И ЧАСТОТА ПОЯВЛЕНИЯ СИЛЬНЫХ ГЕОМАГНИТНЫХ БУРЬ С DST-ИНДЕКСОМ МЕНЕЕ 80 НТЛ**

Лазарева Е.А.

тел.: (+996 555) 886-885; e-mail: [lazareva@gdirc.ru](mailto:lazareva@gdirc.ru)

ФГБУН Научная станция Российской академии наук в г. Бишкеке, Кыргызстан

Число геомагнитных бурь на Земле зависит от солнечной активности. Частота магнитных бурь тем больше, чем выше солнечная активность. Однако строгой прямой зависимости между солнечной активностью и числом магнитных бурь нет. Обычно в годы максимума солнечной активности наблюдается до 30 – 50 бурь в год, в годы «спокойного» Солнца – несколько бурь в год. В течение года бури чаще наблюдаются в периоды осеннего и весеннего равноденствий, реже – в периоды зимнего и летнего солнцестояния [1].

Для описания интенсивности геомагнитной бури используется Dst – индекс, который уменьшается с ростом интенсивности магнитной бури. Для его вычисления, из горизонтальной компоненты магнитного поля вычитаются значение вековой вариации геомагнитного поля и величина солнечно-суточной вариации Sq. Так, при умеренном уровне возмущенности магнитные бури характеризуются Dst – индексом от -50 до -100 нТл, при высоком – от -100 до -200 нТл и очень высоком – ниже -200 нТл. На рис. 1 приведена гистограмма количества геомагнитных бурь в году с сильным уровнем возмущенности (Dst – индекс менее 80 нТл) для периода с 1994 по 2011 гг.

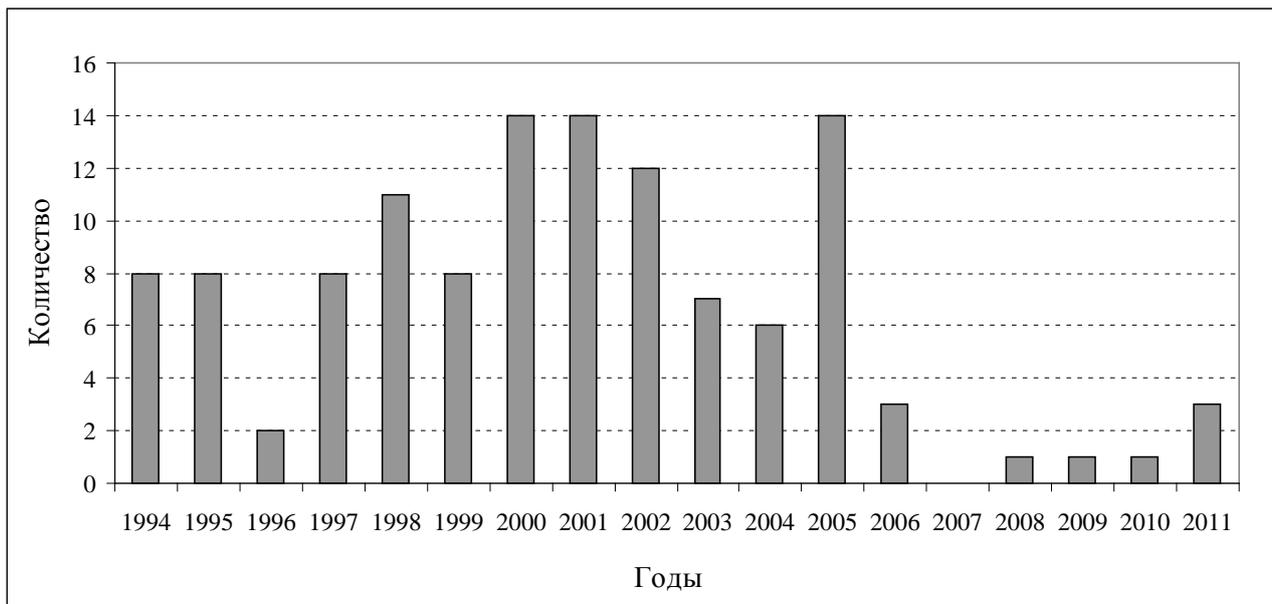


Рис. 1. Количество сильных магнитных бурь в году (с Dst-индексом менее 80 нТл).

Для выявления сильных геомагнитных бурь и последующего составления их количества использовались файлы японских данных, которые обрабатывались с помощью программы MATLAB, где составлялись графики годового хода магнитного поля. Пример составления количества и частоты геомагнитных бурь в году с умеренным и высоким уровнем возмущенности приведен на рис. 2, где видны сильные отклонения от нормального хода геомагнитного поля. Для анализа использовались магнитные бури, выходящие за пределы линии, соответствующей значению  $Dst = -80$  нТл на графике годового хода. Для 2001 года таких значений оказалось 11, на рис. 2 они отмечены красными маркерами. Наименьшие значения  $Dst$  – индекса находятся в пределах от  $-200$  до  $-400$  нТл.

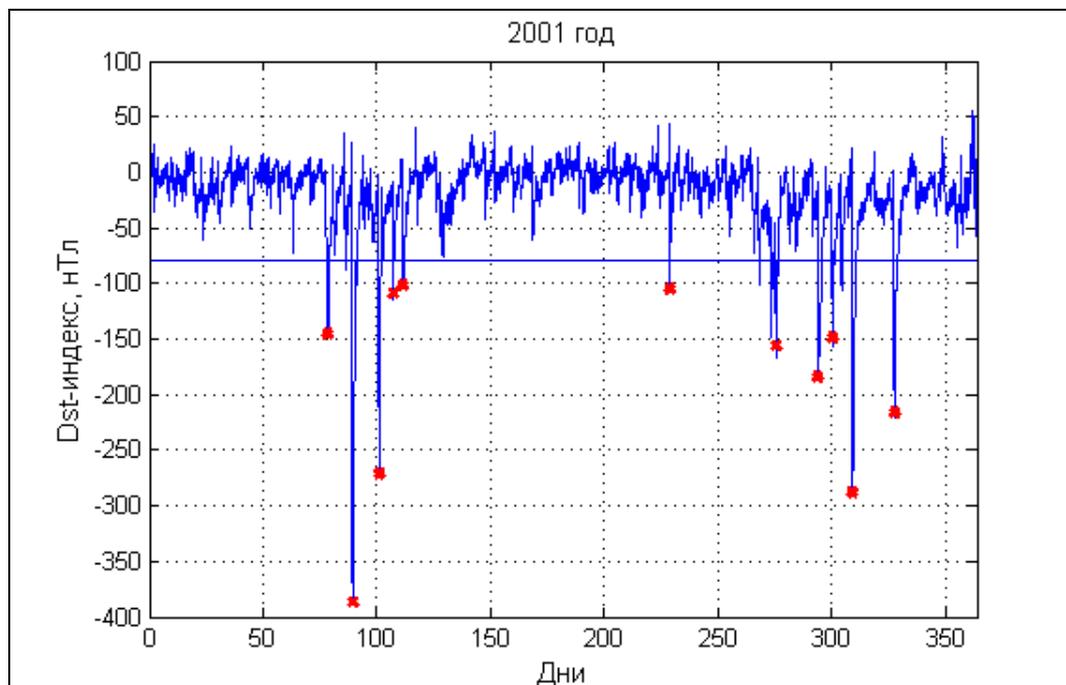


Рис. 2. Количество сильных магнитных бурь (с Dst-индексом менее 80 нТл) за 2001 год.

После выявления дней с умеренным и высоким уровнем возмущенности магнитного поля, на примере станции Ак-Суу, составлялись время начала и время конца геомагнитной бури. В табл. 1 приведено количество сильных магнитных бурь в году с уровнем Dst-вариации менее 200 нТл, а также время внезапного начала бури и время восстановления.

Таблица 1. Количество значений Dst-индекса менее 200 нТл в году

Год	Дата	Dst-индекс	Фаза внезапного начала	Фаза восстановления
1994	Апрель, 16	-200	Апрель, 02 9-00	Апрель, 05 3-00
1998	Май, 3	-205	Май, 01 12-00	Май, 04 06-00
	Сентябрь, 24	-207	Сентябрь, 24 13-00	Сентябрь, 26 01-00
1999	Октябрь, 21	-237	Октябрь, 21 16-00	Октябрь, 23 03-00
2000	Апрель, 6	-288	Апрель, 06 11-00	Апрель, 08 04-00
	Июль, 15	-301	Июль, 14 07-00	Июль, 17 18-00
	Август, 11	-225	Август, 11 10-00	Август, 13 22-00
2001	Март, 30	-387	Март, 30 18-00	Апрель, 01 13-00
	Апрель, 11	-271	Апрель, 11 11-00	Апрель, 14 22-00
	Ноябрь, 05	-292	Ноябрь, 05 10-00	Ноябрь, 07 16-00
	Ноябрь, 23	-216	Ноябрь, 24 01-00	Ноябрь, 25 00-00
2003	Октябрь, 30	-371	Октябрь, 28 11-00	Октябрь, 31 22-00
	Ноябрь, 19	-413	Ноябрь, 20 01-00	Ноябрь, 21 22-00
2004	Ноябрь, 07	-373	Ноябрь, 07 05-00	Ноябрь, 11 06-00
2005	Май, 14	-263	Май, 14 23-00	Май, 16 23-00
	Август, 23	-216	Август, 23 20-00	Август, 25 08-00

Согласно табл. 1, в ноябре 2003 года значение Dst-индекса составляло -413 нТл. Это показатель высокого уровня возмущенности геомагнитного поля. График магнитной бури по станции Ак-Суу в этот период приведен на рис. 3, из которого видно, что с 19 по 21 ноября в ходе магнитного поля наблюдаются сильные отклонения до нескольких десятков и сотен нТл. Это пример магнитной бури с высоким уровнем возмущенности.

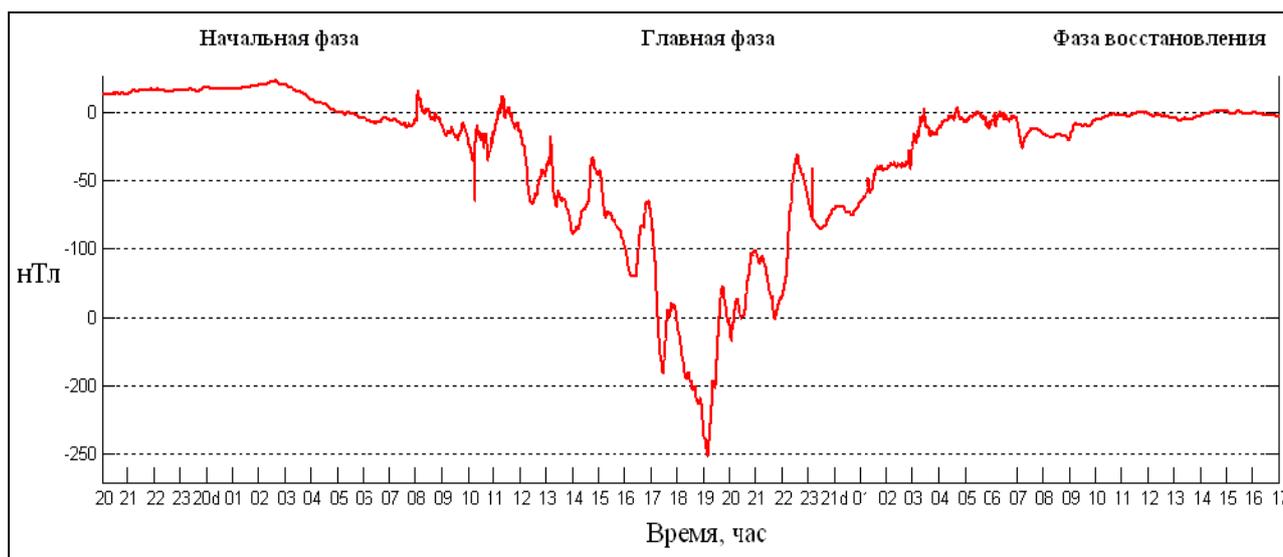


Рис. 3. Ход магнитного поля за период с 19 по 21 ноября 2003 года по станции Ак-Суу.

Хотя ни одна буря не повторяет другую, они по большей части обнаруживают некоторые общие характерные элементы, к которым относятся: *внезапное начало бури*,

начальная фаза, главная фаза и фаза восстановления. Dst – вариации обладают двумя ярко выраженными особенностями – понижением и последующим восстановлением магнитного поля и серией накладывающихся на этот процесс суббурь.

До вступления начальной фазы магнитной бури кривая хода геомагнитного поля выглядит сравнительно спокойно, после чего она становится заметно более неровной, с нерегулярными колебаниями порядка 10 нТл. Через 3 – 5 часов после начальной фазы следует главная фаза. Она представляет собой непрерывное уменьшение геомагнитного поля до 200 нТл в течение нескольких часов. После достижения минимального значения кривая медленно возвращается к норме. Этот процесс продолжается несколько дней, значительно дольше, чем понижение во время главной фазы, и называется фазой восстановления бури [2].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Чечкин С.А. Основы геофизики. Л.: Гидрометеиздат. 1990. 288 с.
2. Паркинсон У. Введение в геомагнетизм. М.: Мир. 1986. 528 с.

## АКТИВНАЯ ИНДУКЦИОННАЯ РАМКА С АПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПЕРЕХОДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНОГО КОМПЛЕКСА

Лашин О.А.

тел.: (0555) 075076; e-mail: [legyss@mail.ru](mailto:legyss@mail.ru)

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Научная станция Российской академии наук в г. Бишкеке, Кыргызская Республика

Представленная работа посвящена созданию широкополосного датчика переменного магнитного поля. Датчик предназначен для использования в составе электроразведочного комплекса ЭРК ШПС, разрабатываемого в НС РАН [1], работающего по методу зондирования становлением поля в ближней зоне (ЗСБ). ЭРК ШПС планируется разместить в каждом измерительном пункте действующей в НС РАН системы электромагнитного мониторинга земной коры, основанной на методе зондирования становлением поля в дальней зоне (ЗСД). В качестве прототипа были взяты датчики, используемые в аппаратуре «ЦИКЛ-7», разработанной специалистами из Новосибирска [2]. В отличие от прототипов предлагаемый датчик обладает строго апериодической переходной характеристикой. Применение датчика позволит более детально изучать структуру земной коры и контролировать ход деформационных процессов, протекающих в ее верхних слоях.

Был разработан и изготовлен экспериментальный образец активной индукционной рамки с апериодической переходной характеристикой. Датчик испытан в полевых условиях в составе ЭРК ШПС.

При зондировании земной коры детерминированными последовательностями импульсов с паузами генератор зондирующих сигналов измерительного комплекса обеспечивает линейный сброс тока в индуктивной нагрузке [3]. В этом случае э.д.с., индуцированная в многовитковой приемной рамке, имеет прямоугольную форму с амплитудным значением:

$$E = -n \cdot S \cdot \mu \cdot P \cdot \frac{I_{\max}}{\tau}$$

где  $n$  – число витков приемной рамки;  $S$  – площадь одного витка рамки;  $\mu = \mu_0 \cdot \mu_c$  – магнитная проницаемость среды;  $\mu_c$  – относительная магнитная проницаемость среды;  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м – магнитная проницаемость вакуума;  $P$  – постоянная зондирующей рамки, зависящая от ее геометрии;  $I_{\max}$  – установившееся максимальное значение тока в зондирующей рамке;  $\tau$  – время, за которое ток уменьшится до нуля.

Для оценки характера переходных процессов в приемной индукционной рамке рассмотрим ее эквивалентную электрическую схему (рис. 1).

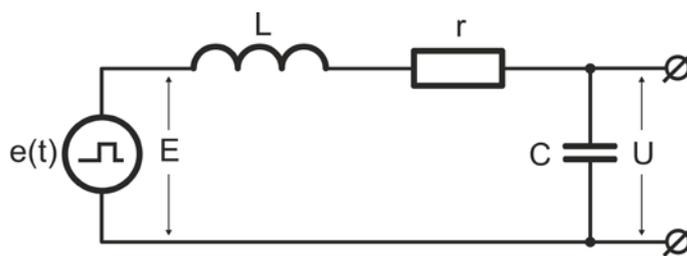


Рис. 1. Эквивалентная схема индукционной рамки:  $e(t)$  – источник прямоугольной э.д.с.;  $L$  – индуктивность;  $r$  – активное сопротивление;  $C$  – емкость.

Источник э.д.с., показанный на рис. 1, представляет собой источник напряжения, включаемый в цепь в момент выключения тока в зондирующей рамке и выключаемый в момент, когда ток спадет до нуля.

Приведенная на рис. 1 схема согласно второму закону Кирхгофа описывается интегрально-дифференциальным уравнением:

$$L \frac{di}{dt} + ri + \frac{1}{C} \int idt = e(t).$$

После дифференцирования это уравнение приводится к неоднородному дифференциальному уравнению второго порядка

$$L \frac{d^2i}{dt^2} + r \frac{di}{dt} + \frac{i}{C} = \frac{de}{dt}. \quad (1)$$

Общий интеграл такого уравнения равен сумме частного решения неоднородного уравнения и общего решения однородного уравнения. Частное решение выражает принужденный режим, задаваемый источником. Общее решение физически определяет поведение цепи при отсутствии внешних источников электрической энергии при заданных начальных условиях. Таким образом, ток в цепи определится суммой принужденного  $i_{\text{ПР}}$  и свободного  $i_{\text{СВ}}$  токов:

$$i = i_{\text{ПР}} + i_{\text{СВ}}$$

Считаем, что  $e(t) = E$  в течение времени  $\tau$ . Емкость конденсатора  $C$  в течение  $\tau$  зарядится до значения:

$$u_C(0) = U.$$

В начальный момент  $t = 0$ , э.д.с.  $e(t) = 0$ . Следовательно, принужденный ток, задаваемый источником э.д.с., будет равен нулю, тогда  $i = i_{\text{СВ}}$ .

Общее решение однородного дифференциального уравнения запишется в виде:

$$i_{\text{СВ}} = A_1 e^{p_1 t} + A_2 e^{p_2 t}, \quad (2)$$

где  $p_1, p_2$  – корни характеристического уравнения, определяемые выражением:

$$p_{1,2} = -\delta \pm \sqrt{\delta^2 - \omega_0^2},$$

где  $\delta = \frac{r}{2L}$  – коэффициент затухания в  $rLC$ -цепи (рис. 1);  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$  – резонансная частота цепи;  $A_1, A_2$  – постоянные интегрирования, определяемые из начальных условий:

$$A_1 = -A_2 = \frac{E - U}{L(p_1 - p_2)} = \frac{E - U}{2L\sqrt{\delta^2 - \omega_0^2}},$$

тогда выражение (2) будет иметь вид:

$$i = \frac{E - U}{2L\sqrt{\delta^2 - \omega_0^2}} (e^{p_1 t} - e^{p_2 t}). \quad (3)$$

В зависимости от параметров  $r, L, C$  форма тока (3) имеет три возможных варианта:

а) аperiodический процесс

$$\delta > \omega_0, \text{ т. е. } r > 2\sqrt{\frac{L}{C}}; \quad (4)$$

б) критический процесс

$$\delta = \omega_0, \text{ т. е. } r = 2\sqrt{\frac{L}{C}}; \quad (5)$$

в) колебательный процесс

$$\delta < \omega_0, \text{ т. е. } r < 2\sqrt{\frac{L}{C}}. \quad (6)$$

Приемные индукционные рамки, как правило, выполняются из медного провода и имеют малые значения  $r$  и достаточно большие значения  $L$ , при этом условия (4) и (5) трудно выполнимы.

Датчик с аperiodической переходной характеристикой может быть реализован в виде многовитковой индукционной рамки, витки которой выполняются проводом с высоким удельным сопротивлением, например, ПЭКМ (константан). Сторона квадратной рамки ( $\approx 1,05$  м) выбирается небольшого размера для обеспечения мобильности конструкции. Задавая коэффициент преобразования  $K_{np} = n \cdot S$  (где  $S$  – геометрическая площадь рамки), определяют число витков ( $n = 34$ ), а с учетом условия (4) выбирают диаметр провода (0,15 мм). При указанных конструктивных параметрах рамка имеет следующие электрические характеристики: активное сопротивление  $r = 4200$  Ом, индуктивность  $L = 0,004$  Гн, емкость  $C = 1$  нФ.

Для получения малых величин  $L$  и  $C$ , которые определяют характеристику преобразования датчика на высоких частотах, и требуемой чувствительности необходимо дальнейшее усиление сигнала. Усилитель располагается в непосредственной близости от приемной рамки, что снижает влияние внешних помех и наводок.

Электрическая схема активной индукционной рамки с предварительным усилителем (ПУ) сигналов показана на рис. 2.

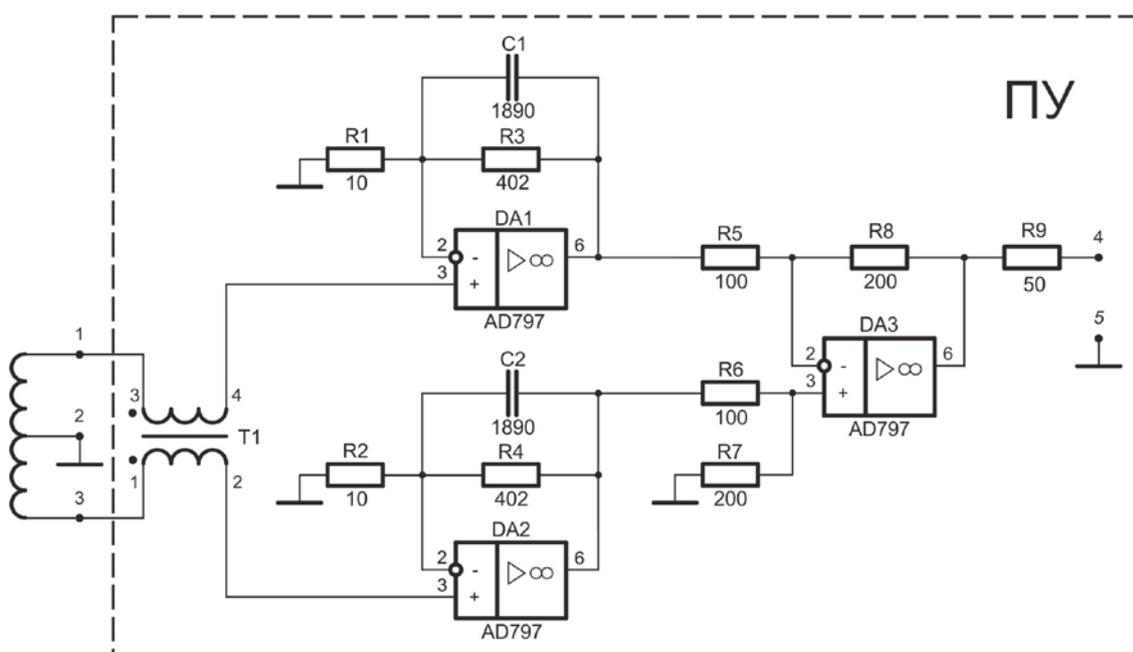


Рис. 2. Электрическая схема активной индукционной рамки.

Полоса пропускания усилителя в области верхних частот ограничена на уровне  $f_c = 0,2$  МГц, что позволяет снизить влияние вещательных радиостанций средневолнового диапазона на работу измерительного канала.

Дифференциальная схема включения индукционной рамки и синфазный трансформатор Т1 обеспечивают дополнительное подавление синфазных помех, наводимых на вход схемы. Выход датчика рассчитан на длинную линию передачи с волновым сопротивлением 50 Ом. Коэффициент усиления ПУ ( $K = 40$ ) зависит от эффективной площади индукционной рамки, которая выбирается примерно равной площади зондирующей рамки.

Минимальный уровень контролируемых сигналов определяется собственными шумами измерительного канала. В нашем случае усиление сигналов сосредоточено в ПУ, шумы которого совместно с шумами рамки определяют шумы измерительного канала.

На рис. 3 представлена эквивалентная схема для расчета напряжения шумов, приведенных к входу предварительного усилителя.

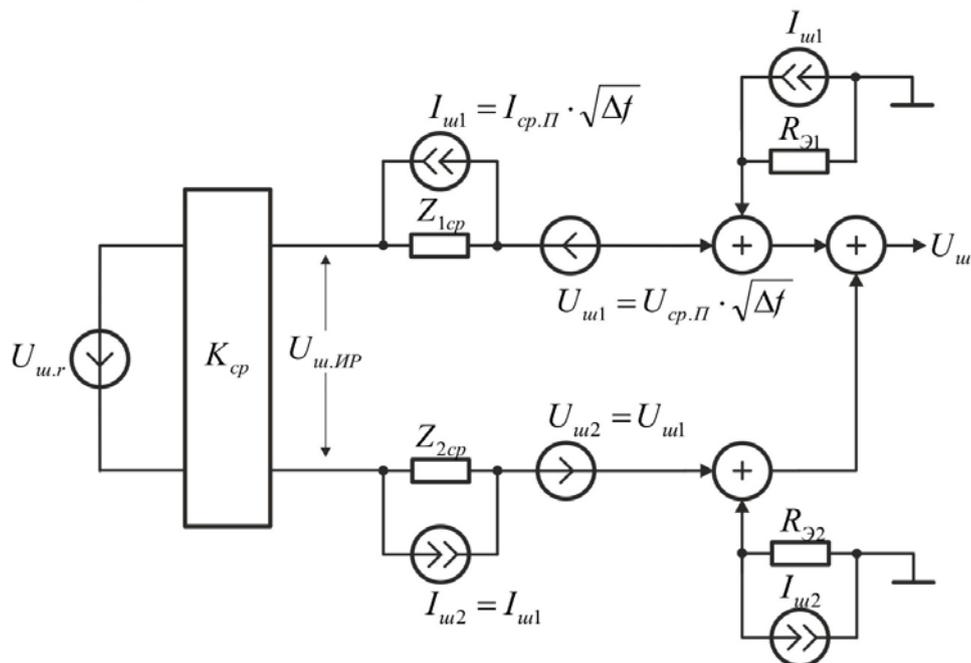


Рис. 3. Эквивалентная схема для расчета шумов активной индукционной рамки, приведенных к входу предварительного усилителя:

$U_{u,r}$  – напряжение шумов активного сопротивления ( $r$ ) индукционной рамки;  $K_{cp}$  – среднее значение модуля комплексного коэффициента передачи шумов активного сопротивления индукционной рамки на ее зажимы в полосе пропускания  $\Delta f$  измерительного канала;  $U_{u,IP}$  – напряжение шумов индукционной рамки в полосе  $\Delta f$ ;  $I_{u1}$ ,  $I_{u2}$  – шумы входных токов операционных усилителей DA1 и DA2 в полосе пропускания  $\Delta f$ ;  $Z_{1cp}$ ,  $Z_{2cp}$  – среднее значение модуля комплексного сопротивления половины витков катушки индукционной рамки в полосе пропускания  $\Delta f$ ;  $R_{э1} = R1||R3$ ,  $R_{э2} = R2||R4$  – эквивалентное сопротивление резисторов подключенных к инвертирующим входам операционных усилителей DA1 и DA2 (рис. 2);  $U_{u1}$ ,  $U_{u2}$  – шумы напряжения операционных усилителей DA1 и DA2 в полосе пропускания  $\Delta f$

В схеме, показанной на рис. 3, не учитываются шумы дифференциального усилителя, выполненного на микросхеме DA3. Вклад этих шумов в общие шумы схемы незначительный т.к. они пересчитываются на вход схемы с коэффициентом 40. Напряжение шумов активного сопротивления  $r$  индукционной рамки вычислим по формуле:

$$U_{u,r} = \sqrt{4 \cdot k \cdot T \cdot \Delta f \cdot r} \approx 1,3 \cdot 10^{-6} \text{ В,}$$

где  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К - постоянная Больцмана;  $T = 293$  К - температура по Кельвину;  $\Delta f = 25000$  Гц – полоса пропускания измерительного канала;  $r = 4200$  Ом – активное сопротивление индукционной рамки.

Среднеквадратичное значение напряжения шума индукционной рамки в полосе частот  $\Delta f$  с учетом частотных свойств эквивалентной схемы рамки определится по формуле:

$$U_{ш.ИР} = U_{ш.р} \cdot K_{cp}, \quad (7)$$

где  $K_{cp}$  – среднее значение модуля комплексного коэффициента передачи шумов активного сопротивления рамки на ее зажимы в полосе частот  $\Delta f$ .

$K_{cp}$  рассчитывается из эквивалентной шумовой схемы индукционной рамки, показанной на рис. 4.

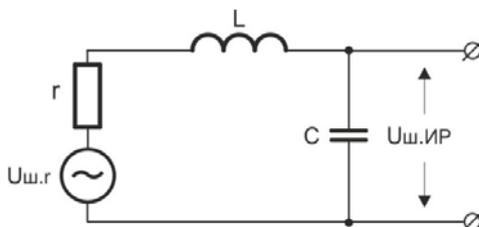


Рис. 4. Эквивалентная шумовая схема индукционной рамки для пересчета шумов активного сопротивления рамки на ее зажимы.

Согласно схеме (рис. 4), модуль комплексного коэффициента передачи определится по формуле:

$$K_{Uш}(\omega) = \frac{1}{\sqrt{(1 - \omega^2 LC)^2 + \omega^2 r^2 C^2}}.$$

Среднее значение модуля комплексного коэффициента передачи шумов активного сопротивления индукционной рамки на ее зажимы  $K_{cp}$  в полосе пропускания измерительного канала  $\Delta f = (0 \div f_B) = 25000$  Гц определится по формуле:

$$K_{cp} = \frac{\int_0^{\omega_B} K_{Uш}(\omega) d\omega}{\omega_B} = 0,963,$$

где  $\omega_B = 2 \cdot \pi \cdot f_B$ .

Далее находим среднеквадратичное значение шума индукционной рамки по формуле (7):

$$U_{шИР} = K_{cp} \cdot U_{шр} = 0,963 \cdot 1,3 \cdot 10^{-6} = 1,25 \cdot 10^{-6} \text{ В}$$

Собственные шумы предварительного усилителя, приведенные к его входу, вычисляются по формуле:

$$U_{шИУ} = \sqrt{U_{шОУ1}^2 + U_{шОУ2}^2} = U_{шОУ} \cdot \sqrt{2}, \quad (8)$$

где  $U_{ш.ОУ1} = U_{ш.ОУ2} = U_{ш.ОУ}$  - собственные шумы усилительных каскадов DA1 и DA2, приведенные к входу предварительного усилителя. Равенство шумов усилительных каскадов DA1 и DA2 между собой определяется идентичностью их схем и источников сигналов для них.

Согласно схеме, показанной на рис. 3, шумы каждого из усилительных каскадов предварительного усилителя складываются из шумов токов и шумов напряжения и определяются по формуле:

$$U_{шОУ} = \sqrt{(I_{ш} \cdot Z_{cp})^2 + (I_{ш} \cdot R_{\mathcal{E}})^2 + U_{ш}^2} = \sqrt{I_{ш}^2 \cdot \left(\frac{Z_{cp}}{2} + R_{\mathcal{E}}\right)^2 + U_{ш}^2}, \quad (9)$$

где  $I_{ш} = I_{ш1} = I_{ш2}$  - шумы входных токов операционных усилителей DA1 и DA2 в полосе пропускания  $\Delta f$ ;  $U_{ш} = U_{ш1} = U_{ш2}$  - шумы напряжения операционных усилителей DA1 и DA2 в

полосе пропускания  $\Delta f$ ;  $Z_{1cp} = Z_{2cp} = Z_{cp} / 2$  - среднее значение модуля комплексного сопротивления половинок катушки индукционной рамки в полосе пропускания  $\Delta f$ ;  $Z_{cp}$  - среднее значение модуля комплексного сопротивления всей катушки индукционной рамки в полосе пропускания  $\Delta f$ ;  $R_{\text{Э}} = R_{\text{Э1}} = R_{\text{Э2}}$  - эквивалентное сопротивление резисторов, подключенных к инвертирующим входам операционных усилителей DA1 и DA2 (рис. 2).

Шумы напряжения операционных усилителей DA1 и DA2 в полосе пропускания  $\Delta f$  находятся по формуле:

$$U_{ш} = U_{cp\Pi} \cdot \sqrt{\Delta f}, \quad (10)$$

где  $U_{cp\Pi}$  - среднее значение спектральной плотности распределения шумов напряжения операционных усилителей DA1 и DA2 в полосе частот  $\Delta f$ .

Шумы входных токов операционных усилителей DA1 и DA2 в полосе пропускания  $\Delta f$  определяются по формуле:

$$I_{ш} = I_{cp\Pi} \cdot \sqrt{\Delta f}, \quad (11)$$

где  $I_{cp\Pi}$  - среднее значение спектральной плотности распределения шумов входных токов операционных усилителей DA1 и DA2 в полосе частот  $\Delta f$ .

В технической документации на применяемые микросхемы AD797 фирмы Analog Devices приводятся графики спектральных плотностей распределения шумов напряжения и тока в логарифмических масштабах. Если построить графики спектральной плотности распределения шумов в линейном масштабе в полосе частот  $\Delta f$ , вычислить интеграл от функции спектральной плотности распределения шумов в диапазоне частот  $0 - \Delta f$ , то разделив полученное значение интеграла на полосу частот  $\Delta f$ , вычислим среднюю плотность распределения шумов в полосе частот  $\Delta f$ . Выполнив такие вычисления, получим для шумов напряжения  $U_{cp\Pi} = 1,2 \text{ нВ} / \sqrt{\Gamma\text{ц}}$ , для токовых шумов  $I_{cp\Pi} = 1,63 \text{ нА} / \sqrt{\Gamma\text{ц}}$ . Подставив  $\Delta f = 25000$  Гц и полученные значения  $U_{cp\Pi}$  и  $I_{cp\Pi}$  в (10) и (11) получим  $U_{ш} \approx 0,19$  мкВ,  $I_{ш} \approx 0,26$  нА.

Далее вычислим среднее значение модуля комплексного сопротивления индукционной рамки.  $Z_{cp}$ . На рис. 5 показана эквивалентная схема индукционной рамки.

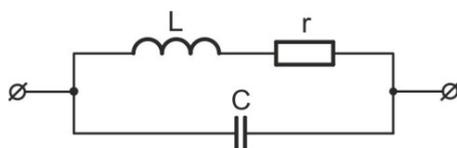


Рис. 5. Эквивалентная электрическая схема индукционной рамки.

Выражение для модуля комплексного сопротивления схемы, показанной на рис. 5, запишется в виде:

$$Z(\omega) = \frac{\sqrt{\left( r \left( \frac{L}{C} - \frac{1}{\omega C} \left( \omega L - \frac{1}{\omega C} \right) \right) \right)^2 + \left( -\frac{r^2}{\omega C} - \frac{L}{C} \left( \omega L - \frac{1}{\omega C} \right) \right)^2}}{r^2 + \left( \omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}.$$

Среднее значение модуля комплексного сопротивления индукционной рамки в полосе частот  $\Delta f$  вычисляется по формуле:

$$Z_{cp} = \frac{\int_0^{\omega_B} Z(\omega) d\omega}{\omega_B} = 4060,5 \text{ Ом},$$

где  $\omega_B = 2 \cdot \pi \cdot f_B$ .

Эквивалентное сопротивление резисторов, подключенных к инвертирующим входам операционных усилителей DA1 и DA2 (рис. 2), вычислим по формуле  $R_{\text{Э}} = R_{\text{Э1}} = R_{\text{Э2}} = R1 \cdot R3 / (R1 + R3) = 9,757$  Ом.

Подставив в (9) и (8) полученные значения  $Z_{cp}=4060,5$  Ом,  $R_{\Omega} = 9,757$  Ом,  $U_{ш} = 0,19 \cdot 10^{-6}$  В,  $I_{ш} = 0,26 \cdot 10^{-9}$  А, вычислим собственные шумы предварительного усилителя, приведенные к его входу  $U_{шПУ} \approx 0,797$  мкВ.

Суммарные шумы индукционной рамки с учетом шумов предварительного усилителя определим по формуле:

$$U_{ш} = \sqrt{U_{шИР}^2 + U_{шПУ}^2} \approx 1,48 \text{ мкВ}$$

Шумы 16-разрядного АЦП ( $U_{ш.АЦП}$ ), используемого в составе ЭРК ШПС, согласно паспортным данным составляют 160 мкВ. Тогда шумы измерительного канала с учетом шумов АЦП найдем по формуле:

$$U_{ш.ИК} = \sqrt{\left(\frac{U_{ш.АЦП}}{K \cdot K_{АЦП}}\right)^2 + U_{ш}^2} \approx 2,31 \text{ мкВ},$$

где  $K = 40$  - коэффициент усиления измерительного канала до блока АЦП,  $K_{АЦП} = 2,26$  - коэффициент усиления блока АЦП.

Для обеспечения 5%-ной точности измерения электрических параметров земной коры (что соответствует соотношению сигнал/шум = 20), при эквивалентном удельном сопротивлении горных пород  $\rho_{\Omega} = 319$  Ом·м для территории Бишкекского геодинамического полигона [4], числе накоплений периодов принимаемых сигналов  $N = 1000$  и амплитуде зондирующих импульсов тока 50 А, эффективная глубина зондирования земной коры составит 660 м.

Были проведены измерения амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) изготовленного датчика. Схема измерения АЧХ показана на рис. 6.

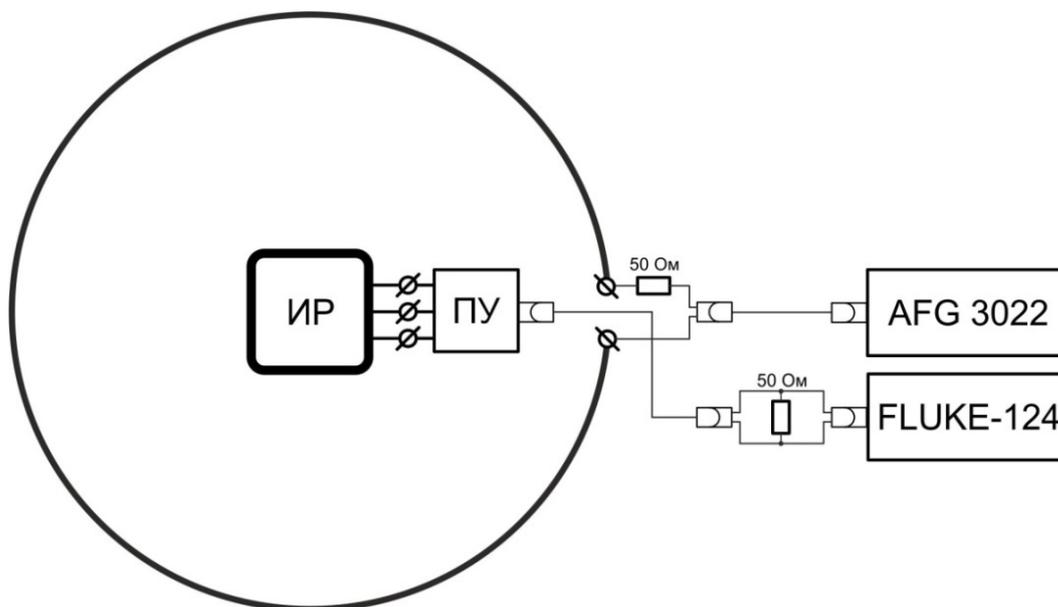


Рис. 6. Схема измерения амплитудно-частотной характеристики датчика: ИР – приемная индукционная рамка; ПУ – предварительный усилитель для ИР; AFG-3022 – генератор сигналов; FLUKE-124 – цифровой осциллограф.

Эксперимент проводился в полевых условиях. На горизонтальной ровной площадке раскладывалась токовая петля радиусом 4,8 метра. Амплитуда синусоидального тока в петле устанавливалась равной 0,1 А и поддерживалась неизменной в диапазоне частот от 50 Гц до 100 кГц. Далее вычислялось нормированное отношение амплитуды выходного сигнала к входному сигналу в децибелах. Результаты измерения АЧХ индукционной рамки приведены на рис. 7. Из рис. 7 видно, что АЧХ изготовленной приемной индукционной рамки,

построенная в логарифмическом масштабе в диапазоне частот от 100 Гц до 100 кГц, представляет собой прямую линию с наклоном 20 дБ/декаду. Т.е. в указанном диапазоне частот сигнал, снимаемый с выхода датчика, прямо пропорционален скорости изменения потока магнитной индукции в точке приема. На частотах выше 30 кГц наблюдается снижение наклона графика АЧХ, обусловленное частотными свойствами индукционной рамки. На низких частотах измерение АЧХ было ограничено очень малым уровнем получаемого на выходе сигнала, соизмеримым с собственными шумами цифрового осциллографа FLUKE-124.

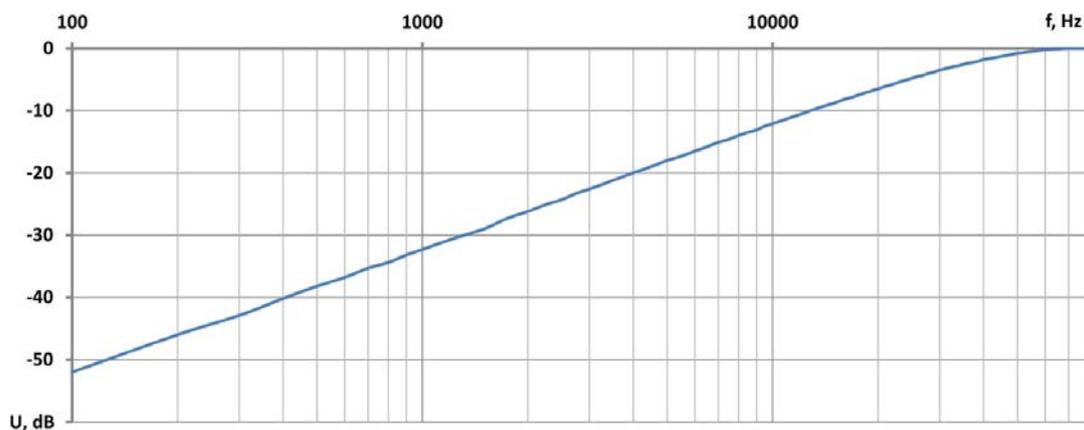


Рис. 7. Амплитудно-частотная характеристика приемного датчика (индукционной рамки).

По техническим параметрам изготовленный экспериментальный образец активной индукционной рамки не уступает прототипу [2].

Работы по разработке датчика продолжаются. Цель дальнейших работ - оптимизация параметров активной индукционной рамки под задачи электромагнитного мониторинга напряженно-деформированного состояния земной коры, решаемые с помощью ЭРК ШПС.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ильичев П. В., Бобровский В. В. Экспериментальный измерительный комплекс для проведения электромагнитных зондирований земной коры шумоподобными сигналами // Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов: тезисы докладов VI Международного симпозиума, г. Бишкек, 23 – 29 июня 2014 г. Бишкек: НС РАН. 2014. С. 309 - 311.
2. Датчик. URL: <http://tsiklgeo.ru/9-sredstva/24-datchik> (дата обращения 05.03.2015).
3. Лашин О. А. Электроразведочный генератор зондирующих сигналов // Современные техника и технологии в научных исследованиях: материалы докладов V Международной конференции молодых ученых и студентов, г. Бишкек, 24 - 25 апреля 2013 г. С. 18-32.
4. Ильичев П.В. Уточнение технических параметров и выбор элементной базы для реализации аналоговой части приемной измерительной аппаратуры // Отчет (промежуточный) по НИР: разработка аппаратно-программных средств и основ технологий электромагнитного мониторинга геодинамических процессов в сейсмоактивных зонах и оценки их опасностей. Бишкек. Фонды НС РАН. 2011. Гос. рег. № 0120.0713073. С. 50-55.

## **О ПРОЕКТЕ СОЗДАНИЯ СЕТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ ГРОЗОПЕЛЕНГАЦИИ И ИССЛЕДОВАНИЯ АТМОСФЕРНО-ЛИТОСФЕРНЫХ СВЯЗЕЙ В РЕГИОНЕ СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ**

Лозбин А.Ю., Инчин П.А., Шпади М.Ю., Аязбаев Г.М., Быкаев Р.Ж.

тел./факс: +7 727 3967040; e-mail: [lozbin@mail.ru](mailto:lozbin@mail.ru)

Институт космической техники и технологии, г. Алматы, Республика Казахстан

В рамках программы научных исследований Министерства образования и науки Республики Казахстан на 2015-2017 годы планируется создание сети электромагнитных измерений для грозопеленгации и исследования атмосферно-литосферных связей в регионе северного Тянь-Шаня.

Цель проекта – создать систему электромагнитных измерений для грозопеленгации и исследования атмосферно-литосферных связей, состоящую из сети электромагнитных датчиков и целевого комплекса по приему, обработке данных и выдачи их конечному пользователю.

Задачи проекта:

- создать сеть электромагнитных датчиков с широким частотным диапазоном измерений, расположенных на расстоянии в сотни километров друг от друга;
- разработать алгоритмы обработки и идентификации сигналов от грозовых разрядов, а также других природных и техногенных источников; разработать программно-математическое обеспечение для целевой обработки данных и пользовательского доступа к информации;
- провести по данным измерений на станциях сети исследование пространственно-временного распределения грозовой активности в Северо-Тянь-Шаньском регионе станций и влияния техногенных и природных источников излучения на электромагнитное поле в широком диапазоне частот.

В настоящее время большинство ведущих стран мира имеют свои системы грозопеленгации, включенные в мировые или автономные сети [1-2]. Такие системы несут не только практическую значимость для народного хозяйства как часть метеопрогноза, но и представляют большой научный интерес, связанный с исследованием атмосферного электричества и атмосферно-литосферных связей [3-6]. Существует ряд публикаций с теоретическим обоснованием глобальной электрической цепи. Эти теоретические основы требуют экспериментального подтверждения [7-8].

В настоящее время в Казахстане существуют отдельные установки грозопеленгации, однако, один прибор способен фиксировать грозы на расстоянии до 300 км, но не позволяет охватить весь горный регион Северного Тянь-Шаня. Также, одного прибора недостаточно для точного определения направления прихода грозового фронта и силы удара отдельных вспышек, т.е. для решения таких задач необходимо создание сети станций с установками грозопеленгации.

Предлагаемый проект создания казахстанской системы грозопеленгации для Северо-Тянь-Шаньского региона позволит получить детальную информацию о грозовой активности и в целом об электромагнитной обстановке в низкочастотном диапазоне в горных сейсмических районах Казахстана, а в последующем и всей Республике.

Грозовая деятельность планеты (сумма всех молний вокруг земного шара) отвечают за существование и эффективность работы глобальной электрической цепи (ГЭЦ). В рамках концепции ГЭЦ, каждая конкретная молния обеспечивает замыкание конкретного витка ГЭЦ, в результате чего в данном витке появляется ток проводимости. При замыкании витков ГЭЦ в пространстве «литосфера – ионосфера», электрические токи в ионосфере «чувствуют» возмущения электрического поля в районе подготовки очага землетрясения [9], на чем основаны современные методы ионосферного прогноза землетрясений [10]. При замыкании витков ГЭЦ в пространстве «магнитопауза – литосфера», токи в земной коре «чувствуют»

возмущения на магнитопаузе, обусловленные электрическим полем солнечного ветра, что приводит к появлению связи между вариациями солнечной активности и геодинамической (сейсмической) активностью планеты.

На основании этих знаний, возникает предположение, что каждое землетрясение может иметь «свою молнию». Причем, эта молния может возникнуть не над очагом землетрясения, а в любом районе планеты. Однако, чтобы ток проводимости прошел через конкретный очаг землетрясения, нужно, чтобы в литосфере был обеспечен канал электрической проводимости между районом, где возникла молния, и районом, где произошло землетрясение. О том, что электрические явления на земной поверхности и землетрясения (на глубине) могут быть пространственно разнесены, говорят результаты греческих ученых (VAN) - группа [11]. Было обнаружено, что сейсмoeлектрические сигналы (SES) возникают, как правило, на расстоянии от эпицентра, а также обнаружен «эффект избирательности», заключающийся в том, что возникновение SES в конкретной географической точке коррелирует с землетрясениями, возникающими только в определенном районе. В этой связи, если на конкретной территории будут регулярно фиксироваться все молнии, то появится возможность определить сейсмически активные районы, связанные с грозовой деятельностью данной территории, что внесет существенный вклад в развитие знаний о механизмах возникновения землетрясений.

Таким образом, планируется создание сети электромагнитных датчиков в регионе северного Тянь-Шаня, состоящей из 6 приборов, расположенных на расстоянии 100-250 км друг от друга. Предварительное расположение таких станций показано на рисунке 1. Данная концепция позволит охватить регион грозопеленгации в радиусе ~500 км с приемлемой точностью.

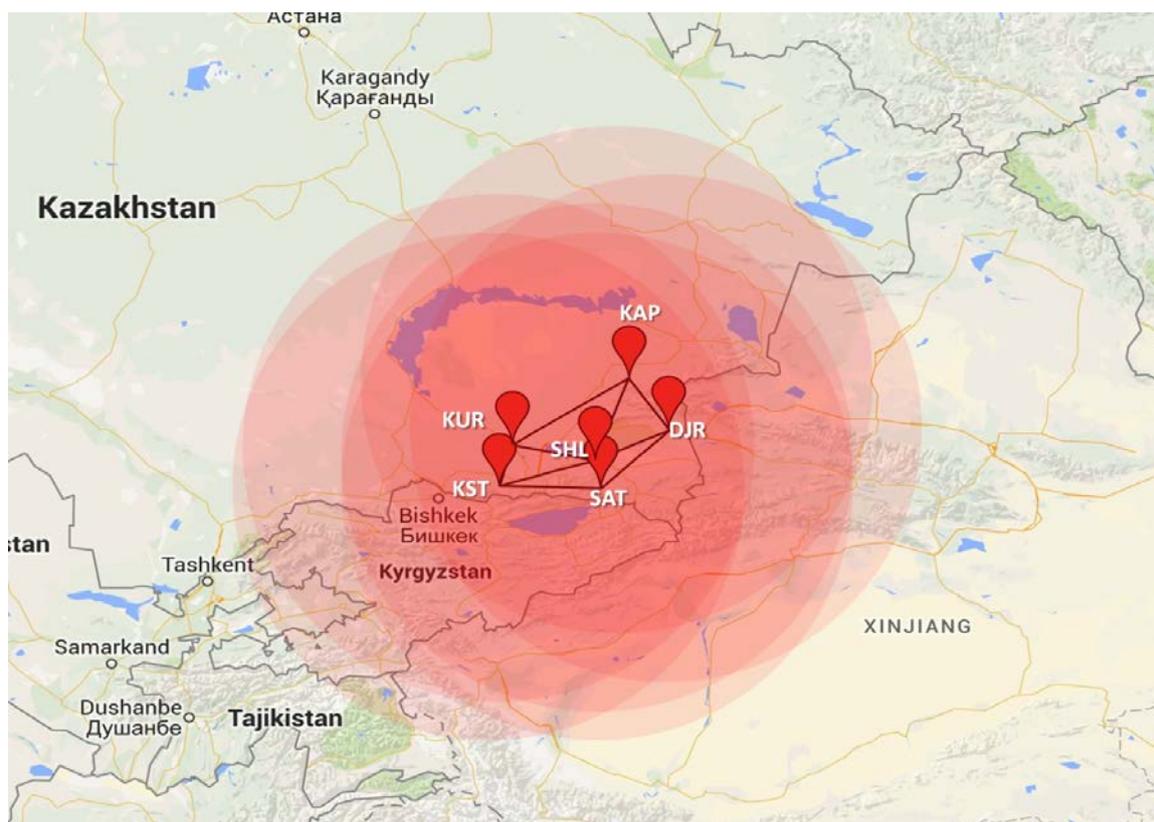


Рис. 1. Схема расположения станций грозопеленгации и их покрытие.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Abarca, S.F., K.L. Corbosiero and T.J. Galarneau Jr.: An evaluation of the Worldwide Lightning Location Network (WWLLN) using the National Lightning Detection Network (NLDN) as ground truth, *J. Geophys. Res.* 2010. 115 (D18206, doi:10.1029/2009JD013411).
2. Betz, H.-D., K. Schmidt and W.P. Oettinger: LINET—An international VLF/LF lightning detection network in Europe, in *Lightning: Principles, Instruments and Applications* (H.-D. Betz, U. Schumann, and P. Laroche, eds). Dordrecht, NL: Springer-Verlag. 2008.
3. Сурков В.В. Электромагнитные эффекты при землетрясениях и взрывах. М. Наука. 2005. 240 с.
4. Y. Ando, M. Hayakawa, O. Molchanov. Theoretical analysis on the penetration of power line harmonic radiation into the ionosphere.- *J. Radio Science.* 2002. Vol.37. No.6. 1093.
5. F. Nemeц, O. Santolik, M. Parrot, J. Bortnik. Power line harmonic radiation observed by satellite: Properties and propagation through the ionosphere // *J. of Geoph. Res.* 2008. Vol. 113.
6. O. Molchanov, A. Rozhnoi, M. Solovieva, O. Akentieva, J. J. Berthelieг, M. Parrot, F. Lefeuvre, P. F. Biagi, L. Castellana and M. Hayakawa. Global diagnostics of the ionospheric perturbations related to the seismic activity using the VLF radio signals collected on the DEMETER satellite // *J. Nat. Hazards and Earth Syst. Sci.* 2006. V. 6. P. 745–753.
7. Harrison, R.G. The global atmospheric electrical circuit and climate. *Surveys in Geophysics* 25 (5-6). 2004. P. 441–484. doi:10.1007/s10712-004-5439-8 .
8. Singh, A.K. Electrodynamical coupling of Earth's Atmosphere and Ionosphere: An Overview. *International Journal of Geophysics.* V. 11. 2011.
9. Harrison, R. G., Aplin, K. and 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.
10. Pulinets, S. A, and K. A. Boyarchuk. *Ionospheric Precursors of Earthquakes.* Springer. Berlin. New York. 2004. 316 p.
11. Varotsos P.A., Sarris N.V., and E.S. Skordas. Introduction to Seismic Electric Signals, in “Natural Time Analysis: The New View of the Time”. Springer Praxis Books. Part 1. 2011. P.3-115, DOI: 10.1007/978-3-642-16449-1\_1.

## ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ВЕКТОРОВ СКОРОСТИ ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ ТЯНЬ-ШАНЯ

Мажников М. С.

тел.: +996 (312) 61-31-40; e-mail: [mms@gdirc.kg](mailto:mms@gdirc.kg)

Научная станция РАН, г. Бишкек, Кыргызстан

Лабораторией GPS НС РАН проводятся исследования движений земной коры на территории Центральной Азии методами космической геодезии. Основным инструментом исследований является GPS-метод. Центрально-Азиатская GPS-сеть располагается на территориях Кыргызстана, Казахстана, Узбекистана, Таджикистана и Китая. Наблюдения ведутся с 1992 года. Количество пунктов наблюдения сети на 2014 год составляет более 600, из которых более чем 350 пунктов расположены на территории Кыргызстана. В обработке и при анализе используются данные, начиная с 1994 года. Таким образом, региональные эпизодические измерения охватывают 20-летний период. Поэтому может быть поставлена задача по исследованию эволюции временных рядов координат для каждого из GPS-пунктов или для целых регионов.

По плотности сети и частоте измерений территория Кыргызстана наилучшим образом подходит для исследования временных вариаций координат и векторов скорости GPS-пунктов. Для начального анализа было принято решение выделить только 2 временных интервала 1994-2003 гг. и 2004-2013 гг. Однако не все пункты Кыргызстана имеют 20-летнюю историю наблюдений или достаточное для обработки количество измерений. По требованиям технологии обработки GPS-данных к расчетам допускаются пункты, которые имеют не менее 3-х измерений в течение не менее 3-х лет. Так, при соблюдении этих условий для временных интервалов 1994-2003 гг. и 2004-2013 гг. для исследования будут пригодны 183 пункта на территории Кыргызстана.

Для выбранных пунктов были рассчитаны векторы скорости с помощью программного пакета GAMIT\GLOBK [1]. Важно отметить, что для первого и второго временного интервала расчеты векторов скорости проводились при одинаковых прочих исходных условиях и настройках GAMIT\GLOBK [2, 3]. На рисунке 1 отображены векторы скорости для выбранных интервалов. Синие – результаты наблюдений за 1994-2003 гг., фиолетовые – наблюдения за 2004-2013 гг.

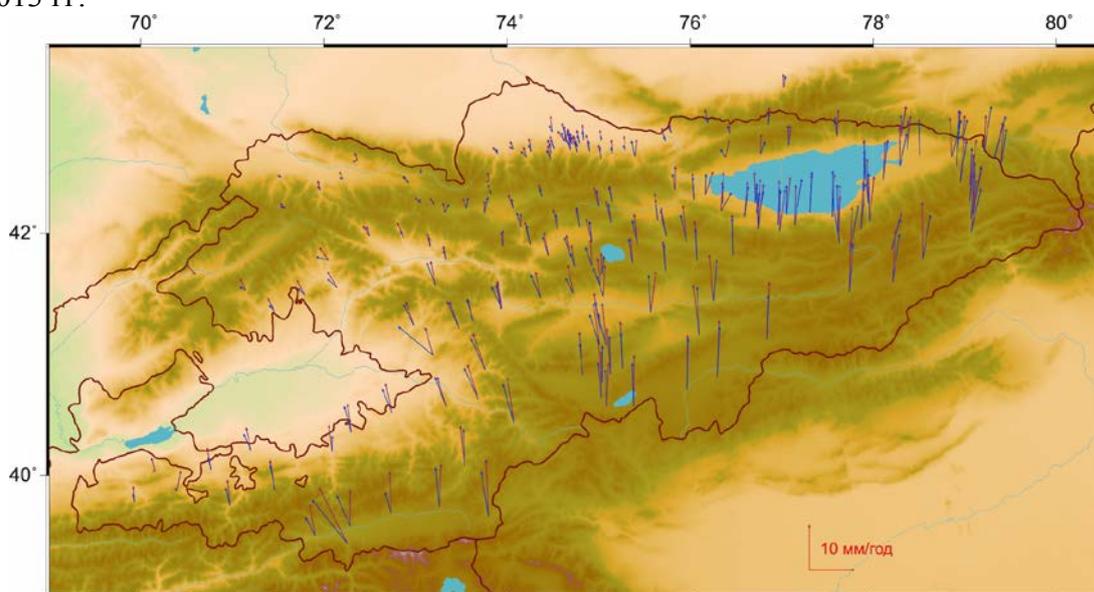


Рис. 1. Векторы скорости в системе отсчета EURA 2008 для 183 пунктов Кыргызстана. Синие стрелки – результаты наблюдений за 1994-2003 гг. ( $\geq 3$  лет), фиолетовые стрелки – результаты наблюдений за 2004-2013 гг. ( $\geq 3$  лет).

Из общего восприятия данного рисунка следует, что отдельные вектора претерпели сравнительно значимые изменения, но в основной массе – это небольшие отличия между векторами первого и второго десятилетия. Для более детального рассмотрения отличий в анализируемых векторных системах обратимся к количественным показателям их разности после проведения процедуры минимизации [4] (таблица 1).

Таблица 1. Статистические параметры исследуемых пунктов и их отличия (мм/год)

Параметры	$V_{E1}$	$V_{E2}$	$\Delta V_{E2-1}$	$V_{N1}$	$V_{N2}$	$\Delta V_{N2-1}$	$ \Delta V $
Минимум (Min)	-7.32	-5.79	1,52	-5.81	-5.87	-0,05	0.10
Среднее (Avr)	0.00	0.00	0,00	0.00	0.00	0,00	1.13
Максимум (Max)	2.97	2.86	-0,11	6.42	6.71	0,30	6.01
Max-Min	10.29	8.65	-1,64	12.23	12.58	0,35	5.90
Стандартное отклонение	1.31	0.98	-0,33	3.26	3.17	-0,10	0.74
Средний $ \text{Avr}-V^* $	0.85	0.72	0,13	2.80	2.73	-0,07	0.54

В названиях столбцов таблицы 1 приняты следующие обозначения:  
 $V_{E1}$  и  $V_{E2}$  – восточные компоненты скорости для интервалов 1994–2003 гг. и 2004–2013 гг.;  
 $V_{N1}$  и  $V_{N2}$  – северные компоненты скорости для интервалов 1994–2003 гг. и 2004–2013 гг.;  
 $\Delta V_{E2-1}$  и  $\Delta V_{N2-1}$  – разность между восточными и северными компонентами соответственно;  
 $|\Delta V|$  – модуль разности между горизонтальными векторами скорости для интервалов 1994–2003 гг. и 2004–2013 гг.

Так, по модулю разности между одноименными, но разновозрастными векторами отмечается максимум в 6.01 мм/год, а в среднем – 1.13 мм/год. Чтобы понять частотное распределение модулей разности векторов приведем следующие показатели:  $\geq 3$  мм/год – ~2% (3), 2–3 мм/год – ~8% (15), 1–2 мм/год – ~42% (76) и  $< 1$  мм/год – ~48% (89). Если исключить уровень регулярных ошибок до 2 мм/год, то остается только 10% случаев, при которых могли происходить геодинамические изменения режима движений GPS-пунктов.

В настоящее время можно утверждать, что на территории Кыргызского Тянь-Шаня современное поле скорости за 1994–2013 гг. наблюдений на 90% стабильно в пределах скоростных вариаций  $< 2$  мм/год, которые можно отнести к ошибкам измерений.

В дальнейшем следует внимательно изучить временные ряды координат пунктов с максимальными расхождениями векторов скорости за исследуемые интервалы времени. Возможно, эти всплески вызваны не геодинамическими процессами, а какими-то другими факторами, влияющими на подобные расхождения в векторах скорости с течением времени. Подобные прецеденты уже были в нашей практике: влияние отдельных некачественных (краткосрочных) измерений, ошибочная замена имен марок, влияние экзогенных факторов и т.д.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Herring T.A. GAMIT : Reference manual : GPS analysis at MIT : Release 10.4 / T.A. Herring, B.W. King, S.C. McClusky. MIT. 2010. 170 p.
2. Herring T.A. GLOBK : Reference manual : Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program. Release 10.4 / T.A. Herring, B.W. King, S.C. McClusky. MIT. 2010. 91 p.
3. Herring T.A. Introduction to GAMIT/GLOBK : Release 10.4 / T.A. Herring, B.W. King, S.C. McClusky. MIT. 2010. 48 p.
4. Кузиков С.И., Мухамедиев Ш.А. Структура поля современных скоростей земной коры в районе Центрально-Азиатской GPS сети // Физика Земли. 2010. № 7. С. 33–51.

#### ОТРАЖЕНИЕ ГЛУБИННЫХ РАЗЛОМОВ И ИХ СЕГМЕНТОВ В ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЯХ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ИССЫК-КУЛЬСКОЙ ВПАДИНЫ

Малосиева М.Т.

тел.: 0312 521-435; e-mail: [malosieva.rita@mail.ru](mailto:malosieva.rita@mail.ru)

Институт сейсмологии НАН КР, г. Бишкек, Кыргызстан

**Введение.** Геофизические данные активно и успешно используются при уточнении и определении местоположения геологических разломов. Поэтому целью нашего исследования стало картирование по магнитному и гравитационному полям территориального расположения глубинных разломов, разрывных нарушений и особенностей глубинного строения изучаемого участка. В данной работе приведены результаты анализа карты аномального магнитного поля ( $\Delta T$ )а масштаба 1:200 000 участка Западной части Исык-Кульской впадины, ограниченного координатами  $\varphi = 41^{\circ}40' - 42^{\circ}50' N$  и  $\lambda = 75^{\circ}30' - 76^{\circ}30' E$ , построенной по данным аэромагнитной съемки, выполненной сотрудниками Кыргызской

геофизической экспедиции [1]. А также карты аномального гравитационного поля ( $\Delta g$ )а этого же участка, построенной нами с использованием карты-схемы аномального гравитационного поля в редукции Буге масштаба 1:1 000 000 [2].

**Исходные данные.** В лаборатории «Геофизические методы изучения сейсмоопасных зон» Института сейсмологии НАН КР были определены характерные признаки отражения разломов и разломных зон в геофизических полях [3]. Эти результаты использовались в проведении данного исследования.

Прежде всего по материалам аэромагнитной съемки [1] нами была составлена карта изодинам аномального магнитного поля ( $\Delta T$ )а участка в масштабе 1:200 000, которая представлена на рисунке 1.

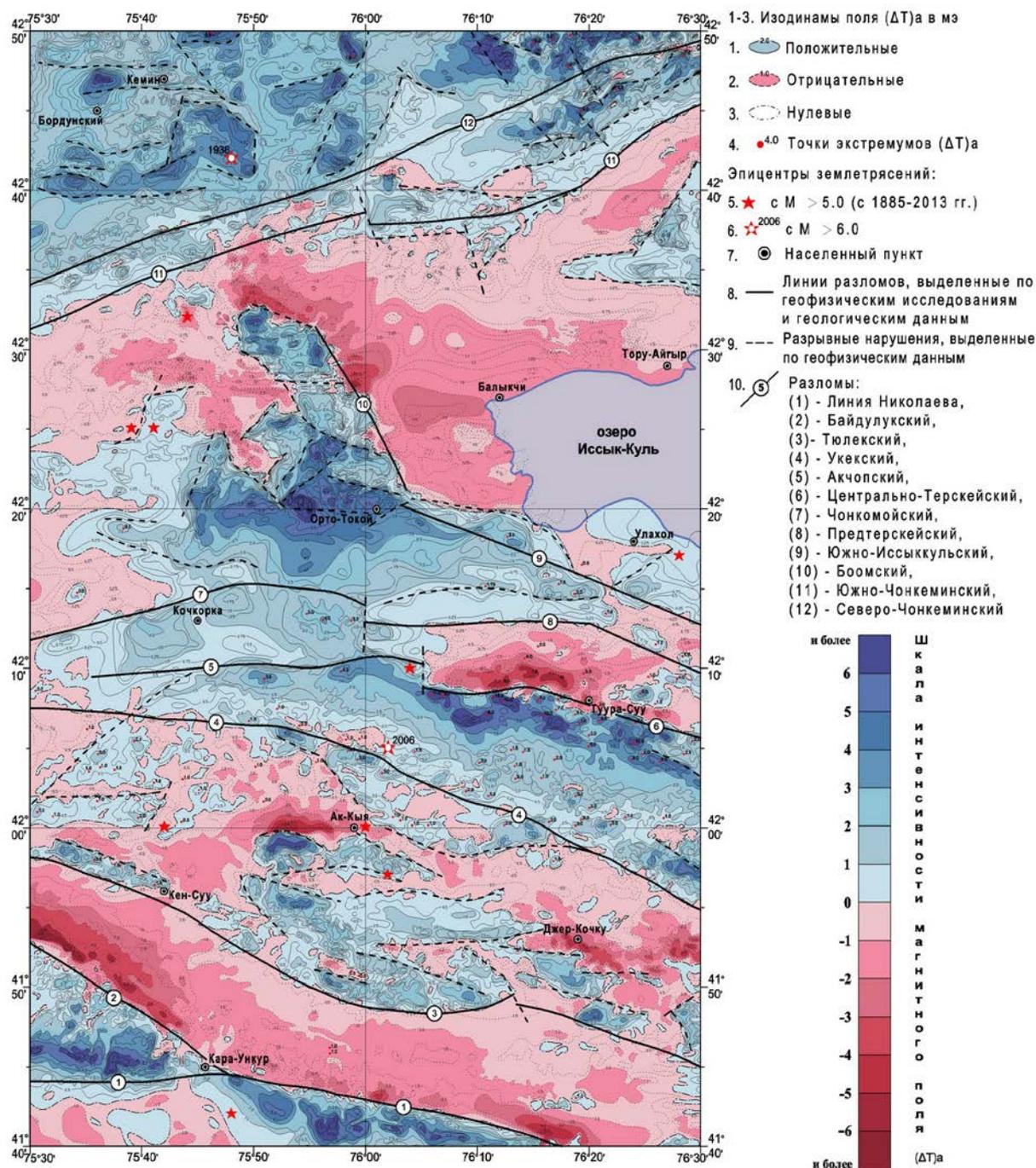


Рис. 1. Карта отражений разломов и их сегментов в аномальном магнитном поле ( $\Delta T$ )а западной части Иссык-Кульской впадины.

Из карты видно, что четко выделяются три области положительного аномального магнитного поля ( $\Delta T$ ): Северная, Центральная и Южная, отделенные друг от друга аномальными магнитными полями отрицательного знака. Отмечается, что зоны перехода положительного поля к отрицательному сопровождаются либо сгущением линейно вытянутых изодинам, либо контролируются цепочкой линейно вытянутых изолированных магнитных аномалий, являющихся признаками отражения в магнитном поле крупных разломов и локальных разрывных нарушений.

Так, в Южной области участка эти признаки сопровождают хорошо известный разлом - линию Николаева (1) и прилегающий к нему с северо-запада Байдулукский разлом (2). К югу от разломов наблюдается положительное поле незначительной интенсивности (+1.0 – +3.0 мЭ), на фоне которого выделяется целая серия изолированных друг от друга магнитных аномалий изометрической формы (в диаметре ~3-5 км) интенсивностью от +3.0 мЭ до +9.0 мЭ. Разломы имеют юго-восточное направление. Следует отметить, что линия Николаева (1) и Байдулукский (2) разломы образуют вблизи поселка Кара-Ункур своеобразный тектонический узел, в двух километрах южнее которого в 1885 году произошло семибалльное землетрясение с  $M = 5.0$ .

К северу от разломов фиксируется широкая до 12-15 км полоса отрицательного магнитного поля незначительной интенсивности от -0.5 мЭ до -1.5 мЭ с отдельными аномальными номиналами от -2.0 мЭ до -5.0 мЭ, непосредственно примыкающими к Байдулукскому разлому (2) и линии Николаева (1). Широкая полоса отрицательного магнитного поля ограничена сверху Тюлекским разломом (3), протягивающимся через весь участок исследования с  $75^{\circ}30'E$  до  $76^{\circ}30'E$ . Разлом отчетливо картируется по признаку сгущения линейно вытянутых изодинам и приуроченных к разлому цепочек линейно вытянутых изолированных магнитных аномалий, подчеркивающих его юго-восточное направление. Отметим, что Тюлекский разлом (3) почти параллелен разломам Байдулукскому (2) и линии Николаева (1).

Севернее этого разлома аномальное магнитное поле носит сложный характер. Практически всю центральную часть занимает обширная положительная аномалия интенсивностью от +0.5 мЭ до +2.5 мЭ, на фоне которой отмечаются многочисленные, небольших размеров магнитные аномалии положительного знака от +3.0 мЭ до +10.0 мЭ, образующие мозаичную картину распределения магнитного поля. Внутри центральной области по признакам линейно вытянутых изодинам и цепочкам изолированных магнитных аномалий отражены следующие разломы: Акчопский (5), Центральнo-Терскейский (6), Чонкомойский (7), Предтерскейский (8), Южно-Иссыккульский (9) и Боомский (10). Кроме того, на площади Центральной положительной аномалии выделяется большое число разрывных нарушений, локальных по протяженности. К этой области положительного магнитного поля с восточной и западной сторон примыкают обширные площади отрицательного магнитного поля незначительной интенсивности от -0.25 мЭ до -2.0 мЭ.

Далее, линия перехода отрицательного магнитного поля в положительное, где наблюдаются сгущение изодинам и цепочки изолированных магнитных аномалий, отображает Южно-Чонкеминский разлом (11) северо-западного направления. Этот разлом обрамляет с юга обширную Северную положительную магнитную аномалию, которая представляет собой мозаику чередующихся изолированных магнитных аномалий различной формы и интенсивности до +8.0 мЭ. Несколько севернее Южно-Чонкеминского разлома (11) параллельно ему располагается протяженный Северо-Чонкеминский разлом (12), также отражающийся по признакам сгущения линейно вытянутых изодинам и цепочкой изолированных магнитных аномалий.

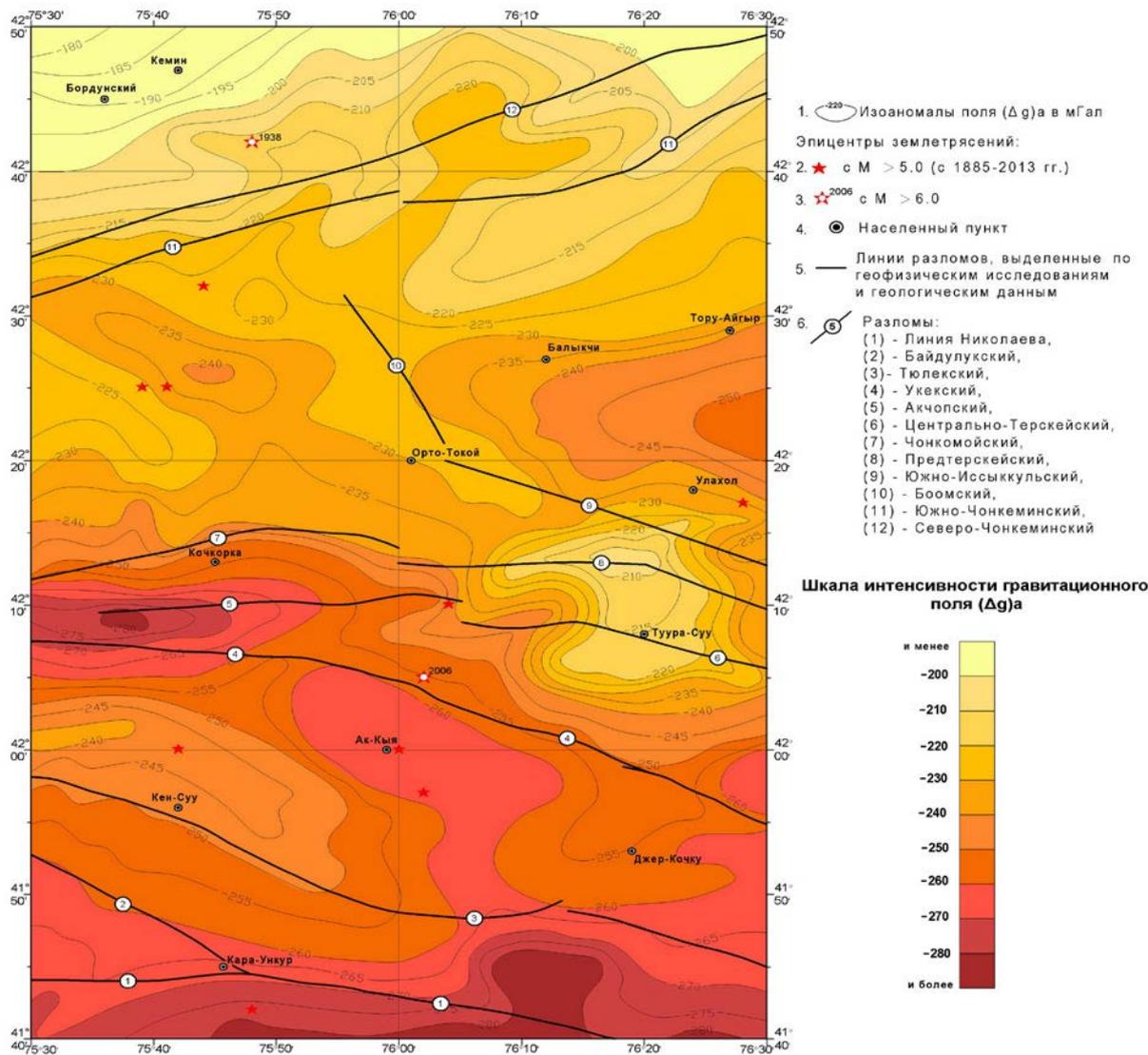


Рис. 2. Карта отражений разломов и их сегментов в аномальном гравитационном поле ( $\Delta g$ ) в редукции Буге западной части Иссык-Кульской впадины.

Глубинность выделенных разломов можно оценить по гравитационному полю. На рисунке 2 представлена карта изоаномал (номиналы даны в мГал) аномального гравитационного поля ( $\Delta g$ ) в редукции Буге изучаемого участка. Отметим, что это поле характеризует структуру верхней мантии. В целом интенсивность гравитационного поля отрицательного знака последовательно уменьшается с севера на юг от  $-180$  мГал до  $-280$  мГал. На его фоне четко выделяются две изолированные аномалии: первая (центр аномалии  $\varphi = 42^{\circ}09'N$ ,  $\lambda = 75^{\circ}38'E$ ) с уменьшением поля примерно на  $-40$  мГал, вторая (центр аномалии  $\varphi = 42^{\circ}13'N$ ,  $\lambda = 76^{\circ}20'E$ ) с увеличением поля примерно на  $+30$  мГал по сравнению с окружающим фоном. Нанесенные на карту (рисунок 2) разломы: линия Николаева (1), Байдулукский (2), Тюлекский (3), Южно-Чонкеминский (11) и Северо-Чонкеминский (12) практически параллельны линейно вытянутым изоаномалам (признак отражения разломов в гравитационном поле). А разломы Укекский (4), Акчопский (5), Центрально-Терскойский (6), Чонкомойский (7) и Предтерскойский (8) непосредственно пересекают аномалиеобразующие тела, расположенные в верхней мантии. Проникающие до нее перечисленные разломы, таким образом, являются глубинными.

Следует отметить, что участок исследования является сейсмоактивным. Так, на его территории за короткий период с 2006 по 2014 гг. произошло 531 землетрясение с  $M > 2,5$ . Наиболее крупные землетрясения с  $M > 6$  вынесены на карты (рисунок 1 и 2). Они располагаются вблизи разломов, поэтому последние следует отнести к активным.

**Заключение.** Показано, что крупные разломы и разломные зоны, расположенные на территории западной части Иссык-Кульской впадины четко отражаются в магнитном и гравитационном полях. Подтверждена их глубинность и активность в сейсмическом отношении. Следовательно, геофизические признаки отражения разломов и разрывных нарушений могут быть использованы для уточнения территориального расположения как видимых разломов, так и скрытых под рыхлыми отложениями.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лобанченко А.Н., Маринченко Г.Г. и др. Комплексные геофизические исследования сейсмоопасных районов (территория формируемого Иссыккульско-Чуйского территориально-производственного комплекса) / Фонды КГФЭ. Шопоков. 1988.
2. Карта-схема аномального гравитационного поля ( $\Delta g$ ) в редукции Буге масштаба 1:1 000 000 / Фонды Госгеолагентства КР. Бишкек. 1988.
3. Погребной В.Н., Гребенникова В.В. Першина Е.В. Результаты интерпретации (остаточных) аномалий магнитного ( $\Delta T$ ) поля Кочкорского участка Северного Тянь-Шаня // Вестник Института сейсмологии НАН КР. 2013. № 2. С. 100-105.

## РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ТЕНЗОРА СКОРОСТИ СОВРЕМЕННОЙ ДЕФОРМАЦИИ ЗЕМНОЙ КОРЫ В ОТДЕЛЬНЫХ ОБЛАСТЯХ ТЯНЬ-ШАНЯ ПО НАБОРАМ ТОЧЕК GPS-НАБЛЮДЕНИЙ С ОДНОРОДНЫМ РЕЖИМОМ ДЕФОРМАЦИИ

Мансуров А.Н.

тел.: +996 (555) 62-82-91; e-mail: [sur@gdirc.ru](mailto:sur@gdirc.ru)  
ФГБУН Научная станция РАН в г. Бишкеке

**Введение.** Движения точек на поверхности Земли, наблюдаемые с помощью GPS, являются одним из проявлений сложных геодинамических процессов. Наличие плотной сети пунктов GPS-наблюдений позволяет произвести расчет скорости деформаций земной коры для того, чтобы лучше понять эти процессы и получить их количественную характеристику.

В данной работе произведен расчет деформации в двух небольших областях Центрального Тянь-Шаня. При этом в отличие от более ранних исследований по тем же исходным данным была применена альтернативная методика расчета деформаций – расчет деформаций отдельных участков земной коры, окруженных пунктами наблюдений. Результат расчета по этой методике сравнивается с результатом расчета по методике, предложенной в [1].

**Исследуемые области и исходные данные.** В данной работе был произведен расчет деформаций для двух областей Тянь-Шаня – центральной части Чуйской впадины ( $42.58^\circ$ – $42.87^\circ$  с.ш.,  $74.47^\circ$ – $75.17^\circ$  в.д.) и западной части южного побережья озера Иссык-Куль ( $42.0^\circ$ – $42.33^\circ$  с.ш.,  $76.25^\circ$ – $77.25^\circ$  в.д.). Положение исследуемых областей на территории Кыргызстана показано на рисунке 1. Рельеф исследуемых областей показан на рисунках 2 и 8.

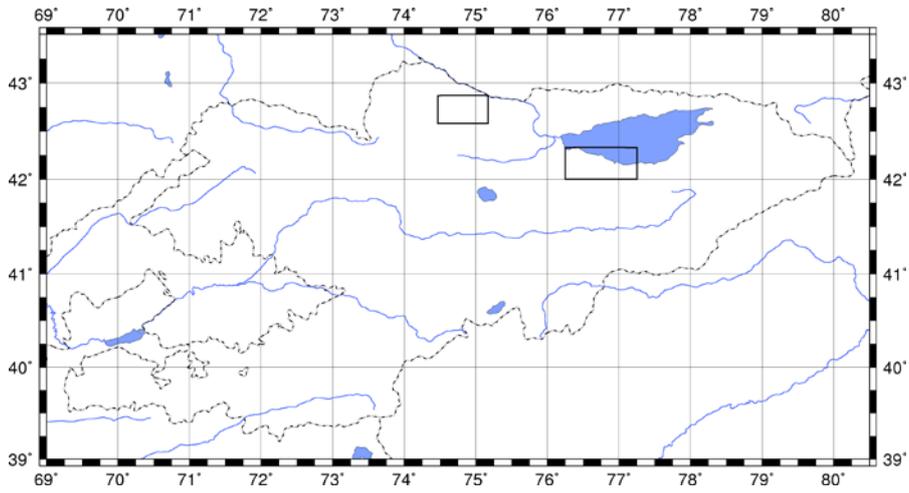


Рис. 1. Расположение исследуемых областей на территории Кыргызстана.

Исходными данными для расчета являются каталоги скоростей пунктов GPS-наблюдений, находящихся в исследуемых областях. Эти данные были получены по результатам многолетних GPS-наблюдений пунктов Центрально-азиатской GPS-сети. Для получения каталогов скоростей по данным GPS-наблюдений использовался программный пакет GAMIT/GLOBK, разработанный в MIT [2, 3]. Исползованная методика применения GAMIT/GLOBK к данным Центрально-Азиатской GPS-сети описана в [4]. Исползованные в данной работе каталоги скоростей пунктов GPS-наблюдений показаны на рисунках 3 и 9.

**Математическая модель и методика расчета.** Математическая модель и методика расчета скорости деформации земной коры были предложены в [1]. В ее основе лежит линейная часть разложения в ряд Тейлора функции скорости точки GPS-наблюдения от ее радиус-вектора:

$$U = T + \frac{dU}{dX} \Delta X + E = T + L \Delta X + E \quad \text{или} \quad u_i = t_i + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \Delta x_j + e_i = t_i + L_{ij} \Delta x_j + e_i \quad (1)$$

где:  $U$  – вектор скорости в точке наблюдения;  $T$  – вектор скорости в начале отсчета;  $L$  – тензор градиента скорости в начале отсчета;  $\Delta X$  – радиус-вектор точки наблюдения,  $E$  – остаточный член разложения Тейлора:

$$U = \begin{bmatrix} u_x \\ u_y \end{bmatrix}; \quad T = \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \end{bmatrix}; \quad L = \begin{bmatrix} L_{xx} & L_{xy} \\ L_{yx} & L_{yy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial u_x}{\partial x} & \frac{\partial u_x}{\partial y} \\ \frac{\partial u_y}{\partial x} & \frac{\partial u_y}{\partial y} \end{bmatrix}; \quad \Delta X = \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix}; \quad E = \begin{bmatrix} e_x \\ e_y \end{bmatrix}$$

Начало отсчета можно поместить в любую точку исследуемой области и получить тензор градиента скорости  $L$  в этой точке.

Тензор градиента скорости  $L$  можно разбить на симметричную и косимметричную части, характеризующие соответственно скорость деформации и скорость вращения вокруг точки расчета:

$$L = E + \Omega \quad \text{или} \quad L_{ij} = \varepsilon_{ij} + \omega_{ij} = \left( \frac{L_{ij} + L_{ji}}{2} \right) + \left( \frac{L_{ij} - L_{ji}}{2} \right),$$

Диагонализация тензора скорости деформации  $E$  приводит к собственным векторам (направлениям) и собственным значениям, удовлетворяющим отношению  $E \bar{v}_k = \lambda_k \bar{v}_k$ . Собственные значения  $\lambda_k$  представляют собой главные значения тензора скорости деформации, обычно обозначаемые  $e_{\max}, e_{\min}$ . Соответствующие собственные вектора задают главные направления тензора скорости деформации.

На основе полученных главных значений тензора скорости деформации вычисляются скорость дилатансии  $\Delta_S$  (скорость изменения площади) и максимальная возможная скорость горизонтально-сдвиговой деформации  $\Sigma$ :

$$\Delta_S = e_{\max} + e_{\min}$$

$$\Sigma = e_{\max} - e_{\min}$$

В уравнении (1)  $U$  и  $\Delta X$  определяются исходным каталогом скоростей, а  $T$  и  $L$  – неизвестные. Объединив неизвестные уравнения (1) в векторе  $\bar{l}$  и рассматривая несколько точек наблюдений одновременно, можно перейти к следующей форме записи уравнения (1):

$$\bar{u} = A \bar{l} + \bar{e}, \quad (2)$$

где

$$\bar{u} = \begin{bmatrix} u_{x(1)} \\ u_{y(1)} \\ u_{x(2)} \\ u_{y(2)} \\ \dots \\ u_{x(N)} \\ u_{y(N)} \end{bmatrix} \quad - \quad \begin{array}{l} \text{вектор горизонтальных} \\ \text{компонент скоростей} \\ \text{смещений в точках GPS} \\ \text{наблюдений} \end{array}$$

$$\bar{l} = \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ L_{xx} \\ L_{xy} \\ L_{yx} \\ L_{yy} \end{bmatrix} \quad - \quad \begin{array}{l} \text{вектор параметров,} \\ \text{содержащий компоненты} \\ \text{тензора градиента скорости} \\ L, \text{ которые необходимо} \\ \text{оценить} \end{array}$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \Delta x_{(1)} & \Delta y_{(1)} & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & \Delta x_{(1)} & \Delta y_{(1)} \\ 1 & 0 & \Delta x_{(2)} & \Delta y_{(2)} & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & \Delta x_{(2)} & \Delta y_{(2)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 0 & \Delta x_{(N)} & \Delta y_{(N)} & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & \Delta x_{(N)} & \Delta y_{(N)} \end{bmatrix} \quad - \quad \begin{array}{l} \text{матрица модели содержит информацию о} \\ \text{положении точек GPS-наблюдений} \\ \text{относительно точки расчета} \end{array}$$

При этом следует помнить, что точность оценки скорости пункта GPS-наблюдения не очень высока, поэтому в вектор невязок  $\bar{e}$  в уравнении (2) входят не только компоненты остаточного члена  $E$  из уравнения (1), но и ошибки оценки исходных данных – вектора  $\bar{u}$ . Относительные ошибки оценки радиус векторов точек наблюдений ( $\Delta x$  и  $\Delta y$ ) пропорциональны отношению ошибок оценок положения точек наблюдений к расстоянию между ними – эти ошибки пренебрежимо малы.

Задача решения уравнения (2) является классической задачей линейной регрессии, для решения которой можно применить метод наименьших квадратов – МНК, минимизирующий компоненты вектора  $\bar{e}$ . При этом встает вопрос: каким образом (в каком соотношении) их следует минимизировать?

Так как для каждого пункта наблюдения известны не только оценки компонент вектора скорости  $\bar{u}$ , но и оценки среднеквадратических ошибок этих компонент  $\bar{\sigma}$  (то есть в исходных данных к этому исследованию матрица ковариации вектора  $\bar{u}$  диагональная), разумно будет применить взвешенный МНК [5], согласно которому вектор параметров находится в результате минимизации квадратичной формы

$$J = \bar{e}^T W \bar{e}$$

где  $W$  – матрица весов, одним из сомножителей которой будет матрица  $W_{src}$ , обратная матрице ковариации вектора  $\bar{u}$ :

$$W_{src} = \text{diag}(\sigma_{\bar{u}x(1)}^{-2} \quad \sigma_{\bar{u}y(1)}^{-2} \quad \sigma_{\bar{u}x(2)}^{-2} \quad \sigma_{\bar{u}y(2)}^{-2} \quad \dots \quad \sigma_{\bar{u}x(N)}^{-2} \quad \sigma_{\bar{u}y(N)}^{-2})$$

Остаточный член  $E$  в уравнении (1), должен быть минимизирован в соответствии с дополнительными предположениями модели. Здесь возможен один из нескольких подходов:

**Подход № 1.** Если в модели предполагается, что поле скорости деформации во всей исследуемой области однородно, то остаточный член в уравнении (1) по условию равен нулю. В этом случае значения  $T$  и  $L$  не зависят от выбора начала отсчета, и значение  $L$  будет характеризовать усредненную по всей исследуемой области скорость деформации.

**Подход № 2.** Можно предположить, что поле скорости деформации в окрестности точки расчета тем менее однородно, чем больше рассматриваемая окрестность. В этом случае ожидаемое среднеквадратическое отклонение остаточного члена от нуля в уравнении (1) увеличивается с ростом длины радиус-вектора соответствующей точки наблюдения. Таким образом, в МНК одним из сомножителей матрицы весов  $W$  должна быть матрица  $W_{dist}$ , одним из вариантов определения которой будет:

$$W_{dist} = \text{diag}(f(d_{(1)}) \quad f(d_{(1)}) \quad f(d_{(2)}) \quad f(d_{(2)}) \quad \dots \quad f(d_{(N)}) \quad f(d_{(N)}))$$

$$d_{(i)} = \sqrt{\Delta x_{(i)}^2 + \Delta y_{(i)}^2}, \quad i = 1 | N$$

где  $f(x)$  – некоторая убывающая функция. В [1] в качестве такой функции предложена:

$$f = \exp\left(\frac{-2d}{d_0}\right)$$

где  $d_0$  – постоянная величина расстояния, условно называемая радиусом сглаживания.

Для того, чтобы оценить распределение скорости деформации по исследуемой области, эту область обычно покрывают равномерной сеткой точек и рассчитывают скорость деформации в каждом узле этой сетки. Именно такой подход предложен в [1].

Недостаток этого подхода состоит в том, что он «сглаживает» полученное поле деформации.

**Подход № 3.** Можно до предела снизить требования к однородности поля скорости деформации – предположить, что оно однородно только в некоторых, как можно меньших участках исследуемой области. В этом случае для каждого такого участка необходимо выбрать лежащий в нем набор точек наблюдений, и включить в расчет деформации только эти точки (система (5) определена при  $N \geq 3$ , соответственно нужно не менее 3 точек). Так как практически никогда нельзя утверждать, что поле скорости деформации на определенном участке абсолютно однородно, а также вследствие неизбежности ошибок во входных данных, наиболее устойчивым вариантом такого подхода будет выбор небольших участков округлой формы, хорошо окруженных точками наблюдений. В результате будет получено значение  $L$ , характеризующее усредненную по выбранному участку скорость деформации. Как и в подходе № 1, остаточный член полагается равным нулю и выбор начала отсчета не важен.

Недостаток этого подхода состоит в том, что он неустойчив к большим ошибкам оценки скоростей отдельных пунктов GPS-наблюдений.

В данном исследовании сравниваются результаты, полученные при помощи подходов № 2 и № 3. Для расчета использовался программный комплекс `sur_gps_strains` [6].

**Анализ результатов расчета.** На рисунках 5-7 показаны результаты расчета поля тензора скорости деформации в исследуемой области Чуйской впадины с использованием подхода № 2 ( $d0 = 5$  км). На рисунке 4 показаны результаты расчета той же области с использованием подхода № 3. На всех рисунках линиями показаны разломы по А.В. Миколайчуку.

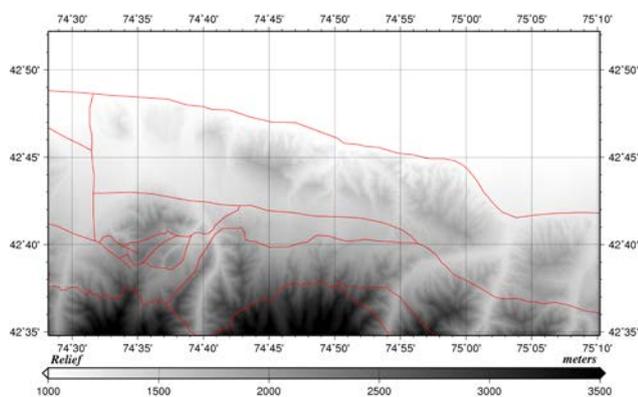


Рис. 2. Рельеф исследуемой области Чуйской впадины.

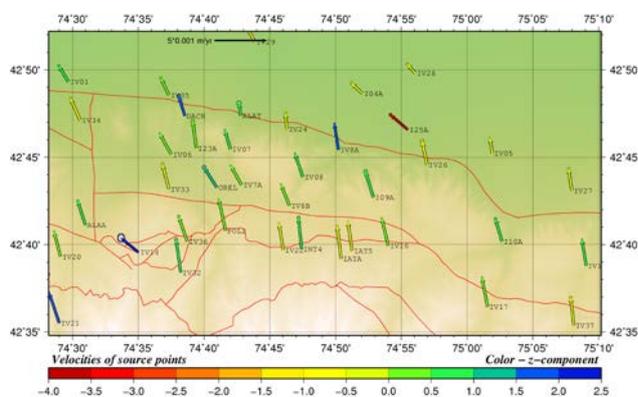


Рис. 3. Поле скоростей GPS-пунктов.

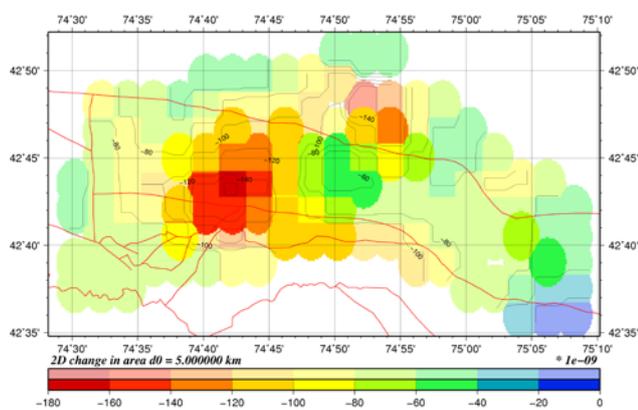


Рис. 6. Поле следа тензора деформации, посчитанной по равномерной сетке.

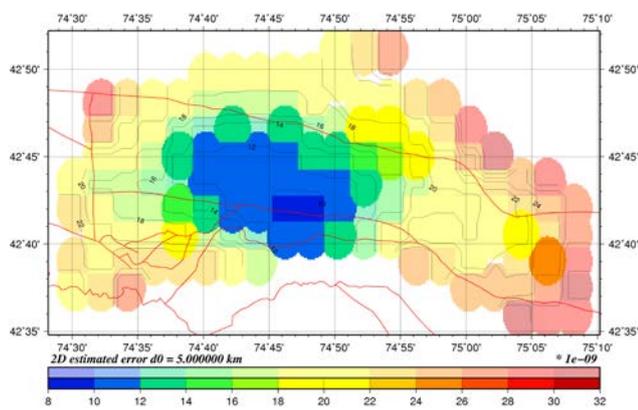


Рис. 7. Поле оцененных ошибок расчета тензора деформации по сетке.

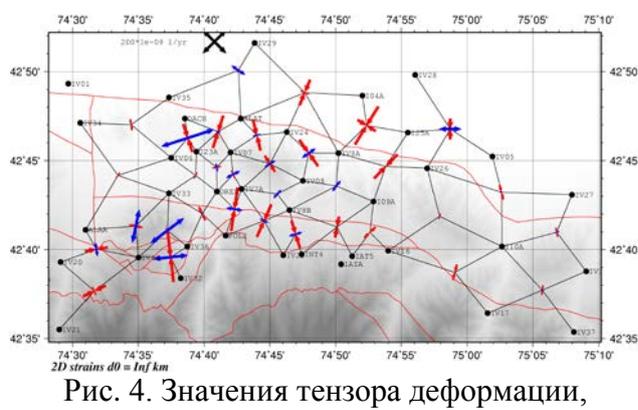


Рис. 4. Значения тензора деформации, посчитанные по определенным наборам GPS-пунктов (подход № 3).

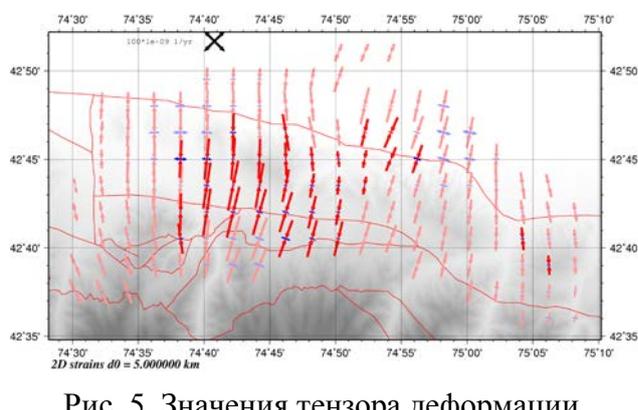


Рис. 5. Значения тензора деформации, посчитанные по равномерной сетке (подход № 2).

Как видно из сравнения рисунков 4 и 5, подход № 3 (расчет деформаций по отдельным наборам точек) дает гораздо более детальную картину, чем подход № 2 (основанный на сглаживании). В частности, на рисунке 4 можно выделить субширотно ориентированную полосу в области параллели 42°43' с.ш. (между пунктами IV33, IV06, I23A, OREL, IV07, IV7A,

IV08, IV8B, I09A, IV16, IV26, I10A, IV27, IV11), на которой скорость деформации мала, а к северу и югу от нее скорость деформации в разы больше.

Можно заметить, что вектор скорости пункта IV14 ( $42^{\circ}39'$  с.ш.  $74^{\circ}35'$  в.д.) значительно выбивается из картины заданной соседними пунктами. Разумеется, при использовании подхода № 3 это привело к большим оцененным значениям деформации на участках вокруг этого пункта. При этом оценки ошибок значений компонент скорости пункта IV14 относительно велики. Таким образом, результат расчета с использованием подхода № 3 сильно зависит от включения или не включения в расчет этого пункта, а само решение о включении его в расчет – спорно.

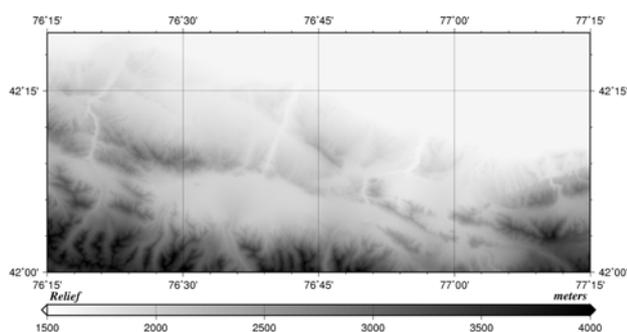


Рис. 8. Рельеф исследуемой части южного побережья озера Иссык-Куль.

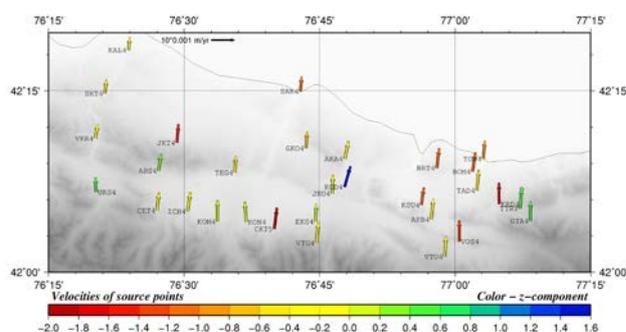


Рис. 9. Поле скоростей GPS-пунктов.

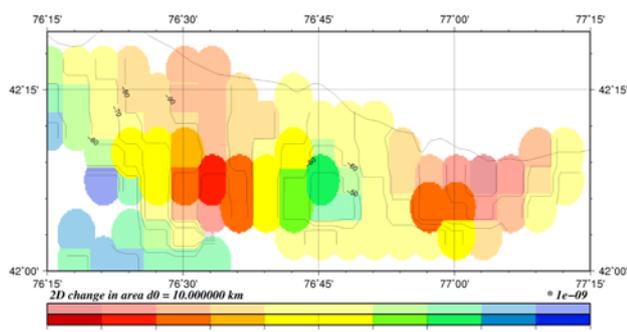


Рис. 12. Поле следа тензора деформации, посчитанной по равномерной сетке.

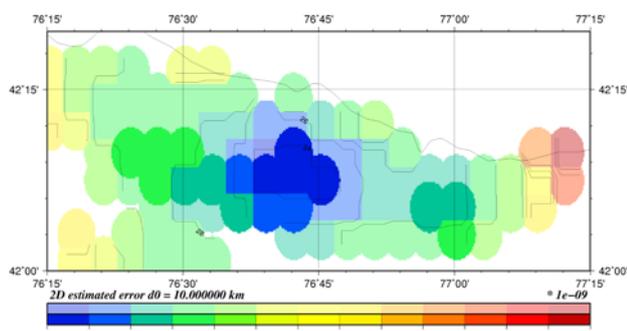


Рис. 13. Поле оцененных ошибок расчета тензора деформации по сетке.

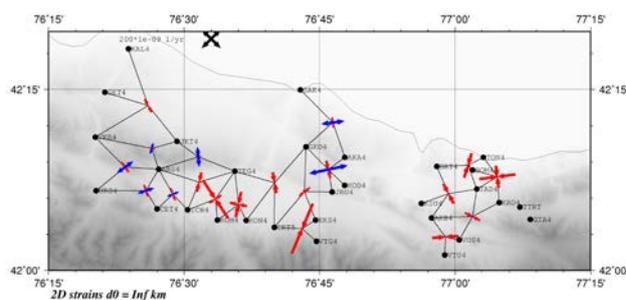


Рис. 10. Значения тензора деформации, посчитанные по определенным наборам GPS-пунктов (подход № 3).

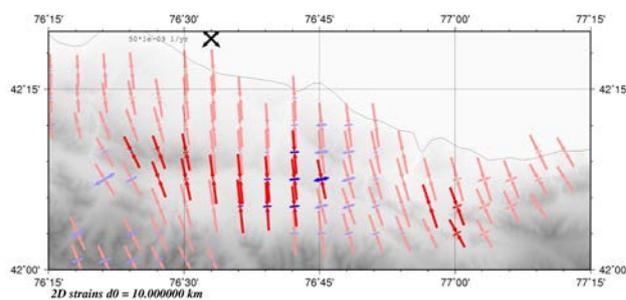


Рис. 11. Значения тензора деформации, посчитанные по равномерной сетке (подход № 2).

На рисунках 11-13 показаны результаты расчета поля тензора скорости деформации исследуемой области на южном берегу озера Иссык-Куль с использованием подхода № 2 ( $d_0 = 10$  км). На рисунке 10 показаны результаты расчета той же области с использованием подхода № 3.

Как видно из сравнения рисунков 10 и 11, так же, как и в Чуйской впадине, подход № 3 (расчет деформаций по отдельным наборам точек) позволил получить намного более детальную картину распределения скорости деформации. В частности, видно, что в западной половине исследуемой области сжатие четко локализовано восточнее меридиана  $76^{\circ}30'$  в.д. и южнее параллели  $42^{\circ}09'$  с.ш. При этом в прибрежной зоне вдоль меридиана  $76^{\circ}45'$  в.д. наблюдается область субширотного растяжения.

**Заключение.** В работе приведено краткое описание математической модели и методики расчета тензора скорости деформации земной коры по результатам обработки GPS-наблюдений – каталогу скоростей GPS-пунктов. Приведены аргументы за и против методики, включающей сглаживание полученного поля скорости деформации и методики расчета скорости деформации на отдельных участках исследуемой области по ограниченному набору точек наблюдений. Произведено сравнение результатов, полученных с использованием этих методик для области в центре Чуйской впадины и для области в западной части побережья озера Иссык-Куль.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Shen Z.-K., Jackson D.D., Ge B.X. Crustal deformation across and beyond the Los Angeles basin from geodetic measurements // *Journal of Geophysical Research*. 101. 1996. P.27957-27980.
2. Herring T.A., King B.W., McClusky S.C. GAMIT. Reference manual. GPS analysis at MIT. Release 10.3 // EAPS. MIT. 2006. 182 p.
3. Herring T.A., King B.W., McClusky S.C. GLOBK: Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program. Release 10.3 // EAPS. MIT. 2006. 87 p.
4. Мансуров А.Н. Улучшение обработки данных Центрально-Азиатской GPS-сети с помощью специально разработанного программного обеспечения // В настоящем сборнике.
5. Seber G.A.F., Lee A.J. *Linear Regression Analysis* // Wiley Series in Probability and Statistics, 2003. 582 p.
6. Мансуров А.Н. Структурное проектирование автоматизированной системы расчета поля скорости деформации земной коры по данным GPS наблюдений // *Проблемы автоматизации и управления*. г. Бишкек. 2012. № 2 С. 120-127.

#### УЛУЧШЕНИЕ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ЦЕНТРАЛЬНО-АЗИАТСКОЙ GPS-СЕТИ С ПОМОЩЬЮ СПЕЦИАЛЬНО РАЗРАБОТАННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Мансуров А.Н.

тел.: +996 (555) 62-82-91; e-mail: sur@gdirc.ru  
ФГБУН Научная станция РАН в г. Бишкеке, КР

**Введение.** Специалисты Научной станции РАН проводят исследования современных движений земной коры при помощи технологии GPS с 1992 года [1]. В процессе этих исследований была создана региональная Центрально-Азиатская сеть GPS-наблюдений, одна из крупнейших в мире GPS-сетей. К 2015 г. она насчитывает более 600 пунктов.

Для обработки данных GPS-наблюдений используется разработанный в MIT программный пакет GAMIT/GLOBK [2, 3]. Используемая в настоящее время методика обработки GPS-данных с использованием этого программного пакета и базы данных GPS-наблюдений лаборатории GPS ИС РАН [4] изложена в работе [5].

В данной работе приведен обзор результатов этапа GLOBK обработки данных GPS-наблюдений ЦА-GPS-сети за 1994-2012 годы по методике [5] при помощи вспомогательных программных средств, разработанных автором. Показаны устраненные недочеты по сравнению с ранее использовавшимися методиками. Конечной целью обработки было получение каталога достоверных скоростей по возможности наибольшего количества пунктов GPS-наблюдений, входящих в ЦА-GPS-сеть.

**Результат сравнения glx-файлов и каталога измерений из базы данных (БД).** Как отмечено в работе [5], первым подэтапом обработки в GLOBK является сопоставление каталога измерений в базе данных со сведениями о наличии данных в посуточных glx-файлах – выводом утилиты glist [3]. Для этого с помощью скриптов 1\_1a\_1\_get\_db\_csv\_measurements.sh и 1\_1a\_2\_parse\_csv\_measurements.sh был сформирован каталог измерений из БД, а с помощью скрипта 1\_1b\_2\_parse\_glist\_oooo.sh (parse\_glist.pl) – каталог измерений из glx-файлов. При анализе результата сравнения этих каталогов скриптом 1\_2\_compare\_glist\_dbtable.sh (compare\_measurments.pl) были отмечено и учтено следующее:

- Данные около 100 измерений полевых кампаний, имеющих в БД, не попали в glx-файлы. Это обусловлено разными причинами – низким качеством сырых данных в результате сбоев аппаратуры или плохих условий наблюдений, несвоевременным поступлением сырых данных и rпex-файлов оператору, невнимательностью оператора обработки teqc или GAMIT. Для учета таких ситуаций в БД введено поле «статус измерения», которое отражает, на каком этапе обработки находится измерение.
- Данные около 450 суток измерений постоянно действующих станций не вошли в обработку GAMIT. Предположительная причина – невнимательность оператора или несвоевременное поступление данных. Для этих измерений также проставлено соответствующее значение поля status.
- Для 5 полевых измерений имя марки в glx-файлах указано с опечатками. Для исправления этой ситуации соответствующие команды переименования марок внесены в eq\_file и эта информация указана в БД в поле «примечание» таких измерений.

Все внесенные исправления информации в базе данных позволяют понять, какие суточные интервалы наблюдений нуждаются в повторной обработке в GAMIT для максимально полного обеспечения обработки входными данными.

Кроме этого, при сопоставлении списков имен марок различных GAMIT-обработок было выявлено, что некоторые различные марки в этих обработках имеют одинаковые имена. Это приводило к тому, что координаты таких марок были противоречивы, и они исключались из расчета. Для исправления в eq\_file добавлены команды переименования.

**Результат выбора интервалов комбинирования.** Как отмечено в работах [3] и [5], плохой выбор временных интервалов комбинирования (осреднения по времени) может существенно снизить качество результата обработки GPS-данных. В статье [5] описаны разработанные автором средства для автоматического формирования интервалов комбинирования и установки соответствия между измерениями и интервалами комбинирования – скрипты 1\_3a\_1b\_comb\_gen\_intervals.sh (comb\_gen\_intervals.pl) и 1\_3a\_2\_comb\_select\_measurements.sh (comb\_select\_measurements.pl). Однако до последнего времени отсутствовали средства анализа качества получаемого разбиения. Для этого был разработан скрипт mkgantt.py, который по списку измерений и сопоставленных с ними интервалов комбинирования строит диаграмму Гантта (рисунок 1). По такому рисунку оператору легко найти все недостатки выбора интервалов комбинирования: «псевдоточки» [5]; наличие не вошедших ни в один интервал комбинирования временных отрезков измерений; пересекающиеся во времени измерения разных марок отнесены к разным интервалам комбинирования.

Заметив один из таких недостатков, оператор может вручную регенерировать часть интервалов комбинирования или явно привязать некоторые измерения к определенным интервалам. Рисунок 1 отражает итоговое разбиение, в котором все недостатки устранены.

Кроме того, полученные диаграммы могут быть использованы для более наглядного представления сведений об имеющихся в наличии и отсутствующих данных наблюдений. Например, из рисунка 1 видно следующее:

- В 2003 году постоянно действовали 9 марок ЦА-GPS-сети. Их измерения показаны вверху диаграммы зелеными полосами без наложенных интервалов комбинирования (так как постоянно действующие марки включаются в комбинирование на всех интервалах).
- В течение года были многократно измерены около 50 марок локальной GPS-сети и сети Казахской геодезии с длительностью одного измерения около суток (показаны ниже постоянно действующих марок).
- В марте была проведена полевая кампания измерений марок на территории Китая, при этом 3 марки измерялись постоянно, одна – двукратно, а остальные 17 – однократно с длительностью измерения порядка 2-3 суток.
- Еще около 20 марок локальной GPS-сети измерялись 1-2 раза в течение года с длительностью одного измерения около суток (показаны ниже китайской кампании и 2 марки – внизу диаграммы).
- Начиная с мая было проведено восемь 3-суточных измерений на полигонах IVN и IVA.
- Были проведены 2 полевые кампании на территории Кыргызстана – в июле (около 55 марок) и в августе-сентябре (около 27 марок).

**Результат комбинирования glx-файлов.** В процессе комбинирования были найдены и устранены ошибки в соответствии с итерационной методикой, описанной в статье [5]. В результате анализа временных рядов были выявлены и устранены следующие недостатки обработки:

- Сдвиги и выбросы во временных рядах координат порядка 50 марок международной сети igs, что было исправлено добавлением команд исключения и переименования в eq\_file.
- Неправдоподобно большие сдвиги во временном ряде постоянно действующей марки OSHK. Причина неизвестна. Исправлено добавлением команд переименования марки OSHK в eq\_file.
- Невозможность комбинирования glx-файлов GAMIT обработок igs, jias и oooo за вторую половину мая 2012 года. Посредством анализа временных рядов была выявлена причина – рассогласование оценок положения марки URUM. Исправлено добавлением команды исключения марки URUM за этот период в eq\_file.
- Неправдоподобно большие выбросы во временных рядах 4 марок с «региональным» режимом наблюдений. Было выяснено, что фактически измерялась другие марки. Исправлено добавлением команд переименования в eq\_file.
- Неправдоподобно большие выбросы во временных рядах 11 марок с «региональным» режимом наблюдений. Причина не установлена. Исправлено добавлением команд исключения в eq\_file.
- Невозможность комбинирования glx-файлов GAMIT обработок igs и oooo за октябрь-ноябрь 2010 года. Предположительная причина – плохое качество GAMIT обработки oooo за этот период (полевая кампания loc10f). Предложенное решение – повторная обработка этого периода в GAMIT.

**Результат расчета поля скоростей и временных рядов.** Полученные результаты комбинирования были использованы для расчета каталога априорных, а затем и итоговых скоростей GPS-пунктов и временных рядов их координат. При этом была использована стандартная возможность программы glorg – принятие равными скоростями марок, удаленных друг от друга менее чем на 10 метров [3]. В итоговый каталог вошла одна марка для каждого пункта. Полученный каталог скоростей показан на рисунке 2.

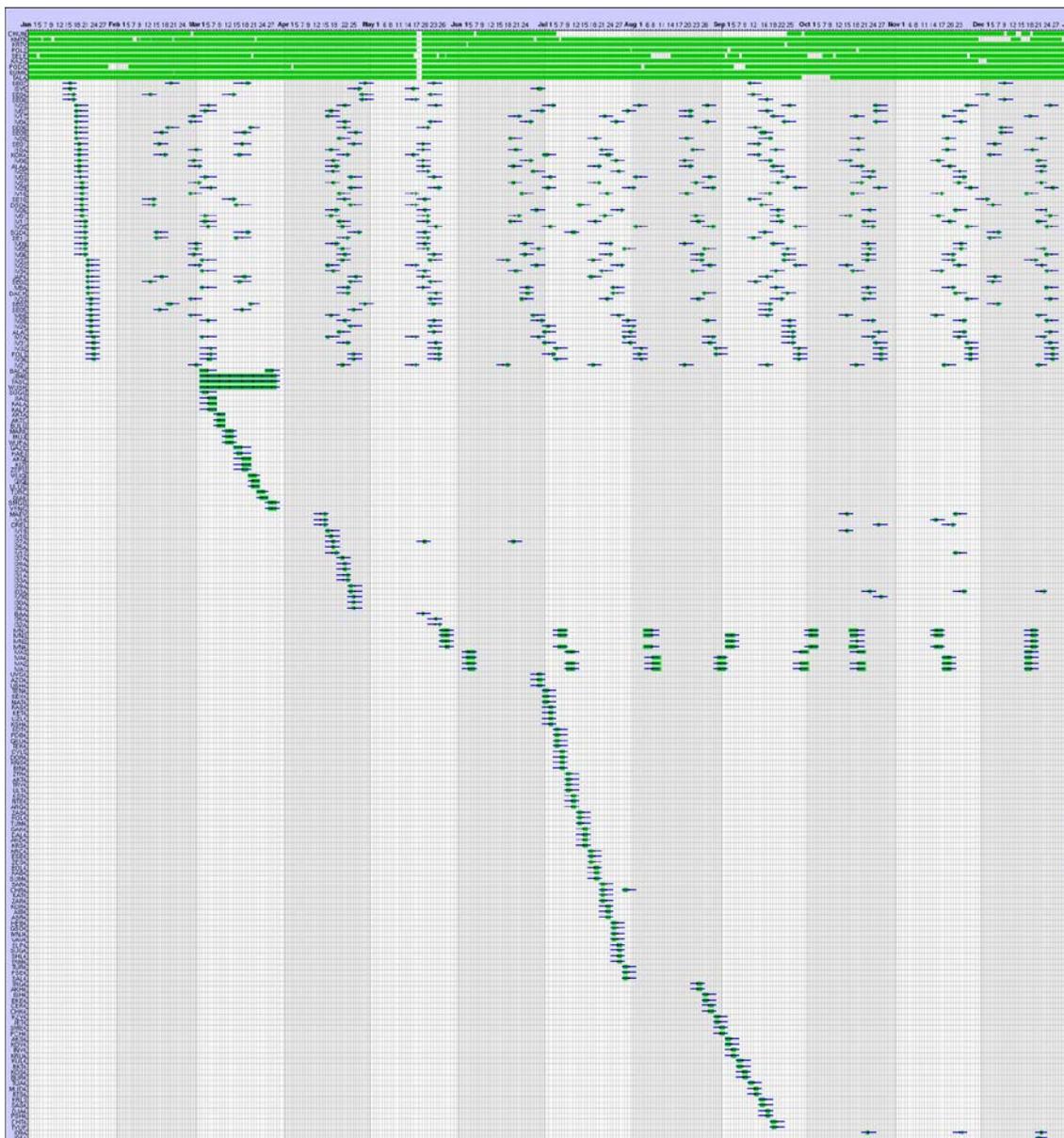


Рис. 1. Диаграмма Гантта для GPS-измерений и интервалов комбинирования за 2003 год. По горизонтальной оси – время, по вертикальной оси – марки. Зеленые полосы – интервалы измерений, черные линии с точкой посередине – интервалы комбинирования, ассоциированные с одним из измерений соответствующей марки.

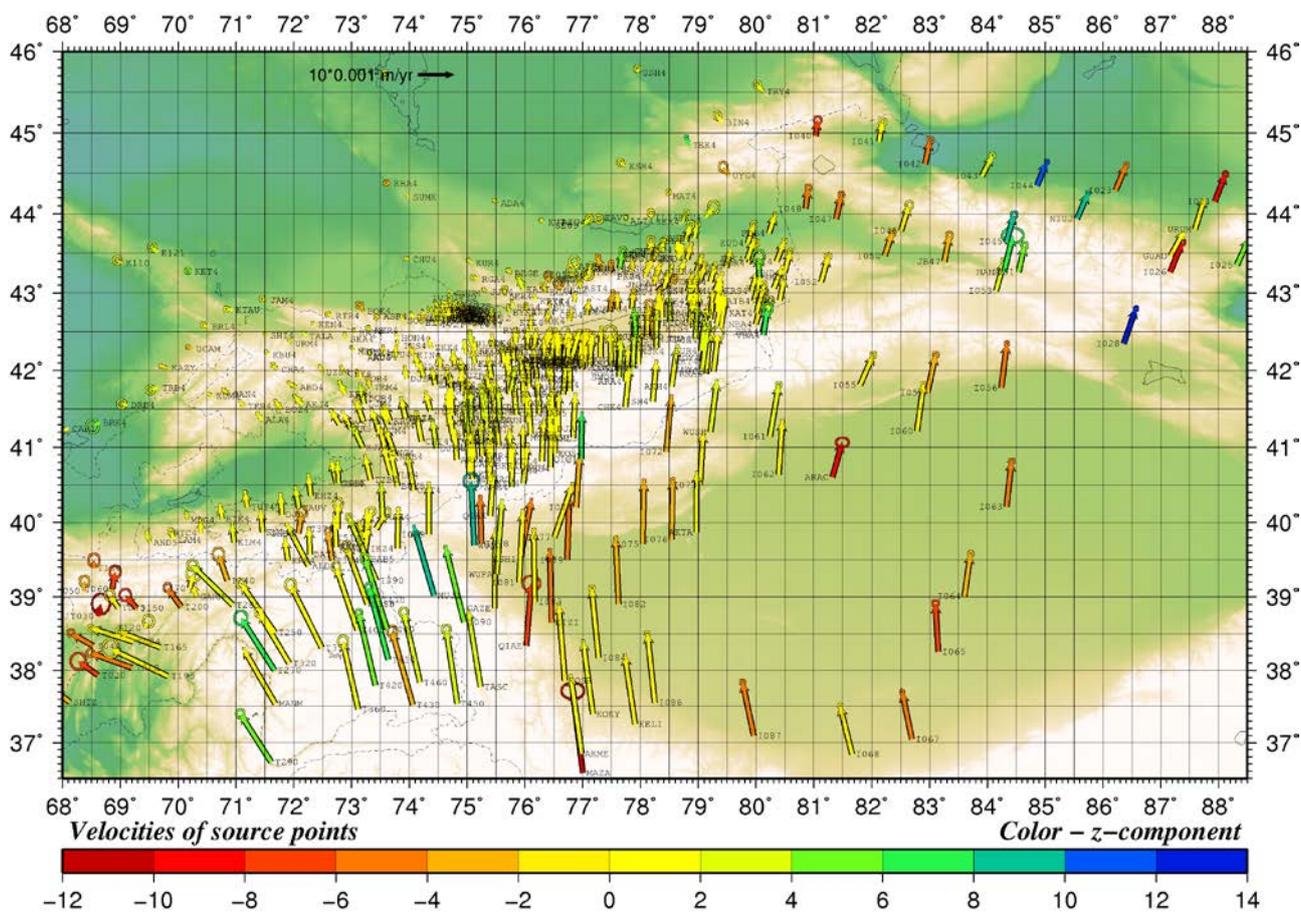


Рис. 2. Поле скоростей GPS-наблюдений пунктов Центрально-Азиатской GPS-сети.

Цвет стрелок – значение вертикальной компоненты вектора скорости (мм/год).

Эллипсы на концах стрелок – границы 95% доверительных интервалов.

**Заключение.** В результате проведенной работы получен каталог достоверных скоростей пунктов GPS-наблюдений ЦА-GPS-сети в системе отсчета ITRF-2008-EURA. Разработка и внедрение средств автоматизации и контроля качества этапа GLOBK обработки позволила существенно улучшить качество результата по сравнению с ранее проводимыми расчетами.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кузиков С.И. Структурный анализ горизонтальных скоростей по данным GPS и характер современной деформации земной коры Центральной Азии. Дисс. канд. физ.-мат. наук. М. 2007. 167 с.
2. Herring T.A., King B.W., McClusky S.C. GAMIT. Reference manual. GPS analysis at MIT. Release 10.3 // EAPS. MIT. 2006. 182 p.
3. Herring T.A., King B.W., McClusky S.C. GLOBK: Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program. Release 10.3 // EAPS. MIT. 2006. 87 p.
4. Гражданкин А.М. Информационная система по работе с GPS-данными Центрально-Азиатской сети // Материалы докладов 5-ой международной конференции молодых ученых и студентов: «Современные техника и технологии в научных исследованиях». 24-25 апреля 2013 года, г. Бишкек. С. 45-50.
5. Мансуров А.Н. Структурный анализ и автоматизация расчета оценок временных рядов и скоростей марок ЦА-GPS-сети с использованием программного пакета GAMIT/GLOBK и базы данных лаборатории GPS ИС РАН // Материалы докладов 5-ой международной

конференции молодых ученых и студентов «Современные техника и технологии в научных исследованиях». 24-25 апреля 2013 года, г. Бишкек. С. 50-55.

## **ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОСТРОЕНИЙ ПО ПРОФИЛЮ «TIPAGE-ALAI» С УЧЕТОМ РЕЗУЛЬТАТОВ ДРУГИХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ**

Матюков В.Е.

тел.: +996550018386; e-mail: [vitaliy@gdirc.ru](mailto:vitaliy@gdirc.ru)

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Научная станция Российской академии наук в г. Бишкеке, Кыргызстан

Достоверность глубинных геоэлектрических моделей, в том числе и представленных в настоящей работе, необходимо оценивать с помощью независимой информации. Надежность модели получает подтверждение в том случае, если в результатах, полученных другими геофизическими методами, наблюдается сходная конфигурация аномалий.

В рамках мультидисциплинарной программы изучения геодинамики Памира и Тянь-Шаня был пройден магнитотеллурический профиль «TIPAGE-ALAI», результаты геоэлектрических построений представлены в работах [1, 2].

Построенная геоэлектрическая модель литосферы Памиро-Алая по профилю «TIPAGE-ALAI» (рис.1, средняя панель) дает основу для понимания глубинного строения и физического состояния такого сложно построенного геологического объекта, каким является зона сочленения Памира и Тянь-Шаня. Геоэлектрические образы позволяют получить дополнительное разрешение внутренней структуры Земли в сочетании с возможностями сейсмической томографии и сейсмических исследований. В первую очередь качественная оценка достоверности и надежности построенной геоэлектрической модели может быть получена при ее сопоставлении с результатами трехмерной сейсмической томографии. При таком сравнительном анализе результатов геофизических исследований различными методами принимаются во внимание возможности и погрешности каждого из методов в разрешении внутренней структуры геосреды.

Рассмотрим и сопоставим геоэлектрические и сеймотомографические построения для исследуемой Памиро-Алайской зоны. Сеймотомографические исследования зоны сочленения Памира и Тянь-Шаня выполнялись с различной детальностью многими исследователями, поэтому в настоящей работе сопоставление с геоэлектрическим разрезом указанной зоны производится с наиболее детальными моделями, предложенными в работах [3, 4]. На рис. 1 представлен геоэлектрический разрез по профилю «TIPAGE-ALAI» (средняя панель) в сопоставлении с сеймотомографическими построениями – скоростными разрезами по меридиональным и субмеридиональным профилям, расположенным вблизи рассматриваемого магнитотеллурического профиля «TIPAGE-ALAI» и выполненным Т.М. Сабитовой и А.А. Адамовой (нижняя панель) и И.Ю. Кулаковым (верхняя панель). При сопоставлении (в пределах разрешающей способности методов) геоэлектрической модели с разрезом аномалий скоростей продольных сейсмических волн наблюдается соответствие крупных аномальных объектов, выделяемых обоими методами. Для удобства описания на рисунке 1 они обозначены цифрами.

В модели Сабитовой и Адамовой распределение скоростей продольных сейсмических волн свидетельствует о наличии под Алайской впадиной на глубине около 20 км верхнекорового волновода, т.е. слоя с пониженными значениями скоростей сейсмических волн, соответствующего верхней части проводящей структуры «3» в геоэлектрическом разрезе. Конфигурация аномальных объектов геоэлектрической модели (проводящие структуры «1» и «4») соответствует распределению скоростных неоднородностей в

сейсмотографической модели [4]. Пониженные значения скоростей сейсмических волн, пространственно коррелирующие с повышенной электропроводностью, указывают на флюидную природу наблюдаемых аномалий.

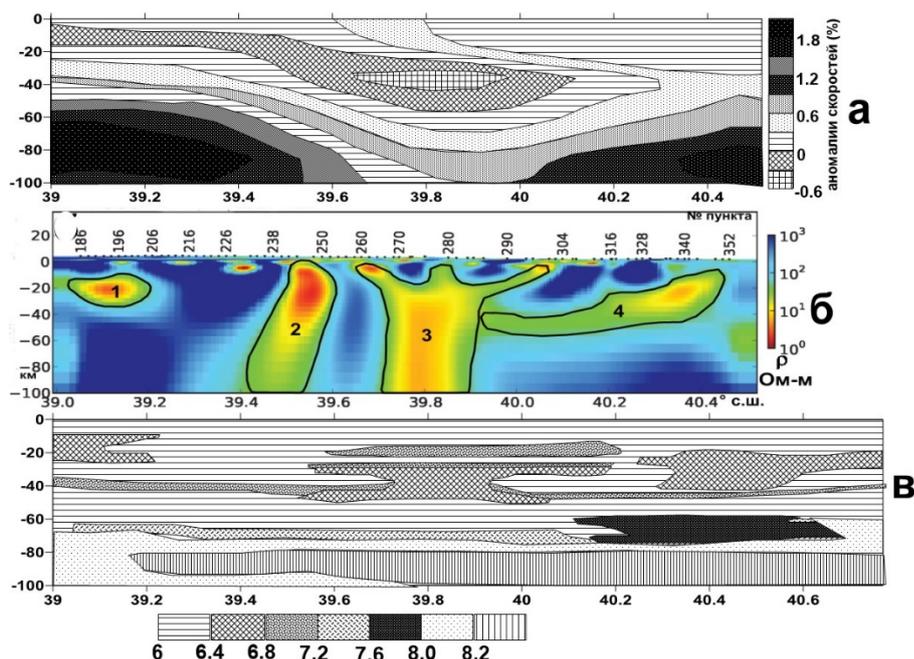


Рис. 1. Сопоставление геоэлектрического разреза по профилю «TIRAGE-ALAI» (б) с профильным распределением аномалий скоростей по [3] (а) и скоростным разрезом (Р-волны, м/сек) по [4] (в).

Геоэлектрическая модель земной коры зоны сочленения Памира и Тянь-Шаня является более детальной, нежели сейсмотографическая модель [3]. Однако, если рассматривать геоэлектрическую модель в целом, в «сглаженном» виде, геоэлектрические структуры земной коры по рассматриваемому профилю хорошо согласуются с распределением скоростей в модели Кулакова: высокоомные объекты южной и северной частей геоэлектрического разреза, расположенные в нижней коре – литосферной мантии, соответствуют высокоскоростным участкам, а центральная часть геоэлектрической модели (проводящая структура «3») подтверждается низкоскоростной аномалией в сейсмотографической модели. Ядро данной отрицательной аномалии (около -0.6%) расположено в земной коре зоны сочленения Памира и Тянь-Шаня непосредственно под Алайской впадиной на глубине около 40 км. В целом отрицательная аномалия соответствует зоне пониженного электросопротивления коры, представленной не единым коровым проводником, как это считалось раньше, а последовательностью зон «1», «2», «4» и коровой частью зоны «3» и более мелких электропроводящих объектов (рис. 1). Уменьшение скоростей сейсмических волн  $V_p$ , соответствующее электропроводящим массивам в земной коре Тянь-Шаня, по данным [3], в зоне сочленения Памира и Тянь-Шаня подтверждает флюидную природу коровой электропроводности.

Обращает на себя внимание тот факт, что проводящая структура, соответствующая Главному Памирскому надвигу, очень ярко проявляющаяся в геоэлектрической модели, не выделяется в сейсмотографических разрезах. Возможным объяснением этого явления может быть предположение о том, что электропроводность тела надвига обусловлена как присутствием флюидной компоненты, так и графитизацией зоны разлома. В случае, если присутствие флюидов в зоне динамического влияния Главного Памирского надвига незначительно, а концентрация графитовых пленок достаточно высока для обеспечения большой суммарной продольной проводимости этой структуры, то значения скорости сейсмических волн внутри этой структуры не будут значительно отличаться от скоростей во

вмещающих породах. Гипотеза о присутствии графита в исследуемом регионе может подтверждается работами [5, 6] по исследованию природы Южно-Тянь-Шаньской аномалии электропроводности (рис. 2), где образование контрастной аномалии электропроводности объясняется присутствием графита в породах нижнего палеозоя.

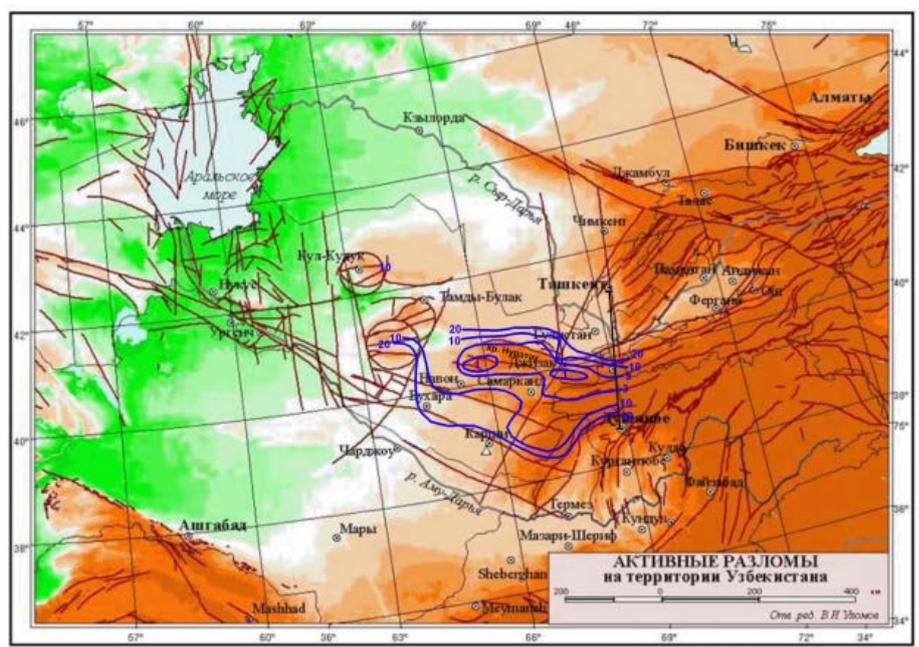


Рис. 2. Положение Южно-Тянь-Шаньской аномалии электропроводности (ЮТАЭ) на карте активных разломов территории Узбекистана. Глубина кровли проводника в километрах показана изолиниями.

**Сопоставление Южно-Тянь-Шаньской аномалии электропроводности с аномальными телами, выделенными на профиле «TIPAGE-ALAI».** Результаты магнитотеллурических исследований [7, 5, 6] показывают, что верхняя часть земной коры Южного Тянь-Шаня содержит линейно вытянутые проводящие зоны, максимумы интегральной проводимости которых приурочены к герцинским структурам. Рассмотрим геологическую природу геоэлектрических объектов, с которыми связана Южно-Тянь-Шаньская аномалия электропроводности (ЮТАЭ) (рис. 2). Наиболее достоверные данные получены по вскрытым бурением локальным аномалиям электропроводности. Сопоставление геоэлектрических измерений и данных бурения свидетельствует, что в разрезе осадочно-метаморфических комплексов позднего протерозоя – раннего палеозоя имеются тела, электрические параметры которых совпадают с параметрами, определенными при интерпретации магнитотеллурических зондирований. К ним, в первую очередь, относится нижняя часть бесапанской свиты из района Мурунтау. Удельное электрическое сопротивление пород этой части разреза по электрометрии скважин не превышает 1 Ом·м. Вышележащие подразделения свиты имеют удельное сопротивление 10-30 Ом·м. Высокая электропроводность нижней части бесапанской свиты связана с электронной проводимостью графита. Рассматриваемые допозднесилурийские отложения были метаморфизованы в биотит-хлоритовой субфации при температурах 250-380°, что при умеренных давлениях достаточно для образования графита. Данные магнитотеллурических зондирований [6] указывают на то, что в областях максимумов проводимости наблюдается максимальная мощность нижнепалеозойских проводящих толщ (явление «скучивания»).

В случае если бы при сравнительно высоком содержании графита в рассматриваемых породах нижней части бесапанской свиты он распределялся равномерно в виде вкрапленности, удельное сопротивление пород оставалось бы высоким (20-30 Ом·м). Однако, судя по исследованиям шлифов, графит в породах этой части свиты образует соединяющиеся

между собой прожилки и плоские пленки по трещинам кливажа толщиной в доли миллиметра [8]. Перемещение графита в трещины кливажа связано с динамоморфизмом. Более древние сланцевые образования позднего протерозоя также богаты углеродом и метаморфизованы в высоких фациях. Однако измерения электрических свойств данных отложений не показали столь низких значений, как в скважинах Мурунтау и по данным магнитотеллурического зондирования.

Таким образом, по мнению авторов работы [5], формирование рассматриваемых электропроводящих объектов ЮТАЭ, в отличие от корового проводника, имеющего флюидную природу проводимости, произошло в результате последовательного сочетания трех геологических процессов: 1) накопления богатых органикой преимущественно алеврито-глинистых отложений; 2) регионального метаморфизма в биотит-хлоритовой субфации, обусловившего превращение органического вещества в графит и выделение сульфидов; 3) динамометаморфизма при низких температурах, вызвавшего перемещение до 80% графитового вещества и сульфидов в трещины кливажа.

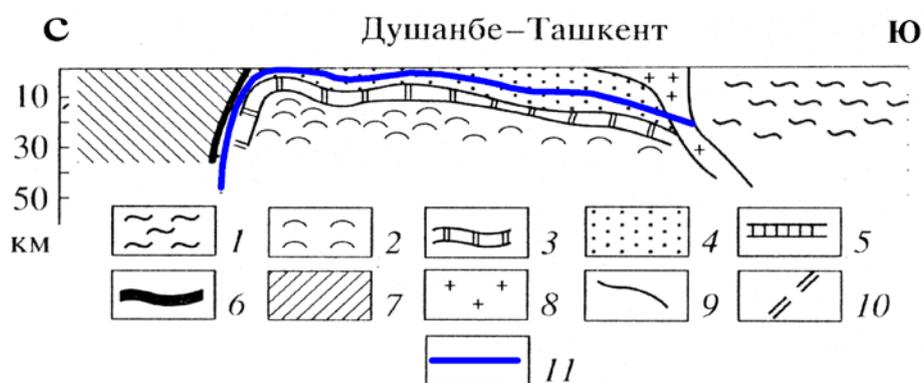


Рис. 3. Схематический разрез земной коры по профилю Душанбе-Ташкент вдоль меридиана 69° в.д. Геологическая основа взята из работ О.С. Шульца (мл.) и П. А. Мухина [8]: 1 – кристаллические сланцы протерозоя - раннего палеозоя Таджикского континента; 2 – нижнее – среднепалеозойское основание; 3 – карбонатные шельфовые отложения силура-карбона; 4 – дислоцированные ранне-среднепалеозойские углеродистые океанические отложения основания; 5 – карбонатные шельфовые и переходные склоновые отложения девона-карбона; 6 – кембро-девонские отложения океанической коры; 7 – палеозойские комплексы Срединного Тянь-Шаня; 8 – крупные гранитоидные массивы; 9 – герцинские шарьяжи; 10 - разрывные нарушения; 11 - проводящий коровый слой.

**Заключение.** При анализе морфологии кровли корового проводника, структурного положения и ориентации ЮТАЭ и простирания тектонических структур между ЮТАЭ и Памиром, представленных на рисунках 2 и 3, можно сделать предположение о возможной связи рассматриваемых аномалий электропроводности с аномалиями, выделенными на профиле «TIPAGE-ALAI». Основанием для такого предположения является следующее: формирование осадочных комплексов Туркестанского палеоокеанического бассейна в позднем протерозое-палеозое происходило в сходных условиях на территории от современной Таджикской депрессии до Таримской впадины. То есть могло происходить накопление богатых органикой алеврито-глинистых отложений, которые в дальнейшем, подвергшись региональному метаморфизму и динамометаморфизму, могли сформировать объединенную сеть графитовых пленок, обеспечив значения электросопротивления от 1 до 5 Ом·м, наблюдаемых на профиле «TIPAGE-ALAI» в зоне Главного Памирского надвига. В результате сопоставления структуры коровой проводимости и условий реализации различных механизмов формирования аномалий на профиле «TIPAGE-ALAI» и в зоне ЮТАЭ показано, что присутствие графита является возможной природой повышенной электропроводности зоны Главного Памирского надвига на Алайском участке профиля «TIPAGE-ALAI».

## ЛИТЕРАТУРА

1. Матюков В.Е. Глубинное строение зоны сочленения Памира и Тянь-Шаня по данным магнитотеллурических зондирований. Дисс. ... канд. физ.-мат. наук: 25.00.10. Бишкек. 2014. 139 с.
2. Матюков В.Е. Профиль «ALAI-TIPAGE»: магнитотеллурические наблюдения и построение геоэлектрической модели // Материалы Пятой молодежной конференции «Современные техника и технологии в научных исследованиях» 24-26 апреля 2013 г. Бишкек: НС РАН. С. 9-13.
3. Koulakov I. High frequency P and S velocity anomalies in the upper mantle beneath Asia from inversion of worldwide traveltimes // Journal of geophysical research. 2011. Vol. 116. B04301. doi:10.1029/2010JB007938.
4. Сабитова Т.М., Багманова Н.Х., Миркин Н.Х. Скоростные неоднородности литосферы Тянь-Шаня в связи с геодинамикой и сейсмичностью // Геодинамика внутриконтинентальных орогенов и геоэкологические проблемы. Вып. 4. Сборник материалов четвертого международного симпозиума, г. Бишкек, 15-20 июня 2008 г. Москва-Бишкек. 2009. С. 406-415.
5. Таль-Вирский Б.Б., Белявский В.В., Мухин П.А. Природа Южно-Тяньшанской аномалии электропроводности // Доклады Академии наук УзССР. 1989. № 1. С. 46-48.
6. Белявский В.В., Аширматов А.С. Магнитовариационные аномалии Южного Тянь-Шаня и тектоника региона // Физика земли. 1999. № 1. С. 38-46.
7. Гатина Р.М., Мухин П.А. О возможной природе Южно-Тяньшанской аномалии электропроводности // Физика Земли. 1988. № 8. С. 59-62.
8. Мухин П.А. и др. Труды САИГИМС. Ташкент. 1977. С.74-78.

## О КАРТЕ САЙТ-ЭФФЕКТОВ ДЛЯ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ГОРОДА НАРЫН

Орунбаев С.Ж.

тел.: +996 312 555775 (221); e-mail: [s.orunbaev@caiag.kg](mailto:s.orunbaev@caiag.kg)

Центрально-Азиатский институт прикладных исследований Земли, г. Бишкек, Кыргызская Республика

В статье приводится метод сайт-эффектов, использованный для составления одноименной карты на примере западной части города Нарын. В настоящий момент исследование микросейсм в решении задач сейсмического микрорайонирования стало широко применяться как детальный и недорогой метод исследования, опирающийся на менее детальные, но более точные результаты в отличие от других методов сейсмического микрорайонирования [1-9].

Составленная ранее в 1976 году и используемая в практической деятельности до сих пор карта СМР (сейсмического микрорайонирования) для территории города Нарын устарела. За прошедшие 38 лет произошли перераспределения в виде изменения климатических, физико-географических, гидрологических, гидрогеологических, инженерно-геологических, сеймотектонических условий на урбанизированной территории города Нарын и его агломераций [1].

В последние десятилетия город Нарын не подвергался воздействию разрушительных землетрясений, однако, территория населенного пункта сопряжена с пересечениями активных разломов, линеамента и находится в сфере воздействия очагов землетрясений с  $M=3-4$ , что указывает на потенциально повышенную сейсмическую опасность для города. Данные Института сейсмологии НАН КР подтверждают вышеуказанное и служат основой для

выделения следующих районов ожидаемых землетрясений (РОЗ) II-категории сейсмоопасности: 1. Байбичетауский (ББ) и 2. Атбашинский (АТБ), где прогнозная интенсивность землетрясений, несущих угрозу населению и территории г. Нарын и его агломераций [1], варьирует от 5 до 7 баллов.

Впервые сотрудниками ЦАИИЗ с применением 16 дорогостоящих современных сейсмостанций осуществлены комбинированные и методически оправданные стационарные, мобильные и площадные сейсмические зондирования грунтов с целью составления карты сайт-эффектов на территории города Нарын и его агломераций.

**Методика обработки записей.** Спектральное отношение между горизонтальными и вертикальными компонентами широко используется в определении параметров площадки [3-6, 8]. В последнее время метод H/V-отношения используется в обработке шумов и ныне активно исследуется [4, 6, 8].

**Спектральное отношение между компонентами двух близких станций.** 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 безопорной точки.** В методе опорной точки также имеется собственная зона отклика (site response). Зона отклика оценивается с помощью метода без опорной точки (H/V). В результате проведенных измерений после обработки полученных записей приступают к составлению цифровой карты сейсмического микрорайонирования.

Следует подчеркнуть, что геологическое строение может сильно влиять на амплитуду и продолжительность землетрясения, вызванного колебанием грунта, зарегистрированного на поверхности Земли.

В настоящее время метод Накамуры широко применяется для оценки локальных эффектов на местах, особенно в инженерной сейсмологии. В использованном методе Накамуры (1989 г.) наблюдения сейсмического шума выполняются одиночной трехкомпонентной сейсмологической станцией для регистрации микросейсм природного и антропогенного (socially noisy) происхождения. При этом не требуется эталонных измерений в опорных точках, а сама регистрирующая аппаратура перемещается по точкам наблюдений без синхронизации записей по времени. Это позволяет использовать при обработке не синхронные в пространстве и во времени измерения.

Представляется, что метод Накамуры может рассматриваться как один из вариантов метода спектральных отношений (HVSR) [3-8].

Прежудыщие исследования проводились либо с целью изучения влияния датчиков короткого периода на обнаружение сейсмических сигналов шума на частотах ниже 1 Гц (например, Riedesel и др, 1990; Роджерс, 1992, 1994), либо с целью тестирования работы различных видов сейсмических датчиков, непосредственно сравнивая полученные результаты с предполагаемым горизонтально-вертикальным спектральным коэффициентом (Mucciarelli., 1998; Pagolai и др, 2001) [2-9].

Сравнение результатов, полученных из различных видов систем сбора данных и датчиков, проводились Strollo (2008 г.) по оптимизированному исследованию эффектов в более высоком диапазоне частот (>1Гц) [4,6, 8].

Спектральная плотность мощности (СПМ), рассчитанная для короткопериодного электромагнитного датчика (КПЭД), подключенного к цифровому регистратору данных с коэффициентом усиления, показывает возможность датчика Mark L4C-3D обнаруживать входные данные до 0,1- 0,2 Гц, даже если сигнал приближается к новой малозумной модели (NLNM), как показано Стролло и др. (2008 г.) [6, 8].

В исследованиях для записи землетрясений был использован один широкополосный сейсмометр Güralp CMG-3ESPD, подключенный к регистратору данных с общей 30- минутной записью, разделенному на окна в 60 сек., без накладки.

Для каждого окна линейный тренд в данных был удален, и на обоих концах была применена функция 5% сужающегося косинуса. В этом исследовании мы рассматриваем

вертикальный (Z), восточно-западный (EW) и северо-южный (NS) компоненты движения грунта. Были задействованы измерения со всех имеющихся 16 станций, установленных вблизи главного здания УЦА на территории кампуса и рядом с NRN01, NRN02 временной сейсмологической сети. Сейсмический шум был записан одновременно всеми станциями в течение нескольких часов с частотой дискретизации 100 выборок в секунду. Одновременные записи одного часа шума были использованы и разделены на 60 окон. Только вертикальный компонент был проанализирован. Записи были подготовлены для инструментальной обработки с учётом параметров калибровки каждого датчика, а данные были проанализированы с помощью расширенного метода пространственной автокорреляции ESAC. Полученная дисперсионная кривая, в пределах между 4 и 14 Гц, показывает нормальный дисперсионный режим. Самые высокие частоты уже показывают достаточно высокую скорость фазы рэлеевской волны (400 м/с), которая увеличивается до 950 м / с для нижних частот. Диапазон между фазовой скоростью 14 и 16 Гц увеличивается до 500 м/с. Эти значения согласуются с наличием жесткого четвертичного аллювиального материала, представленного в области исследования щебнем и гравием.

Из рисунков измерений массивов грунтов на полигоне УЦА видно, что как теоретическая дисперсия, так и кривые  $N/V$  хорошо соответствуют наблюдаемым значениям.

**Западная часть города**, отличается тем, что здесь главным образом построены были одно и редко двух уровневые жилые дома. Здесь расположен также строящийся впервые в подобных условиях Кампус университетского городка УЦА в Центральной Азии. Генеральный план строительства для университетского городка, расположенного на берегу р. Нарын занимает 252 га, земли и проектный дизайн конструкции строящегося УЦА Фонда Ага-Хана разработан архитектурной фирмы Arata Isozaki & Associates.

В геоморфологическом отношении: с севера на юг долина реки Нарын имеет серии аллювиальных террас общей шириной от 800 до 1500 м.

Грунты представлены аллювиальными и местами пролювиальными грубообломочными отложениями покрытыми слоем лессовых пород.

На рисунке 1 приведена составленная после обработки полученных сейсмических записей «Карта фундаментальной частоты и интенсивности резонанса почво-грунтов для Западной части города Нарына».

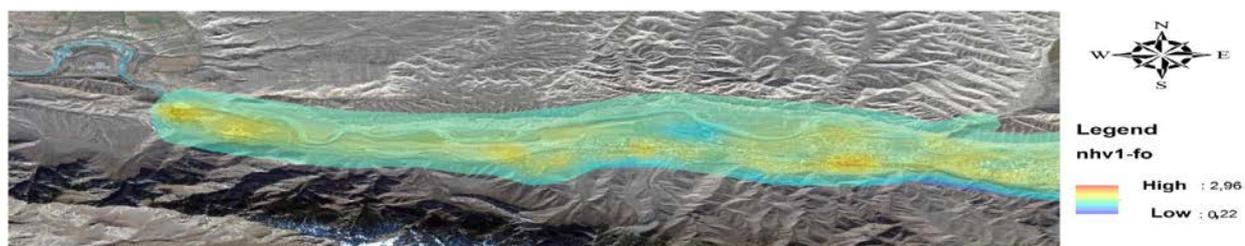


Рис. 1. Карта фундаментальной частоты и интенсивности резонанса почво-грунтов для западной части города Нарын.

Из карты (рис. 1, б) и рисунков (рис. 2-5) видно, что скорость сейсмических волн, инструментально измеренная в университетском городке УЦА, в разрезе от 0 до 30 м составляет 400 м/с.

Фундаментальная частота резонанса почво-грунтов варьирует в пределах 0,22-0,89 Гц, при наличии более рыхлых и связных мягких грунтов произойдет усиление низкочастотных движений.

**Территория кампуса Университета Центральной Азии** находится в западной части исследуемого района. Генеральный план кампуса и его эскизный проект были подготовлены получившей несколько отраслевых наград архитектурной фирмой «Арата Исозаки и партнеры», а рабочий проект и строительная документация были разработаны компанией АЕСОМ УК.

Первая очередь строительства кампуса в г. Нарын началась в сентябре 2013 года и предусматривает подготовку строительного участка и возведение на строительной площадке соответствующей инфраструктуры, такой как инженерные сети, внутренние дороги, парковки и административно-служебные помещения УЦА. Геоморфология участка такова: с севера на юг долина реки Нарын имеет серию аллювиальных террас общей шириной 600-700 м. Грунты представлены аллювиальными и местами пролювиальными грубообломочными отложениями, покрытыми слоем лессовых пород.

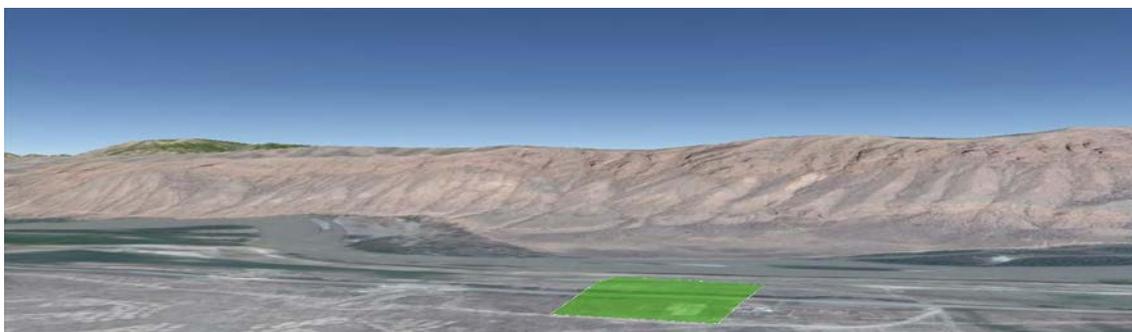


Рис. 2. Местоположение участка (зеленый квадрат) проектирования и строительства кампуса УЦА Фонда Ага-Хана в западной части города Нарын.

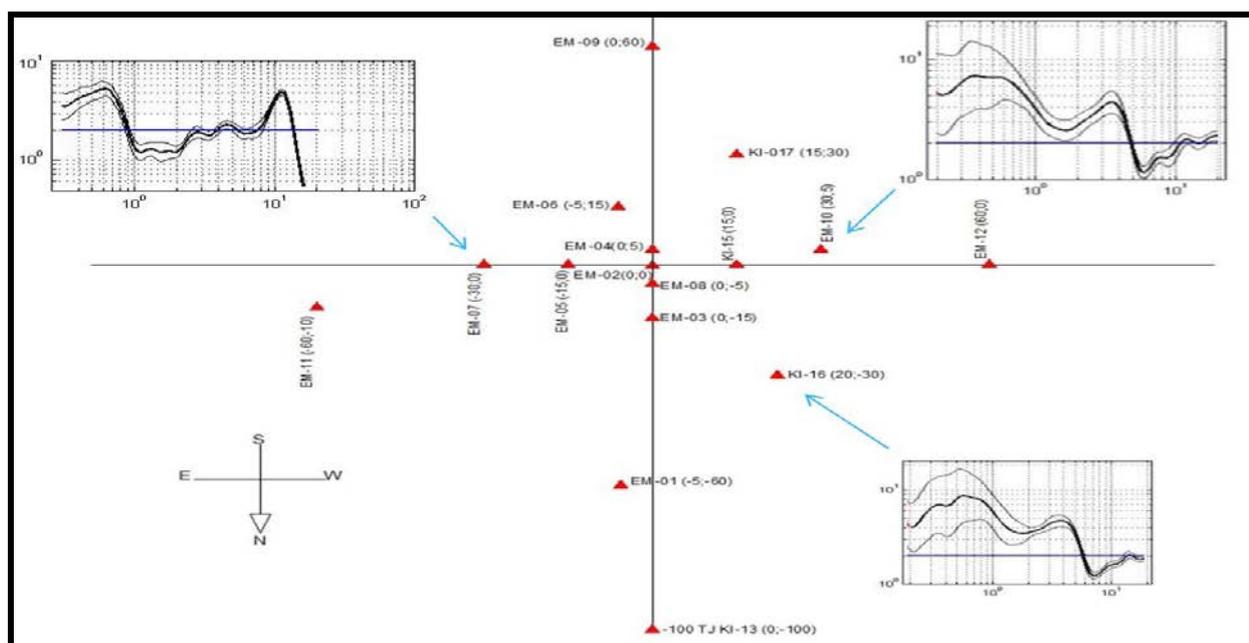


Рис. 3. Схема (геометрия) расположения 16 сейсмостанций (красные треугольники) для зондирования глубины залегания фундамента скальных пород под рыхлыми грунтами и графики основных частот колебания частиц грунтов на примере ряда станций.

Скорости сейсмических волн, инструментально измеренные в университетском городке USA на площадке, где спроектировано главное здание УЦА: в разрезе от 0 до 30 м скорость составляет 400 м/с (рис. 5). Детальный скоростной разрез описан выше, где рассчитана скорость до глубины 1200 м.

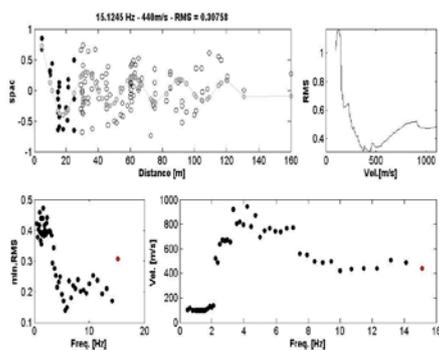


Рис. 4. Графики наблюдаемых(черные точки) кривых дисперсии.

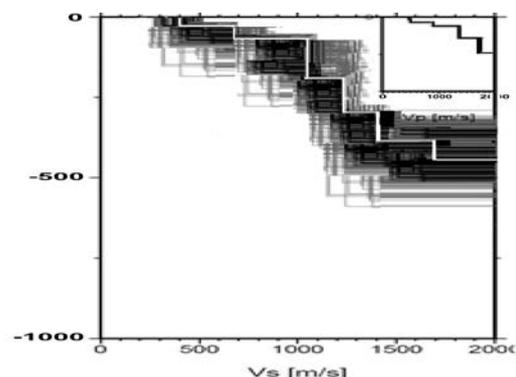


Рис. 5. Скорости сейсмических волн в поперечном профиле полигона Университет УЦА.

Фундаментальная частота резонанса почво-грунтов варьирует в пределах 0,22-1,02 Гц, при наличии более рыхлых и связных мягких грунтов произойдет усиление низкочастотных движений (рис. 6).

Проведенные комплексные инструментальные исследования резонансных свойств верхней части разреза на территории г. Нарын является составной частью сейсмического микрорайонирования.

Резонансные свойства грунтов, установленные на исследуемой территории, способствуют существенному усилению сейсмических колебаний определенных частот.

Амплитудный уровень и частота резонансных пиков зависят от упругих свойств и мощностей слоев горных пород, способных к усилению сейсмических волн. К грунтам, способным к усилению сейсмических волн, относятся достаточно рыхлые породы, обладающие скоростью распространения поперечных волн ( $V_s$ ) ниже 700 м/с.

В условиях г. Нарын это, как правило, суглинки, супеси, пески и глины. Мощность рыхлых отложений меняется в пределах от 0 до 600 м, что обуславливает изменение резонансных периодов от 0,22 до 2,9 с.

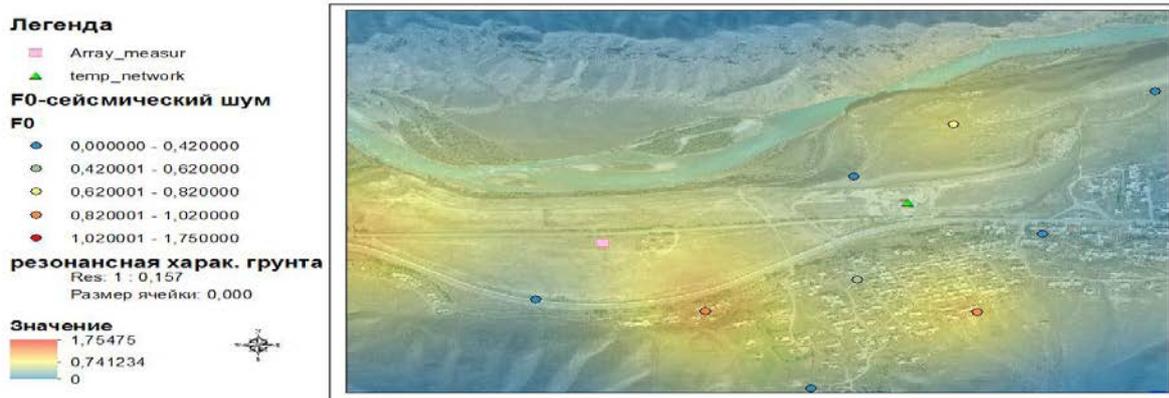


Рис. 6. Карта сайт-эффекта (фундаментальной частоты и интенсивности резонанса почво-грунтов) для территории кампуса УЦА в западной части города Нарын.

## Выводы:

1. Получены первые результаты и обработанные данные в виде карты сайт-эффекта, которые показывают изменения сейсмических характеристик грунта в виде частот колебаний частиц грунтов на исследуемой территории города Нарын и могут быть использованы проектировщиками и градостроителями при составлении Генерального плана города Нарын.

2. Резонансные явления характерны для высоких сооружений при близости собственных периодов колебаний грунта и здания. На практике резонансные эффекты

проявляются в виде дополнительных нагрузок и повреждений, получаемых сооружениями при землетрясениях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мамыров Э., Омуралиев М.О., Усупаев Ш.Э. Оценка вероятной сейсмической опасности территории Кыргызской Республики и приграничных районов стран Центральной Азии на период 2002-2005 гг. (монография). Бишкек. 2002. 93 с.
2. Усупаев Ш.Э. О сейсмомониторинге в Кыргызстане и на трансграничных территориях // Доклады первого Казахстано-Японского семинара 25-28 июня 2001 года "Проблемы предотвращения последствий разрушительных землетрясений". Бишкек. 2002. С. 301-309.
3. Усупаев Ш.Э., Молдобеков Б.Д., Токмулин Ж.А., Орунбаев С.Ж. и др. Предварительные результаты обработки данных и определения частот колебаний грунтов по пунктам точечных измерений сейсмических шумов на территории города Бишкек и его агломерации. В кн.: Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики. Бишкек: МЧС КР. 2010. С. 687 – 689.
4. S. Parolai, S. Orunbaev, D. Bindi, A. Strollo, S. Usupaev, M. Picozzi, D. Di Giacomo, P. Augliera, E. D’Alema, C. Milkereit, B. Moldobekov, and J. Zschau. 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, doi: 10.1785/0120100044
5. Усупаев Ш.Э., Молдобеков Б.Д., Орунбаев С.Ж., Мелешко А.В. и др. Сейсмическое микрорайонирование территории города Бишкек с учетом развития его до 2025 года. В кн.: Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики. Бишкек: МЧС КР. 2011. С. 675 – 679.
6. S. Parolai, D. Bindi, S/ Ullah, S.Orunbaev, Sh.Usupaev, B.Moldobekov, H.Echtler The Bishkek verticalarray (BIVA):acquiring strong motion data in Kyrgyzstan and first results. J.Seismol, doi10. 1007/ s 10950-012-9347-y. Published online 28 November 2012.
7. Орунбаев С.Ж., Усупаев Ш.Э., Мамбеталиев Э., Коноков Т., Серенков А. Новые полевые измерения для сейсмического микрорайонирования города Нарын. В кн. Мониторинг и прогноз возможной активизации чрезвычайных ситуаций на территории Кыргызской Республики. Бишкек: МЧС КР. 2014. С. 645 - 648.
8. Marco Pilz<sup>1</sup>, Tanatkan Abakanov<sup>2</sup>, Dino Bindi<sup>1</sup>, Tobias Boxberger<sup>1</sup>, Bolot Moldobekov<sup>3</sup>, Sagynbek Orunbaev<sup>3</sup>, Natalya Silacheva<sup>2</sup>, Shahid Ullah<sup>1</sup>, Sheyshenaly Usupaev<sup>3</sup>, Pulat Yasunov<sup>4</sup>, Stefano Parolai<sup>1</sup>. An overview on the seismic microzonation and site effect studies in Central Asia // Дистанционные и наземные исследования Земли в Центральной Азии: материалы Междунар. конфер. Бишкек: изд-во Ос ОО «Коллаж». 2014. С. 74.
9. Усупаев Ш.Э., Орунбаев С.Ж., Молдобеков Б. Д., Бегалиев У., Паролай С., Бинди Д. Система оповещения сейсмокатастроф для города Бишкек // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. № 33.

## РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ДОСТУПА К ДАННЫМ СЕЙСМОСТАНЦИИ REFTEK 130 DAS

Полинчук А.Ю.

тел. +996 556-21-47-89; e-mail: [polinchukbox@gmail.com](mailto:polinchukbox@gmail.com)

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Научная станция  
Российской академии наук в г. Бишкеке, г. Бишкек, Киргизия

**Введение.** Представления о возможности влияния ЭМ-импульсов на сейсмогенные структуры в земной коре основаны на результатах нескольких крупномасштабных физических

экспериментов с использованием МГД-генератора [1], тиристорно-конденсаторных установок (в частности, работающего более 25 лет в НС РАН электроразведочного генераторного устройства ЭРГУ-600-2) [1, 2, 3, 4]. Однако физический механизм электростимулирования сейсмичности требует дополнительных исследований. Концепция исследований исходит из принципиальной необходимости сбора данных о локальных изменениях в среде на разных расстояниях от источника электромагнитных (ЭМ) зондирований. Для этого запланировано проведение непрерывных измерений сейсмоакустической эмиссии (САЭ) на нескольких пунктах на территории Бишкекского геодинамического полигона (Северный Тянь-Шань). Один из измерительных пунктов уже оборудован (подземный бункер, где размещены приемники сигналов сейсмоакустической эмиссии (САЭ) и сейсмического шума) - установлены сейсмостанция Reftek 130 DAS [5] и сейсмоприёмник A1632, а также налажен сбор данных на сервер лаборатории МЭС НС РАН. С накоплением больших объёмов данных появилась необходимость в удобных инструментах для доступа к ним.

Разработка программного обеспечения. Были поставлены следующие задачи:

- Разработать программное обеспечение (ПО) для доступа к сейсмическим данным через web интерфейс.
- Разработать ПО, информирующее пользователя об остановке передачи сейсмических данных на сервер.

**ПО для доступа к сейсмическим данным через web-интерфейс.** Необходим такой инструмент доступа к данным, который бы выдавал при заданном наборе команд для вырезки сейсмических данных ссылку на сейсмические данные (в текстовом виде), упакованные в архив.

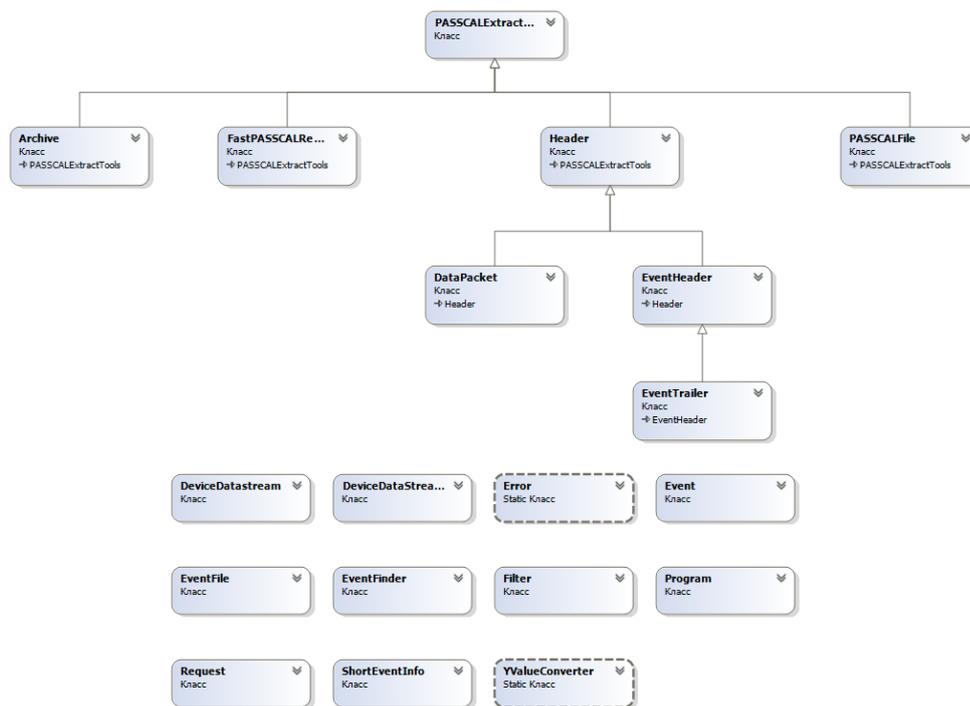


Рис. 1. Диаграмма классов ПО для работы с данными формата PASCAL.

Поскольку ранее было написано ПО на языке C# для чтения данных формата PASCAL [6] (используемый сейсмостанцией Reftek 130 DAS), было принято решение о его доработке с возможностью работы в пакетном режиме. Предполагается запуск ПО, написанным на языке C# под операционной системой Linux через язык PHP посредством платформы mono [7]. ЛМЭС НС РАН имеет свой сайт лаборатории, спроектированный на языке PHP с использованием паттерна Yii [8] на сервере лаборатории под управлением операционной системой Linux. Логичным следствием этого явилось решение добавить новый раздел для доступа к сейсмическим данным в уже имеющийся сайт ЛМЭС. Данный раздел должен

включать в себя подразделы: дерево целостности архива (отображающее, какие данные и за какой период имеются в архиве), обработчик запросов (принимаящий список команд для вырезки) и список ссылок на сейсмические данные по запросам.

**ПО для уведомления пользователя об остановке сбора сейсмических данных.** Было принято решение о разработке клиент-серверного ПО на языке С# с возможностью обслуживания нескольких клиентов. В качестве стиля написания кода был выбран стандарт [9], разработанный командой Dotnetspider, который базируется на основе лучших практик программирования, опубликованных в различных статьях на сайте dotnetspider.com. Предполагается запуск серверной части ПО на сервере посредством платформы mono.

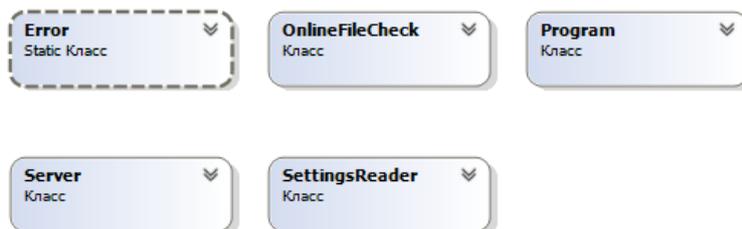


Рис. 2. Диаграмма классов серверной части ПО для уведомления пользователя об остановке сбора сейсмических данных.

### Результаты работы

**ПО для доступа к сейсмическим данным через web-интерфейс.** При открытии раздела «Данные Reftek» сайта лаборатории МЭС пользователю открывается дерево целостности архива Reftek, где он может увидеть, какие данные и за какой период имеются в архиве. Подраздел «Обработчик запросов» предназначен для ввода команд для вырезки данных. В подразделе «Список файлов» пользователь может скачать результаты своих запросов.

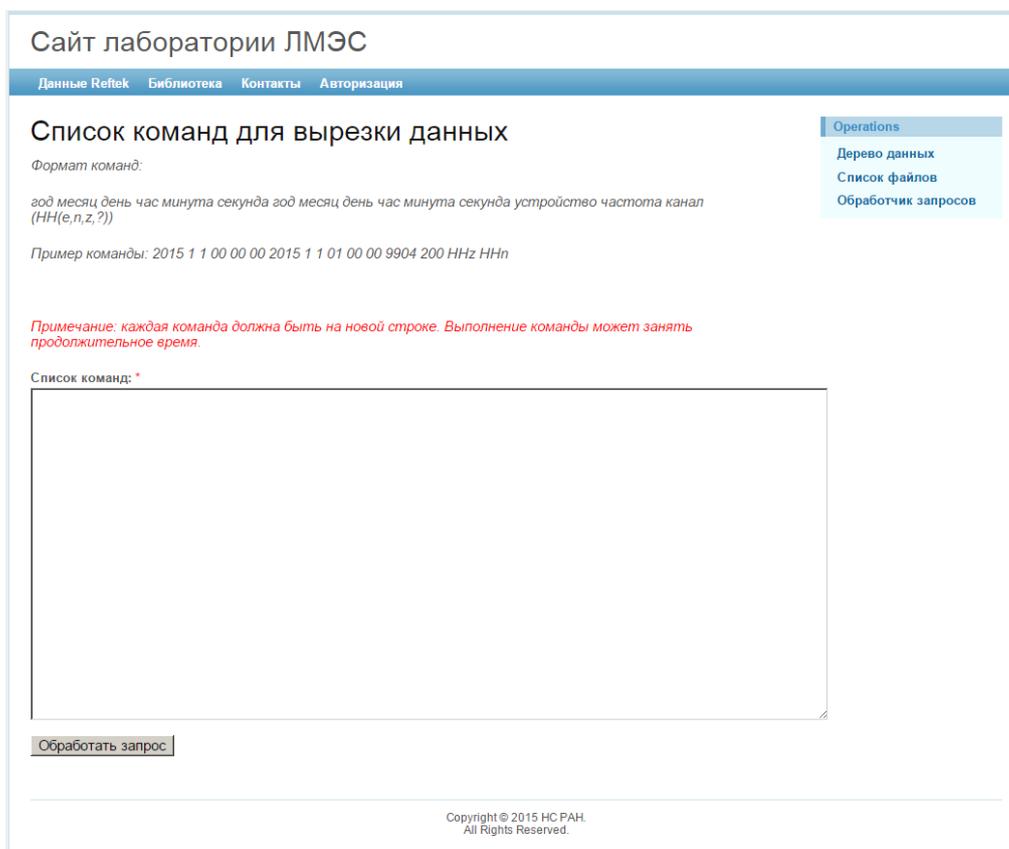


Рис. 3. Обработчик запросов команд для вырезки данных.

**ПО для уведомления пользователя об остановке сбора сейсмических данных.** Серверная часть ПО запускается автоматически через службу при запуске системы. По

умолчанию при входе в систему запускается клиентская часть ПО в свернутом виде. При получении сигнала остановки регистрации данных разворачивается окно клиента и уведомляет об этом пользователя.

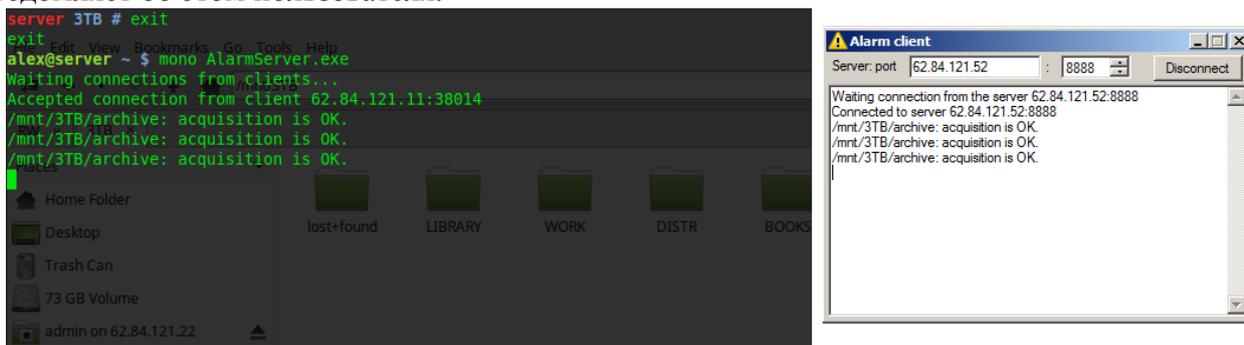


Рис. 4. Процесс работы сервера и клиента.

**Заключение.** В данной работе было разработано ПО, предоставляющее пользователю нарезки текстовых данных по запросу, а также клиент-серверное приложение для уведомления пользователей об остановке процесса сбора данных. Преимуществом ПО для доступа к сейсмическим данным через web-интерфейс является аппаратная и программная независимость пользователя, поскольку он может иметь доступ к сейсмическим данным Reftek 130 DAS посредством обычного браузера с любого компьютера. В дальнейшем планируется расширить разработанный программный продукт функциями обработки данных.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сычев В.Н., Богомолов Л.М., Сычева Н.А. К вопросу о возможности влияния пусков МГД генераторов на вариации слабой сейсмичности Северного Тянь-Шаня (статья) // Геодинамика и геоэкология высокогорных регионов в XXI век. Вып. 3. Москва-Бишкек. 2008. С. 172-186.
2. Сычев В.Н., Авагимов А. А., Богомолов Л.М., Зейгарник В. А., Сычева Н.А. О триггерном влиянии электромагнитных импульсов на слабую сейсмичность в связи с проблемой разрядки избыточных тектонических напряжений (статья) // Геодинамика и напряженное состояние недр Земли. Новосибирск: изд-во СО РАН. 2008. С.179-188.
3. Сычев В.Н., Богомолов Л.М., Сычева Н.А. , Боровский Б.В. О синхронизации вариаций сейсмической активности на территории Северного Тянь-Шаня с режимом электромагнитных зондирований земной коры // Геодинамика и напряженное состояние земных недр: труды науч. конференции с участием иностранных ученых. Новосибирск: изд-во Института горного дела СО РАН. 2010. С. 83-90.
4. Сычев В.Н., Богомолов Л.М., Рыбин А.К., Сычева Н.А. Влияние электромагнитных зондирований земной коры на сейсмический режим территории Бишкекского геодинамического полигона // Триггерные эффекты в геосистемах. Под ред. академика В.В. Адушкина и профессора Г.Г. Качаряна. Материалы Всероссийского семинара-совещания. Г Москва, 22-24 июня 2010 года. Москва. Геос. С. 316-326.
5. Reftek DAS-130. URL: <http://www.reftek.com/products/seismic-records-130-01.htm> (дата обращения: 19.02.2015).
6. 130 Recording Format Specification For 130 CPU Firmware v.2.7.0 (Passcal Compilant). Dallas: Refraction Technology, Inc. 2005. 42 p.
7. Официальный сайт платформы mono. URL: <http://www.mono-project.com> (дата обращения: 19.02.2015).
8. Русскоязычное сообщество Yii. URL: <http://yiiframework.ru> (дата обращения: 19.02.2015).
9. C# Coding Standards & Best Practices URL: <http://www.dotnetspider.com/tutorials/BestPractices.aspx> (дата обращения: 19.02.2015).

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА ОХРАНЯЕМЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Райымкулов М.А.

тел.: 0554 14 31 84; e-mail: [rmarat@istc.kg](mailto:rmarat@istc.kg)

Институт коммуникаций и информационных технологий Кыргызско-Российского Славянского университета (ИКИТ КРСУ), г. Бишкек, Кыргызстан

В связи с повсеместным интенсивным развитием горнодобывающих предприятий, расширением границ ведения горных работ, увеличением переработки объемов пород и руд, увеличением массы заряда взрывчатых веществ повышаются риски аварийных ситуаций в зонах, примыкающих к горным работам, в результате сейсмического воздействия. Поэтому перед производителями стоит задача правильного определения безопасных параметров взрывных работ и оценки сейсмического воздействия на охраняемые объекты [1].

Различают несколько методов оценки сейсмического воздействия горных работ на близлежащие сооружения: аналитический метод, инженерная сейсмометрия и численное моделирование. Возможность моделирования сейсмического действия на стадии проекта на взрыв до проведения самих взрывных работ позволяет предварительно оценить нагрузки на охраняемые объекты, учитывать различные геометрические и геофизические свойства массива и определить параметры взрывных работ, обеспечивающие щадящее сейсмическое воздействие, а также способствует созданию технологии наиболее безопасного, адаптивного способа ведения взрывных работ на карьере [2]. В данной работе рассматривается численное моделирование методом конечных элементов (МКЭ).

Основная идея МКЭ - разделение сложных областей на конечное количество простых подобластей (конечных элементов). В пределах каждой подобласти выбирается вид аппроксимирующей функции так, что коэффициенты полиномов выражаются через значения искомых функций в конечном числе узловых точек подобласти. Силы, действующие на элемент, рассматривают как силы, источником которых являются напряжения в узловых точках [3].

Распространение сейсмических волн описывается уравнением Ляме:

$$(\gamma + \mu)\text{grad}(\text{div}\vec{U}) + \mu\Delta\vec{U} = \rho \frac{d^2\vec{U}}{dt^2}, \quad (1)$$

где  $\vec{U}(x, y, z)$  - смещение частиц среды;  $\gamma, \mu, \rho$  - параметры среды. Одним из способов решения задачи является метод виртуальной работы. Для тела, состоящего из конечного числа элементов, записывается уравнение виртуальной работы. Предположим, что массы сосредоточены в узлах элемента, тогда можно получить задачу в виде явной схемы:

$$\mathbf{M}\{\ddot{U}\} = \{F\} - \mathbf{K}\{U\}, \quad (2)$$

где  $\mathbf{K}$  - матрица жесткости, матрица;  $\mathbf{M}$  - матрица масс;  $\{F\}$  - вектор сил;  $\{U\}$  - вектор смещения. Решая задачу (2), получаем данные поля смещения и деформации в пространстве в течение времени, которые характеризуют сейсмическое воздействие.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Мосинец В.Н. Дробящее и сейсмическое действие взрыва в горных породах. М.: Недра. 1976. 271 с.
2. Алешин А.С., Малышев Р.В. Исследование влияния рельефа на параметры сейсмического волнового поля методом конечных элементов // Вопросы инженерной сейсмологии. 2012. Т. 39. № 3. С. 41-48.

3. 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.

## ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРИЕНТАЦИИ ЛОКАЛЬНЫХ НЕОТЕКТОНИЧЕСКИХ СТРУКТУР И АНОМАЛИЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ( $\Delta T$ ) В ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТЕРРИТОРИИ УЗБЕКИСТАНА

Расулжонов М.С., Жураев Ф.Ф., Махкамов А.А., Умурзаков Р.А.

тел.: +998909391119, +998909275347, +998935401854; e-mail: [geologuz2008@mail.ru](mailto:geologuz2008@mail.ru), [umrah@mail.ru](mailto:umrah@mail.ru)

Ташкентский государственный технический университет им. Абу Райхона Беруни,  
г. Ташкент, Республика Узбекистан

Изучаемая территория в административном отношении охватывает Кашкадарьинскую, Бухарскую области, частично западные и южные прилегающие районы Самаркандской области Узбекистана. В тектоническом отношении территория представляется юго-восточной частью Туранской платформы, которая посредством приграничного предгорного Кашкадарьинского прогиба сочленяется с орогенной областью юго-западного ответвления Гиссарской мегантиклинали Тянь-Шаня [1]. В пределах изучаемой территории наблюдается разнообразие структурных форм и элементов складчатого, разрывного типа и их сочетания, которые послужили основанием для выделения в земной коре территории различных структурно-тектонических зон. В качестве основных структурных элементов здесь представлены: с востока на запад – северо-западная часть орогенного поднятия Юго-Западного Гиссара (рис.1, А), Бешкент-Кашкадарьинская впадина (рис.1, Б), Бухаро-Каршинская зона (рис.1, В), в северной части Каттакурганская впадина (рис.1, Г) и на северо-западе часть Рометанского прогиба (рис.1, Д).

В качестве главнейших разрывных нарушений здесь представлены такие глубинные разломы, как Западно-Тяньшанский (1) и Бухарский (2) (рис.1). Последний является частью крупного дизъюнктивного нарушения, который некоторые исследователи называют Южно-Тяньшанским. К северу от него, в северо-западном направлении простирается Предкызылкумский (3), а в юго-западной части территории Амударьинский (4) региональные разломы.

С целью изучения геотектонических особенностей геологических процессов земной коры описываемой территории нами был выполнен анализ пространственной ориентации локальных неотектонических впадин и поднятий (сокращённо ЛНВП) и локальных магнитных аномалий (сокращённо МА  $\Delta T$ ) небольшой протяжённости – длиной до 15 км. При этом были построены розы-диаграммы простираения изучаемых объектов для всей территории в целом (рис.1, диаграммы ЛНВП и МА  $\Delta T$ ), для отдельных структурно-тектонических зон (рис.1, А-Д диаграммы отмечены римскими цифрами I и II, соответственно неотектонические и магнитные аномалии). Для удобства восприятия светлыми (не залитыми) обозначены розы-диаграммы неотектонических структур, а залитые тёмным цветом – розы магнитных аномалий. Кроме того, были получены диаграммы для отдельных участков отмеченных зон, разделённых глубинным разломом, и известных в литературе как отдельные ступени - Бухарский и Чарджоуский. Они выполнены для Бешкент-Кашкадарьинской впадины (Б) и Бухаро-Каршинской зоны (В). В пределах этих зон их представляют мелкие диаграммы, обозначенные арабскими цифрами: 1- для Бухарской ступени, 2 –для Чарджоуской.

В целом для изучаемой территории характерно общее преобладание северо-восточной ориентировки (по азимуту  $40^{\circ}$ - $50^{\circ}$  ( $220^{\circ}$ - $230^{\circ}$ )) локальных неотектонических структур (рис.1, диаграмма ЛНВП) и магнитных аномалий, с некоторым отклонением на восток-северо-восток по азимуту  $70^{\circ}$ ( $250^{\circ}$ ) и даже ближе к широтному (рис.1, диаграмма МА  $\Delta T$ ).

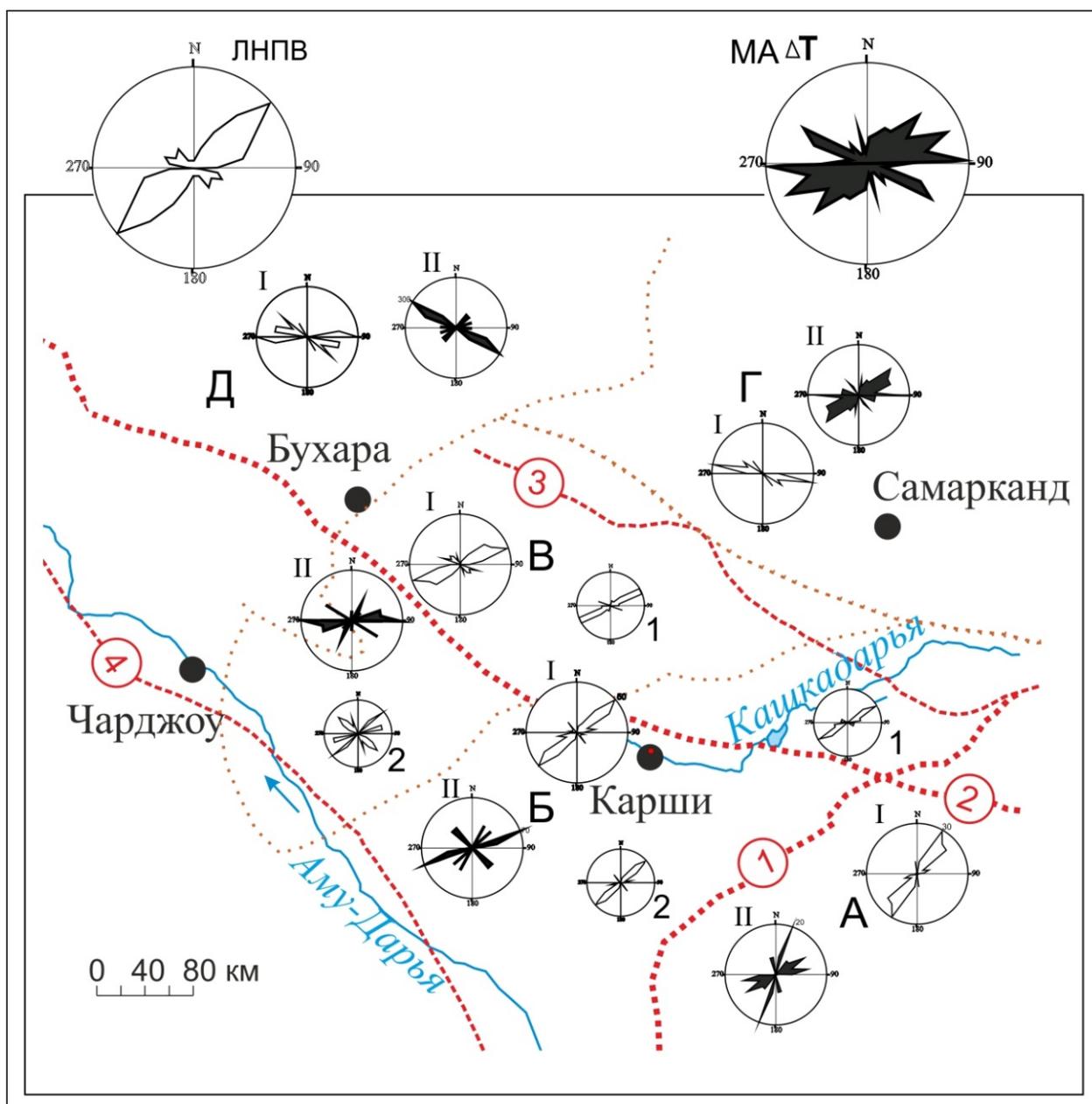


Рис. 1. Схематическая карта распределения диаграмм ориентации локальных неотектонических структур и магнитных аномалий ( $\Delta T$ ) в различных структурно-тектонических зонах юго-восточной части Туранской плиты и приграничной зоны орогенного поднятия ЮЗ Гиссара.

Буквенные и цифровые обозначения на карте: А-Д – структурно-тектонические зоны: А-северо-западная часть орогенного поднятия ЮЗ Гиссара; Б- Бешкент-Кашкадарьинский прогиб; В- Бухаро-Каршинская зона; Г – Каттакурганская впадина; Д- Рометанский прогиб. Римские цифры в соответствующих зонах А-Д: I – розы-диаграммы ориентации локальных неотектонических структур; II – то же магнитных аномалий  $\Delta T$ . Арабские цифры в зонах Б и В: 1- розы диаграммы локальных структур, полученные для Бухарской ступени в соответствующих зонах; 2 – то же, полученные для Чарджоуской ступени. В верхней части рисунка крупные розы диаграммы -общие для всего региона: – для локальных неотектонических впадин и поднятий (ЛНПВ) и магнитных аномалий (МА  $\Delta T$ ).

Такая же картина наблюдается в Бухаро-Каршинской зоне (рис.1, В, диаграммы I и II), в Бешкент-Кашкадарьинском прогибе (рис.1, Б, диаграммы I и II). В Юго-Западном Гиссаре ориентация ЛНВП и МА  $\Delta T$  несколько меняется к север-северо-востоку (рис. 1, А, диаграммы

I и II). В магнитных аномалиях продолжает проявляться составляющая, характерная для всего региона.

Другая картина наблюдается в Каттакурганской (Г) и Рометанской впадинах. Здесь локальные неотектонические структуры имеют близширотное простирание (рис.1, Г, диаграмма I, и Д, диаграмма I). Магнитные аномалии в Каттакурганской впадине имеют стабильное северо-восточное (юго-западное) простирание (рис. 1, Г, диаграмма II), а в Рометанском прогибе меняют направление на запад-северо-западное (рис. 1, Д, диаграмма II).

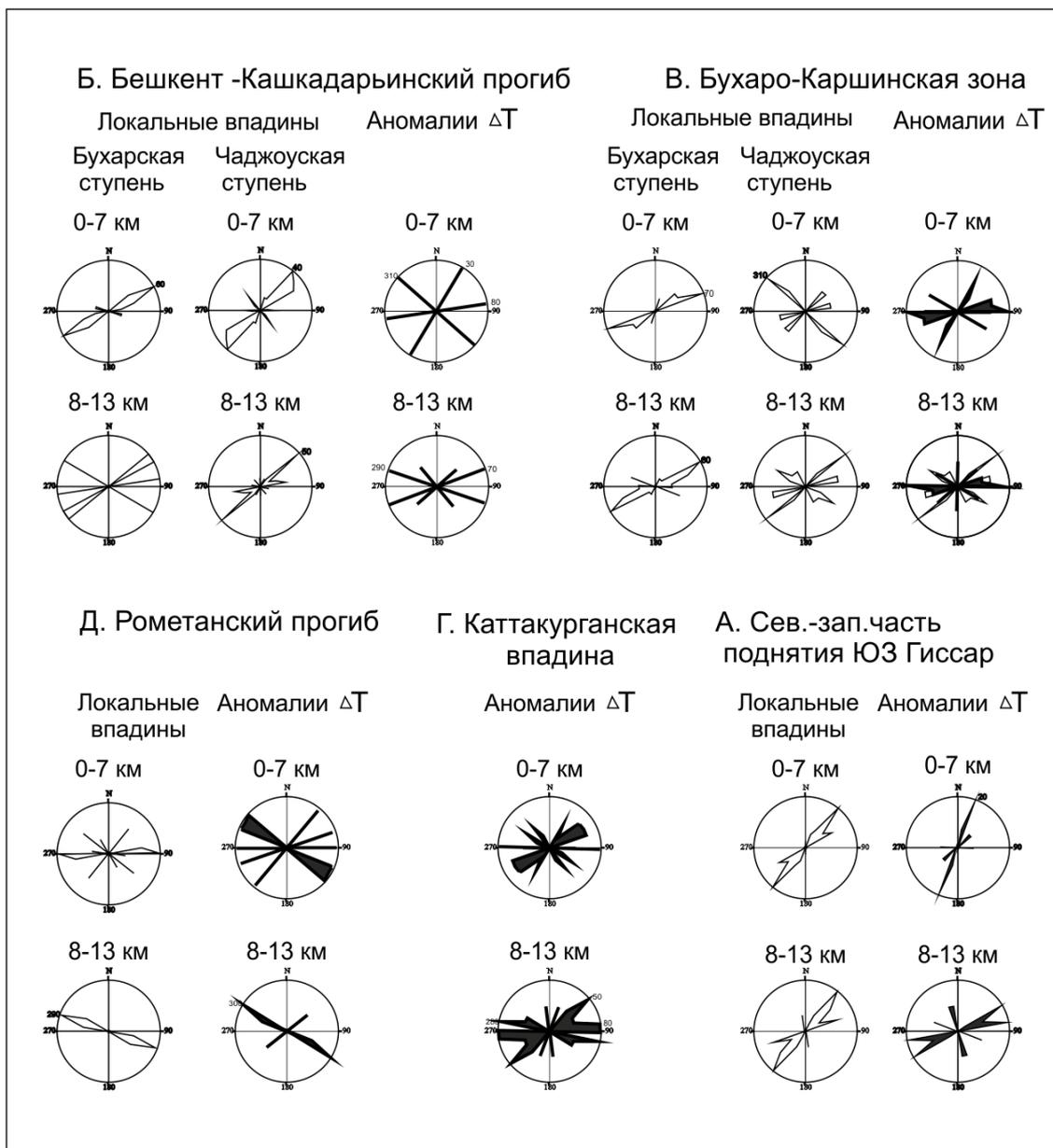


Рис. 2. Розы-диаграммы простираний локальных неотектонических структур и магнитных аномалий  $\Delta T$  различных интервалов длин в соответствующих структурно-тектонических зонах.

Относительно отдельных участков, расположенных на разных тектонических ступенях, можно отметить следующее. В Бешкент-Кашкадарьинской впадине (Б) ориентировка ЛНВП практически не меняется – и в Бухарской ступени, и в Чарджоуской ступени они имеют северо-восточную (юго-западную) ориентировку (рис.1, Б, диаграммы 1 и 2). В Бухаро-Каршинской зоне (В) наблюдается резкое отличие простирания ЛНВП в диаграммах,

относящихся к участкам в Бухарской и Чарджоуской ступенях (рис.1, В, диаграммы 1 и 2, соответственно). В первой сохраняется общий для региона характер простирания, а во второй обнаруживается, помимо северо-восточной (юго-западной), ещё и равнозначная северо-западная (юго-восточная) ориентировка ЛНВП.

Особую группу составили диаграммы, полученные по различным длинам изучаемых ЛНВП и МА  $\Delta T$  (рис. 2). На основе имеющейся возможности были изучены ориентировки по двум группам длин – до 7 км и от 8 до 13-15 км. Для изучения закономерности в ориентации объектов большей протяжённости не хватало статистики. По-видимому, для этого необходимо увеличить площадь исследования. Тем не менее, даже на этом материале видно, что длина структуры и аномалии может быть важным показателем происходящих процессов в земной коре. Известна, например, зависимость расположения разрывов от их длины [2], которая служит основанием выделения иерархии тектонодинамических систем [3]. Так, например, наблюдаются отчётливые изменения в ориентации ЛНВП Бухаро-Каршинской зоны, особенно, в Чарджоуской ступени. Оказалось, что наблюдаемое увеличение северо-западных простираний, отмеченных выше, более характерно для локальных структур, длина которых меньше 8 км (рис. 2, В, Чарджоуская ступень, диаграммы 0-7 и 8-13 км.). Изменение ориентировок ЛНВП при увеличении длины наблюдается в Рометанском прогибе (рис. 2). Ориентировка ЛНВП длин мене 8 км имеет широтное простирание, а у тех, что более 8 км – меняется на запад-северо-западное.

По МА  $\Delta T$  отчётливое изменение в ориентировке в зависимости от длины аномалии наблюдается в ЮЗ Гиссаре – короткие (до 7-8 км) имеют север-северо-восточное простирание, а более длинные (8-15 км) меняют ориентировку на восток-северо-восточное. Близкое к этому изменение отмечается в Каттакурганской впадине.

Таким образом, изучение простираний локальных неотектонических структур и магнитных аномалий  $\Delta T$  протяжённостью до 13-15 км позволило выявить некоторые особенности:

1. Общее простирание ЛНВП для региона имеет северо-восток - юго-западную ориентированность. В отдельных зонах – ЮЗ Гиссаре, Бешкент-Кашкадарьинской впадине, Бухаро-Каршинской зоне наблюдается стабильная северо-восточная (юго-западная) направленность. Существенные изменения в простираниях ЛНВП наблюдаются в Бухаро-Каршинской зоне под влиянием условий в Чарджоуской ступени.

2. В большинстве участков ориентировка неотектонических структур и магнитных аномалий проявляется с небольшим взаимным отклонением, при этом, если наблюдаются изменения в ЛНВП, они также проявляются и в МА  $\Delta T$ .

3. Заметно существенное влияние длины ЛНВП и МА  $\Delta T$  на характер их пространственной ориентации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Рыжков О.А., Давлятов Ш.Д., Екшибаров С.В. и др. Тектоническое строение и нефтегазоносность Западного и Южного Узбекистана // Вопросы геологии и нефтегазоносности Западного Узбекистана и Каракалпакии. Ташкент: Изд-во АН УзССР. 1962. С. 28-38.
2. Шерман С.И., Лобацкая Р.М. Методика изучения и опыт использования количественных параметров разломов при геологических исследованиях. Иркутск. 1981. 62 с.
3. Умурзаков Р.А. Отражение элементов современных и новейших полей напряжений в структуре и сейсмогенных проявлениях отдельных эпицентральных областей Западного Тянь-Шаня // Физика Земли. 2010. № 5. С. 15-23.

# ПЕРИОДИЧНОСТЬ В ВОЗНИКНОВЕНИИ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В РЕГИОНАХ С МАГНИТНЫМИ СИЛОВЫМИ ЛИНИЯМИ $L=2.0-2.2$

Тойшиев Н., Хачикян Г.Я.

e-mail: [toyshiev@yandex.ru](mailto:toyshiev@yandex.ru); [galina.khachikyan@gmail.com](mailto:galina.khachikyan@gmail.com)

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

**Введение.** Работа продолжает исследования [1], где были рассчитаны номера магнитных силовых линий ( $L$ ), погруженных в эпицентры более чем 160000 землетрясений с магнитудами  $M \geq 4.5$ , а затем получена статистика распределения числа землетрясений в зависимости от  $L$ . Было обнаружено, в частности, что в сейсмоактивных регионах, пронизанных геомагнитными силовыми линиями  $L=2.0-2.2$ , которые заселены аномальными космическими лучами (АКЛ), сильные землетрясения ( $M \geq 7.0$ ) возникают только на фазе спада солнечной активности в 11-летнем солнечном цикле, но не возникают на фазе подъема. Обнаруженный в работе [1] эффект может претендовать на роль одного из информативных предвестников сильных землетрясений в регионах с  $L=2.0-2.2$ , но для разработки статистически обоснованного метода прогноза требуется накопление экспериментальных данных. Исследования [1] были выполнены по данным за 1973-2009 гг., а в настоящей работе временной интервал продлен до 2014 г. включительно.

**Данные и метод.** Используются данные глобального сейсмологического каталога, сформированного Национальным центром информации о землетрясениях (NEIC) Национальной геологической службы США, доступные на сайте: <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search>. Для анализа выбраны землетрясения с магнитудой  $M \geq 7.0$ . Расчет магнитных силовых линий, погруженных в эпицентры землетрясений, проведен по программе, реализованной в работе [1] с использованием компьютерных кодов GEORACK-2008 [2]. Также в работе использованы данные о среднемесячных числах солнечных пятен (числа Вольфа) за период с 1973 по 2014 гг., доступные на сайте: <http://www.ngdc.noaa.gov/stp/SOLAR/ftpsunspotnumber>.

**Результаты.** В таблице приведены данные о землетрясениях с магнитудой  $M \geq 7.0$ , произошедших в 1973-2014 гг. в регионах планеты, пронизанных геомагнитными силовыми линиями  $L=2.0-2.2$ . Номер магнитной силовой линии в эпицентре землетрясения указан в последней колонке таблицы 1.

Таблица 1.

№	Дата (день, месяц, год, время на гринвичском меридиане)	Географическая широта (градус)	Географическая долгота (градус)	Глубина (км)	Магнитуда	Номер магнитной силовой линии
1	02.02.1975 8,72	53.11	173.5	10	7.6	2.16
2	08.11.1980 10,46	41.12	-124.25	19	7.2	2.12
3	30.01.1981 8,82	51.74	176.27	33	7.1	2.08
4	11.07.1983 12,94	-60.89	-53.02	10	7.0	2.07
5	07.05.1986 22,79	51.52	-174.78	33	8.0	2.15
6	06.11.1990 20,24	53.45	169.87	24	7.1	2.19
7	17.08.1991 22,29	41.82	-125.4	13	7.1	2.15
8	27.12.1991 4,09	-56.03	-25.27	10	7.2	2.19
9	25.04.1992 18,1	40.37	-124.32	15	7.2	2.05
10	13.11.1993 1,3	51.93	158.65	34	7.0	2.03
11	01.09.1994 15,26	40.40	-125.68	10	7.1	2.03
12	27.05.1995 13,06	52.63	142.83	11	7.1	2.09
13	10.06.1996 4,06	51.56	-177.63	33	7.9	2.14
14	10.06.1996 15,41	51.48	-176.95	26	7.3	2.14
15	17.03.2003 16,6	51.27	177.98	33	7.1	2.08
16	27.09.2003 11,55	50.04	87.81	16	7.3	2.06

17	17.11.2003	6,72	51.15	178.65	33	7.8	2.08
18	15.06.2005	2,84	41.29	-125.95	16	7.2	2.08
19	19.12.2007	9,5	51.36	-179.51	34	7.2	2.11
20	05.07.2008	2,2	53.88	152.89	632	7.7	2.20
21	30.08.2013	16.42	51.54	-175.23	29	7.0	2,2
22	23.06.2014	20.88	51.85	178.73	109	7.9	2.17

На рисунке 1 красными кругами показаны эпицентры 22-х сильных землетрясений (таблица 1), а желтые кривые (в северном и южном полушариях) маркируют координаты погружения в земную кору геомагнитных силовых линий с  $L=2.0$  по данным сайта: <http://en.wikipedia.org/wiki/L-shell>.

Периодичность возникновения изучаемых землетрясений в связи с вариациями солнечной активности продемонстрирована на рисунке 2, где вертикальные стрелки маркируют даты землетрясений, черная кривая показывает вариации среднемесячного числа солнечных пятен, а заштрихованные вертикальные прямоугольники выделяют периоды сейсмической активизации. Отличие рисунка 2 от аналогичного рисунка в работе [1] заключается в том, что информация на этом рисунке продлена до 2014 г., а в работе [1] она ограничена 2010 годом. Из рисунка 2 видно, что в текущем 24-ом солнечном цикле модель распределения землетрясений внутри цикла аналогична модели для предыдущих циклов. А именно: сильные землетрясения не происходили на ветви подъема 24-го солнечного цикла, так же, как они не происходили на ветвях подъема предыдущих солнечных циклов (21, 22, и 23-го), но произошли в 2013 и 2014 гг. после того, как 24 цикл достиг своего первого максимума в феврале 2012 г. (<http://solarscience.msfc.nasa.gov/predict.shtml>) - максимум 24-го цикла ожидается «двугорбым», как и в двух предыдущих циклах.

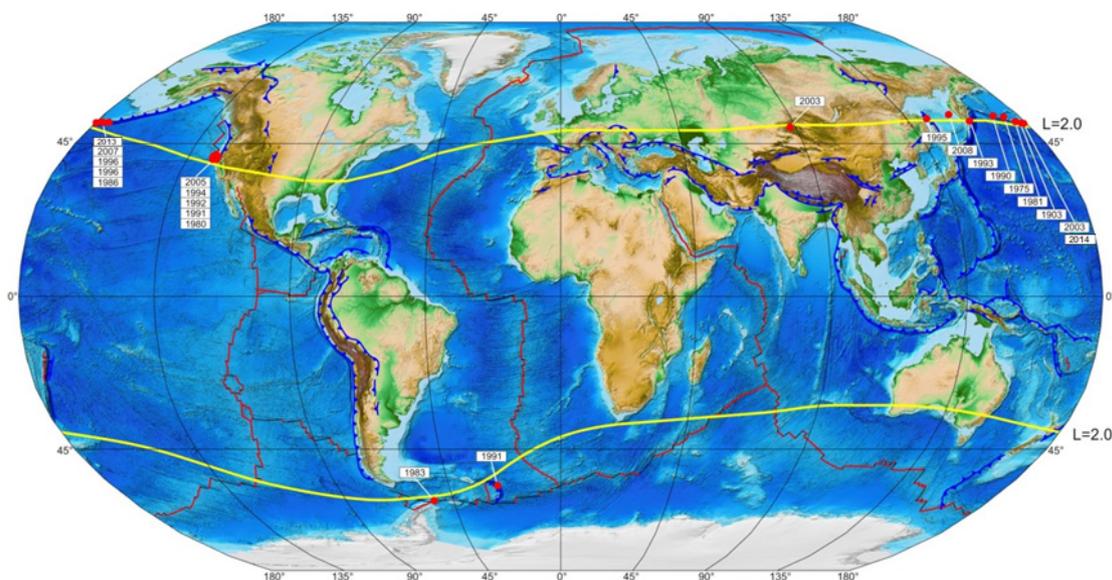


Рис. 1. Красные круги – эпицентры 22-х землетрясений с  $M \geq 7.0$  в районах с геомагнитными силовыми линиями  $L = 2.0-2.2$ ; желтые кривые маркируют координаты погружения в земную кору силовых линий с  $L=2.0$ .

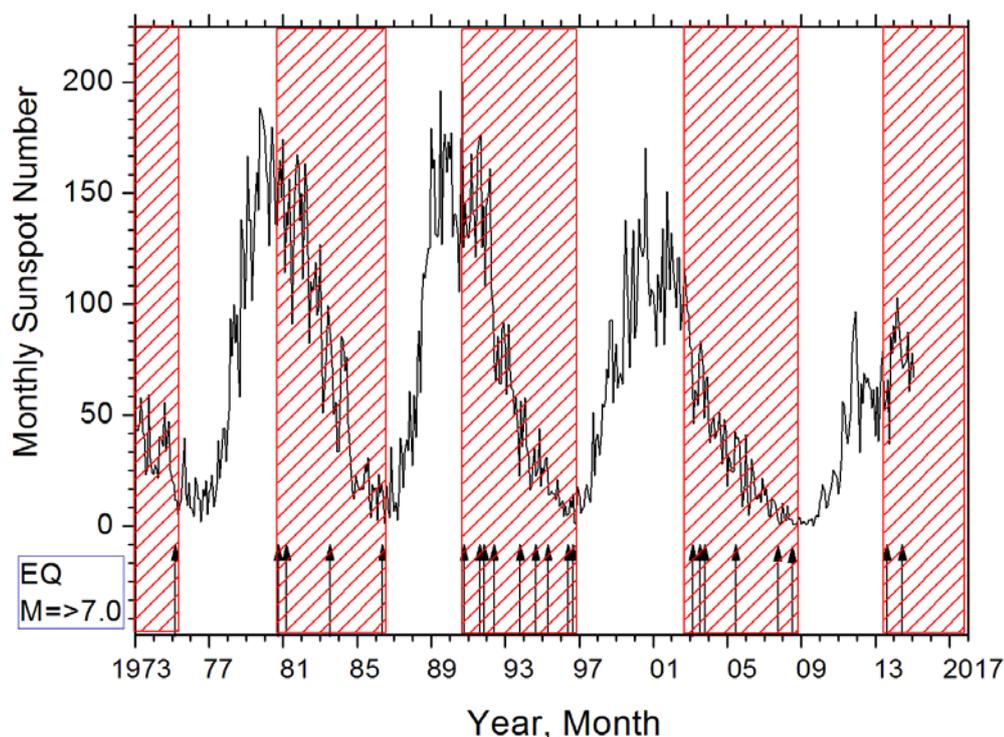


Рис. 2. Вариации среднемесячного числа солнечных пятен с 1973 по 2014 г. (черная кривая) и даты сильных землетрясений ( $M \geq 7.0$ ), произошедших в сейсмоактивных регионах, пронизанных геомагнитными силовыми линиями с  $L=2.0-2.2$  (черные стрелки).

**Обсуждение результатов.** В эксперименте «МАРИЯ», реализованном в 1985 году на космической орбитальной станции «Салют-7», были зарегистрированы «всплески» - высыпания высокоэнергичных заряженных частиц из радиационного пояса Земли при пересечении спутником магнитной силовой трубки, погруженной в очаг землетрясения [3, 4]. В дальнейшем аналогичные результаты были получены на орбитальной станции "Мир", ИСЗ "Интеркосмос-Болгария-1300", "Метеор - 3", «OREOL-3», «SAMPEX», гамма-телескопе "Гамма-1" [5-9]. Было установлено, что землетрясение и всплеск частиц расположены на одной дрейфовой оболочке  $L$ , и что всплески появляются за 2-4 часа до предстоящего землетрясения [10, 11]. Было предположено, что локальное возмущение радиационного пояса обусловлено электромагнитным излучением, образующимся в земной коре в период подготовки землетрясения и распространяющимся через атмосферу и ионосферу в магнитосферу [10].

Практически в те же годы было обнаружено, что эффекты землетрясений появляются не только в характеристиках радиационного пояса, но и в электромагнитном шуме ионосферы в трех частотных диапазонах: УНЧ - ультранизкие частоты (3 Гц- 30 Гц), КНЧ – крайне низкие частоты (30 Гц – 3 кГц) и ОНЧ - очень низкие частоты (3 кГц- 30 кГц). Факт регистрации в ионосфере перед землетрясением достаточно широкого частотного спектра электромагнитного шума (от 3 Гц до 30 кГц) не согласуется с результатами расчетов, показывающими, что из возможно широкого спектра электромагнитного излучения, генерируемого в зоне очага землетрясения, только его ультранизкочастотная часть (от 3 Гц до 30 Гц) может распространиться из очага до земной поверхности с небольшим ослаблением интенсивности. Такое несоответствие навело на мысль, что регистрируемые на космических аппаратах эффекты перед землетрясением не есть результат непосредственного выхода электромагнитных излучений из литосферы, а скорее результат того, что процесс подготовки землетрясения может являться составной частью (элементом, звеном) более общего процесса, в котором одновременно задействованы литосфера-атмосфера-ионосфера-магнитосфера. Была высказана идея [12], что землетрясение является элементом глобальной электрической цепи (ГЭЦ) – вертикального токового контура, электродинамически связывающего все геосферы.

Предположительно, токи ГЭЦ могут быть триггером землетрясения, если напряжение в геологической среде достигло критического уровня, близкого к порогу разрушения.

Очевидно, что возникновение тока в конкретном витке ГЭЦ зависит от электрической проводимости вдоль витка, что проблематично на высотах тропосферы, стратосферы. Основным источником ионизации воздуха на этих высотах являются космические лучи. Интересно, что один из видов космических лучей- аномальные космические лучи (АКЛ)- захватываются геомагнитным полем и заселяют в радиационном поясе Земли геомагнитную оболочку с номером  $L \approx 2.0$  (рис. 3).

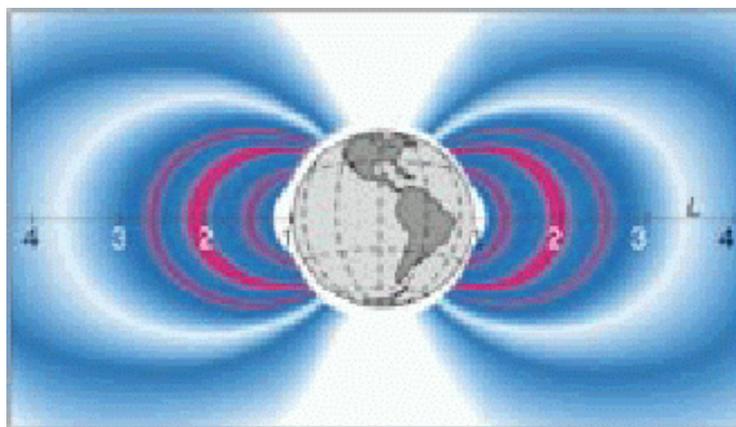


Рис. 3. Меридиональное сечение радиационного пояса Земли, где оболочки  $L = 1-3$  - внутренняя часть, заселенная протонами;  $L = 3,5 -7$  - внешняя часть, заселенная электронами, а  $L \approx 2.0$  – пояс аномальной компоненты космических лучей [15].

Можно предположить, что при высыпании АКЛ из радиационного пояса в атмосферу, будет возрастать ионизация воздуха в окрестности  $L \sim 2.0$  и повышаться эффективность функционирования витков ГЭЦ, приуроченных к этой линии, что может повысить вероятность возникновения в этом районе землетрясения за счет триггерного воздействия токов ГЭЦ. Очевидно, чем больше интенсивность АКЛ, тем большим может быть эффект в сейсмичности. Как отмечено в [16], АКЛ подвергаются более значительной модуляции в 11-летних солнечных циклах, чем галактические космические лучи. Это наводит на мысль, что солнечная модуляция сейсмичности может быть ярко выражена в регионах с  $L \sim 2.0$ , что и подтверждают результаты данной работы.

**Вывод.** В сейсмоактивных регионах планеты, пронизанных геомагнитными силовыми линиями с  $L=2.0-2.2$ , которые в области радиационного пояса Земли заселены аномальной компонентой космических лучей, периодичность возникновения землетрясений с  $M \geq 7.0$  модулируется 11-летними вариациями солнечной активности: землетрясения возникают на ветви спада солнечного цикла, но отсутствуют на ветви подъема. Этот результат может быть использован для долго- и среднесрочного прогноза сильных землетрясений в регионах с  $L=2.0-2.2$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Khachikjan G., Inchin A., Zhakupov N., Kadyrkhanova N., Kaliyeva L. Occurrence of strong earthquakes in regions with geomagnetic shell  $L \sim 2.0$ : relation to 11 year solar cycle. Proceedings of the 7-th Kazakhstan-Chinese International Symposium "Earthquake Prediction Seismic Hazard and Seismic Risk Assessment in Central Asia". 2010. June. Almaty, Kazakhstan, P. 358-363.
2. Tsyganenko N.A., Geopack: A Set of Fortran Subroutines for Computations of the Geomagnetic Field in the Earth's Magnetosphere. 2008. <http://geo.phys.spbu.ru/~tsyganenko/Geopack-2008.html>

3. Voronov S.A., Galper A.M., Kirillov-Ugrumov V.G. et al. Registration of sporadic increase of high energy particle flux near Brasilia magnetic anomaly region. Proc. 20-th Int. Cos. Ray Conf., 1987. V. 4. P. 451-452.
4. Воронов С.А., Гальпер А.М., Кириллов-Угрюмов В.Г. и др. Регистрация возрастания потоков высокоэнергичных частиц в районе БМА 10 сентября 1985 года // Космические исследования. 1989. Т. 27. № 4. С. 629-631.
5. Гальпер А.М., Дмитренко В.В., Никитина Н.В. и др. Взаимосвязь потоков высокоэнергичных заряженных частиц в радиационном поясе с сейсмичностью Земли // Космические исследования. 1989. Т. 27. № 5. С. 789-792.
6. Воронов С.А., Гальпер А.М., Колдашов С.В. и др. Возрастания потоков заряженных частиц высоких энергий в области БМА и сейсмичность Земли // Космические исследования. 1990. Т. 28. № 5. С. 789-791.
7. Алешина М.Е., Воронов С.А., Гальпер А.М. и др. О взаимосвязи положений очагов землетрясений и областей высыпаний высокоэнергичных частиц под радиационным поясом // Космические исследования. 1992. Т. 30. С. 79.
8. Galper A.M., Koldashov S.V., Voronov S.A. High Energy Particle Flux Variations as Earthquake predictors. Advance Space Research. 1995. V. 15. P. 131.
9. Fraser-Smith A.S, Bernard A., McGill P.R. Low-frequency magnetic field measurement near the epicenter of the Ms 7.1 Loma Prieto earthquake. Geophys. Res. Lett. 1990. V. 17. № 9. P. 1465-1468.
10. Molchanov O.A., O.A. Mahjaeva. Statistic features of ULF and VLF electromagnetic emissions in upper ionosphere and magnetosphere above centers of earthquakes. Cosmic Research. 1994. V. 32. N. 4-5. P. 150.
11. Galper A.M., S.V. Koldashov, L.V. Maslennikov, A.M. Murashov, N.I. Shvetz, S.A. Voronov. High-energy charged particle waves on the low boundary of the radiation belt. Proc. 25-th Int. Cos. Ray Conf. 1997. V. 2. P. 349.
12. Pulinets S.A. Physical mechanism of the vertical electric field generation over active tectonic faults // Advances in Space Research. 2009. V. 44. P. 767-773.
13. Harrison, R. G., Aplin, K. and 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.
14. Neřmec F., O. Santolik, and M. Parrot. Decrease of intensity of ELF/VLF waves observed in the upper ionosphere close to earthquakes: A statistical study // J. geophys. Res. 2009. 114. A04303. doi:10.1029/2008JA0113972.
15. Galper M.A. Earth radiation belt. Soros Educational Journal, 1999. #6. [www.eduhmao.ru/var/db/files/3456.9906\\_075.pdf](http://www.eduhmao.ru/var/db/files/3456.9906_075.pdf).
16. Панасюк М.И. Аномальная компонента космических лучей. [http://www.kosmofizika.ru/open/modkos\\_files/pmi.htm](http://www.kosmofizika.ru/open/modkos_files/pmi.htm).

## **ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ GPS–ИЗМЕРЕНИЙ НА ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ GAMIT/GLOBK**

Тургумбаев А.А.

тел.: +7 7001578537; e-mail: [aturgumbaev@inbox.ru](mailto:aturgumbaev@inbox.ru)

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

**Введение.** Преимуществом спутниковой геодезии считается возможность проводить непрерывные исследования в различных погодных и временных критериях без ограничений

площади одновременно изучаемой территории. Данное обстоятельство позволяет измерять относительные перемещения от самых малых участков поверхности Земли до континентов.

В данной работе использованы спутниковые измерения координат наземных станций на базе навигационной системы глобального позиционирования GPS (Global Positioning System) и методы космической геодезии для обработки спутниковых данных.

Методика обработки спутниковых данных связана с многократным приемом сигналов навигационной системы GPS на пунктах сети с постобработкой и предварительной обработкой специализированным программным комплексом GAMIT/GLOBK.

Исходные файлы базы данных:

- Rinx (Receiver Independent Exchange Format) – формат обмена данными для файлов исходных данных спутниковых навигационных приёмников. Загружаются с локальных станции или с внешних источников-архивов SOPAC или CCDIS [8];
- The navigation (“Broadcast Ephemeris”) files. Содержит файлы точных эфемерид спутников. Загружаются с внешних источников-архивов SOPAC или CCDIS;
- Sp3 (Special Product 3) – формат, разработанный Национальной геодезической службой США, содержит файлы навигационного сообщения для заданного дня. Загружаются с внешних источников-архивов SOPAC, BKG, CCDIS, IGN [9-10].

Обработка данных осуществляется в три этапа. На первом этапе информация по каждому дню обрабатывалась отдельно. Данные по всем пунктам, измеренным в определенные сутки, собирались вместе и обсчитывались с помощью программ пакета GAMIT.

На втором этапе суточные данные с оценками координат пунктов наблюдений, параметрами спутниковых орбит и земного вращения из каждой кампании объединялись в одно решение с помощью программ пакета GLOBK.

Третий этап состоял (также пакет GLOBK) в получении единого скоростного решения за несколько лет. При выполнении вычислений априорные значения координат и скоростей пунктов, земного вращения и спутниковых орбит образуют единый интегральный набор, который должен быть внутренне согласован. Наложение ограничений на эти параметры позволяет определить систему отсчета, относительно которой вычисляются координаты и скорости пунктов. Для этого используется специальная процедура, имеющаяся в пакете GLOBK и называемая стабилизацией системы отсчета (программа glorg). Стабилизация позволяет задавать систему отсчета путем минимизации разностей между координатами и скоростями, полученными в результате решения, и их априорными значениями для набора хорошо определенных станций. Итерационный алгоритм стабилизации автоматически исключает пункты, для которых отклонения большие, поэтому он позволяет достаточно надежно определять стабильную систему отсчета.

**Данные.** Исследуемый регион показан в прямоугольнике и включает 37 GPS-станций, измерения на которых использованы для вычисления скорости современных движений земной поверхности сейсмоактивных регионов Казахстана (рис. 1).

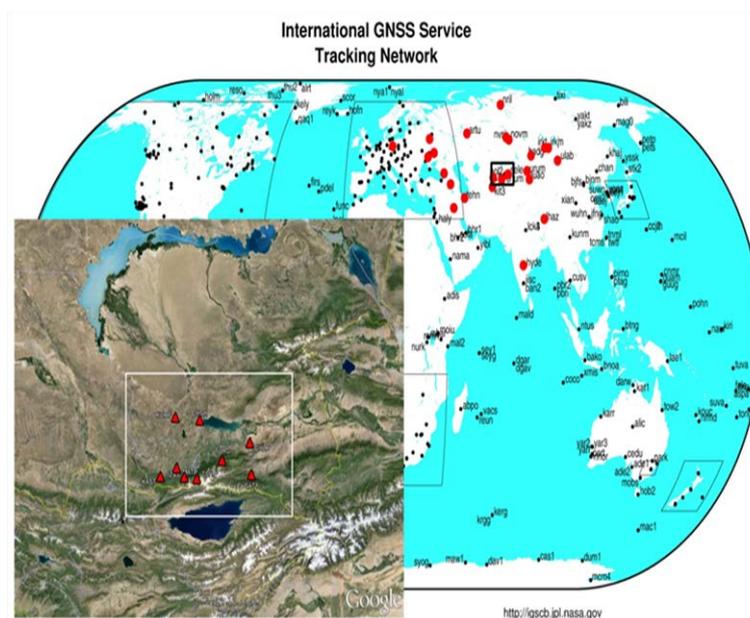


Рис. 1. GPS-станции глобальной сети IGS. GPS-станции глобальной сети IGS – красные кружки.

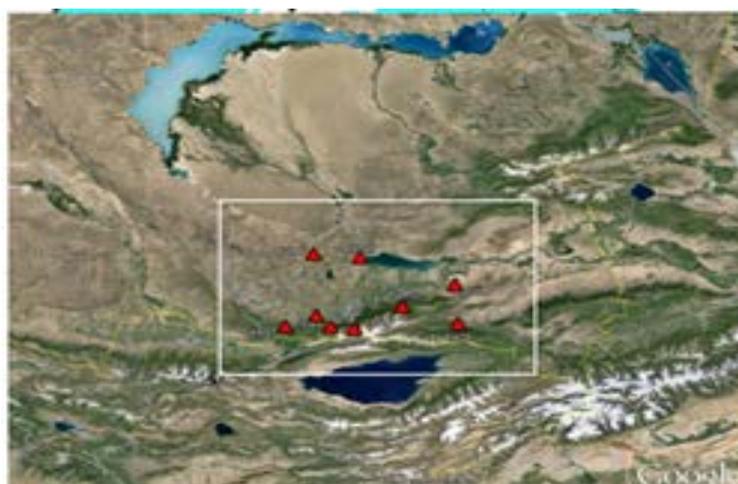


Рис. 2. GPS-станции локальной сети. GPS-станции локальной сети Института ионосферы – красные треугольники.

Начиная с 2005 года в предгорьях хребта Заилийского Алатау, Северного Тянь-Шаня развернута локальная сеть непрерывно действующих станций приема GPS-сигналов, состоящая из десяти пунктов.

**Построение первичных временных рядов изменения позиций GPS-пунктов с суточной дискретностью.** Согласно с мировой практикой исследований геодинамических движений значительных по площади участков земной поверхности были использованы две технологии выбора региональной системы отсчета.

Первая – вычисления производились в геоцентрической системе координат с использованием параметров математического эллипсоида WGS-84, центр которого совпадает с центром тяжести Земли.

Второй подход состоял в выборе в качестве системы отсчета стабильной части Евразийского континента. Для этого в пределах недеформируемого региона выбраны опорные IGS-станции с наиболее длинной историей, наименьшими погрешностями, распределенные по всему континенту и охватывающие регион исследований.

Первичные временные ряды компонент смещений в мм по направлениям юг-север (SN), запад-восток (WE), низ-верх (UP) для локальной станций за 2013 г. в соответствующих координатных системах представлены на рисунке 3.

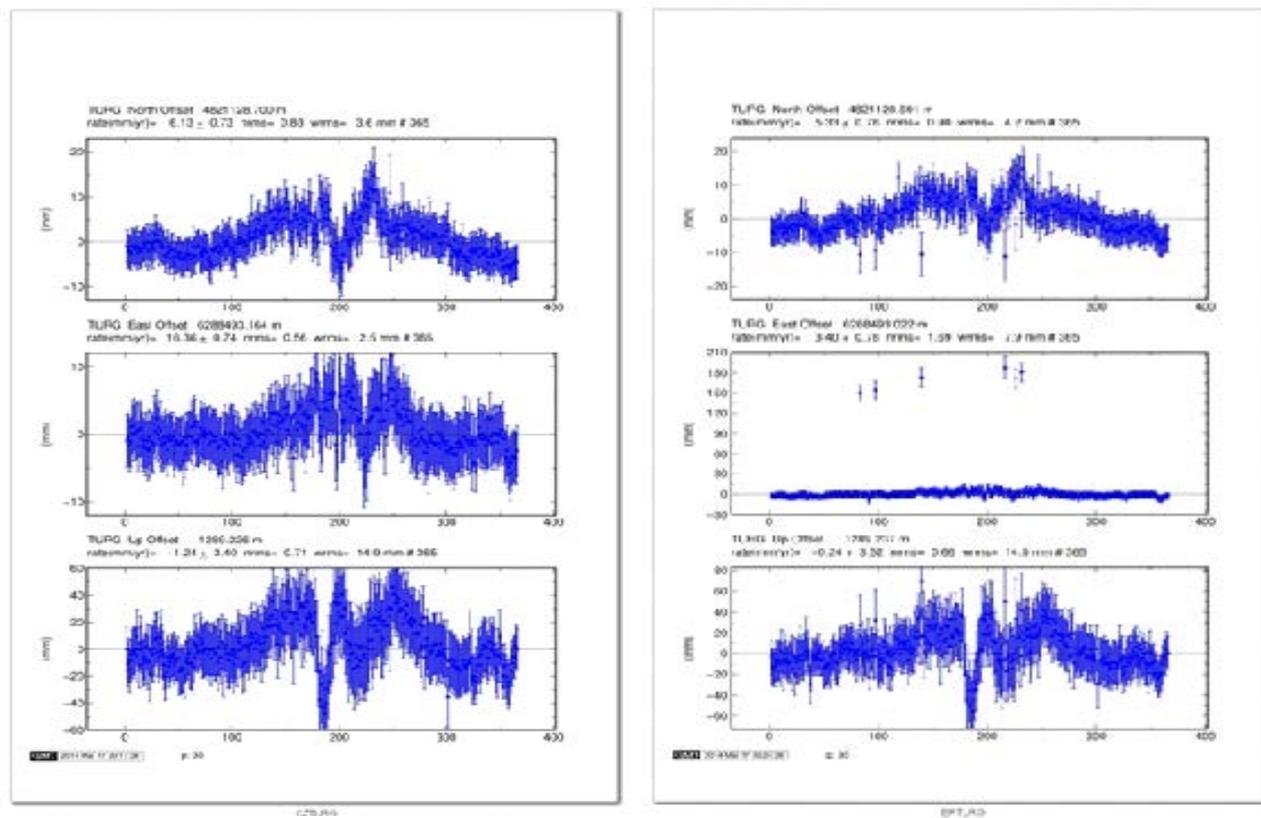


Рис. 3. Временные ряды компонент – SN-, WE-, UP-смещений пункта локальной GPS-сети относительно центра Земли (слева) и Евразийского континента (справа) за 2013 год.

По оси абсцисс представлены значения дней года. По ординате – среднее значение смещения за сутки в мм. Над графиками показаны значения среднего смещения за год, ± ошибка, нормальная средняя квадратическая ошибка и взвешенная средняя квадратическая ошибка.

Электронный каталог первичной обработки GPS-данных для глобальных и локальных станций за период 2013 г. также составлен в двух системах отсчета и представлен в таблицах 1 и 2. Результаты вычислений горизонтальных и вертикальных скоростей современных движений пунктов даны с указанием точности их определения.

Таблица 1. Каталог первичных данных о скоростях современных движений GPS-пунктов за 2013 г. относительно центра Земли

SUMMARY VELOCITY ESTIMATES FROM GLOBK Ver 5.20I										
Long. (deg)	Lat. (deg)	E & N Rate (mm/yr)		E & N Adj. (mm/yr)		E & N +- RHO (mm/yr)		H Rate	H adj.	+ - SITE
120.98739	24.79798	22.65	-5.26	-7.19	4.72	3.12	3.75 0.584	14.72	15.08	4.52TCMS_GPS
107.05233	47.86507	30.93	-8.60	2.89	-0.12	1.43	2.50 -0.037	1.30	0.33	3.20 ULAB_GPS
104.31624	52.21902	21.42	-10.81	-3.72	-4.07	1.51	2.34 -0.250	-1.09	-1.53	3.25 IRKT_GPS
104.31619	52.21902	21.98	-7.92	-3.17	-1.18	1.50	2.33 -0.253	1.55	1.11	3.19 IRKJ_GPS

102.23499	51.76970	24.47	-6.54	24.47	-6.54	1.48	2.23 -0.253	0.72	0.72	3.08 BADG_GPS
91.10403	29.65733	44.16	18.06	-2.20	2.71	1.88	1.75 0.418	11.90	10.47	2.83 LHAZ_GPS
88.35979	69.36183	24.15	-2.29	2.11	-0.31	2.63	1.85 -0.339	-8.19	-9.84	4.06 NRIL_GPS
87.60067	43.80795	35.32	13.90	4.60	6.70	1.27	1.56 0.001	5.84	2.92	2.06 URUM_GPS
87.17731	43.47111	31.48	5.57	-0.33	-0.04	1.24	1.51 0.012	1.22	-0.42	1.91 GUAO_GPS
83.23545	54.84061	30.35	7.10	3.31	8.15	1.65	1.50 -0.217	-4.77	-6.22	2.77 NVSK_GPS
82.90949	55.03050	24.34	-0.89	24.34	-0.89	1.67	1.49 -0.205	2.02	2.02	2.66 NOVM_GPS
78.55087	17.41726	49.16	39.57	8.29	4.63	2.73	1.65 0.081	-7.08	-4.30	3.98 HYDE_GPS
78.40838	43.05680	29.37	4.66	29.37	4.66	1.23	1.31 -0.001	2.56	2.56	1.82 SATY_GPS
78.37319	43.52911	31.22	4.08	31.22	4.08	1.35	1.45 -0.008	7.96	7.96	2.72 CHLK_GPS
77.63341	43.30894	28.84	5.81	28.84	5.81	1.43	1.47 -0.035	1.36	1.36	3.47 TURG_GPS
77.57038	13.02117	49.39	40.70	7.55	5.19	3.10	1.82 0.030	1.23	0.51	4.56 IISC_GPS
77.01690	43.17873	27.79	3.74	-0.19	-0.09	0.10	0.10 0.007	0.71	-0.01	0.02 SELE_GPS*
76.99760	43.85394	28.41	1.04	28.41	1.04	1.21	1.26 -0.011	5.52	5.52	1.53 CHSH_GPS
76.94381	43.04197	27.11	7.24	27.11	7.24	1.23	1.29 -0.007	0.36	0.36	1.68 TSHN_GPS
76.61011	43.03757	30.82	3.24	30.82	3.24	1.33	1.39 0.006	2.03	2.03	2.54 IZVS_GPS
76.42687	43.12999	29.07	3.37	29.07	3.37	1.25	1.31 0.002	4.34	4.34	2.02 MATB_GPS
76.33846	43.89349	26.87	-0.47	26.87	-0.47	1.25	1.30 0.004	5.74	5.74	1.93 KURY_GPS
75.96739	43.04487	27.45	3.13	27.45	3.13	1.32	1.43 -0.013	-0.53	-0.53	2.86 KAST_GPS
74.75110	42.99850	26.87	4.49	-0.09	1.80	0.83	0.83 -0.003	1.05	-0.34	0.17CHUM_GPS*
74.69427	42.67977	28.10	3.41	0.35	-1.52	0.71	0.72 -0.005	2.03	0.32	0.17 POL2_GPS*
73.99711	44.20813	32.61	-12.62	32.61	-12.62	1.24	1.29 -0.003	12.53	12.53	1.78 SUMK_GPS
73.94351	41.38494	29.69	11.65	29.69	11.65	1.35	1.40 -0.007	-5.51	-5.51	2.00 KAZA_GPS
72.21045	42.44547	28.77	3.74	28.77	3.74	1.23	1.29 -0.013	2.09	2.09	1.75 TALA_GPS
69.29557	41.32805	24.59	3.07	-2.59	-1.18	1.24	1.31 -0.044	6.51	6.92	1.70 TASH_GPS
66.88545	39.13477	33.59	4.89	5.69	-0.66	1.33	1.42 -0.102	-5.52	-4.31	2.21 KIT3_GPS
58.56046	56.42982	23.36	6.32	-1.65	0.10	1.68	1.69 0.356	-8.06	-8.95	2.58 ARTU_GPS
51.33410	35.69728	29.40	17.57	3.20	-1.94	1.60	2.01 -0.389	-5.19	-7.37	2.78 TEHN_GPS
44.43840	33.34142	27.71	22.91	27.71	22.91	1.92	2.41 -0.473	-6.86	-6.86	3.41 ISBA_GPS
41.56507	43.78839	26.67	7.85	1.19	-3.71	1.48	2.51 -0.205	-10.34	-11.60	2.97 ZECK_GPS
36.23901	50.00510	21.69	9.07	-1.80	-2.64	1.53	2.80 0.006	-11.37	-10.54	3.29 KHAR_GPS
34.54293	49.60261	17.25	17.06	-5.18	4.51	1.58	2.90 -0.037	106.26	106.39	3.42 POLV_GPS
33.99099	44.41326	25.38	7.17	1.44	-4.86	1.67	2.94 -0.263	-15.11	-15.46	3.41 CRAO_GPS
13.06609	52.37930	10.60	8.65	-8.53	-6.57	2.23	4.04 -0.222	-13.15	-12.88	4.53 POTS_GPS

Таблица 2. Каталог первичных данных о скоростях современных движений GPS-пунктов за 2013 г. относительно Евразийского континента

SUMMARY VELOCITY ESTIMATES FROM GLOBK Ver 5.20I										
Long.	Lat.	E & N Rate		E & N Adj.		E & N +- RHO		H	H adj.	+- SITE
(deg)	(deg)	(mm/yr)		(mm/yr)		(mm/yr)		Rate		
120.98739	24.79799	-4.02	2.75	-6.96	2.19	3.12	3.75 0.584	14.21	14.56	4.52 TCMS_GPS
107.05233	47.86507	5.50	-2.93	4.47	-1.58	1.43	2.50 -0.037	0.40	-0.57	3.20 ULAB_GPS
104.31624	52.21902	-3.41	-5.65	-1.95	-5.33	1.51	2.34 -0.250	-2.07	-2.51	3.25 IRKT_GPS
104.31618	52.21902	-2.86	-2.76	-1.40	-2.44	1.50	2.33 -0.253	0.56	0.13	3.19 IRKJ_GPS
102.23498	51.76971	-0.31	-1.93	-0.31	-1.93	1.48	2.23 -0.253	-0.21	-0.21	3.08BADG_GPS
91.10403	29.65733	16.23	20.05	-1.43	1.94	1.88	1.75 0.418	12.07	10.64	2.83 LHAZ_GPS
88.35978	69.36183	2.62	-0.50	4.33	-0.48	2.63	1.85 -0.339	-9.52	-11.16	4.06 NRIL_GPS
87.60067	43.80795	8.28	15.09	6.07	6.14	1.27	1.56 0.001	5.50	2.59	2.06URUM_GPS
87.17731	43.47111	4.39	6.66	1.13	-0.58	1.24	1.51 0.012	0.91	-0.73	1.91GUAO_GPS
83.23545	54.84061	5.02	7.35	5.18	7.91	1.65	1.50 -0.217	-5.47	-6.92	2.77 NVSK_GPS
82.90949	55.03050	-0.61	-0.72	-0.61	-0.72	1.67	1.49 -0.205	1.31	1.31	2.66NOVM_GPS
78.55087	17.41726	21.80	38.74	8.51	4.67	2.73	1.65 0.081	-6.12	-3.34	3.98 HYDE_GPS
78.40838	43.05680	2.52	3.63	2.52	3.63	1.23	1.31 -0.001	2.43	2.43	1.82 SATY_GPS
78.37318	43.52911	4.52	3.05	4.52	3.05	1.35	1.45 -0.008	7.81	7.81	2.72CHLK_GPS
77.63341	43.30894	2.17	4.59	2.17	4.59	1.43	1.47 -0.035	1.54	1.54	3.47 TURG_GPS
77.57038	13.02117	22.55	39.72	7.53	5.37	3.10	1.82 0.030	2.38	1.66	4.56 IISC_GPS
77.01690	43.17873	-0.81	2.42	-0.19	-0.10	0.10	0.10 0.007	0.71	-0.01	0.02SELE_GPS*
76.99759	43.85393	1.64	-0.32	1.64	-0.32	1.21	1.26 -0.011	5.37	5.37	1.53 CHSH_GPS
76.94381	43.04197	0.26	5.86	0.26	5.86	1.23	1.29 -0.007	0.24	0.24	1.68 TSHN_GPS
76.61011	43.03757	4.06	1.80	4.06	1.80	1.33	1.39 0.006	1.88	1.88	2.54 IZVS_GPS
76.42687	43.12999	2.27	1.87	2.27	1.87	1.25	1.31 0.002	4.25	4.25	2.02MATB_GPS
76.33846	43.89349	0.15	-1.99	0.15	-1.99	1.25	1.30 0.004	5.57	5.57	1.93KURY_GPS
75.96739	43.04487	0.70	1.52	0.70	1.52	1.32	1.43 -0.013	-0.65	-0.65	2.86 KAST_GPS
74.75110	42.99850	-1.75	2.55	-0.14	1.83	0.83	0.83 -0.003	1.05	-0.34	0.17CHUM_GPS
74.69427	42.67977	-0.45	1.42	0.40	-1.53	0.71	0.72 -0.005	2.03	0.32	0.17POL2_GPS*
73.99711	44.20813	5.96	-14.70	5.96	-14.70	1.24	1.29 -0.003	12.42	12.42	1.78SUMK_GPS
73.94351	41.38494	2.83	9.56	2.83	9.56	1.35	1.40 -0.007	-5.50	-5.50	2.00 KAZA_GPS
72.21045	42.44547	1.97	1.22	1.97	1.22	1.23	1.29 -0.013	2.09	2.09	1.75 TALA_GPS
69.29557	41.32805	-2.56	-0.18	-1.23	-0.91	1.24	1.31 -0.044	6.59	7.01	1.70 TASH_GPS
66.88545	39.13477	6.35	1.06	6.96	-0.28	1.33	1.42 -0.102	-5.30	-4.10	2.21 KIT3_GPS
58.56046	56.42982	-0.83	0.58	-0.02	0.83	1.68	1.69 0.356	-8.58	-9.47	2.58 ARTU_GPS
51.33409	35.69728	2.92	10.18	4.33	-0.98	1.60	2.01 -0.389	-4.64	-6.81	2.78 TEHN_GPS
44.43840	33.34142	2.03	14.20	2.03	14.20	1.92	2.41 -0.473	-6.15	-6.15	3.41 ISBA_GPS
41.56507	43.78839	1.95	-1.64	2.38	-2.55	1.48	2.51 -0.205	-10.14	-11.40	2.97 ZECK_GPS

36.23901	50.00510	-1.33	-1.44	-0.65	-1.38	1.53	2.80 0.006	-11.48	-10.65	3.29KHAR_GPS
34.54293	49.60261	-5.61	6.23	-4.05	5.80	1.58	2.90 -0.037	106.17	106.30	3.42 POLV_GPS
33.99098	44.41326	1.70	-3.75	2.53	-3.55	1.67	2.94 -0.263	-14.93	-15.28	3.41 CRAO_GPS
13.06609	52.37930	-8.09	-5.29	-7.91	-5.09	2.23	4.04 -0.222	-13.48	-13.20	4.53 POTS_GPS

Наименование столбцов (слева направо): 1) долгота (в десятых долях градуса); 2) широта (в десятых долях градуса); 3) восточная компонента скорости  $V_x$  (в мм/год); 4) северная компонента скорости  $V_y$  (в мм/год); 5) отклонение  $V_x$  от априорно заданного (в мм/год); 6) отклонение  $V_y$  от априорно заданного (в мм/год); 7) погрешность для  $V_x$  (в мм/год); 8) погрешность для  $V_y$  (в мм/год); 9) корреляция между  $V_x$  и  $V_y$  - используется при построении доверительного эллипса; 10) вертикальная компонента скорости  $V_h$  (в мм/год); 11) отклонение  $V_h$  от априорно заданного (в мм/год); 12) погрешность для  $V_h$  (в мм/год); 13) код станции.

**Вывод.** Проведен научный анализ пространственно-временного распределения скоростей движения и смещений земной поверхности территории Северного Тянь-Шаня за 2013 г. по результатам GPS-мониторинга на стационарных пунктах. Обработанный материал отражает общую тенденцию направления движения земной поверхности в регионе и подтверждают структурно тектонические построения по геолого-геофизическим данным. Результаты работ могут быть использованы для развития сети GPS- мониторинга в регионе в целях дальнейшей детализации критических участков, прогноза геодинамического состояния земной коры и крупных сейсмических событий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Зубович А.В. Изучение поля скоростей современных движений земной коры Центрального Тянь-Шаня методами космической геодезии: канд. физ.-мат. наук. М.: ОИФЗ РАН. 2012. 95 с.
2. Herring T.A., King R.W., McClusky S.C. Gamit: GPS Analysis at MIT Version 10.4 // Massachusetts Institute of Technology. Cambridge. 2010A. 162 p.
3. Herring T.A., King R.W., McClusky S.C. GLOBK: Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program Version 10.4. Massachusetts Institute of Technology. Cambridge. 2010B. 90 p.
4. Щерба Ю.Г. Современные движения поверхности Земли как отражение коровых и мантийных геодинамических процессов (на примере Центрально-Азиатского региона). <http://www.sciteclibrary.ru/textsts/rus/stat/stat1967.htm>.

#### РАСЧЕТ ДИНАМИКИ ВЕТРОВЫХ ТЕЧЕНИЙ В ОЗЕРЕ ИССЫК-КУЛЬ

Турдушев И.А.

Тел.: 0 555 63 91 44; e-mail: [iliar.turdushev@gmail.com](mailto:iliar.turdushev@gmail.com)

Кыргызско-Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызстан

**Введение.** В общей постановке модель ветровых течений жидкости в водоеме описывается нестационарной начально-краевой задачей для системы нелинейных дифференциальных уравнений, которая может быть решена только численными методами [1]. Учитывая специфику озера Иссык-Куль, общая модель была упрощена [2]. Алгоритмы численного решения упрощенной модели используют представление горизонтального вектора скорости в виде суммы баротропной (интегральной) и бароклинной составляющих [1]. В

настоящей работе приводится разностная схема для расчета интегральных составляющих скорости  $U$  и  $V$ , изучаются ветровые режимы, которые могут действовать над акваторией озера Иссык-Куль.

**Постановка задачи.** Рассматривается следующая система дифференциальных уравнений для определения интегральных составляющих  $U$  и  $V$  горизонтальных компонент вектора скорости [3]:

$$\begin{cases} \frac{\partial U}{\partial t} + \mu U - \ell V = -\frac{H}{\rho_0} \frac{\partial P^s}{\partial x} + \frac{\tau_x}{\rho_0}, \\ \frac{\partial V}{\partial t} + \mu V + \ell U = -\frac{H}{\rho_0} \frac{\partial P^s}{\partial y} + \frac{\tau_y}{\rho_0}, \\ \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} = 0, (x, y) \in \Omega_0, t > 0. \end{cases} \quad (1)$$

$$\{(x, y) \in \partial\Omega_0\} : Un_x + Vn_y = 0, \quad (2)$$

$$t = 0 : U = U_0, V = V_0. \quad (3)$$

где  $\Omega_0$  – двумерная область, описывающая поверхность водоема;  $\partial\Omega_0$  – граница области  $\Omega_0$ . В системе уравнений (1)-(3) используются следующие обозначения:  $U = U(t, x, y)$  и  $V = V(t, x, y)$  – интегральные составляющие горизонтальных компонент вектора скорости;  $P^s = P^s(t, x, y)$  – давление на невозмущенной поверхности  $\Omega_0$ ;  $H = H(x, y)$  описывает рельеф дна водоема;  $\tau_x = \tau_x(t, x, y)$ ,  $\tau_y = \tau_y(t, x, y)$  – компоненты касательного напряжения трения ветра;  $\ell = \ell(x, y)$  – сила Кориолиса;  $\rho_0$  – среднее значение плотности;  $\mu \geq 0$  – параметр, характеризующий трение о дно водоема;  $n = (n_x, n_y)$  – вектор внешней нормали к границе области  $\Omega_0$ .

**Разностная схема для задачи (1)-(3).** Разностная схема для задачи (1)-(3) строится в два этапа. На первом этапе производится аппроксимация системы уравнений по временной переменной, а на втором этапе – по пространственной.

Произведем аппроксимацию по временной переменной. Введем комплексную скорость  $\bar{\theta} = U \cdot H^{-1} + iV \cdot H^{-1}$  и первые два уравнения системы (1) перепишем в следующем виде:

$$\frac{\partial \bar{\theta}}{\partial t} + (\mu + i\ell)\bar{\theta} = F(P^s) + \frac{\tau_x + i\tau_y}{\rho_0 H}. \quad (4)$$

Аппроксимацию уравнения (4) построим с помощью проекционного варианта интегро-интерполяционного метода (ПВИИМ) [4, 5]. Для этого умножим (4) на произвольную тестовую функцию  $\varphi(t)$  и проинтегрируем по ячейке  $[t_0, t_0 + \tau]$ . Получим следующее интегральное тождество:

$$\bar{\theta} \varphi \Big|_{t_0}^{t_0+\tau} - \int_{t_0}^{t_0+\tau} \bar{\theta} \left[ \frac{\partial \varphi}{\partial t} - (\mu + i\ell)\varphi \right] dt = \int_{t_0}^{t_0+\tau} \left( F(P^s) + \frac{\tau_x + i\tau_y}{\rho_0 H} \right) \varphi dt. \quad (5)$$

Тестовую функцию  $\varphi(t)$  выберем так, чтобы выполнялись следующие условия:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \varphi}{\partial t} - (\mu + i \cdot \ell) \varphi = 0, \quad t \in (t_0, t_0 + \tau); \\ \int_{t_0}^{t_0 + \tau} \varphi dt = 1. \end{array} \right.$$

Такой выбор функции  $\varphi(t)$  позволит нам избавиться от главного интегрального слагаемого в левой части (5). Аппроксимируя остальные интегралы с использованием квадратурных формул и возвращаясь к интегральным скоростям  $U$  и  $V$ , получаем следующую систему уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial}{\partial x}(\varepsilon V) - \frac{\partial}{\partial y}(vU) + aV + bU = f_x - g_y, \\ \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} = 0, \quad (x, y) \in \Omega_0, \\ Un_x + Vn_y = 0, \quad (x, y) \in \partial\Omega_0. \end{array} \right. \quad (6)$$

где  $\varepsilon, v, a, b, f$  и  $g$  – известные функции.

Далее выполним аппроксимацию по пространственной переменной. Рассмотрим произвольную прямоугольную сетку в области  $\Omega_0$ . Пусть  $\pi$  – произвольная ячейка данной сетки. Умножим первое уравнение системы (6) на тестовую функцию  $\varphi_1(x, y)$ , а второе уравнение – на тестовую функцию  $\varphi_0(x, y)$ , результаты сложим и проинтегрируем по ячейке  $\pi$ . В результате будет получено следующее интегральное тождество:

$$\int_{\partial\pi} [(U\varphi_0 + \varepsilon V\varphi_1)n_x + (V\varphi_0 - vU\varphi_1)n_y] ds - \int_{\pi} \left[ U \left( \frac{\partial \varphi_0}{\partial x} - v \frac{\partial \varphi_1}{\partial y} - b\varphi_1 \right) + V \left( \varepsilon \frac{\partial \varphi_1}{\partial x} + \frac{\partial \varphi_0}{\partial y} - a\varphi_1 \right) \right] dx dy = \int_{\pi} (f_x - g_y) \varphi_1 dx dy. \quad (7)$$

Тестовые функции  $\varphi_0(x, y)$  и  $\varphi_1(x, y)$  выберем, как решения системы уравнений

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \varphi_0}{\partial x} - v \frac{\partial \varphi_1}{\partial y} - b\varphi_1 = 0, \\ \varepsilon \frac{\partial \varphi_1}{\partial x} + \frac{\partial \varphi_0}{\partial y} - a\varphi_1 = 0. \end{array} \right.$$

Такой выбор тестовых функций позволит нам избавиться от второго интеграла в левой части (7). Далее, аппроксимируя оставшиеся интегралы с использованием квадратурных формул, получаем разностную схему для численного определения интегральных составляющих  $U$  и  $V$ . Перед аппроксимацией интеграла в правой части (7) производится его интегрирование по частям, чтобы производные с функций  $f$  и  $g$  перебросить на функцию  $\varphi_1(x, y)$ . Таким образом, мы избавляемся от процедуры численного дифференцирования функций  $f$  и  $g$ .

Для тестирования эффективности построенной разностной схемы было разработано программное приложение, которое вычисляло решения задачи (1)-(3) при следующих упрощающих предположениях [3]:

- рассматривается водоем прямоугольной формы с постоянной глубиной;
- компоненты касательного напряжения трения ветра заданы как аналитические функции специального вида;
- сила Кориолиса задана в виде линейной функции аргумента  $y$ .

Разработанная разностная схема сравнивалась со схемой работы [6]. Согласно результатам численных экспериментов, разработанная разностная схема оказалась точнее схемы работы [6]. Описанные выше результаты обсуждались на V Конгрессе математиков тюркского мира (Кыргызстан, Булан-Соготту, 5-7 июня, 2014) и были опубликованы в [7].

**Моделирование ветрового режима.** Для расчета интегральных составляющих горизонтальных компонент вектора скорости для озера Иссык-Куль необходимо знать ветровые режимы, действующие над акваторией озера. В работе [8] предложена типизация ветров озера Иссык-Куль, характеризующаяся наличием двух основных ветров, «улана» и «санташа», которые определяют крупномасштабную циркуляцию в озере. В соответствии с этой идеей, моделирование ветрового режима над озером предлагается основывать на следующих формулах:

для «улана» -

$$\tau_x = a_1^x \left(1 - \frac{x}{L_x}\right) \left[ \sin\left(\pi \frac{y-y_2}{y_1-y_2}\right) - a_2^x \sin\left(2\pi \frac{y-y_2}{y_1-y_2}\right) + a_3^x \right] + a_4^x, \quad (8)$$

$$\tau_y = a_1^y \left(1 - \frac{x}{L_x}\right) \left[ \sin\left(\pi \frac{y-y_2}{y_1-y_2}\right) - a_2^y \sin\left(2\pi \frac{y-y_2}{y_1-y_2}\right) + a_3^y \right] + a_4^y, \quad (9)$$

для «санташа» -

$$\tau_x = b_1^x \frac{x}{L_x} \left[ \sin\left(\pi \frac{y-y_4}{y_3-y_4}\right) + b_2^x \sin\left(2\pi \frac{y-y_4}{y_3-y_4}\right) + b_3^x \right] + b_4^x, \quad (10)$$

$$\tau_y = b_1^y \frac{x}{L_x} \left[ \sin\left(\pi \frac{y-y_4}{y_3-y_4}\right) + b_2^y \sin\left(2\pi \frac{y-y_4}{y_3-y_4}\right) + b_3^y \right] + b_4^y. \quad (11)$$

Здесь  $L_x$  – длина озера,  $y_j = A_j + B_j \cdot x$ ;  $A_j, B_j, a_j^x, a_j^y, b_j^x, b_j^y$ ;  $j = 1, 2, 3, 4$  – некоторые константы. Было разработано программное приложение, которое позволяет моделировать основные типы ветровых режимов, основанные на аналитических формулах (8)-(11). С использованием разработанной программы были построены некоторые типичные для озера Иссык-Куль ветровые режимы. Например, на рисунке 1 приведен ветровой режим, который наиболее часто действует над озером [8]. Стрелки указывают направление ветра, а цветом обозначена скорость ветра, согласно шкале справа от графика. Построенные ветровые режимы будут использоваться при расчете баротропных составляющих вектора скорости для озера Иссык-Куль.

**Численные эксперименты.** Были проведены численные эксперименты, связанные с расчетом баротропных составляющих вектора скорости для озера Иссык-Куль. Расчеты проводились для типичных для озера Иссык-Куль ветровых режимов, описанных в [8]. На рисунке 2 приведена баротропная компонента, рассчитанная в начальный момент времени для ветрового режима, представленного на рисунке 1.

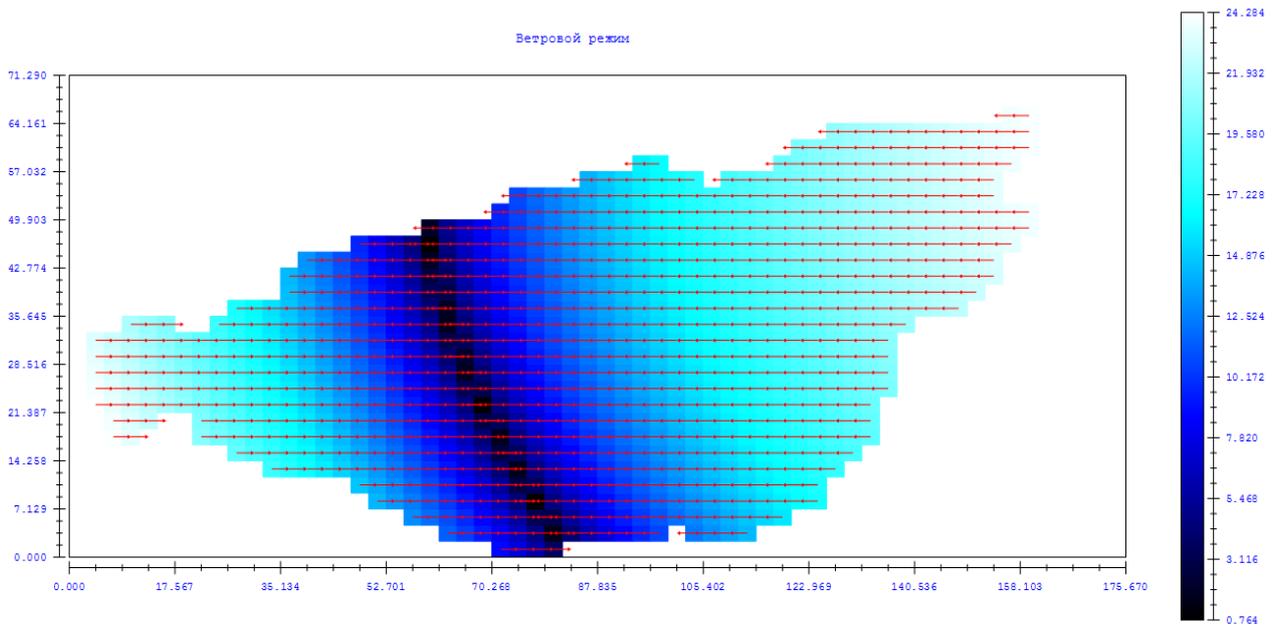


Рис. 1. Ветровой режим озера Иссык-Куль.

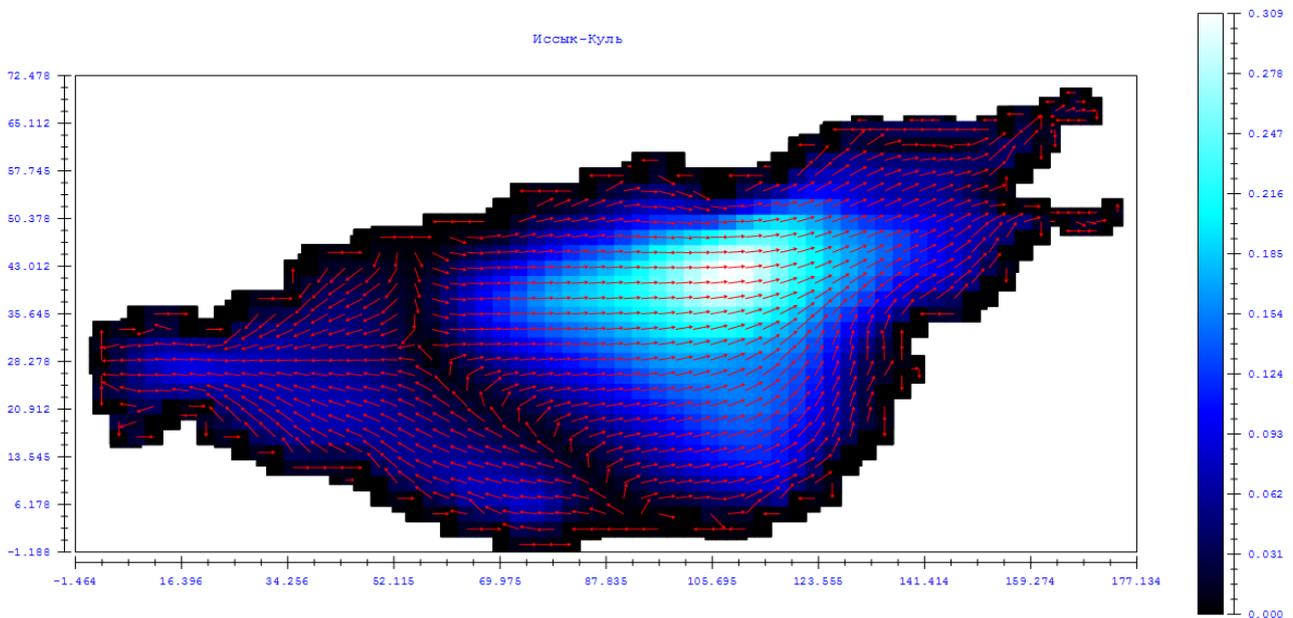


Рис. 2. Баротропная компонента для озера Иссык-Куль.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Марчук Г.И., Саркисян А.С. Математическое моделирование циркуляции океана. М.: Наука. 1988. 302 с.
2. Турдушев И.А. Ветровые течения в водоеме: анализ модели, точные решения // Современные техника и технологии в научных исследованиях: материалы 6-ой международной конференции молодых ученых и студентов. 26-27 марта 2014 г. Бишкек. С. 139-144.
3. Турдушев И.А., Скляр С.Н. Аналитические решения для трехмерной модели ветровых течений в водоеме // Актуальные проблемы теории управления, топологии и операторных уравнений: материалы Второй международной юбилейной конференции, посвященной 20-

- летию образования Кыргызско-Российского Славянского университета (КРСУ) 5-7 сентября 2013 г. Бишкек: изд-во Махprint. Т. 2. С. 214-218.
4. Еремеев В.Н., Кочергин В.П., Кочергин С.В., Скляр С.Н. Математическое моделирование гидродинамики глубоководных бассейнов. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика. 2002. 238 с.
  5. 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; II. Несамосопряженное уравнение, третья краевая задача // Там же. 1989. № I. С. 3-10. III. Самосопряженное уравнение // Там же. 1989. № 4. С. 3-11.
  6. Skliar S.N., Rylov M.A. Computing of barotropic components of motion in problems of water circulation in reservoir. Study of the Issyk-Kul lake hydrodynamics with the use of isotopic methods, ISTC. Bishkek, Ilim. 2006. Part-II. P. 21-30.
  7. Turdushev I., Skliar S. (2014) On calculation of integral parts of motion in the three-dimensional wind flows model. Abstracts of V Congress of the Turkic World Mathematicians (Kyrgyzstan, Bulan-Sogottu, 5-7 June, 2014) / Ed. A.Borubaev. Bishkek: Kyrgyz Mathematical Society. P. 257.
  8. Ревякин В.И., Шабунин Г.Д. Типизация сильных ветров озера Иссык-Куль. Фрунзе. 1988. С. 79-87.

## **МАГНИТНОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЛИНЕЙНЫХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ СТРУКТУР: ЛИНЕАМЕНТОВ И РАЗЛОМОВ КЫРГЫЗСКОГО ТЯНЬ-ШАНЯ**

Шакиров А.Э., Усупаев Ш.Э.

тел.: +996 312 555775 (317); e-mail: [a.shakirov@caiaag.kg](mailto:a.shakirov@caiaag.kg)

ЦАИИЗ (Центрально Азиатский институт прикладных исследований Земли), г. Бишкек,  
Кыргызская Республика

Геомагнитный метод является одним из эффективных методов инструментального обнаружения скрытых линейных структур и разломов, как самостоятельных линейных тектонических структур Земли.

Нами были проведены магнитометрические зондирования региональных и локальных активных разломов на территории Кыргызстана, таких как Галасо-Ферганский, «Линия Николаева», Транс-Иссык-Кульский, Иссык-Атинский, а также скрытых тектонических нарушений под толщей морен ледников Южный и Северный Энилчек (рис. 1-13) [1-5].

Для измерения вариаций магнитного поля Земли в районе международной высокогорной обсерватории имени Готфрида Мерцбахера на леднике Южный Энилчек был установлен контрольный пункт (бетонная тумба высотой 1,5 метра, выполненная из немагнитных материалов) (рис. 2). На остальных исследуемых площадях были использованы временные пункты измерения вариаций магнитного поля Земли. В качестве измерительных приборов на контрольных пунктах и профилях были использованы протонные магнитометры ММП-203, с погрешностью измерений  $\pm 1$  нТл. Топографическая привязка точек наблюдений велась мобильными GPS-приемниками «Garmin etrex». Точность определения координат составляла  $\pm 4$  м. Полевые материалы обрабатывались при помощи программы «Surfer 8.0».



Рис. 1. Магнитометрические измерения на поверхности ледника Энилчек.



Рис. 2. Магнитометрический контрольный пункт.

В качестве репрезентативных линейных тектонических структур нами были выбраны ряд разломов и линеаментов, которые в связи с их активностью представляют определенную угрозу населенным пунктам и автодорогам республиканского значения.

**А. Пример определения ширины активного Исык-Атинского разлома в южном окончании города Бишкека в целях оценки зоны влияния [1].**

В 2010 году сотрудники ЦАИИЗ провели магнитометрическое зондирование активного Исык-Атинского разлома (по шести нижеприведенным поперечным профилям), который представляет для города Бишкек значительную опасность при сильных землетрясениях (рис. 3, 4).

По результатам интерпретации магнитометрических данных определено, что ширина активного Исык-Атинского разлома варьирует от 40 до 390 м, соответственно по профилям PR1-260 метров, PR2- 0 метра (разлом не зафиксирован магнитометром), PR3-300 м, PR4- 390 м, PR5-40 м, PR6-249 метров.

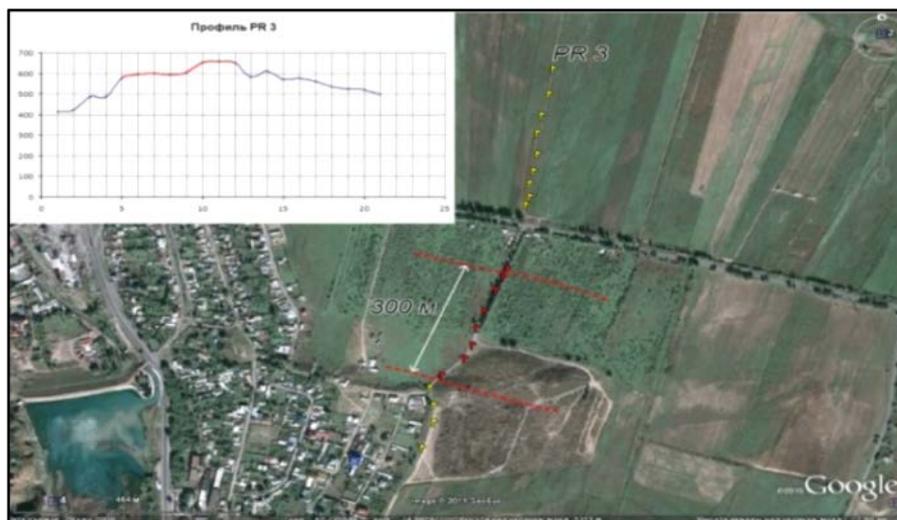
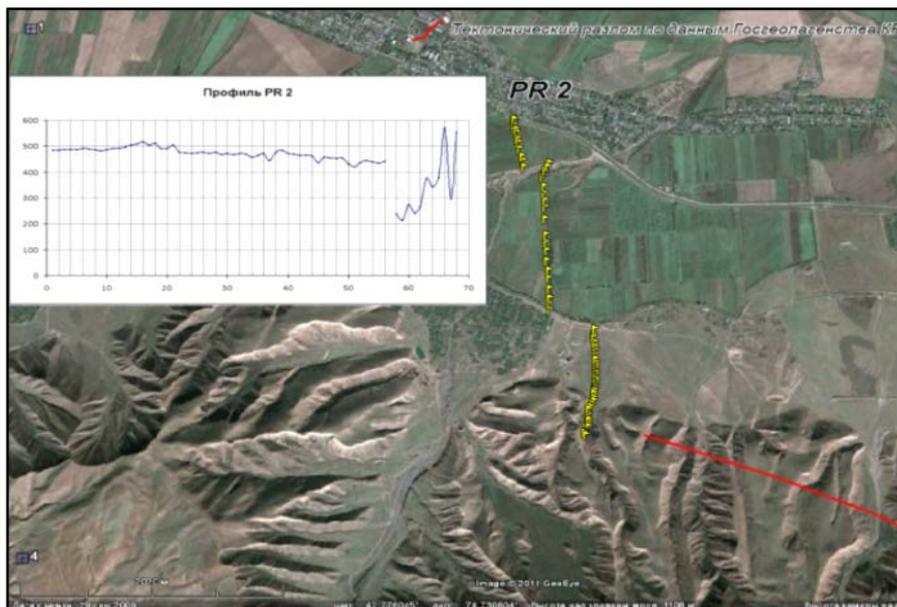


Рис. 3. План расположения профилей на топографической карте и космоснимках (профили 2 и 3) с графиками магнитного поля на Иссык-Атинском разломе (Шакиров А.Э., Усупаев Ш.Э., Абдыбачаев У.А. 2010 г.).

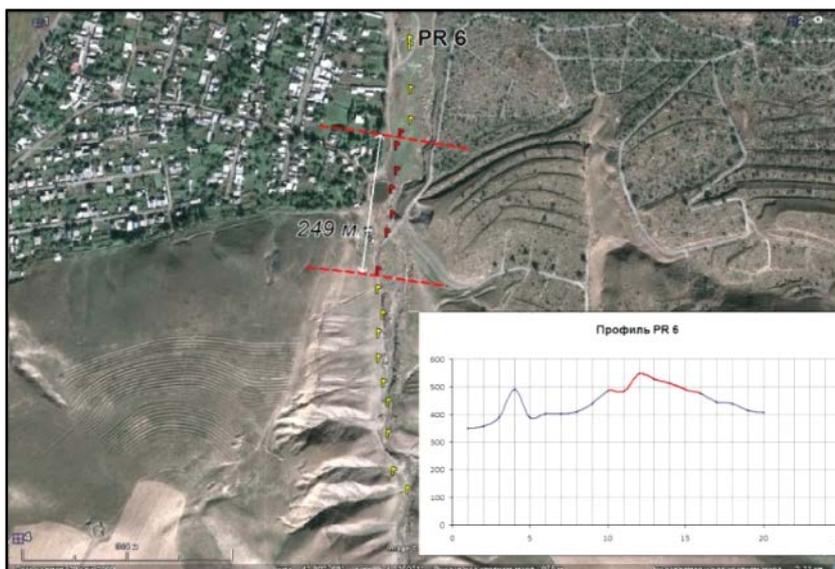
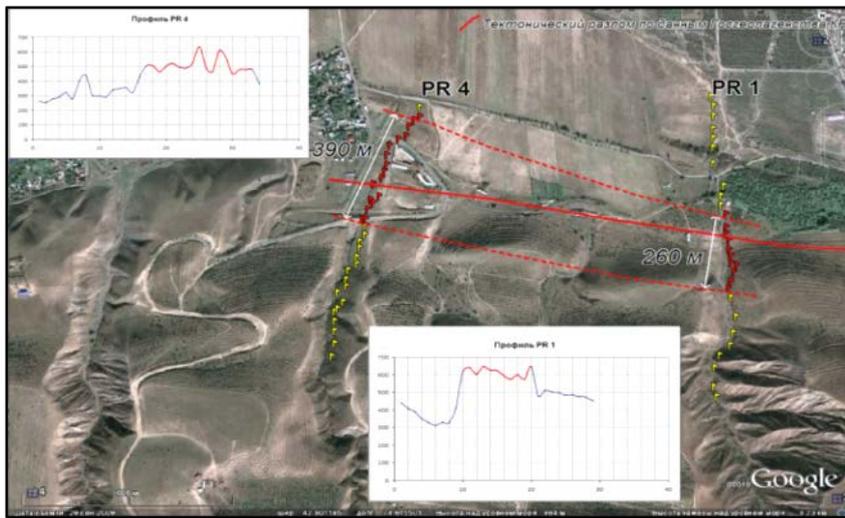


Рис. 4. План расположения профилей 4, 5 и 6 на космоснимках с графиками магнитного поля на Исык-Атинском разломе (Шакиров А.Э., Усупаев Ш.Э., Абдыбачаев У.А. 2010 г.).

**Б. Фотодокументы, космические снимки и графики геомагнитного зондирования Таласо-Ферганского разлома и «Линии Николаева» [2].**

Впервые, инструментально определена ширина региональных тектонических разломов в зоне их сочленения: Таласо-Ферганского - 600 метров и «Линии Николаева» - 1000 метров (рис. 5 -7).



Рис. 5. Фрагмент Таласо-Ферганского разлома.

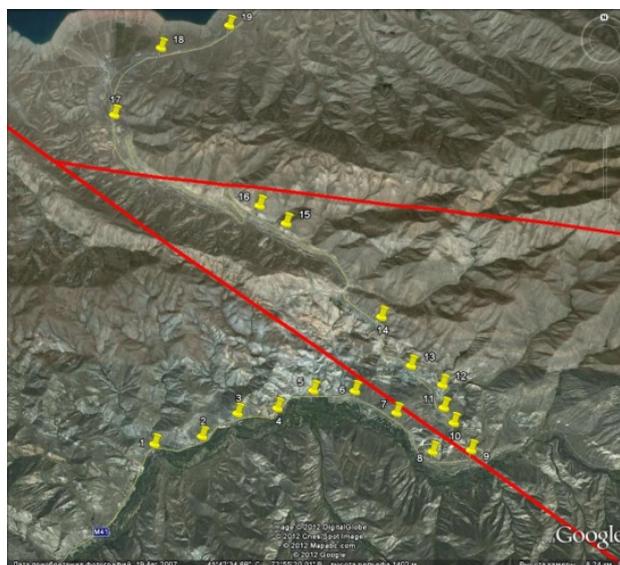


Рис. 6. Космоснимок с уточненным расположением региональных разломов-Таласо-Ферганского и «Линии Николаева».

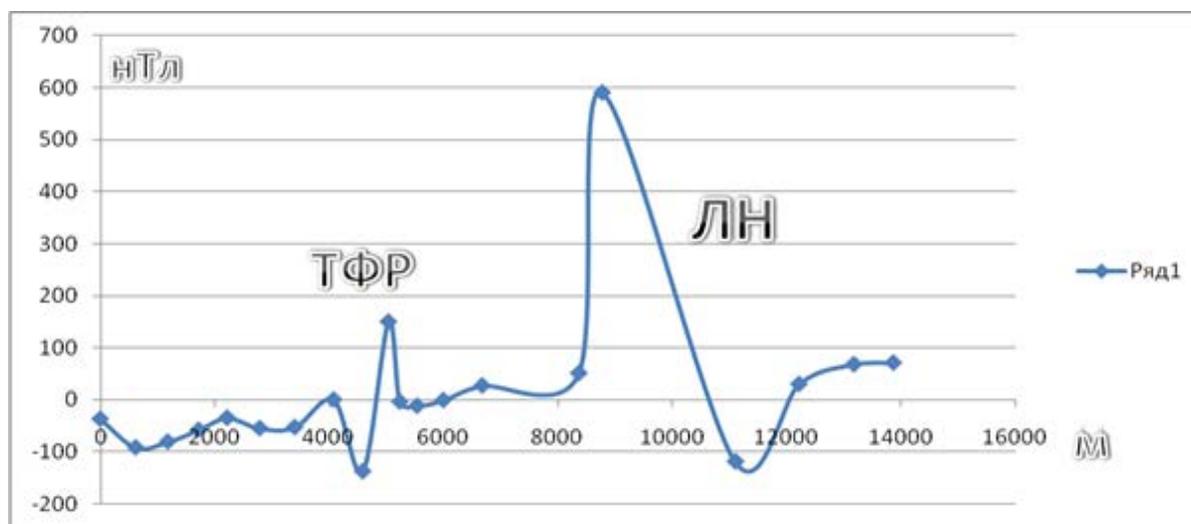


Рис. 7. График аномального магнитного поля ( $\Delta T$ ) нТл по профилю, пересекающему Таласо-Ферганский разлом (ТФР) и «Линию Николаева» (ЛН).

**В. Пример результатов геомагнитного исследования «Линии Николаева» в районе перевала Долон [3].**

Интерпретация результатов магнитных измерений (рис. 8), позволили определить ширину развития регионального разлома «Линии Николаева» на участке слияния с Таласо-Ферганским разломом в 1000 м., а в районе перевала Долон 800 м.. Несмотря на то, что расстояние между профилями пересекающими данный разлом составляет 230 км, углы

падения магнитовозмущающих геологических тел, которые вызывают аномалии «Линии Николаева» в районе Таласо-Ферганского разлома и перевала Долон практически совпадают.

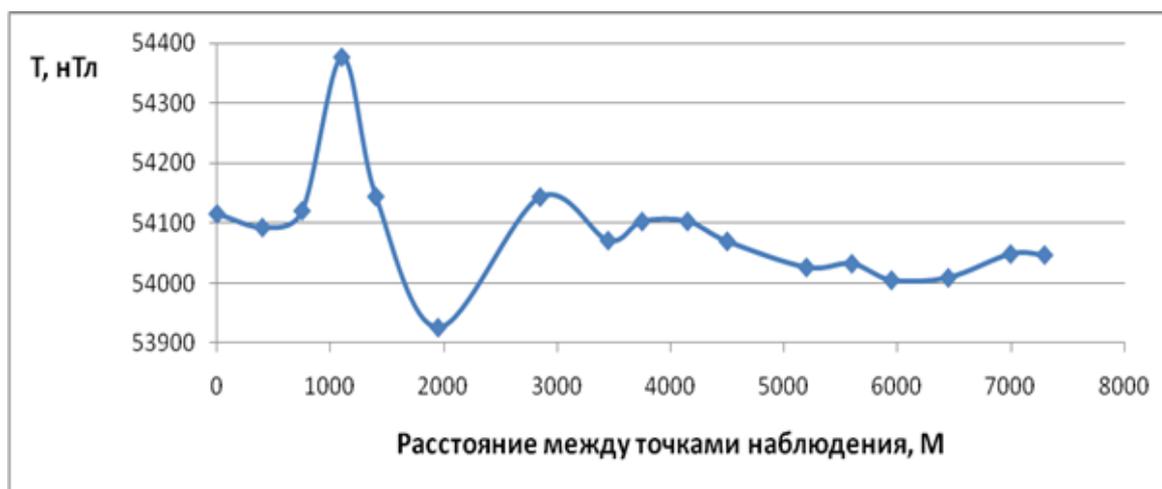


Рис. 8. График аномального магнитного поля ( $\Delta T$ ) по профилю, пересекающему «Линию Николаева» (ЛН) в районе перевала Долон.

**Г. Пример результатов геомагнитного исследования Транс-Иссык-Кульского линеамента (рис. 9-12) и зоны его влияния [4].**

На графике аномального магнитного поля на южном побережье оз. Иссык-Куль от ПК14 до ПК20 отчетливо наблюдается знакопеременная аномалия от + 40 до - 60 нТл, характерная для зон разрывных нарушений. Ширина этой зоны составляет 8 км (рис. 11).

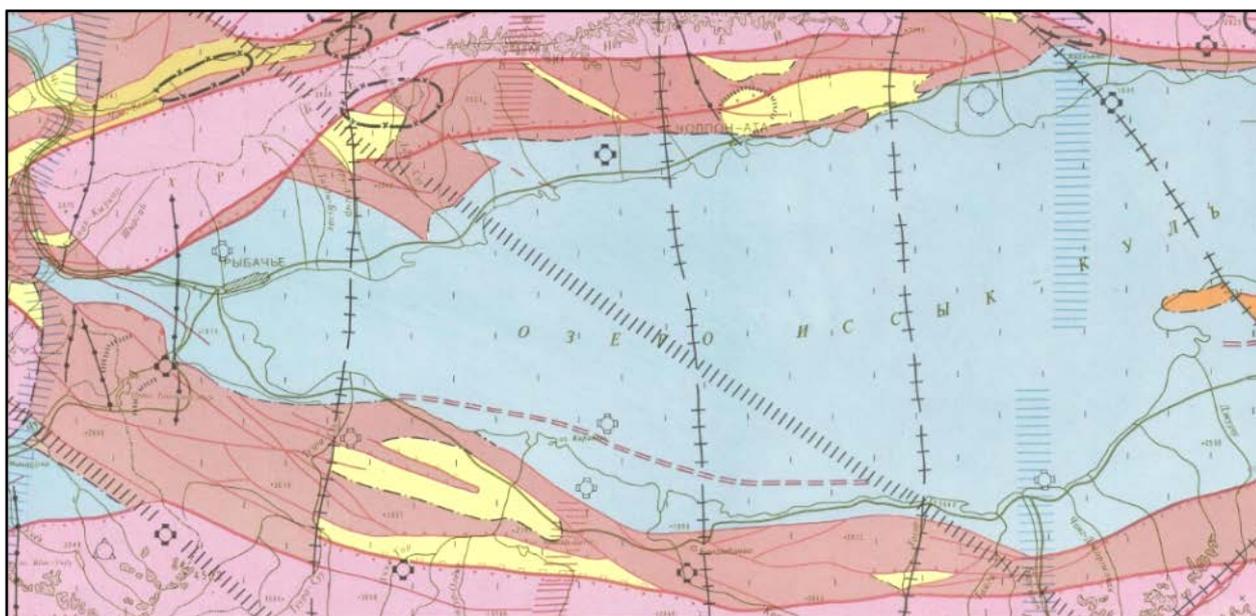


Рис. 9. Сеймотектоническая карта расположения Транс-Иссык-Кульского линеамента (показано диагональными черными штрихпунктирными линиями).

На графике аномального магнитного поля на северном побережье оз. Иссык-Куль от ПК8 до ПК14 отчетливо наблюдается знакопеременная аномалия от + 50 до - 50 нТл, также характерная для зон разрывных нарушений. Ширина этой зоны составляет 3,5 км (рис.11).

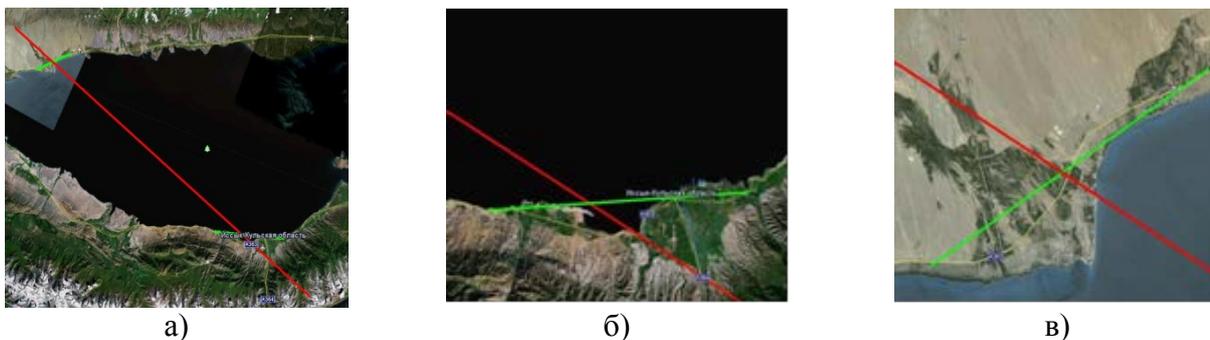


Рис. 10. Космоснимки с профилями измерений Транс-Иссык-Кульского линеамента: а) простираение линеамента - красная линия, профили измерений – зеленые линии; б) профиль в районе села Барскоон, южный берег оз. Иссык-Куль; в) профиль в районе с. Тамчи, северный берег оз. Иссык-Куль.

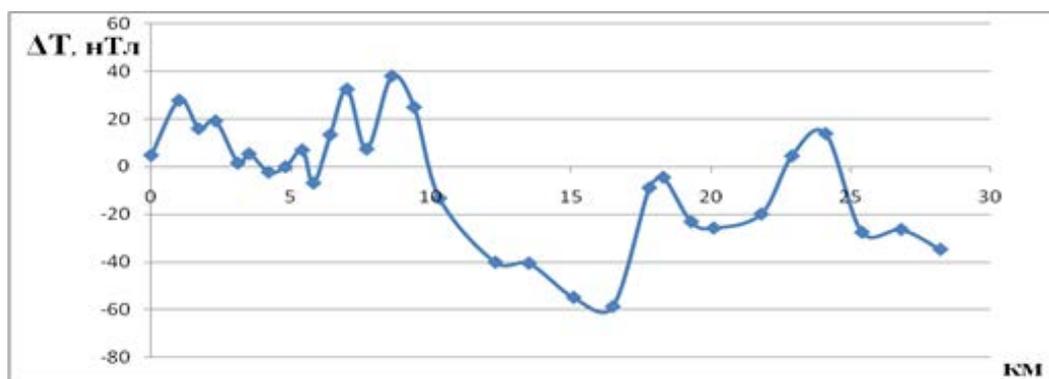


Рис. 11. График аномального магнитного поля Транс-Иссык-Кульского линеамента (разлома) на южном побережье оз. Иссык-Куль.

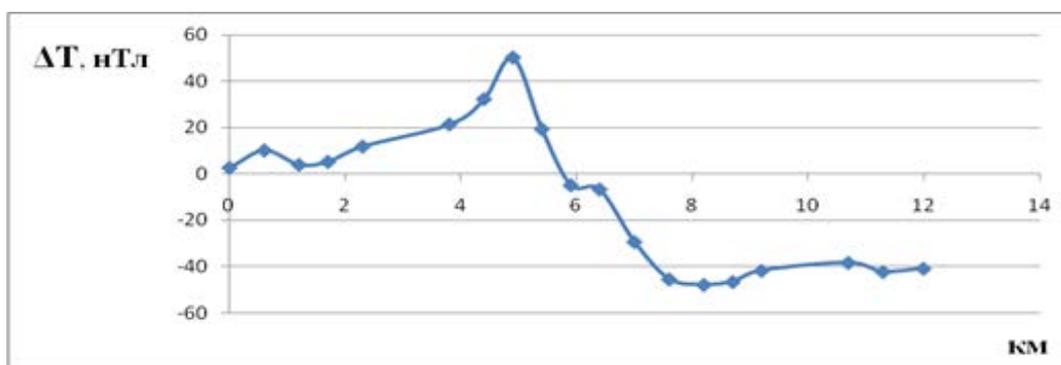


Рис. 12. График аномального магнитного поля Транс-Иссык-Кульского линеамента (разлома) на северном побережье оз. Иссык-Куль.

Интерпретация магнитных данных позволила установить, что Транс-Иссык-Кульский линеамент отчетливо выделяется в магнитном поле. Ширина линеамента на северном берегу озера Иссык-Куль, в районе села Тамчи составляет 3,5 км, а на южном берегу, в районе села Барскоон - 8 км. Следует подчеркнуть, что данный линеамент, простирающийся диагонально с юго-востока на северо-запад, сопряжен с месторождениями Ак-Тюз и Кумтор.

**Д. Пример магнитометрических исследований и зондирования тектонических нарушений и геоморфологических структур под толщей ледников Южный и Северный Энилчек в районе озера Мерцбахера (рис. 13, 14) [5, 6].**

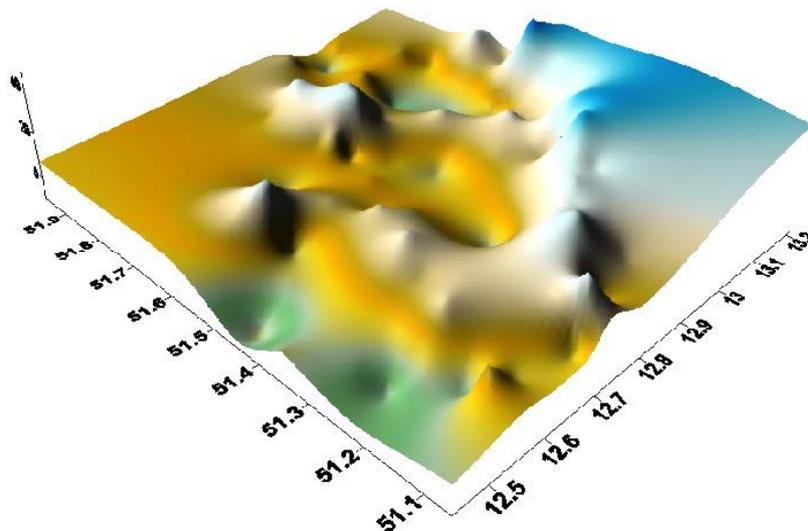


Рис. 13. 3D-изображение карты аномального магнитного поля ( $\Delta T$ ) в районе «перемычки» между верхним и нижним озерами Мерцбахера.

В результате интерпретации карты аномального магнитного поля «перемычки» между верхней и нижней частями озера Мерцбахера было выявлено, что ложе «перемычки» имеет подковообразный ригельный выступ, который ранее создавал барьер для накопления донных осадков и сформировал своеобразную грунтовую намывную плотину, способствовавшую образованию достаточно широкой границы раздела между верхней и нижней частями озера Мерцбахера (рис. 13).

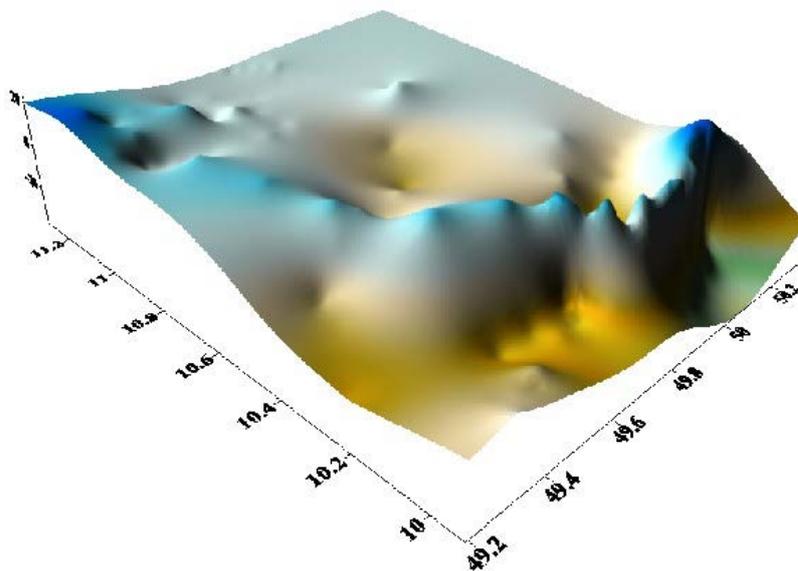


Рис. 14. 3D – изображение карты аномального магнитного поля ( $\Delta T$ ) участка слияния ледников Южный и Северный Энилчек.

В результате площадной магнитометрической съемки в районе слияния ледников Южный и Северный Энилчек выделена интенсивная положительная аномалия дугообразной формы, интерпретируемая автором как ригель, который является упором при движении ледника Южный Энилчек и вызывает изменение направления его правых потоков в сторону озера Мерцбахера (рис. 14).

### **Выводы:**

1. По результатам интерпретации магнитометрических данных было определено, что ширина активного Иссык-Атинского разлома в южной части г. Бишкек варьирует от 40 до 390 метров.
2. Впервые инструментально определена ширина региональных тектонических разломов в зоне их сочленения: Таласо-Ферганского - 600 метров и «Линии Николаева» - 1000 метров. Ширина развития регионального разлома «Линия Николаева» в районе перевала Долон составила 800 метров. Углы падения магнитовозмущающих геологических тел, вызывающих аномалии на разломе «Линия Николаева» в районе Таласо-Ферганского разлома и перевала Долон, практически совпадают.
3. Транс-Иссык-Кульский линеамент хорошо выделяется в магнитном поле. Ширина линеамента на северном побережье оз. Иссык-Куль составляет 3,5 км, а на южном - 8 км.
4. Магнитометрическим зондированием на участке грунтовой «перемычки», под толщей мерзлых ледово-грунтовых отложений, выявлен подковообразный выступ (ригель), обращённый дугой на запад в сторону ледовой плотины озера, который служил барьером для накопления донных осадков и создал грунтовую намывную плотину, разделившую оз. Мерцбахера на две части.
5. В районе слияния ледников Южный и Северный Энилчек площадным магнитометрическим зондированием установлен подлёдный ригель дугообразной формы, который служит барьером при движении ледника Южный Энилчек и поворачивает его правые потоки, создающие ледовую плотину у оз. Мерцбахера.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Усупаев Ш.Э., Молдобеков Б.Д., Шакиров А.Э., Абдыбачаев У.А. Определение ширины активного Иссык-Атинского разлома в южном окончании города Бишкек в целях оценки рисков бедствий и зоны влияния. Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики. Б.: МЧС КР. 2011. С. 679 – 681.
2. Шакиров А.Э. «Результаты геомагнитного исследования Таласо-Ферганского разлома и «Линии Николаева» // Интернет-журнал ВАК Кыргызской Республики ([nakkr.org/jurnal/](http://nakkr.org/jurnal/)) № 2. 2012.
3. Шакиров А.Э. Результаты геомагнитного исследования «Линии Николаева» в районе Таласо-Ферганского разлома и перевала Долон // Современные техника и технологии в научных исследованиях: материалы V междунар. молодежной конф. Бишкек. 2013. С. 139-143.
4. Усупаев Ш.Э., Шакиров А.Э. Исследование георисков на основе инструментального зондирования ширины и зоны влияния Транс-Иссык-Кульского линеамента // Вестник Кыргызского государственного университета им. И.Арабаева. Спецвыпуск. Сер: Естественные науки. Бишкек: изд-во ОсОО «Солюшин». 2013. С. 251-254.
5. Усупаев Ш.Э., Шакиров А.Э. Новые результаты площадной геофизической съемки плотинной грунтовой перемычки, разделяющей на две части прорывоопасное озеро Мерцбахера на леднике Энилчек. Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики. Бишкек: МЧС КР. 2013. С. 629 – 631.
6. Шакиров А.Э., Усупаев Ш.Э. Геофизическое зондирование ледника Южный Энилчек в районе высокогорного прорывоопасного озера Мерцбахера. Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики. Бишкек: МЧС КР. 2012. С. 671-672.

# МЕХАНИКА

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ПНЕВМОЗАРЯЖАНИЯ ГРАНУЛИРОВАННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

Айтемиров М.К.

тел.: (+ 996 312) 36-02-82; e-mail: [gornyaki@inbox.ru](mailto:gornyaki@inbox.ru)

Кыргызско-Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызская Республика

Одним из приоритетных направлений в области ведения буровзрывных работ является создание, освоение и внедрение в производство новой высокоэффективной техники, обеспечивающей рост производительности, облегчение и улучшение условий труда. Более 70% месторождений полезных ископаемых разрабатываются с применением буровзрывного способа разрушения. От качества буровзрывных работ зависит эффективность дальнейших технологических процессов – выпуск, погрузка и транспортировка горной массы. При этом зависит не только себестоимость добычи, но и себестоимость переработки отбитой горной массы [1, 4]. Значительным вкладом в развитие взрывных работ явилась замена ручного заряжания взрывных полостей механизированным способом, получившим широкое распространение с внедрением гранулированных взрывчатых веществ (ГВВ), способов и средств пневматического транспортирования их при зарядании шпуров, скважин и камер [2, 5]. Однако не все вопросы, связанные с широким внедрением пневмозаряжания ГВВ, в настоящее время еще решены. Так, устройства для заряжания ГВВ не обеспечивают равномерной подачи ВВ в зарядный шланг и во взрывную полость, а обеспечиваемая ими плотность ВВ в заряде не удовлетворяет современным требованиям производства, в связи с чем образуется относительно много просыпи, недостаточный КПД взрыва из-за кислородной несбалансированности ВВ, недостаточной плотности заряжания ВВ и др. [3]. Способ заряжания промышленных ГВВ путем увлажнения водой не эффективен, так как тротиловая пыль и алюминиевая пудра не растворяются и не смачиваются ею. Вследствие отмеченного, буровзрывные работы не всегда достаточно эффективны, условия пылеподавления при зарядании не отвечают санитарно-гигиеническим нормам, имеются случаи неуправляемых взрывов пыли от случайных огневых источников, взрывов ВВ, вызванных электризацией потока ВВ в зарядных шлангах. В связи с этим совершенствование существующих и создание новых средств и способов пневмозаряжания взрывных полостей гранулированными ВВ является актуальной задачей [6, 7, 8].

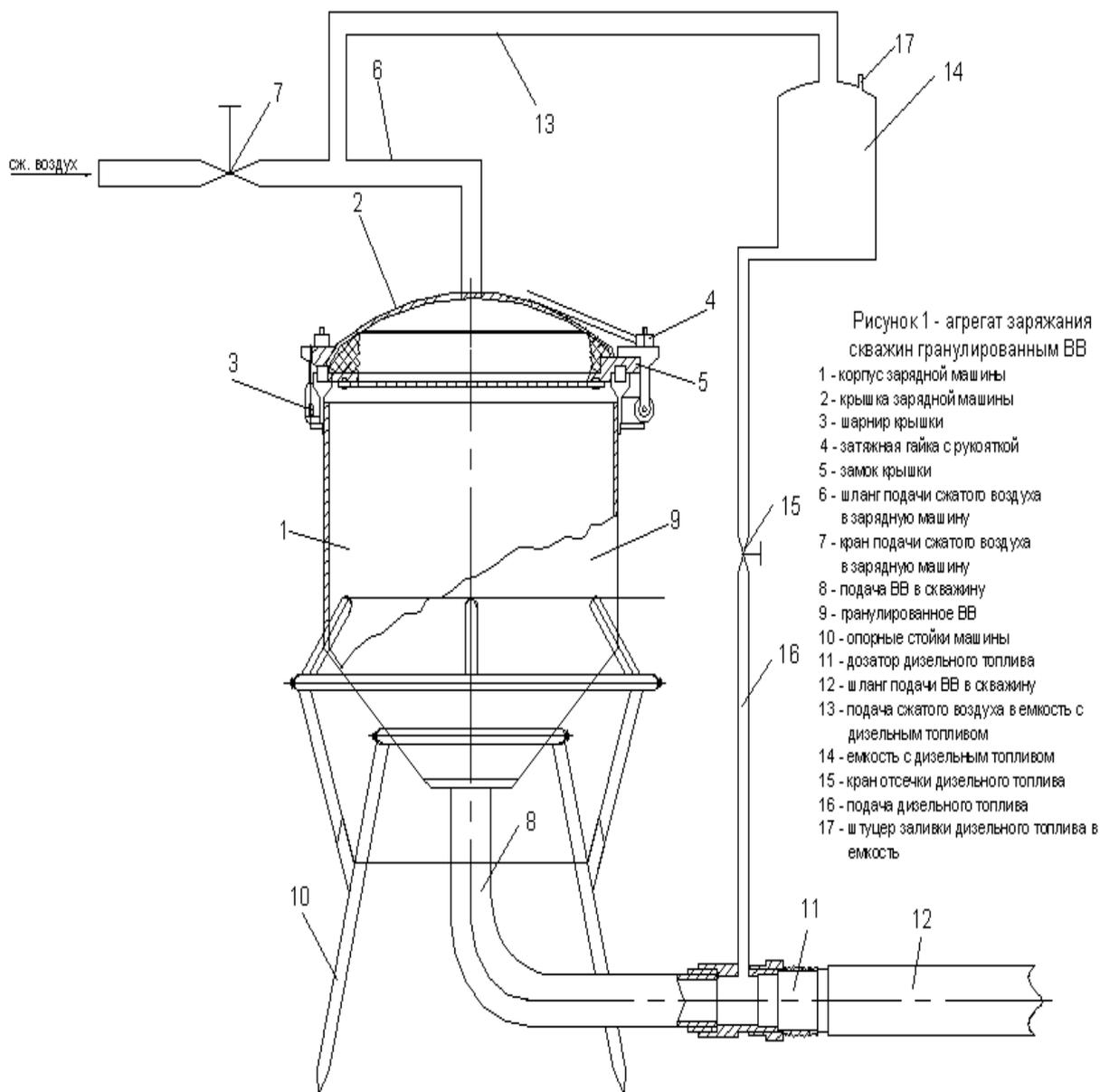
Применение при подземной взрывной отбойке гранулированных ГВВ с механизированным заряданием обеспечивает, за счет большей плотности укладки заряда, результаты, не уступающие мощным нитроглицериновым и другим ВВ при ручных способах заряжания. Четкое разграничение области применения пневмозарядчиков в соответствии с конкретными горнотехническими условиями и, следовательно, типов пневмозарядчиков и режимов пневмотранспорта, портативность, удобство в обслуживании при минимальном количестве обслуживающего персонала повышает безопасность применения их в подземных условиях.

При конструировании специальных механизмов для пневматического заряжания следует учитывать три особенности ВВ: взрывоопасность, пожароопасность и гранулометрический состав соответствующего типа ВВ [9, 10]. При определении степени безопасности механизированного заряжания должен учитываться тот фактор, что чем сложнее механизмы для контакта с ВВ, тем больше вероятность возникновения в специфических стесненных подземных условиях случайных взрывов. Такая же задача возникла при пневмозаряжании восходящих скважин на очистных работах на Хайдарканском ртутном комбинате, где, кроме изложенных проблем, возникла еще одна задача, связанная с

расслоением и высыпанием заряженного ГВВ из-за низкой плотности заряжения ГВВ в скважинах с образованием в месте заряжения большого количества просыпей и значительного пылеобразования.

Предлагаемое устройство, изготовленное на Хайдарканском ртутном комбинате, прошло испытание и было внедрено при пневмозаряжении промышленных ГВВ.

Идея использования в качестве смачивающей жидкости дизельного топлива и масел возникла в связи с тем, что они обладают свойством коагуляции и хорошей смачиваемостью по отношению к компонентам ГВВ. Это достигается путем использования в увлажняющих устройствах новых конструктивных решений с применением «насадки – дозатора», а в качестве смачивающей жидкости – дизельного топлива или промышленных масел.



Установка устройства производится на резьбовой конец выходного патрубка подачи ГВВ в транспортирующей полиэтиленовый токопроводящий зарядный шланг. Выходной патрубок является продолжением выходного конуса ёмкости зарядной машины. Идея использования в качестве смачивающей жидкости дизельного топлива (ДТ) возникла в связи с тем, что ДТ обладает свойством коагуляции и хорошей смачиваемой способностью по отношению к тротилу, аммиачной селитре и алюминиевой пудре.

Применение конструкции «насадки – дозатора» и ее установка вне камеры зарядчика с нижней разгрузкой ГВВ позволило равномерно увлажнять поток в зарядном шланге и полном использовании энергии сжатого воздуха при транспортировании его по зарядному шлангу в заряжаемую скважину с относительно высокой скоростью и производительностью.

Конструктивные особенности «насадки–дозатора» обеспечивают равномерную подачу дизельного топлива в зарядный шланг, а её заземление обеспечивает предупреждение возникновения разряда статического электричества при движении ГВВ по шлангу, а также снижение запыленности призабойного пространства, снижает расслоение механической смеси ГВВ в процессе пневмотранспорта по зарядным шлангам и вынос их составляющих из заряжаемой полости, а также повышение плотности заряжения и ликвидацию просыпей из восходящих скважин.

Управляет процессом зарядки скважин мастер-взрывник с помощью пульта дистанционного управления: при нажатии кнопки происходит подача сжатого воздуха одновременно в зарядную машину и в ёмкость с дизельным топливом с одинаковым давлением. Поэтому ГВВ и ДТ одновременно начинают перемещаться к скважине. При отпускании кнопки, подача сжатого воздуха прекращается и открывается отверстие сброса давления из зарядной камеры и ёмкости ДТ. Таким образом, предотвращается передозировка ГВВ дизельным топливом.

На рис.1 представлен агрегат заряжения скважин гранулированным ВВ. Предлагаемое устройство относительно простое и в зависимости от длины зарядного шланга и перепадов высот по трассе пневмотранспортирования ГВВ, может устанавливаться в любом месте в комплекте с быстроразъёмными соединениями. Устройство прошло испытание и успешно применяется при заряжении скважин на отбойке руды в камерах с системой отработки руды глубокими скважинами в подземных условиях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бейсебаев А.М., Ерофеев И.Е., Егупов А.А. и др. Механизация взрывных работ (справочное пособие). М.: Недра. 1992. 272 с.
2. Скоробогатов В.М., Мицук А.И. Типоразмерный ряд зарядных машин для подземных рудников. Взрывное дело / Под ред. Скоробогатова В.М. 1985. С. 91-107.
3. Друкованный М.Ф., Ефремов Э.И., Бондаренко Н.М. и др. Механизация взрывных работ. М.: Недра. 1984. 248 с.
4. Ерофеев И.Е. Повышение эффективности буровзрывных работ на рудниках. М.: Недра. 1988. 271 с.
5. Демидюк Г.П., Бугайский А.Н. Средства механизации и технологии взрывных работ с применением гранулированных взрывчатых веществ. М.: Недра. 1975. 312 с.
6. Емекеев В.И. Механизация взрывных работ в горной промышленности. М.: Недра. 1976. С. 7-15.
7. Жигур Л.Ю., Савельев Ю.Я. Безопасность массивных взрывов на подземных рудниках. М.: Недра. 1986. 152 с.
8. Сергеев В.В. Совершенствование средств и способов пневмозаряжения гранулированных взрывчатых веществ. Автореф. дис. ... канд. тех. наук. Орджоникидзе: Северо-Кавказский горно-металлургический институт. 1983. 24 с.
9. Анзраманов Н.Ф, Бурайский А.И., Андреев Э.К. Механизация заряжения шпуров и скважин игданитом. Взрывное дело / Под ред. проф. Г.П. Демидюка. 1983. С. 48-63.
10. Мирный В.Н. Механизированные зарядчики для ВВ, применяемые зарубежными горными предприятиями в подземных условиях. М.: НИИИНФОРМТЯЖМАШ. 1968. С. 7-13.

## ВЛИЯНИЕ ТВЕРДОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПЛАСТИНЫ НА КОЭФФИЦИЕНТ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СКОРОСТИ ШАРА ПРИ УДАРЕ

Васильков Р.Е.

тел.: 0556 41-81-99; e-mail: [termex21@mail.ru](mailto:termex21@mail.ru)

Кыргызско-Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызская Республика

Для создания машин ударного действия различного назначения необходимо знать коэффициент восстановления скорости бойка. Этот параметр необходим для установления режима работы машины – частоты и энергии ударов. В последние годы появилась новая область применения виброударной техники для очистки внутренних поверхностей труб, бункеров, кузовов от отложений. Все перечисленные объекты обладают конструкционной податливостью, которая сильно влияет на значение коэффициента восстановления скорости. В настоящее время нет математической модели, позволяющей определить значение коэффициента восстановления скорости бойка при ударе по объектам с конструкционной податливостью. Ранее при исследовании коэффициента восстановления при ударе по коробу, обладающему конструкционной податливостью [1], было замечено, что коэффициент восстановления скорости зависит как от предударной скорости [2], так и от твердости поверхности.

В связи с этим была поставлена задача определения влияния твердости поверхности объекта на коэффициент восстановления скорости бойка. При обзоре литературы была найдена работа [3] с описанием результатов экспериментального исследования коэффициента восстановления скорости бойка, которым наносился удар по волноводу (стержню), опирающемуся на пластину.

Эксперименты проводились на стенде СУ-1, позволяющем наносить удары по волноводу (стержню) бойком, свободно падающим в направляющей трубе. Стенд оснащен массивной опорой, на которую устанавливалась плита, жестко зафиксированная от перемещений относительно опоры. Волновод опирался на плиту и прижимался к ней с помощью специального устройства, позволяющего регулировать усилие прижима.

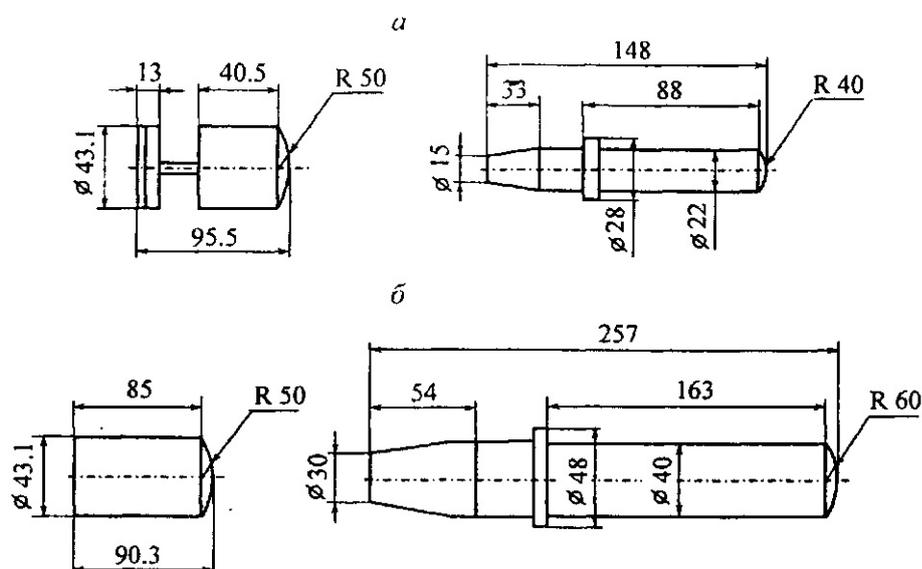


Рис. 1. Конструкции экспериментальных бойков и волноводов:  
а – боёк 1, волновод 1; б – боёк 2 – волновод 2.

В экспериментах использовались два бойка и два волновода. Их массы и твердости рабочих поверхностей указаны в таблице 1. Для увеличения направляющей базы бойка 1 имелся хвостовик, выполненный из фторопласта и соединенный с бойком шпилькой.

Параметры бойка 1 и волновода 1 (рис. 1а) соответствуют виброударной машине МП-1 для очистки золошлакопроводов, а бойка 2 и волновода 2 (рис. 1б) - машине МБ-10 для ликвидации "зависания" угля в приемных бункерах ТЭЦ.

Таблица 1. Параметры элементов ударных систем

Наименование элемента	Боек		Волновод	
	1	2	1	2
Номер элемента	1	2	1	2
Масса $m$ , кг	0,533	1,004	0,429	2,358
Материал элемента	Сталь 45	Сталь 45	Сталь 40Х	Сталь 40Х
Твердость поверхности по шкале HRC	52,0	52,2	52,0	43,3

Коэффициент отскока бойка определялся по измеренным значениям высоты  $H$ , с которой сбрасывался боек, и высоты  $h$  подскока бойка после удара:

$$R = -V_+ / V_- = \sqrt{h/H}, \quad (1)$$

где  $V_+$ ,  $V_-$  – скорости бойка до и после удара.

В качестве обрабатываемого объекта использовалась стальная плита с размерами в плане 115×203 мм и толщиной 38 мм. Твердость поверхности плиты составляла 67–68 HRB. Эксперименты проводились при скорости соударения бойка с волноводом 6 м/с.

При проведении эксперимента волновод устанавливался на недеформированную поверхность плиты и по нему наносились удары бойком с регистрацией величины отскока бойка после каждого удара.

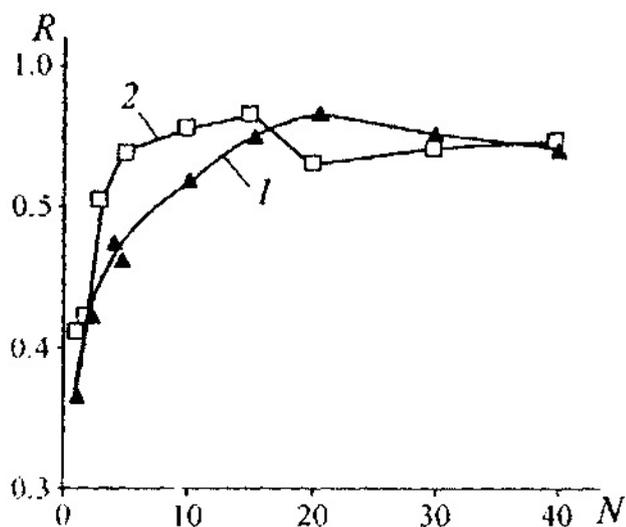


Рис. 2. Зависимость коэффициента отскока бойка от номера удара по волноводу 1:1 — боек 1; 2 — боек 2.

Полученная таким образом зависимость коэффициента восстановления скорости бойка от номера удара при ударе по волноводу 1 показана на рис. 2.

Из рисунка видно, что при использовании волновода 1, с увеличением количества ударов наблюдается повышение коэффициента  $R$  от 0,37...0,40 до 0,52...0,55, после чего наступает стабилизация; для бойка 1 – после 20-го удара, а для 2 – после 10-го.

Учитывая, что боек 2 примерно в 2 раза тяжелее бойка 1 и при одинаковой скорости соударения имеет энергию удара в два раза большую, можно отметить, что количество ударов, после которого происходит стабилизация коэффициента  $R$ , обратно пропорционально энергии удара.

Для упрочнения контактной поверхности плиты до стабилизации коэффициента отскока бойка затрачивается одинаковое количество энергии как в системе "бойк 1 – волновод 1", так и в системе "бойк 2 – волновод 1".

Таких зависимостей не наблюдалось в процессе удара по более массивному волноводу 2. В этом случае коэффициент  $R$  не зависит от числа ударов, он составляет 0,320–0,330 при использовании бойка 1 и 0,296–0,298 при использовании бойка 2.

В ходе проведения экспериментов измерялись диаметры и глубины отпечатков, оставленных волноводом на поверхности плиты после 1, 2 ... 5, 10, 20, 30, 40 ударов. С помощью прибора ТК-2М измерялась твердость поверхности в пяти различных точках отпечатка, и находилось среднее значение этой твердости. Результаты измерений показали: при использовании бойка 2 с большей массой после первого удара твердость поверхности возрастает на 4–5 единиц по шкале HRB, а после 10 ударов происходит стабилизация твердости на уровне 75–78 HRB, что на 8–10 единиц больше по сравнению с первоначальной. Для более легкого бойка 1 после 10 ударов твердость поверхности отпечатка составляет 73–74 HRB и с последующими ударами изменяется незначительно – в пределах 74–77 HRB.

Сравнение этих результатов с представленными на рис. 2 позволяет сделать вывод, что стабилизация коэффициента отскока бойка на уровне 0,52–0,55 происходит при твердости поверхности отпечатка свыше 77–78 HRB.

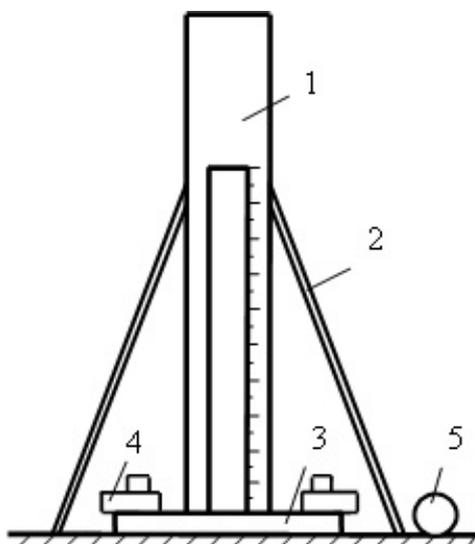


Рис. 3. Стенд для исследования коэффициента восстановления.

В данной работе решалась задача исследования влияния твердости поверхности на коэффициент восстановления для ударной системы с параметрами, отличающимися от рассмотренной выше.

Для этого было проведено несколько серий экспериментов, на стенде, состоящем из трубы 1 высотой 490 мм (рис. 3), устанавливаемой вертикально с помощью треноги 2 на пластину 3 с размерами в плане 45×80 мм, которая с помощью зажимов 4 прижималась к стальному столу. Шар 5, диаметром 27 мм, массой 78,43 г и твердостью поверхности 65 HRC с помощью пинцета сбрасывался с верхнего торца трубы. При этом он наносил несколько последовательных ударов по поверхности пластины. После каждого удара шар отскакивал на определенную высоту, которая фиксировалась с помощью цифровой видеокамеры SONY DCR-DVD 308. Затем при шаговом просмотре видеозаписи, определялась высота отскока. По результатам определения высоты отскока вычислялся

коэффициент восстановления скорости шара по формуле (1).

Скорость падения шара после каждого отскока определялась как

$$V_{-} = \sqrt{2gh}.$$

После ударов шаром по пластине на ней оставались отпечатки, диаметры которых измерялись с помощью инструментального микроскопа, а твердость пластин и оставленных на них отпечатков измерялась твердомером ТК-14-250.

Первоначально было проведено две серии экспериментов, в которых удары производились по прижатой и не прижатой пластине толщиной 10 мм с размерами в плане 45×80 мм и твердостью поверхности 71,8±1,1 HRB. Из полученных результатов следует, что при ударе по не прижатой пластине коэффициент восстановления почти на 20% меньше, чем при ударе по прижатой пластине. Можно предполагать, что эта разница связана с расходом энергии на отскок пластины от стола после удара. Из этих результатов следует также, что при ударе на поверхности отпечатка происходит наклеп, в результате которого твердость поверхности отпечатка в среднем на 8 единиц HRB больше первоначальной твердости пластины.

В последующих сериях проведены более подробные исследования влияния твердости поверхности пластины и скорости удара на коэффициент восстановления и изменение твердости отпечатка из-за наклепа.

В ходе этих исследований использовалось 6 пластин с различной толщиной, изменяющейся от 6,5 до 10,5 мм, и твердостью поверхности, изменяющейся от 72 до 93 HRB, которые прижимались к столу. Поверхность пластины, по которой наносился удар, предварительно шлифовалась.

Полученные результаты представлены в таблице 2, где в обозначении пластины первые две цифры показывают толщину пластины в мм, а третья – номер пластины с данной толщиной.

Таблица 2. Средние значения твердости поверхности пластин

Толщина и номер пластины	6,5-1	6,5-2	6,5-3	9,1	9,3	10,5-2
Твердость пластины	83,5±0,7	83,3±0,5	83,5±1	95±1,1	94,1±0,8	73,9±1,9
Твердость отпечатка	90,2±0,5	89,7±1,2	90,1±1,6	98,8±1,1	99±1,2	84,8±2
Разность, %	8%	7,6%	7,9%	4%	5,2%	14,7%
Разность, HRB	6,7	6,4	6,6	3,8	4,9	10,9

С использованием средних значений коэффициентов восстановления скорости и средних значений твердости пластин построена диаграмма зависимости коэффициента восстановления от твердости (рис. 4).

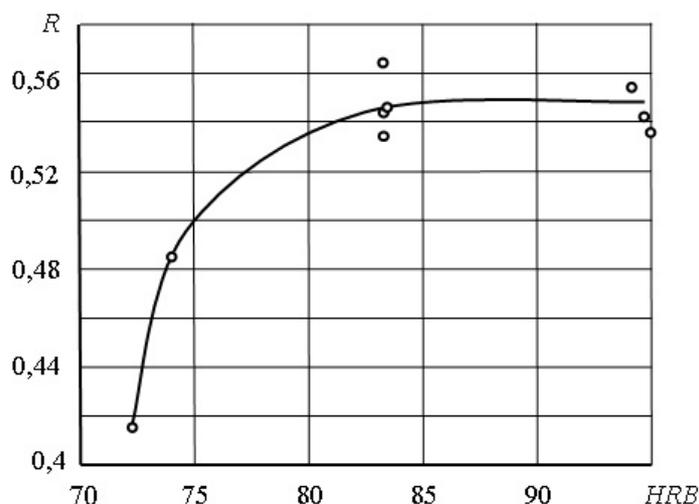


Рис. 4. График зависимости коэффициента восстановления скорости шара от твердости пластины.

На этой диаграмме видно, что коэффициент восстановления скорости шара заметно увеличивается с увеличением твердости пластин от 73 до 83 HRB, а в диапазоне твердостей от 83 до 95 HRB коэффициент восстановления практически не изменяется и составляет 0,55.

Это хорошо согласуется с результатами работы [3], что подтверждает достоверность полученных результатов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Васильков Р.Е., Еремьянц В.Э. Влияние конструкционной податливости короба на коэффициент восстановления скорости шара при ударе по его поверхности // Современные техника и технологии в научных исследованиях. Бишкек. 2014. С. 193-197.

2. Еремьянц В. Э., Васильков Р.Е. Коэффициент восстановления скорости шара при ударе по поверхности короба / Наука, технологии, инновации. Ч. 3. Новосибирск: НГТУ. 2013. С. 65-68.
3. Еремьянц В.Э., Дандыбаев Е.С., Умербеков Т.Д. Отскок бойка при ударе по волноводу, взаимодействующему со стальной плитой // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2005. № 2. С. 79 – 85.

## МАШИНА ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПОЛОВ В ТРУДНОДОСТУПНЫХ МЕСТАХ

Грищенко М.А.

тел.: 8 771 4501963; e-mail: [maxel6838@mail.ru](mailto:maxel6838@mail.ru)

Казахская автомобильно-дорожная академия им. Л.Б. Гончарова, г. Алматы, Республика Казахстан

Обработка паркетных и мозаичных полов в настоящее время в основном механизирована и осуществляется с помощью строгальных, паркетно-шлифовальных и полотерных машин. В этих машинах в качестве рабочих инструментов используются ножевые или шлифовальные барабаны, вращающиеся вокруг вертикальной оси.

Применение в машинах для механической обработки полов вращающихся вокруг одной оси инструментов традиционной круглой формы не позволяют осуществлять обработку полов непосредственно в угловых участках и у плинтусов. Обработка покрытий полов в таких труднодоступных местах осуществляется обычно с помощью ручного инструмента с использованием малопроизводительного ручного физического труда [1,2].

В связи с этим является актуальной необходимость разработки и создания таких машин, применение которых позволило бы эффективно, с минимальными затратами ручного труда выполнять отделочные работы, как на основной поверхности, так и в труднодоступных местах.

В основном варианте конструкции (рисунок 1) машина состоит из двух одинаковых планетарных механизмов 1 с рабочим инструментом 2. На валу электродвигателя 4 закреплён шкив 3, передающий вращение резам 2 рабочих головок 1.

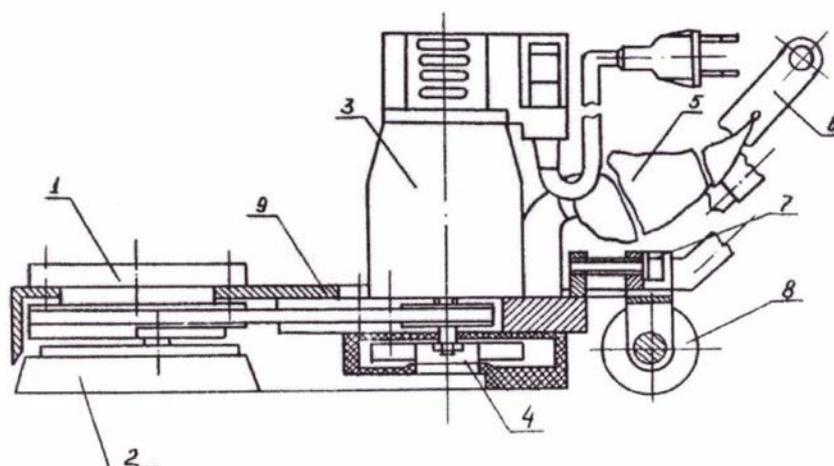


Рис. 1. Машина для механической обработки полов с планетарным движением инструмента.

1 – планетарный механизм; 2 – рабочий инструмент; 3 – коллекторный электродвигатель с выключателем и токопроводящим кабелем; 4 – вентиляторное устройство; 5 – пылесборник; 6 – рукоятка управления; 7 – клиноременная передача; 8 – ходовое устройство; 9 – рама машины.

Планетарный механизм выполнен в виде цилиндрической головки (рисунок 2) и содержит центральное зубчатое колесо 1 с внутренними зубьями и шестерню 3, входящую в зацепление с зубьями центрального зубчатого колеса 1. Отношение радиуса делительной окружности колеса и шестерни принято равным  $4/3$ . Передаточное отношение планетарного механизма при ведущем водиле равно 3. Водило 2 установлено в корпусе планетарного механизма на подшипниках 4. С водилом жестко связан шкив 7. Шестерня 3 жестко связана с валом 5, установленным на подшипниках 6 в цилиндрической расточке водила 2. Расточка расположена эксцентрично по отношению к оси вращения водила. На конце вала 5 закреплена планшайба 8 с рабочим инструментом 9. Профиль инструмента имеет форму правильного треугольника с выпуклыми сторонами. Центр его совпадает с осью вращения шестерни. Отношение расстояния от центра инструмента до любой из его вершин к радиусу шестерни равно 2,5.

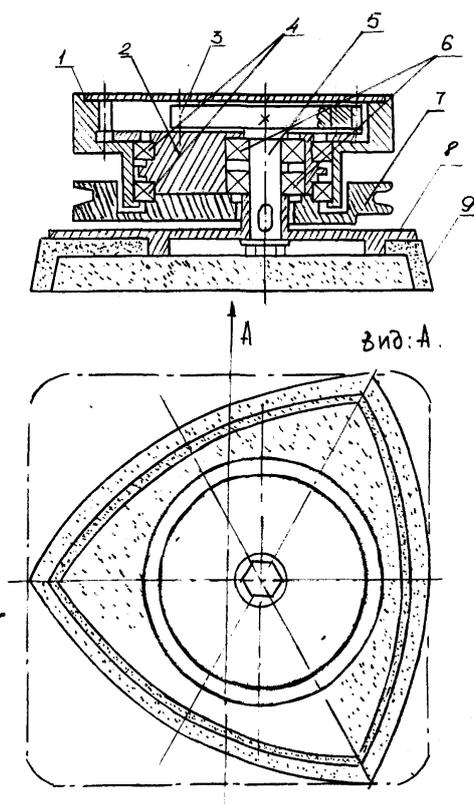


Рис. 2. Планетарный механизм.

1 – зубчатое колесо; 2 – водило; 3 – шестерня; 4 и 6 – подшипники; 5 – вал;  
7 – ведомый шкив; 8 – планшайба; 9 – рабочий инструмент.

Машина работает следующим образом: при включении электродвигателей вращение с его вала посредством клиноременной передачи передается на водило 2 планетарного механизма. В результате этого шестерня 3, вращаясь вокруг двух параллельных осей, совершает планетарное движение. Вместе с шестерней планетарное плоскопараллельное движение совершает совместно связанный с ней рабочий инструмент 9. При указанных выше кинематических особенностях и геометрических параметрах планетарной передачи и инструмента каждая из его вершин описывает одну и ту же линию – гипотрохиду, практически совпадающую с контуром квадрата. Инструмент, вписанный в этот контур, движется внутри него, благодаря чему представляется возможным обрабатывать покрытие пола в угловых участках.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Смирнов А.А., Додонов В.А. Ручные машины для строительных работ. Ч. 2. Монтажные специальные работы. М.: Стройиздат. 1989. 239 с.
2. Добронравов С.С., Дронов В.Г. Строительные машины и основы автоматизации. М.: Высшая школа. 2003. 575 с.

## ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ БЛОКА ОТЛИВОК НА ЕГО НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИ ВИБРОУДАРНОЙ ОБРУБКЕ ЛИТЯ

Дроздова И.С.

тел.: +996 772 147600; e-mail: [drozdova92@gmail.com](mailto:drozdova92@gmail.com)

Кыргызско-Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызская Республика

При точном литье по выплавляемым моделям, после заливки и охлаждения формы, литейный блок представляет собой центральный стержень 1, к которому с помощью питателей 2 присоединены отливки деталей 3 (рис. 1а). Для оценки влияния параметров блока на его напряженное состояние в работе рассмотрена модель, в которой питатель с расположенной на нем отливкой, представлен в виде упругой консольной балки, имеющей жесткую заделку на одном конце и сосредоточенную массу (отливку) на другом. Для того чтобы при отделении отливок на них не оставалось остатков питателей, на питателе у отливки делают пережим 4, который выступает в качестве концентратора напряжений. Центр тяжести массы лежит на оси балки, распределенную массу балки модель не учитывает. Длина балки равняется сумме длины питателя  $l$  и радиуса отливки  $R$ . В центре тяжести отливки приложена сосредоточенная сила  $P$ , равная силе инерции, действующей на отливку при ударном нагружении литейного блока (рис. 1б).

Модель блока отливок представлялась в виде оснащенного стержня с распределенными параметрами. В ней блок отливок представлялся как оснащенный стержень, состоящий из центрального упругого стержня с распределенной массой  $m$  и сосредоточенных масс  $m_0$ , присоединенных к нему с помощью упругих элементов с жесткостью  $c$ , равномерно распределенных по длине стержня.

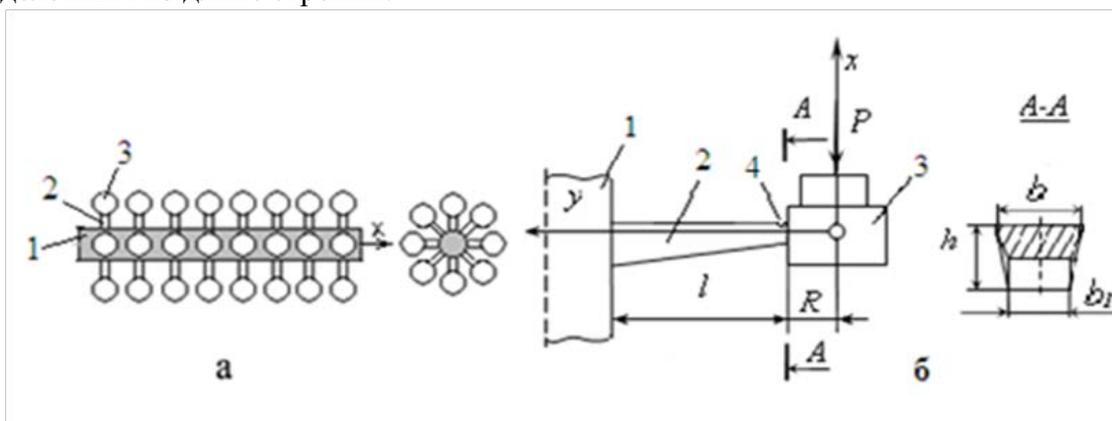


Рис. 1. Литейный блок и схема питателя с отливкой.

Параметры модели связаны с параметрами оснащенного стержня следующими соотношениями:

$$m = m_1 / l_1, m_0 = nm_2 / l_1, c = nc_0 / l_1, c_0 = 3EJ/L^3,$$

где  $m_1$  - масса стержня;  $m_2$  – величина сосредоточенной массы;  $c_0$  - жесткость одной упругой связи сосредоточенной массы со стержнем;  $l_1$  – длина стержня;  $n$  – количество сосредоточенных масс;  $L$  – расстояние от центра тяжести сосредоточенной массы до стержня;  $E$  – модуль упругости.

В работах [1,2] с использованием этой модели была решена задача о колебаниях оснащенного стержня при действии на его торец ударного импульса прямоугольной формы. В результате решения были получены формулы, определяющие изменение продольных сил  $P_c(t)$  в самом стержне и сил  $F_y(t)$  в упругих связях в зависимости от времени, которые имеют вид:

$$P_c(x,t) = -\frac{2P_0ma^2}{(m+m_0)l_1} \sum_{s=1}^{\infty} \frac{\beta_s}{p_{s1}^2} \sin \beta_s x \left[ 1 - \cos p_{s1}t + \frac{p_{s1}^2}{p_{s2}^2} (1 - \cos p_{s2}t) \right], \quad (1)$$

$$F_y(x,t) = \frac{2P_0c_0}{(m+m_0)l_1} \sum_{s=1}^{\infty} \cos \beta_s x \left[ \frac{(1-\lambda_{s1})}{p_{s1}^2} (1 - \cos p_{s1}t) + \frac{(1-\lambda_{s2})}{p_{s2}^2} (1 - \cos p_{s2}t) \right], \quad (2)$$

где  $P_0$  - величина ударного импульса;  $p_{s1}$ ,  $p_{s2}$  - собственные частоты колебаний стержня;  $a$  – скорость распространения волны деформации в гладком упругом стержне;  $\rho$  – плотность материала.

$$\beta_s = (2s-1)\pi / 2l_1, s = 1, 2, 3... \quad a = E / \rho, \quad p_{s1,2} = \sqrt{h \pm \sqrt{h^2 - a^2 \beta_s^2 k_0^2}}, \quad h = 0,5(a^2 \beta_s^2 + k_0^2 + k^2),$$

$$k^2 = c/m, k_0^2 = c/m_0, \quad \lambda_{s1} = 1 + (a^2 \beta_s^2 - p_{s1}^2) / k^2, \quad \lambda_{s2} = 1 + (a^2 \beta_s^2 - p_{s2}^2) / k^2.$$

При расчетах в разложении сил удерживались только первые восемь гармоник, поскольку, как показали расчеты, удержание последующих гармоник не оказывает существенного влияния на конечные результаты.

С учетом формул (1) и (2) напряжения в упругих связях сосредоточенных масс со стержнем  $\sigma_y$  и напряжения в сечениях центрального стержня  $\sigma_c$  определяются как:

$$\sigma_y(x,t) = \frac{F_y R}{W}, \quad \sigma_c(x,t) = \frac{P_c}{S},$$

где  $R$  – расстояние от центра тяжести сосредоточенной массы до рассматриваемого сечения в упругой связи;  $W = b \cdot h^2 / 6$  – момент сопротивления изгибу рассматриваемого сечения;  $S$  – площадь поперечного сечения центрального стержня.

В данной работе рассмотрено влияние массы и радиуса отливок на напряженное состояние литейного блока. При проведении исследований один из параметров варьировался при среднем значении другого. В качестве средних были приняты следующие значения параметров:  $m_2 = 0,06$  кг,  $R = 12,5$  мм. Расчеты проводились для среднего сечения стержня при действии на него ударного импульса длительностью  $\tau = 3T$ , где  $T$  – период колебаний гладкого центрального стержня без присоединенных масс, равный  $2l_1/a$ .

При проведении расчетов были приняты следующие исходные данные:  $m_1 = 3,292$  кг;  $l_1 = 0,37$  м;  $l = 13,3$  мм;  $c_0 = 6,438 \cdot 10^6$  Н/м;  $c = 11,136 \cdot 10^8$  Н/м<sup>2</sup>;  $k = 1,1187 \cdot 10^4$  с<sup>-1</sup>;  $k_0 = 1,036 \cdot 10^4$  с<sup>-1</sup>;  $a = 5135$  м/с;  $\rho = 7850$  кг/м<sup>3</sup>;  $E = 20,7 \cdot 10^{10}$  Па;  $b \times h = 9 \times 6$  мм;  $W = 5,4 \cdot 10^{-8}$  м<sup>3</sup>;  $P_0 = 1$  кН; количество рядов отливок – 8; количество отливок в ряду – 8; материал стержня – Сталь 50ХНЛ.

В таблицах 1, 2 приведены значения коэффициентов, входящих в формулы (1), (2), при различных значениях радиуса и массы отливки соответственно. Для того чтобы проследить изменение собственных частот колебаний стержня и сосредоточенных масс в зависимости от

варьируемых параметров блока, в качестве примера в таблицах 1 и 2 приведены их значения для восьмой формы колебаний.

Таблица 1. Значения коэффициентов в выражениях сил при различных значениях радиуса отливки

$R, \text{ м}$	0,003	0,006	0,009	0,012	0,015	0,018	0,021	0,024	0,027	0,03
$c_0 \cdot 10^6, \text{ Н/м}^2$	24,56	14,67	9,448	6,438	4,583	3,377	2,56	1,986	1,572	1,265
$c \cdot 10^8, \text{ Н/м}^2$	42,48	25,37	16,34	11,14	7,927	5,484	4,427	3,435	2,719	2,189
$k_0 \cdot 10^4, \text{ с}^{-1}$	2,023	1,563	1,255	1,036	0,874	0,81	0,653	0,575	0,512	0,459
$k \cdot 10^4, \text{ с}^{-1}$	2,185	1,689	1,355	1,119	0,944	0,75	0,705	0,621	0,553	0,496
$p_{81} \cdot 10^4, \text{ с}^{-1}$	2,019	1,561	1,254	1,035	0,834	0,75	0,653	0,575	0,512	0,459
$p_{82} \cdot 10^4, \text{ с}^{-1}$	32,77	32,74	32,73	32,72	32,71	32,71	32,71	32,71	32,71	32,7

Из данных таблицы 1 следует, что с увеличением радиуса отливки жесткость каждой упругой связи, соединяющей ее со стержнем, уменьшается. При изменении радиуса отливки от 0,003 до 0,015 м можно наблюдать резкое уменьшение жесткости от  $24,56 \cdot 10^6$  до  $4,583 \cdot 10^6$  Н/м<sup>2</sup>, т.е. в 5,3 раза; а с увеличением радиуса до 0,03 м жесткость уменьшается до  $1,265 \cdot 10^6$  Н/м<sup>2</sup>, т.е. лишь в 3,6 раз.

Таблица 2. Значения коэффициентов в выражениях сил при различных значениях массы отливок

$m_2, \text{ кг}$	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1	0,12	0,14	0,16	0,18	0,2
$m_0, \text{ кг/м}$	3,459	6,919	10,378	13,838	17,297	20,757	24,216	27,676	31,135	34,595
$p_{81} \cdot 10^4, \text{ с}^{-1}$	1,793	1,268	1,035	0,897	0,802	0,732	0,678	0,634	0,598	0,597
$P_{82} \cdot 10^4, \text{ с}^{-1}$	32,72	32,72	32,72	32,72	32,72	32,72	32,72	32,72	32,72	32,72

На рис. 2 представлены диаграммы изменения максимальных напряжений в стержне и в питателях в сечении с пережимом в зависимости от массы отливок.

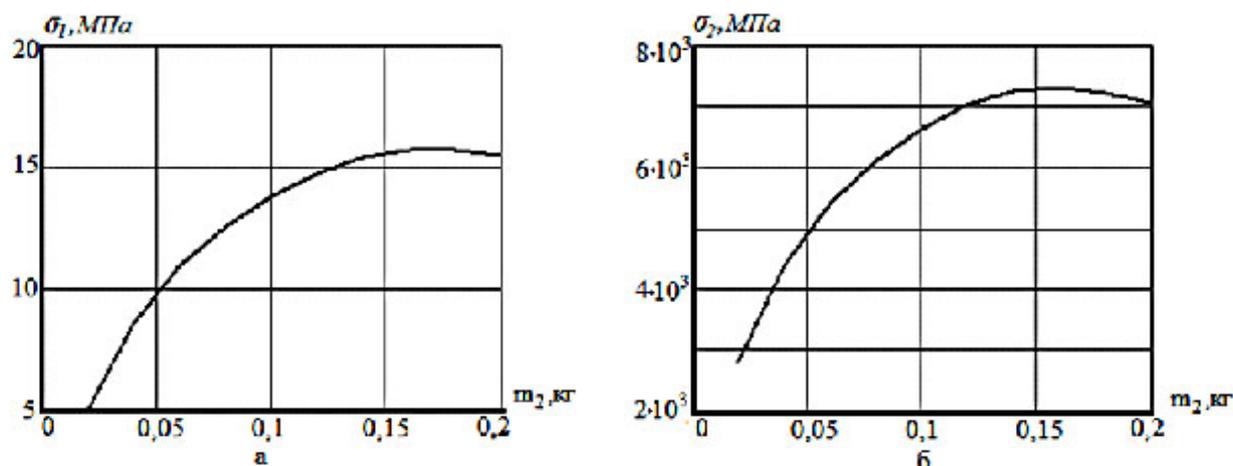


Рис. 2. Диаграммы изменения напряжений в стержне (а) и питателях (б) в зависимости от массы отливок

Из данных таблицы 2 видно, что по мере увеличения массы отливок частота колебаний сосредоточенных масс уменьшается, а частота колебаний стержня остается неизменной. С увеличением массы отливок от 0,02 до 0,1 кг частоты низшего спектра уменьшаются в 2,2 раза, а при увеличении массы до 0,2 кг – только в 1,3 раза. Следовательно, малые значения массы отливок оказывают более существенное влияние на частоты колебаний сосредоточенных масс.

На рис. 2 видно, что при увеличении массы отливок напряжения в стержне и питателях увеличиваются. Причем при увеличении массы от 0,02 до 0,06 кг напряжения в стержне увеличиваются в 2,2 раза, а в питателях – в 1,9 раз. При увеличении массы от 0,06 до 0,16 кг напряжения в стержне возрастают в 1,43 раза, в питателях - в 1,35 раза. А значит влияние массы отливки на напряженное состояние блока наиболее существенно при малых значениях масс. Дальнейшее увеличение массы отливок до 0,2 кг приводит к понижению значений напряжений в стержне на 1,42%, а в питателях – на 3,1%. Следовательно, не рекомендуется повышать массу отливок более 0,16 кг, так как это приводит к снижению напряжений в литейном блоке. В диапазоне изменения массы отливок от 0,02 до 0,2 кг значения напряжений изменяются на 30-50% относительно их средних значений.

На рис. 3 показаны диаграммы изменения максимальных напряжений в стержне и в питателях в сечении с пережимом в зависимости от радиуса отливок.

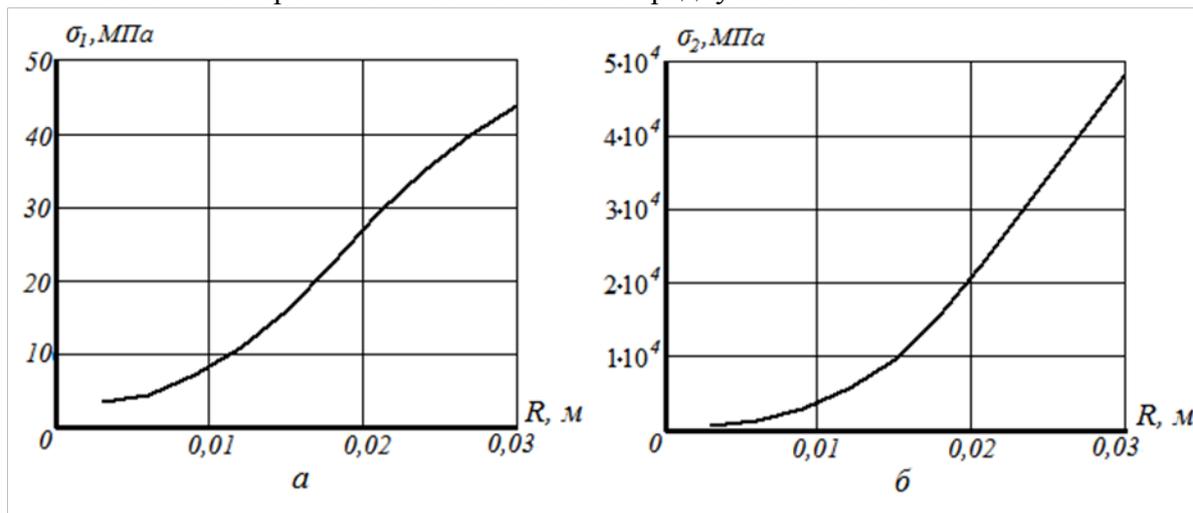


Рис. 3. Диаграмма изменения значений напряжений в стержне (а) и в питателях (б) в зависимости от радиуса отливок.

Как видно на рис. 3, с увеличением радиуса отливок, напряжения в стержне и в питателях также увеличиваются. При этом в диапазоне от 0,003 до 0,03 м напряжения в стержне возрастают почти в 13 раз, а в питателях – более чем в 136 раз. Можно заметить, что для значений радиуса отливок более 0,015 м напряжения в питателях изменяются линейно.

Таким образом, можно сделать вывод, что масса и радиус отливки оказывают существенное влияние на напряжения, возникающие в литейном блоке при ударном нагружении. В зависимости от величин этих параметров частоты колебаний сосредоточенных масс могут изменяться на 40 – 70% относительно их средних значений, напряжения могут изменяться на 30% и более. Изменение массы и радиуса отливок не влияет на частоты колебаний стержня.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Еремьянц В. Э., Дроздова И.С. Колебание оснащенного стержня при действии на его торец ударного импульса прямоугольной формы // Вестник КРСУ.2013. Т. 13. № 7. С. 32-36.
2. Дроздова И.С. Продольный удар по оснащеному стержню с заземленным концом. // Наука. Технологии. Инновации. Материалы всероссийской научной конференции молодых ученых. Часть 3. Новосибирск: НГТУ. 2013. С. 76 – 79.
3. Еремьянц В.Э., Невенчаный Ю.В., Писаренко Н.Г. Ударное нагружение оснащенных стержней. Фрунзе: Илим. 1987.164 с.

## ДРОБИЛЬНАЯ МАШИНА СО СЛОЖНЫМ ДВИЖЕНИЕМ РАБОЧИХ ОРГАНОВ

Ким С.Б., Ли И.Р.

тел: 8 747 2468954, 8 707 3577075; e-mail: [januari23@mail.ru](mailto:januari23@mail.ru)

Казахская автомобильно-дорожная академия им. Л.Б. Гончарова, г. Алматы, Республика Казахстан

Дробление (измельчение) материалов в промышленности нерудных строительных материалов при производстве гравия, щебня, песка и др. является одной из наиболее масштабных, энергоемких и вследствие этого дорогостоящих технологических операций. Поэтому дальнейшее совершенствование дробильного оборудования, направленное на снижение его удельной энерго- и металлоемкости и поиск наиболее эффективных и экономически целесообразных способов дробления имеет важное народнохозяйственное значение, особенно в настоящее время в связи с интенсивным строительством автомобильных и железных дорог, зданий и сооружений [1].

Разработанная и созданная на кафедре «Транспортная техника и организация перевозок» дробильная машина со сложным движением рабочих органов (рисунок 1), согласно исследованиям, проведенным по договору №892 от 02.03. 2012 г. и по договору № 260 от 04.02.2013 г. с Комитетом науки МОН РК, позволяет повысить производительность, обеспечить минимальную удельную энергоёмкость рабочего процесса (в связи с дополнительным импульсным воздействием на обрабатываемый материал), при значительном снижении габаритных размеров и массы дробилки (в два с лишним раза), а также улучшить качество дробимого продукта (щебня) – получается кубовидный щебень [2].



а)



б)

Рис. 1. Дробилка с циклоидальным движением рабочих органов:  
а) общий вид; б) вид сверху.

В экспериментальной дробилке дробящие валки жестко установлены на эксцентриковых валах, которые кинематически связаны зубчатой передачей, чем обеспечивается их встречное синхронное вращение. Для придания валкам сложного циклоидального движения, они кинематически связаны с приводом дробилки через планетарный редуктор, неподвижное центральное колесо которого с внутренним зацеплением жестко закреплено на корпусе, а сателлиты жестко закреплены на валках (рис. 1). Таким образом, дробящие валки совершают сложное движение по циклоиде, чем достигается получение качественного кубовидного продукта дробления.

При проведении экспериментов забор каменного материала для дробления (с определенной прочностью) производился после отсева зерен меньше 45 мм и через лоток подавался в приемную воронку экспериментальной дробилки. Расход каменного материала задавался при помощи регулировки подачи материала с замером веса партии. Материал после дробления (щебень) на экспериментальной дробилке ДЦ-1КЛ собирался в измерительный ящик, при этом время работы дробилки фиксировалось при помощи секундомера. Частота вращения рабочих органов синхронизировалась с помощью «частотника» - регулятора числа оборотов двигателя (INVERTER – частотный преобразователь 7.5 кВт) и проверялась тахометром.

Испытательная лаборатория КазАДИ											
Рабочий бланк определения зернового состава материала											
Испытание дробильной установки КазАДИ											
Описание : Каменный материал № 3											
m-2296,26г.											
Наименование остатков	Размер сит, мм										
	20	15	10	5	2.5	1.25	0.63	0.315	0.16	0.071	<0/071
Частные остатки гр	610,5	950,6	20,15	340,7	100,6	20,27	35,6	22,1	8,33	5,31	2,13
Частные остатки,%	26,59	41,4	8,72	14,84	4,38	0,88	1,55	0,96	0,31	0,23	0,14
Полные остатки,%	26,59	67,99	76,71	91,55	95,93	96,81	98,36	99,32	99,63	99,86	100
Полные расходы	98,21	89,14	76,36	49,54	35,76	27,12	17,82	12,33	8,56	5,44	0
Пределы (СТ РК 1225-2003 т3)	90-100	75-100	62-100	40-50	28-38	20-28	14-20	10-16	6-12	4-10	

На рисунке 2 представлено в табличном и графическом виде соотношение зерен различной крупности (фракций), входящих в состав щебня, выраженное в процентах по отношению к весу испытуемой пробы. Из анализа результатов экспериментов следует, что зерновой состав фракций, входящих в состав щебня, находится в рекомендуемых пределах (СТ РК 1225-2003 т. 3).

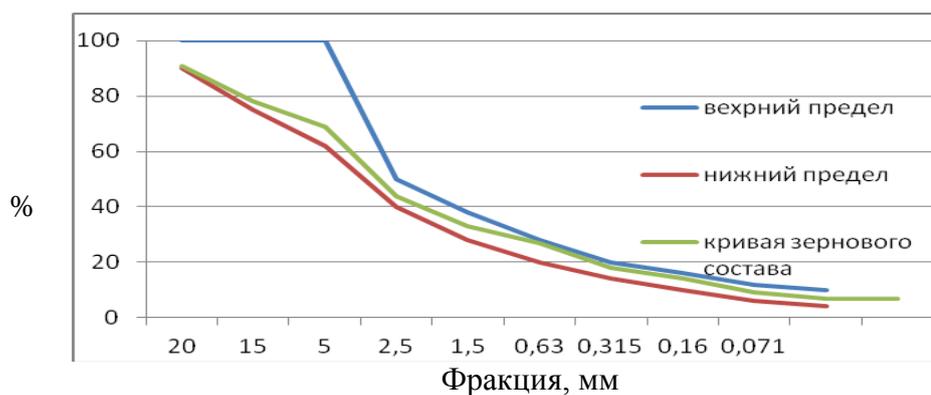


Рис. 2. Определение зернового (гранулометрического) состава фракций, входящих в состав щебня.

На рисунке 3 представлена зависимость зернового состава фракций от числа оборотов валков при выходной щели 15 мм. Оптимальное число оборотов валков лежит в пределах 100-120 об/мин. Тогда выход щебня фракций 15 мм составляет свыше 80% и аппроксимируется уравнением  $Y = 0,005x^2 + 1,215x + 7,196$ .

Выходная щель 15 мм

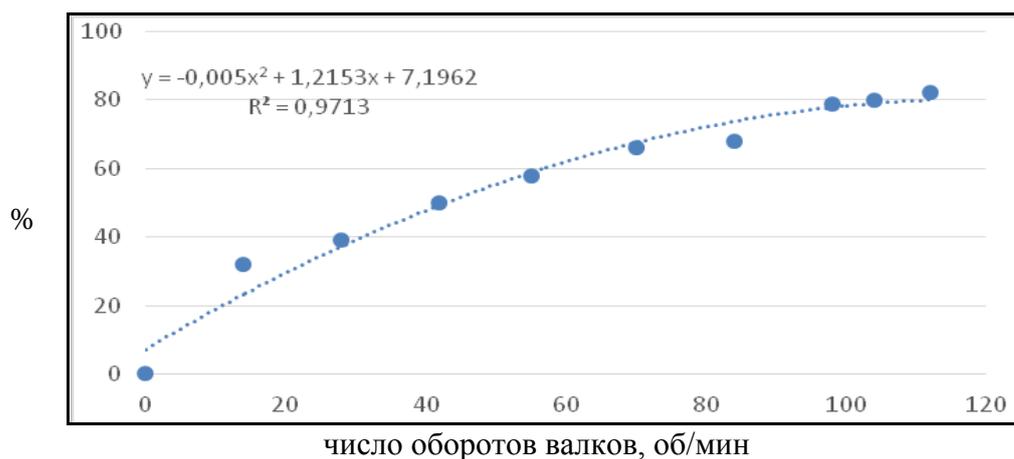


Рис. 3. Зависимость зернового состава фракций от числа оборотов валков.

В результате экспериментальных исследований определены оптимальные обороты валков для получения качественного кубовидного щебня (свыше 80%).

**Выводы:**

1. Проверена работоспособность экспериментальной дробилки. Установлено, что изделие соответствует паспортным данным и технической документации.
2. Ситовой анализ полученного продукта (щебня) позволил установить, что зерновой состав фракций находится в пределах СТ РК 1225-2003 т.3.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Клушанцев Б.В. и др. Дробилки. Конструкция, расчет, особенности эксплуатации. М.: Машиностроение. 1990. 320 с.
2. Недорезов И.А., Кабашев Р.А. Машины строительного производства и их рабочие среды взаимодействия. Москва – Алматы, Бастау. 2013. 444 с.

## ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОПРЕОБРАЗОВАНИЯ В ДВС

Курманбаев С.А., Нурахметов М.Ж.

тел.: 87714024119; e-mail: [Sabraliev51@mail.ru](mailto:Sabraliev51@mail.ru)

Казахская автомобильно-дорожная академия им. Л.Б.Гончарова, г. Алматы, РК

Отличительной особенностью организации рабочего процесса в дизелях является высокое сжатие заряда, применение которого в первых двигателях такого типа являлось попыткой приближения к наиболее экономичному циклу Карно, а также стало использоваться как простой способ воспламенения топлива.

В дизелях давление воздушного заряда в течение сжатия повышается до 3.5 МПа, а температура достигает 800...950 К, значительно превышая температуру самовоспламенения углеводородных топлив (570...623К). Поэтому во избежание преждевременного воспламенения горючая смесь не может приготавливаться заранее и подаваться в цилиндр в процессе впуска, как это осуществляется в двигателях с принудительным воспламенением. В данном случае приходится использовать принцип внутреннего смесеобразования, т.е. впрыскивать топливо в нагретый от сжатия воздушный заряд незадолго до наивыгоднейшего момента начала тепловыделения. В процессе впрыскивания топливо, выходящее из сопловых отверстий форсунки под большим давлением и с большой (150.300 м/с) скоростью, возмущенное внутренними турбулентными пульсациями, дробится на капли, которые, попадая в плотную воздушную среду, разбиваются под действием сил аэродинамического сопротивления. Эти капли, контактируя с «горячим» воздухом, прогреваются и начинают испаряться, вследствие чего вокруг них образуется смесь паров топлива с воздухом.

Применение современных методов исследования, основанных на использовании голографии и лазерной техники, позволило получить достаточно четкое представление о микроструктуре и макросостоянии топливной струи, в основе которой лежит гипотеза об ее зонной структуре [2]. Зонная модель предполагает, что наиболее интенсивный тепло- и массообмен характерны только для головной зоны топливной струи, в которой летящие с большой скоростью капли встречаются с относительно неподвижным воздухом и резко замедляют свое движение. За время быстрого торможения капли испытывают максимальное воздействие среды, вызывающее ускорение их прогрева и испарения.

Согласно концепции Ю.Б. Свиридова [1], в зонах, располагающихся за головной и называемых шлейфом, частицы топлива движутся в основном по трассам-трекам, образованным аэродинамическими следами впереди летящих капель. Поскольку движение капель в шлейфе осуществляется в сопутной струе воздуха и, следовательно, при малых относительных скоростях обдува, то тепломассообмен здесь оказывается незначительным.

Реальное осуществление принципа внутреннего смесеобразования при высоком сжатии сообщает дизельному процессу своеобразный характер, поскольку воспламенение и сгорание топлива развиваются в гетерогенном заряде, характеризующемся крайне неравномерными концентрационными полями. В связи с этой особенностью общее соотношение «воздух-топливо», обычно оцениваемое коэффициентом избытка воздуха  $a$ , в дизеле не характеризует действительных условий сгорания. Химические процессы здесь определяются локальными концентрациями паров топлива и воздуха, а в то же время на некотором удалении от поверхности отдельных капель и их массивов всегда имеются зоны, где образовалась смесь, близкая к стехиометрической ( $a_{лок} \sim 1$ ).

В начальный момент взаимодействия капель с воздухом температуры на их поверхность и в прилегающей к ним паровой оболочке не превышают температуры испарения топлива и не могут инициировать развитие химических процессов. Однако по мере прогрева зон смеси с оптимальным составом в них начинают зарождаться цепные процессы химических превращений и накапливаются активные продукты промежуточных реакций.

Когда содержание активных продуктов цепных превращений достигнет критической концентрации, происходит их изотермический распад, сопровождающийся свечением в виде «холодного» пламени. В зонах, где возникло холодное пламя, образуются альдегиды и свободные радикалы, усиливающие активизацию и разогрев смеси. В результате этого реакция самоускоряется, что в свою очередь увеличивает ее экзотермический эффект. Когда тепловыделение в данной зоне значительно превысит теплоотвод, содержимое зоны быстро разогревается вплоть до температур, при которых образуются конечные продукты реакции и возникает свечение, т.е. пламя. С учетом изложенного можно заключить, что самовоспламенение в дизеле представляет собой многостадийный цепочно-тепловой процесс, при котором происходит прогрессирующее самоускорение химических реакций в результате локального образования и накопления в реагирующей системе активных промежуточных продуктов и теплоты. Таким образом, непосредственно после начала впрыскивания в цилиндре двигателя последовательно осуществляются сложные физические процессы дробления, прогрева, испарения топлива и образования зон горючей паровоздушной смеси, в которых начинают происходить химические превращения. Все эти процессы совершаются с конечными скоростями, в связи с чем с момента начала впрыскивания топлива до его воспламенения проходит определенное время, называемое периодом задержки воспламенения  $t_i$ . Этот параметр является важнейшим показателем дизельного процесса, так как от его значения во многом зависит характер и качество последующего сгорания.

Продолжительность периода  $T_i$  зависит от интенсивности процессов предпламенной физико-химической подготовки топлива, которая, в свою очередь, определяется прочностью молекул топлива, давлением, температурой и газодинамическим состоянием воздушного заряда, макро- и микроструктурой смеси. Для  $T_i$  большое значение имеет применяемое топливо, которое должно обладать достаточной воспламеняемостью, оцениваемой цетановым числом. После завершения физико-химической подготовки топлива и возникновения в периферийных зонах топливной струи многих очагов пламени процесс сгорания получает ускоренное развитие. Из возникших очагов пламя быстро распространяется по объемам, где смесь гомогенизирована и ее состав находится в приемлемых концентрационных пределах. Такие фронты перемещаются по законам турбулентного пламени с большой скоростью, так как невоспламенившаяся смесь, подвергаясь воздействию высокой температуры, хорошо активизирована. В результате многоочагового воспламенения и турбулентного сгорания паров топлива, прошедшего предпламенную подготовку, выделяется до 35.55% потенциальной цикловой теплоты и генерируются высокотемпературные продукты сгорания, образующие вокруг ядра топливной струи газовую оболочку. Резкое повышение температуры продуктов сгорания вызывает интенсивный рост локальных давлений, которые распространяются со скоростью звука на весь объем рабочей полости.

При очень высокой скорости местного тепловыделения в этих зонах возникают ударные волны, которые при встрече со стенками обуславливают их вибрацию, обнаруживаемую по характерному для дизеля звучанию - стуку. Следует также отметить, что повышенная температура продуктов сгорания при избытке кислорода приводит к заметной эмиссии оксидов азота. Температура не воспламенившейся части заряда повышается в меньшей степени только за счет его поджата вследствие общего роста давления в цилиндре.

В результате быстрого сгорания наиболее подготовленной смеси основная часть топлива, находящаяся в ядре струи, оказывается изолированной от внешнего окислителя оболочкой инертных продуктов сгорания. В связи с этим высокая (в стадии турбулентного сгорания) скорость реакции резко падает, и горение переходит в качественно иную фазу. Фронт пламени локализуется на границе раздела паров топлива и окислителя, как правило, на изостехиометрической поверхности, и интенсивность химических превращений становится зависимой от скорости диффузионных процессов взаимопроникновения реагентов.

Под воздействием газодинамической обстановки и диффузии инертная оболочка, экранирующая зону горения, «рассасывается», транспортирование окислителя несколько улучшается, а снизившаяся скорость реакции повышается. Однако поскольку скорости

диффузионных процессов не могут быть высокими, то интенсивность тепловыделения в диффузионной стадии оказывается очень низкой, а время полного реагирования оставшегося топлива существенно увеличивается.

Как следует из приведенных материалов, интенсивность и количественные значения начального тепловыделения и повышения давления определяются количеством топлива, прошедшего все стадии предпламенной физико-химической подготовки. В качестве косвенного показателя, характеризующего жесткость и степень повышения давления при сгорании, А.И.Толстов предложил использовать фактор динамичности цикла [2].

В современных дизелях, работающих при коротком энергичном впрыскивании, фактор динамичности достигает 0,5...0,8. Однако высокая динамичность начального тепловыделения не может полностью компенсировать резкого снижения скорости реакций в завершающих стадиях. Затянутое вплоть до 50.70 град.п.к.в. после ВМТ тепловыделение используется неэффективно, что и определяет относительно высокие технические потери  $A_n$ , обусловленные несовершенством динамики сгорания. В зависимости от общей продолжительности тепловыделения эти потери могут составлять от 0,05 до 0,1 потенциальной цикловой теплоты.

Продолжительность стадии диффузионного горения, лимитирующей общее время тепловыделения, главным образом зависит от общего избытка воздуха, с увеличением которого повышается скорость диффузионных процессов. Отсюда вынужденной особенностью дизельного процесса являются достаточно высокие значения коэффициента  $a$ , обычно превышающего 1,5...1,6. Большие значения  $a$ , обеспечивая необходимую полноту и своевременность сгорания, уменьшают возможную удельную цикловую работу, так что среднее эффективное давление дизеля без наддува не превышает 0,69...0,7 МПа.[3].

Тем не менее, одним только повышением общего избытка воздуха невозможно решение проблем организации эффективного дизельного процесса. Решающим фактором, который, во-первых, обеспечивает быстрое рассеивание оболочки продуктов начального сгорания, а во-вторых, интенсифицирует молярный массоперенос в диффузионной стадии, является турбулизация заряда, что широко используется в современных конструкциях.

Особенности диффузионной стадии сгорания кроме тепловой эффективности влияют на экологические характеристики дизелей. В этой стадии капли топлива и сгустки паров, окруженные горячими продуктами сгорания, нагреваются без доступа кислорода, что приводит к термическому разложению молекул углеводорода с образованием, в конечном счете, углерода на молекулярном уровне, затем коагулирующегося в макрочастице сажи. Дымный выпуск является недостатком, органически присущим внутреннему смесеобразованию при использовании утяжеленных топлив, и существенно сказывается на уровне экологических свойств дизелей. Завершение стадии диффузионного сгорания происходит с затухающей скоростью тепловыделения. С одной стороны, это определяется израсходованием исходных реагентов, а с другой - замедлением процессов тепло- и массопереноса в пристеночных слоях, где существенно увеличивается теплоотдача в охлаждаемые стенки. В этих зонах не происходит полного окисления и в продуктах сгорания появляются несгоревшие токсичные углеводороды (СН). Резюмируя изложенное, можно заключить, что основные особенности рабочего процесса дизеля заключаются в том, что он осуществляется при «высоком сжатии», обеспечивающем минимум термодинамических потерь (32%) и самовоспламенении топлива.

Наличие малоуправляемого процесса физико-химической подготовки топлива к воспламенению приводит к интенсивному начальному тепловыделению, вызывающему повышение механической нагруженности деталей кривошипно-шатунного механизма. В то же время затянутое сгорание топлива в диффузионной стадии снижает эффективность преобразования теплоты в работу. В целом теплоиспользование в дизеле по сравнению с бензиновыми двигателями улучшено за счет снижения термодинамических потерь ( $\% = 0,68$ ), достигнутого повышением степени сжатия, некоторого снижения технических потерь вследствие неполноты сгорания ( $A_{н.с.} = 0,01. 0,02$ ) и меньшего роста теплоемкости рабочего

тела ( $Anp.m. = 0,09.0,10$ ), обусловленных увеличением общего избытка воздуха при сгорании.

Работа дизелей при значительных коэффициентах избытка воздуха дает возможность снизить содержание в отработавших газах оксида углерода по сравнению с двигателями с искровым зажиганием. Однако наличие высокотемпературных зон со свободным кислородом затрудняют сокращение выбросов оксидов азота, а неполное сгорание смеси в охлаждаемых пристеночных зонах и в зазорах между деталями обуславливает выбросы углеводородов. Рассмотренные особенности рабочего процесса ДВС дают возможность определить направления его совершенствования. Они заключаются в следующем:

- совершенствование характеристики тепловыделения повышением полноты и своевременности сгорания при ограничении жесткости и максимального давления цикла;
- оптимизация управления процессом энергопреобразования в поле эксплуатационных режимов при применении топлив различного качества;
- снижение диапазона условий осуществления рабочего процесса;
- уменьшение механических потерь.

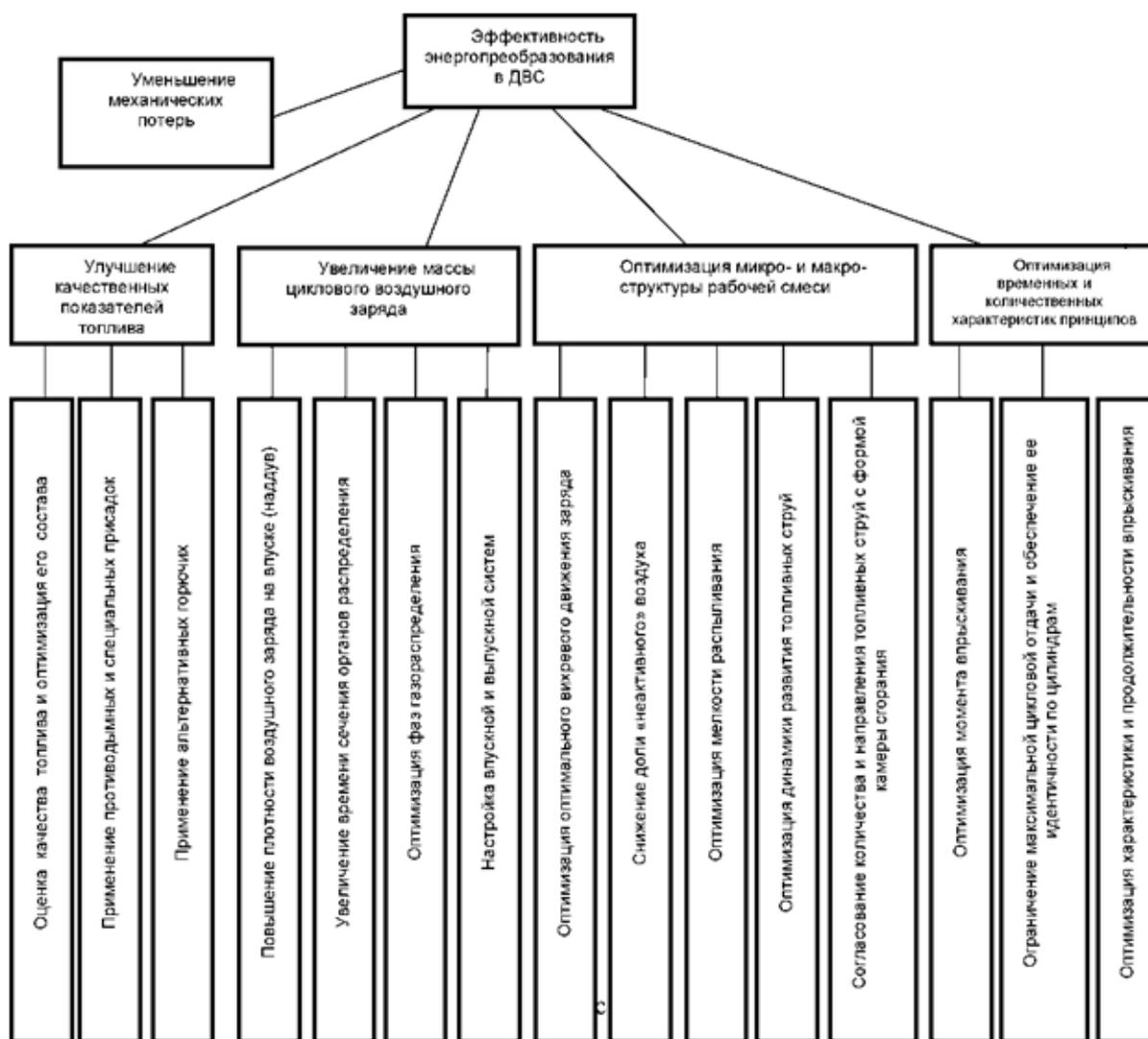


Рис. 1. Структурная схема повышения эффективности энергопреобразования в ДВС.

В числе важных направлений находится также расширение ассортимента дизельного горючего, в том числе и поиск возможных альтернатив топливу нефтяного происхождения. На структурной схеме рис.1, представлен комплекс методов, с помощью которых реализуются указанные направления в современном двигателестроении.

При безусловной актуальности любого из этих направлений, одним из наиболее

приоритетных является совершенствование характеристики тепловыделения за счет улучшения качества применяемого на ДВС топлива и его смесеобразования. Решение этой проблемы осуществляется как за счет повышения эффективности функционирования топливной аппаратуры с системой оценки качества топлива, обеспечивающей необходимый физико-химический состав, мелкость распыливания и рациональную баллистику топливных струй, так и путем влияния на газодинамическое состояние воздушного заряда.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Понадий О.М., Радченко Е.Д., Дейнеко П.С., Онойченко С.Н., Емельянов В.Е. Способ определения свинца в бензине // Заявка 94017461/04 (Россия), Б.И. № 34,10.12.19.
2. Николаенко А.В. Энергетические машины и установки. Двигатели внутреннего сгорания: учеб. пособие для студентов вузов. С-Пб. 2004. 177 с.
3. Лиханов В.А. Снижение токсичности и улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения метанола. Киров: Вятская ГСХА. 2001. 212 с.

### **РАБОЧИЙ ОРГАН ПОГРУЗЧИКА С РАСЧЕТНОЙ ТРАЕКТОРИЕЙ РАЗГРУЗКИ ГРУЗА**

Масимханов Е.А., Утеулова А.А.

тел.: 8 707 9553375, 8 778 8674994; e-mail: [arika\\_rock\\_star@mail.ru](mailto:arika_rock_star@mail.ru)

Казахская автомобильно-дорожная академия им. Л.Б. Гончарова, г. Алматы,  
Республика Казахстан

Согласно проведенным патентным исследованиям существующие технические решения по устройствам рабочих органов погрузчиков и экскаваторов не обеспечивают качественной очистки рабочих поверхностей в угловой части подвижного состава транспортных средств. Скорость роторов экскаваторов ограничивается необходимостью обеспечения гравитационной разгрузки ковшей, рабочие органы известных погрузочно-разгрузочных машин не обеспечивают сохранность некоторых сельхозпродуктов, например, картофеля, лука, свеклы и др. при производстве погрузочно-разгрузочных работ [1].

Таким образом, проблема разработки новых рабочих органов погрузчиков и экскаваторов роторного типа, обеспечивающих сохранность и разгрузку сыпучих грузов из подвижного состава, а также повышение производительности за счет увеличения их частоты вращения актуальна и требует своего решения [2].

Представляют определенный интерес в этом плане погрузчики с планетарно-роторным рабочим органом с инерционной разгрузкой ковшей по заданной траектории. Рабочий орган погрузчика (рис. 1) содержит эксцентриковый вал (1) с эксцентриками (2) и ковшовый барабан (3), выполненный из отдельных ковшовых секций, каждая из которых состоит из ротора (3), с установленными на его периферии ковшами (4) (каждый из ковшей (4) имеет режущий элемент (8), боковые стенки (9), днище (10)) и планетарного редуктора, центральное колесо (5) которого закреплено на боковине (6) отвала (корпуса), а сателлит (7) жестко и соосно связан с ротором. Водилами планетарных редукторов являются эксцентрики (2). Роторы (3) установлены на эксцентриках с возможностью вращения вокруг их продольных осей. Передаточное отношение от водила к сателлиту каждого из планетарных редукторов равно:

$$i = \frac{\omega^h}{\omega_c} = 4 ,$$

где  $\omega^h$  – угловая скорость водила;  $\omega^c$  – угловая скорость сателлита.

Число ковшей на каждом из роторов равно  $z=4$ .

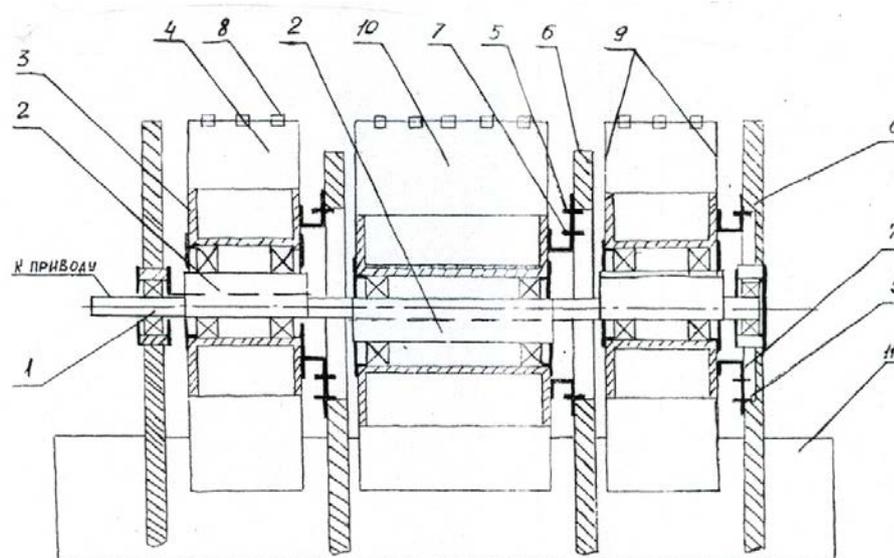


Рис. 1. Кинематическая схема рабочего органа погрузчика.

Вал выполнен с нечетным числом эксцентриков, причем они расположены в одной плоскости в шахматном порядке по отношению к оси вала. Суммарная ширина ковшей, расположенных по одну сторону от оси симметрии вала, равна примерно суммарной ширине ковшей, размещенных на эксцентриках, расположенных по другую сторону оси симметрии вала. Такое размещение ковшей позволяет уравновесить центробежные силы инерции ковшей с грузом.

При вращении приводного вала каждый из сателлитов, обкатываясь внутри центрального зубчатого колеса, совершает планетарное движение, такое же движение совершает и жестко связанный с ним соответствующий ротор. Точки ковшей, в том числе, режущих кромок, и центры тяжести описывают плоские кривые гипоциклоиды в виде равносторонних пятиугольников (рис. 2). При движении ковшей (центров тяжести) вверх от вершин до середины каждой из ветвей гипоциклоиды ковши вместе с находящимся в них грузом движутся с ускорением. От середины ветви до следующей вершины движение ковшей замедляется, а груз продолжает двигаться по инерции. Однако при движении ковшей вверх по круто восходящей ветви движение груза под действием гравитационных сил также замедляется, и груз остается в ковшах (рис. 2 и 3).

Инерционная разгрузка ковшей осуществляется, когда их центры тяжести описывают наклонную восходящую ветвь гипоциклоиды. При этом груз после начала замедления движения ковша, продолжая двигаться по инерции с максимальной скоростью, выбрасывается из ковша и падает на приемный конвейер непосредственно либо после удара об отражательный щит.

Таким образом, жесткая связь ковшового ротора с сателлитами планетарного редуктора с передаточным отношением от водила к сателлиту, равным  $z$ , обеспечивает планетарное движение ротора и перемещение одноименных точек ковшей по одним и тем же траекториям – гипотрохидам – с ускорением, что позволяет осуществить инерционную разгрузку ковшей при сравнительно простой их конструкции.

Рабочий орган роторного погрузчика с инерционной разгрузкой ( $z=4$ )

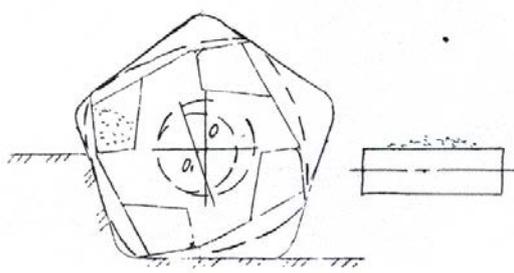
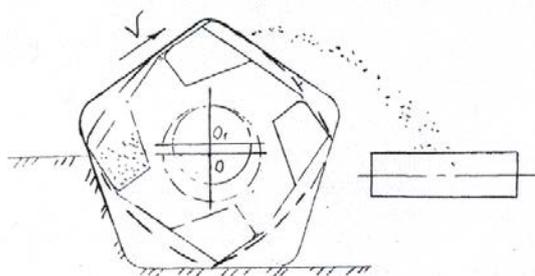
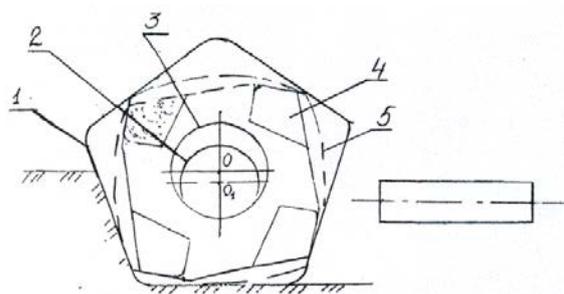


Рис. 1.

Рабочий орган роторного погрузчика с инерционной разгрузкой ( $z=3$ )

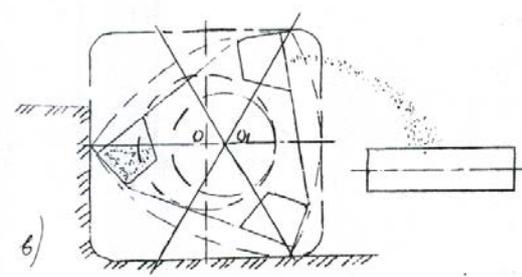
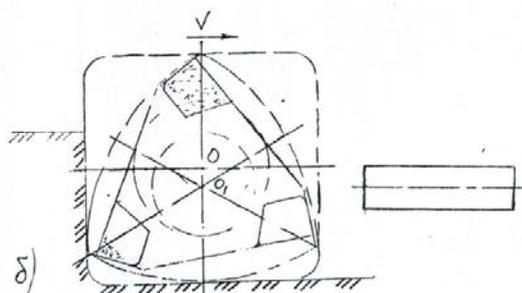
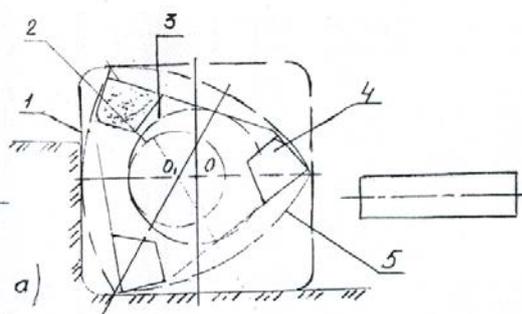


Рис. 2.

Планетарное движение ковшового ротора позволяет также реализовать выгрузку слежавшегося груза из полувагонов, обеспечивая сохранность подвижного состава и достаточную производительность за счет увеличения частоты вращения приводного вала.

Взаимодействие режущих элементов ковшей со слежавшимся грузом осуществляется в процессе их перемещения по прямой линии, а не по дуге окружности, что исключает возникновение центробежных сил инерции и их действия на грунт, находящийся в ковшах, а следовательно, и потери энергии на трение грунта о поверхность подвижного состава.

Снижение энергоемкости процесса происходит также и за счет эффекта самообрушения, который проявляется в наибольшей степени при отрицательных (менее  $90^\circ$ ) углах наклона поверхности ротора к горизонту (рис. 2 и 3).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Таукелев Р.Н., Ли С.В., Джумабеков А.Г. Землеройная машина с планетарно-роторным рабочим органом / Сб. научн. трудов: Перспективы развития транспортной техники. Алматы: КазНТУ. 2003. С. 81-84.
2. Ли С.В. Повышение производительности строительно-дорожных машин за счет совершенствования рабочих органов // Поиск. Алматы. 2004. № 4. С. 143-145.

## ФУНКЦИИ ПОЛОЖЕНИЯ И ПЕРЕДАТОЧНЫЕ ФУНКЦИИ ЗВЕНЬЕВ МАНИПУЛЯТОРА ОТБойНОГО АГРЕГАТА

Муктарбекова Г.М.

тел.: +996707968975; e-mail [mmm.yo@mail.ru](mailto:mmm.yo@mail.ru)

Кыргызско-Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызская Республика

При динамическом анализе необходимо знать силы инерции, действующие на звенья манипулятора, а для приведения параметров всех звеньев к одному звену – скорости всех звеньев и точек. Эти параметры определяются через передаточные функции первого и второго порядка, которые находятся как производные по обобщенной координате функции положения.

Для нахождения функции положения рассматривалась кинематическая схема манипулятора отбойного агрегата (рис.1), состоящая из стрелы (1), рукояти (2), молота (3) и тяги (4). За обобщенную координату принималось перемещение молота в вертикальном направлении оси  $y$  (рис. 1). Выходными звеньями являются стрела (1) и рукоять (2), положения которых определяются углами  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  соответственно.

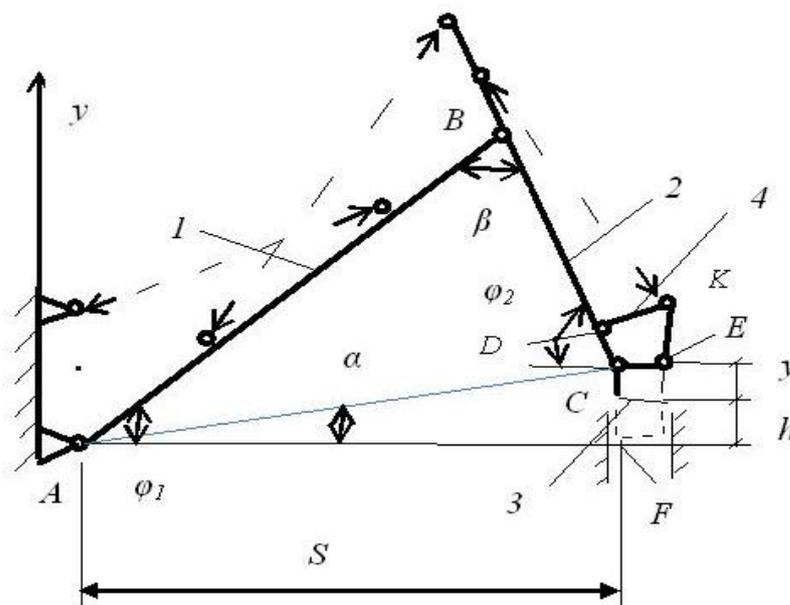


Рис. 1. Схема нахождения функции положения для первого и второго звена.

Принималось:  $AB = l_1$ ;  $DC = l_2$ ;  $AC = l_3$ .

Методом векторных контуров находились функции положения. Для этого звенья манипулятора были представлены в виде векторов. С помощью тригонометрических выражений и математических преобразований были получены функции положения первого и второго звеньев:

$$\varphi_1(y) = \arctg \frac{h+y}{S} + \arccos \frac{l_3^2 - l_2^2 + l_1^2}{2l_1 \sqrt{S^2 + (h+y)^2}}, \quad (1)$$

$$\varphi_2(y) = \arccos \frac{l_3^2 + l_2^2 - l_1^2}{2l_1 \sqrt{S^2 + (h+y)^2}} - \arctg \frac{h+y}{S}. \quad (2)$$

В этих функциях необходимо еще учесть, что  $l_3$  зависит от  $S$ ,  $h$  и  $y$ .

$$l_3^2 = S^2 + (h + y)^2.$$

Подстановка в уравнения (1), (2) численных значений размеров элементов позволила построить диаграммы функций положения в зависимости от изменения перемещения  $y$  для пяти положений манипулятора: от минимального вылета стрелы манипулятора до максимального.

Эти диаграммы показаны на рис. 2, 3, где по оси абсцисс показано перемещение молота  $y$  в метрах, а по оси ординат – функции положения  $\varphi_i(y) - \varphi_i(0)$  в радианах.

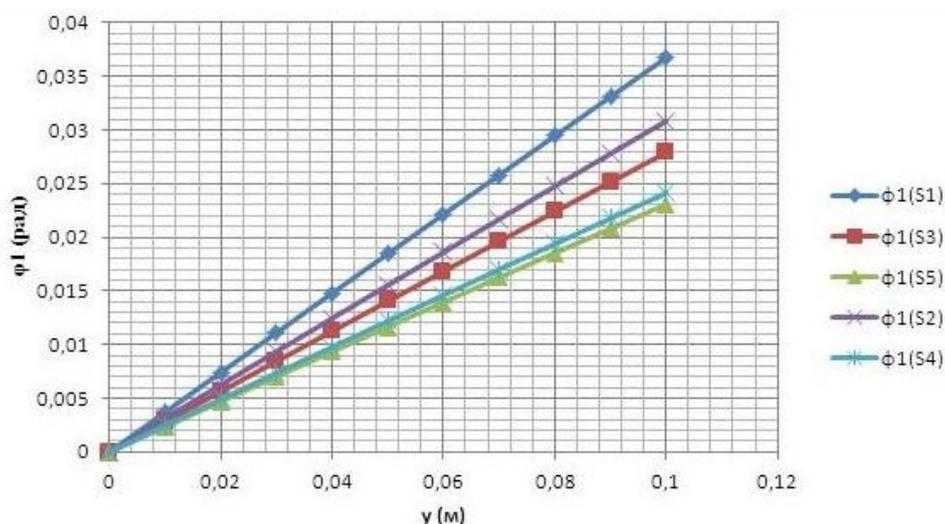


Рис. 2. Диаграмма функции положения первого звена в зависимости от  $y$ .

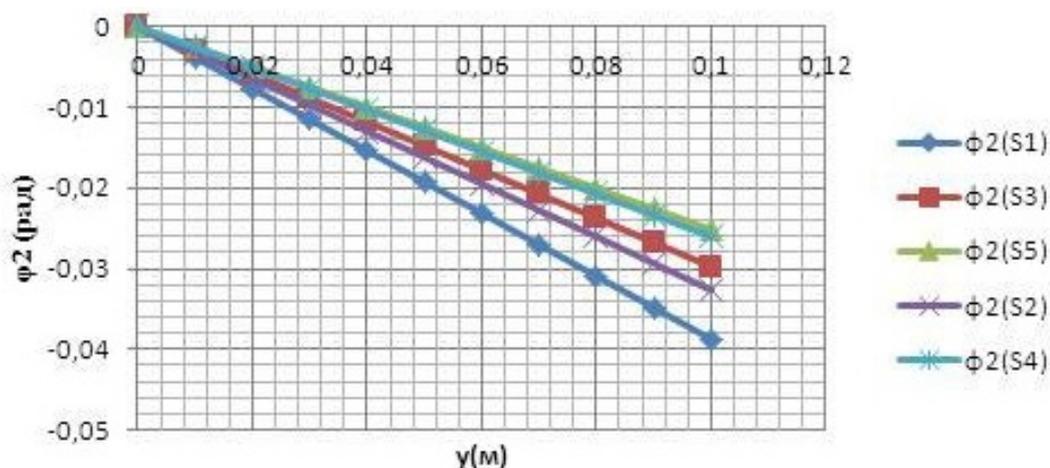


Рис. 3. Диаграмма функции положения второго звена в зависимости от  $y$ .

На рисунках 2, 3 приняты следующие обозначения:

$\varphi_1(s_1)$  соответствует  $\varphi_{11}(y)$ ,  $\varphi_1(s_2) \rightarrow \varphi_{12}(y)$ ,  $\varphi_1(s_3) \rightarrow \varphi_{13}(y)$ ,  
 $\varphi_1(s_4) \rightarrow \varphi_{14}(y)$ ,  $\varphi_1(s_5) \rightarrow \varphi_{15}(y)$ ,  $\varphi_2(s_1) \rightarrow \varphi_{21}(y)$ ,  $\varphi_2(s_2) \rightarrow \varphi_{22}(y)$ ,  
 $\varphi_2(s_3) \rightarrow \varphi_{23}(y)$ ,  $\varphi_2(s_4) \rightarrow \varphi_{24}(y)$ ,  $\varphi_2(s_5) \rightarrow \varphi_{25}(y)$ .

Первый индекс в этих обозначениях показывает номер звена, а второй – номер положения манипулятора.

На диаграммах видно, что  $\varphi_1(y)$ ,  $\varphi_2(y)$  изменяются по закону близкому к линейному и значения функций положений по мере изменения колебания молота меняются максимально на 90 %.

Для определения изменения функций  $\varphi_1(y)$ ,  $\varphi_2(y)$  в зависимости от положения манипулятора, которое характеризуется расстоянием  $S$ , в уравнения функции положения подставлялись соответствующие значения  $S$  при  $y = 0$ ,  $y = 0,05$  м,  $y = 0,1$  м, и построены диаграммы изменения этих функций, показанные на рис. 4, 5.

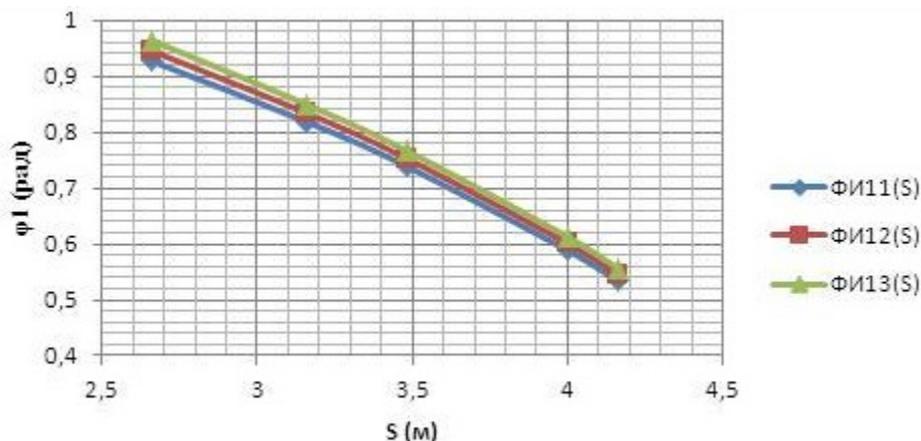


Рис. 4. Диаграмма функции положения первого звена в зависимости от  $S$ .

На рисунках 4, 5 видно, что диаграммы функций положения первого и второго звеньев с изменением  $S$ , при разных значениях  $y$  изменяются почти по линейному закону.

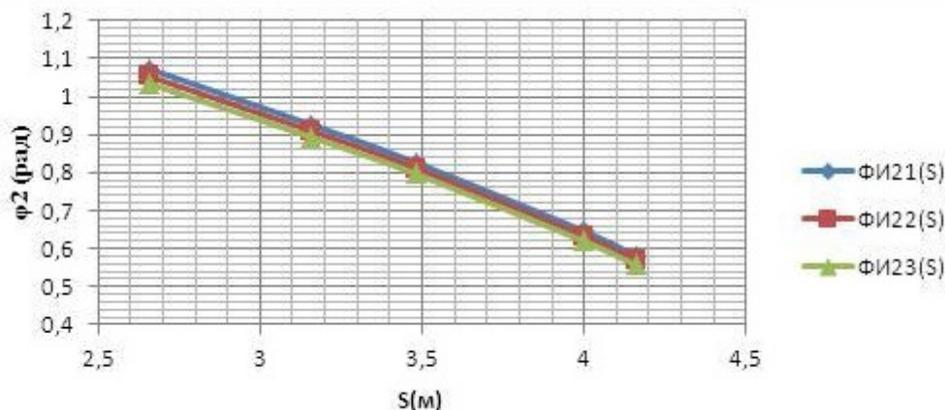


Рис. 5. Диаграмма функции положения второго звена в зависимости от  $S$ .

Передаточные функции первого порядка равны первой производной выходного звена по обобщенной координате, т.е.

$$U_{13} = \frac{d\varphi_1(y)}{dy}, \quad U_{23} = \frac{d\varphi_2(y)}{dy}. \quad (3)$$

С помощью передаточных функций второго порядка находятся ускорения всех звеньев и точек. Эти функции равны второй производной функции положения первого и второго звеньев по обобщенной координате или первой производной по  $y$ :

$$U'_{13} = \frac{dU_{13}}{dy}, \quad U'_{23} = \frac{dU_{23}}{dy}. \quad (4)$$

После подстановки в уравнения (3), (4) соответствующих значений были получены передаточные функции первого порядка  $U_{13}$ ,  $U_{23}$  и передаточные функции второго порядка

первого и второго звеньев  $U'_{13}$ ,  $U'_{23}$ . По ним были построены диаграммы зависимости передаточной функции от обобщенной координаты (рис. 6, 7, 8, 9). На этих рисунках по оси абсцисс отложено поступательное перемещение молота  $y$  в метрах, а по оси ординат – значения передаточных функций.

Приведенные диаграммы передаточных функций первого порядка изменяются по линейному закону.

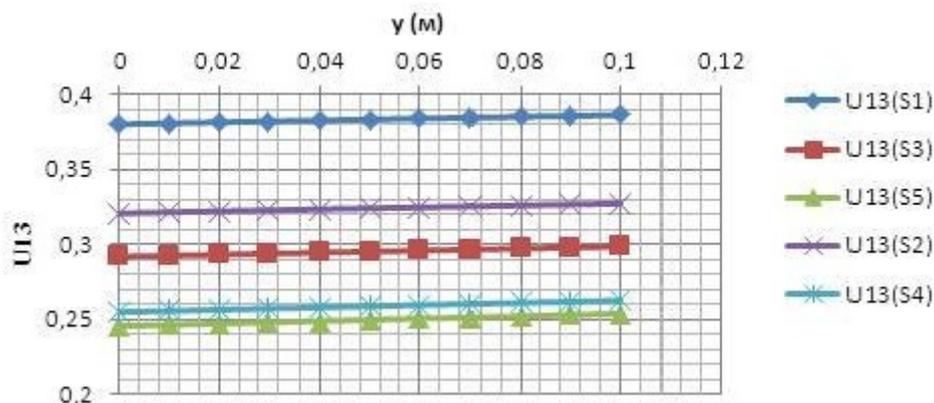


Рис. 6. Передаточная функция первого порядка для первого звена при пяти различных положениях манипулятора.

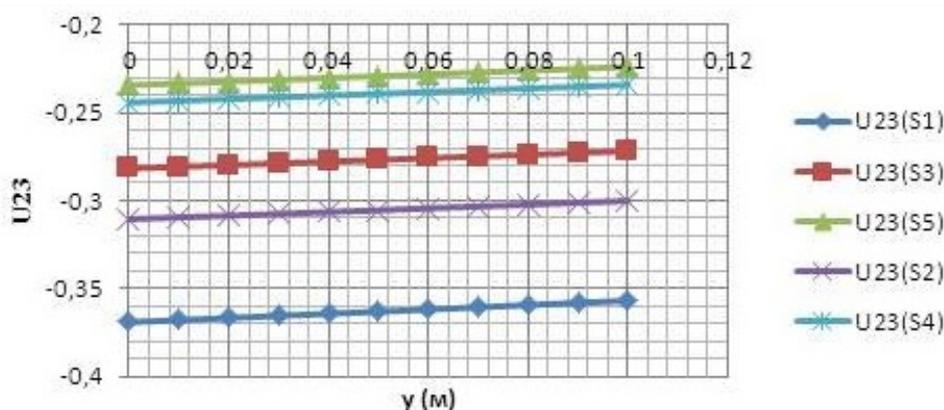


Рис. 7. Передаточная функция первого порядка для второго звена при пяти различных положениях манипулятора.

Из рис. 8 видно, что передаточная функция второго порядка для стрелы изменяется по параболическому закону. При этом до значений перемещения молота  $y$ , равного 0,06 м, положение манипулятора не оказывает существенного влияния на передаточную функцию от стрелы к молоту. При больших значениях перемещения молота влияние положения манипулятора становится более чувствительным. Например, при перемещении  $y$ , равном 0,1, с изменением положения манипулятора от минимального до максимального передаточная функция меняется от  $-0,130$  до  $-0,175$ , т.е. на 35%.

Из диаграммы передаточной функции второго порядка рукоятки (рис. 9) также видно, что она изменяется согласно параболическому закону. Видны существенные отличия для построенных пяти положений, из чего следует вывод, что передаточная функция второго порядка для рукоятки зависит от положения манипулятора.

При  $y = 0$  с изменением положения манипулятора от минимального до максимального передаточная функция рукоятки изменяется от 0,1 до 0,2 (в два раза), а при  $y = 0,1$  изменяется от  $-0,30$  до  $-0,85$  (в три раза).

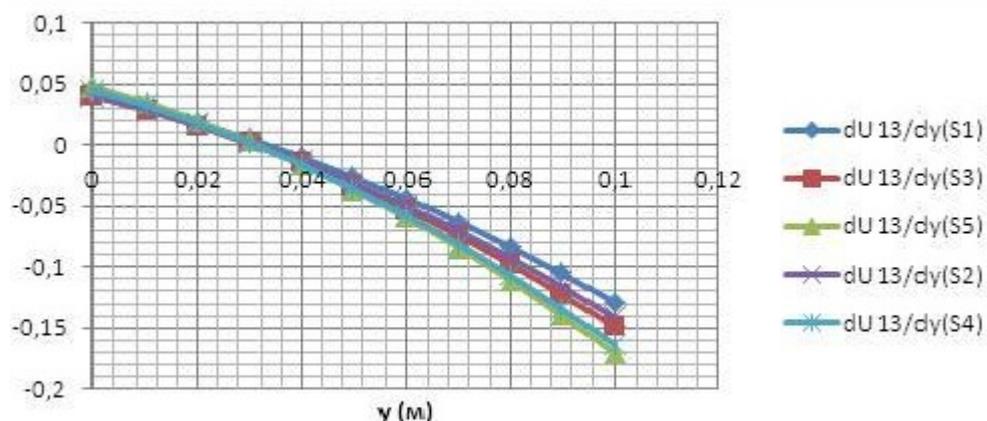


Рис. 8. Передаточная функция второго порядка для первого звена при пяти различных положениях манипулятора.

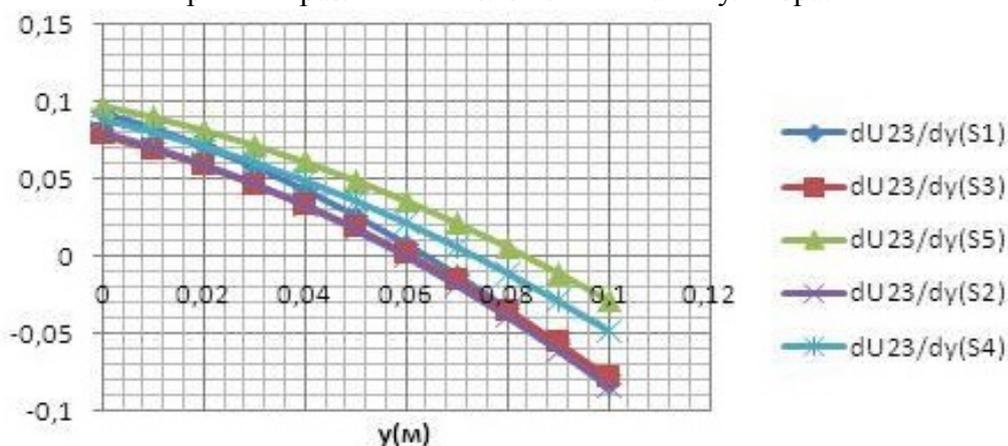


Рис. 9. Передаточная функция второго порядка для второго звена при пяти различных положениях манипулятора.

Расчеты показывают, что коэффициент жесткости гидроцилиндра поворота ковша и его гидромагистрала, а также силы, развиваемые этим цилиндром, малы по сравнению с коэффициентами жесткостей гидромагистралей и гидроцилиндров стрелы и рукояти, их можно не учитывать. Следовательно, в определении функции положения четвертого звена нет необходимости.

Зная закон изменения передаточных функций первого и второго порядка, можно определить силы инерции и скорости всех точек и звеньев, что является задачей дальнейших исследований.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Муктарбекова Г.М. Влияние положения манипулятора отбойного агрегата на максимальное усилие прижатия молота к обрабатываемой поверхности // Современные техника и технологии в научных исследованиях: материалы 5-й Международной конференции молодых ученых. Бишкек: Научная станция РАН. 2013. С. 239–242.
2. Муктарбекова Г.М. Предельные значения реакций в кинематических парах манипулятора отбойного агрегата // Современные техника и технологии в научных исследованиях: материалы 6-й Международной конференции молодых ученых. Бишкек: Научная станция РАН. 2014. С. 211–213.

# ВЛИЯНИЕ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ В КОНТАКТЕ ИНСТРУМЕНТА С ПЛАСТИНОЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ ПРИ ВИБРОУДАНОЙ ОБРАБОТКЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Ню В.В.

тел.: 0555 09 90 95; e-mail: [vniu14@yandex.com](mailto:vniu14@yandex.com)

Кыргызско-Российский Славянский университет,

г. Бишкек, Кыргызская Республика

Учет пластических деформаций в контакте инструмента с пластиной применительно к ударным системам пневматических виброударных машин достаточно подробно описан в работе [1]. Ударные системы гидравлических виброударных машин отличаются от пневматических тем, что в них боек имеет продольные размеры намного больше поперечных, и в модели он представляется в виде упругого стержня с распределенными параметрами (рис.

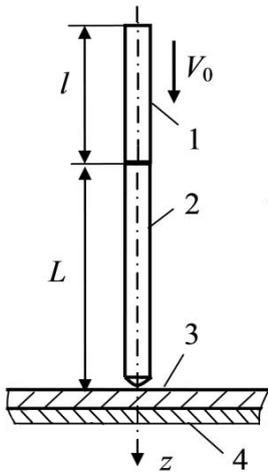


Рис. 1.

1). При этом начальная волна деформации, генерируемая в инструменте при ударе по нему бойком, существенно отличается от волны, генерируемой в ударной системе пневматических машин. Это приводит к необходимости корректировки формул, представленных в работе [1].

Контактная характеристика инструмента и пластины представляется, как и в работе [1], в виде двух ветвей: ветви нагрузки 1 и ветви разгрузки 2 (рис. 2). Ветвь нагрузки описывается зависимостью:

$$P = K_1 \alpha^n, \quad (1)$$

где  $P$  – контактное усилие;  $\alpha$  – местная контактная деформация;  $K_1, n$  – постоянные, определяемые по методике, изложенной в работах [1, 3].

Ветвь разгрузки 2 описывается упругим законом Герца:

$$P = K_2 (\alpha - \alpha_n)^{3/2}, \quad K_2 = \frac{2E}{3(1-\mu^2)} \sqrt{r}, \quad (2)$$

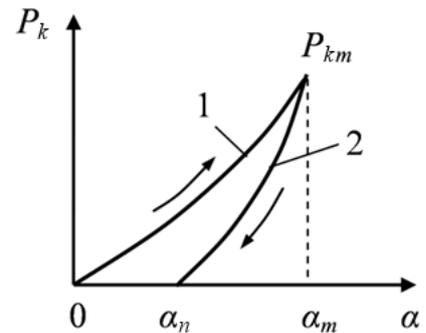


Рис. 2.

$E, \mu$  – соответственно модуль упругости и коэффициент Пуассона (принимается, что эти характеристики для материала всех элементов ударной системы одинаковы);  $r$  – радиус контактной поверхности волновода;  $\alpha_n$  – остаточная пластическая деформация, определяемая при известной максимальной силе  $P_{km}$  и максимальной деформации  $\alpha_m$  как

$$\alpha_n = \alpha_m - (P_m / K_2)^{2/3}. \quad (3)$$

Для упрощения математической модели в работе [1] проводилась линейризация контактной характеристики. Она записывалась следующим образом:

$$\begin{cases} P_k = 0, & 0 < \alpha < \alpha_{01}; \dot{\alpha} > 0; \\ P_k = c_1 (\alpha - \alpha_{01}), & \alpha_{01} < \alpha < \alpha_m; \dot{\alpha} > 0; \\ P_k = c_2 (\alpha - \alpha_{02}), & \alpha_m > \alpha > \alpha_{02}; \dot{\alpha} < 0; \\ P_k = 0, & \alpha_{02} > \alpha > \alpha_n; \dot{\alpha} < 0, \end{cases} \quad (4)$$

где  $c_1, c_2$  – приведенные коэффициенты жесткости контактной характеристики инструмента с пластиной, определяемые из линейризованной модели Герца как

$$c_1 = 0,5(n+1)K_1^n P_{km}^n, \quad \alpha_{01} = \frac{n-1}{n+1} \alpha_m, \quad (5)$$

$$c_2 = 1,25K_2^{2/3} P_{km}^{1/3}, \quad \alpha_{02} = 0,2(\alpha_m + 4\alpha_n). \quad (6)$$

Дальнейшее решение существенно отличается от решения, приведенного в работе [1], и зависит от вида начальной волны деформации, генерируемой в инструменте при ударе по нему бойком.

При решении задачи движения сечений бойка  $u_1(z,t)$  и инструмента  $u_2(z,t)$  описывались одномерными волновыми уравнениями, решение которых отыскивалось методом Даламбера в виде бегущих волн. Предшествующие исследования [2] показывают, что оптимальным является случай, когда диаметр бойка равен диаметру инструмента, а длина бойка равна или больше длины инструмента.

Примем в дальнейшем, что параметры ударной системы соответствуют этому условию. Тогда при ударе в инструменте формируется волна деформации прямоугольной формы с амплитудой усилий  $P_0 = 0,5CV_0$  и длительностью  $T = 2l/a$ , где  $V_0$  – скорость бойка в начальный момент удара;  $C = \rho aS$ ,  $\rho$  – плотность материала инструмента;  $a$  – скорость распространения волны деформации в стержнях,  $a = \sqrt{E/\rho}$ ;  $S$  – площадь поперечного сечения инструмента;  $l$  – длина бойка.

Примем за начало оси  $z$  точку контакта инструмента с пластиной. Тогда перемещение сечений в начальной волне деформации, подходящей к пластине, на интервале времени  $0 < t < T$  будет описываться функцией:

$$f(at - z) = \frac{P_0}{ES}(at - z). \quad (7)$$

С момента действия этой волны на пластину решение волнового уравнения движения сечений инструмента имеет вид:

$$u_2(0,t) = f(at) + \varphi(at), \quad (8)$$

где  $\varphi(at)$  – функции, описывающие перемещения сечений в волне деформации, отраженной от пластины. Вид этой функции находится из граничных условий в контакте инструмента и пластины, которые выражаются соотношением:

$$ES \frac{\partial u_1}{\partial z}(0,t) + c_1 [u_2(0,t) - w(t)] = 0, \quad (9)$$

где  $w(t)$  – прогиб пластины в точке контакта с инструментом.

Полагая, что граничные условия на краях пластины не оказывают влияния на процесс взаимодействия инструмента с пластиной, можем записать [3]:

$$w(t) = \frac{1}{\sqrt{Dm_0}} \int_0^t P_k(t) dt, \quad (10)$$

где  $m_0$  – масса одного квадратного метра пластины;  $D$  – цилиндрическая жесткость пластины:

$$D = \frac{E\delta^3}{12(1-\mu^2)},$$

$\delta$  – толщина пластины.

Подставляя выражения (8) и (10) в граничные условия (9), учитывая соотношение (7) и обозначая  $at = \xi$ , приходим к дифференциальному уравнению:

$$\Psi'(\xi) + s\Psi(\xi) = \Phi'(\xi) + (\beta - b)\Phi(\xi), \quad (11)$$

где  $\Psi(\xi) = \varphi'(\xi)$ ,  $\Phi(\xi) = f'(\xi)$ ;

$$b = c_1 / ES, \quad \beta = b(1 + \chi v^2), \quad v = d / \delta, \quad \chi = 0,0625\pi \sqrt{3(1-\mu^2)},$$

$d$  – диаметр инструмента; для стали  $\chi = 0,3244$ .

Уравнение (11) является основным уравнением процесса взаимодействия инструмента с пластиной. Из этого уравнения при известной функции  $\Phi(\xi)$  находится функция  $\Psi(\xi)$ , а затем усилия в отраженной от пластины волне  $P_{omp}$  и усилия в контакте инструмента с пластиной  $P_k$ :

$$P_{omp}(0, t) = ES \frac{\partial u_2}{\partial z} = ES \Psi(at), \quad (12)$$

$$P_k(0, t) = ES \frac{\partial u_2}{\partial z} = -ES [\Phi(at) - \Psi(at)]. \quad (13)$$

В результате решения уравнения (11), получено:

$$P_{omp1}(z, t) = P_0 [q + (1-q) \exp[-s(at+z)]], \quad (14)$$

$$P_{k1}(t) = -P_0 [(1-q)(1 - \exp(-sat))], \quad (15)$$

где

$$q = \frac{\chi v^2 - 1}{\chi v^2 + 1}.$$

В формулах (14), (15) индекс 1 обозначает первое взаимодействие волн деформаций с пластиной. Отраженная волна может совершать несколько проходов по инструменту, каждый раз воздействуя на пластину.

Усилия в контактном сечении достигают максимального значения в момент времени  $t = T$  и равны

$$P_{k1m} = -P_0 (1-q)(1 - \exp(-saT)). \quad (16)$$

Энергия волны деформации, отраженной от пластины, на интервале времени  $0 < t < T$  определится как:

$$A_{omp1} = \frac{1}{C} \int_0^T P_{omp}^2(0, t) dt.$$

Подставляя в эту формулу функцию (14), после вычисления интеграла получим:

$$A_{omp1} = \frac{P_0^2}{C} \left[ q^2 + \frac{2(1-q)}{saT} (1 - \exp(-saT)) + \frac{(1-q)^2}{2saT} (1 - \exp(-2saT)) \right]. \quad (17)$$

Во многих случаях величина члена  $\exp(-saT)$  пренебрежимо мала по сравнению с единицей, и формулу (17) можно записать в более простом виде:

$$A_{omp1} = \frac{P_0^2 T}{C} \left[ q^2 + \frac{2(1-q)}{saT} \left( 1 + \frac{1-q}{4} \right) \right]. \quad (18)$$

Вводя безразмерный параметр

$$\Theta = c_1 m / C^2,$$

где  $m$  – масса бойка, запишем формулу (18) через безразмерные параметры  $\Theta$  и  $q$ :

$$A_{omp1} = \frac{P_0^2 T}{C} \left[ q^2 + \frac{\Theta}{2} (1-q)^2 \left( 1 + \frac{1}{4} (1-q) \right) \right]. \quad (19)$$

Коэффициент передачи энергии удара от бойка в пластину определится как:

$$\eta = 1 - \frac{A_{omp1}}{A_0}, \quad (20)$$

где  $A_0$  – кинетическая энергия бойка в начальный момент удара,

$$A_0 = \frac{mV_0^2}{2} = \frac{P_0^2 T}{C}. \quad (21)$$

Подставляя соотношения (18), (21) в формулу (20), окончательно получим:

$$\eta = (1-q) \left[ 1 + q - \frac{\Theta}{8} (1-q)(5-q) \right]. \quad (22)$$

Выше рассмотрен коэффициент передачи энергии удара в пластину на интервале времени от 0 до  $T$ , т.е. пока на пластину действует начальная волна деформации, распространяющаяся по инструменту. После окончания действия этой волны происходит

упругое восстановление контактных поверхностей. При этом в инструмент возвращается часть энергии упругой деформации. Найдено, что величина этой энергии определяется по формуле:

$$A_{отп2} = A_0 \frac{\Theta(1-q)}{8}. \quad (23)$$

С учетом этого уточнения формула для определения коэффициента передачи энергии в пластину принимает вид:

$$\eta = (1-q) \left[ 1 + q - \frac{\Theta}{8}(1-q)(5-q) \right] - \frac{\Theta(1-q)}{8}. \quad (24)$$

Волна, отраженная от пластины, через время  $T$  вновь возвращается к ней. При взаимодействии с пластиной часть энергии этой волны перейдет в пластину. Коэффициент передачи энергии с учетом повторного воздействия волны определится по формуле:

$$\eta = 1 - q^4 - \frac{\Theta}{2}(1-q)^2 \left[ q^2(1+q) - (1-q) \left( q^2 + \frac{q}{2}(1+q) - \frac{1}{8}(1-q)^2 \right) \right] - \frac{\Theta}{8} q^2 (1-q)^3. \quad (25)$$

Энергия, затраченная на пластическую деформацию пластины, определится из диаграммы, представленной на рис. 2, как:

$$A_n = \int_0^{\alpha_m} K_1 \alpha^n d\alpha - \int_{\alpha_m}^{\alpha_n} K_2 (\alpha_m - \alpha)^{3/2} d\alpha = \frac{K_1}{n+1} \alpha_m^{n+1} - K_2 \frac{2}{5} (\alpha_m - \alpha_n)^{5/2}. \quad (26)$$

Из полученных формул (24), (25) следует, что коэффициент передачи энергии в пластину зависит в большей степени от безразмерного параметра  $q$  и в меньшей степени от безразмерного параметра  $\Theta$ .

Очевидно, что пластические деформации оказывают влияние на  $\eta$  только через параметр  $\Theta$ , в который входит коэффициент  $c_1$ . Исследования, проведенные ранее [1], показали, что при выборе рациональных параметров системы необходимо стремиться к уменьшению параметра  $\Theta$ . При этом уменьшается влияние контактных пластических деформаций на коэффициент передачи энергии.

В качестве примера рассмотрена ударная система, близкая по параметрам к системе машины МО-10 для очистки золошлакопроводов. Она состояла из бойка диаметром 28 мм и длиной 205 мм, массой 1 кг, инструмента диаметром 28 мм, длиной 250 мм с радиусом торца, опирающегося на пластину, 45 мм и пластины толщиной 8 мм. Все элементы выполнены из стали с модулем упругости равным  $20,4 \cdot 10^{10}$  Па, плотностью  $7800$  кг/м<sup>3</sup> и коэффициентом Пуассона 0,3. Твердость поверхности пластины 83–84 HRB, а контактных поверхностей бойка и инструмента 50-52 HRC. Скорость соударения бойка с инструментом 3,5 м/с.

В результате расчетов по приведенным выше формулам получено, что коэффициент передачи энергии удара в пластину при упругопластической контактной характеристике инструмента и пластины составляет 0,574. При упругой характеристике, с использованием формул, приведенных в работе [4], коэффициент передачи энергии удара в пластину равен 0,566. Различие в этих значениях составляет всего 1,4%, что свидетельствует о незначительном влиянии пластических деформаций на коэффициент передачи энергии.

Энергия, затраченная на пластическую деформацию, равна 0,0534 Дж и составляет всего 0,87% от кинетической энергии бойка в начальный момент удара, что пренебрежимо мало.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Еремьянц В.Э., Панова Л.Т., Асанова А.А. Расчет характеристик процесса виброударной очистки поверхностей // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2013. № 6. Москва. С. 63-70.

2. Алимов О.Д., Манжосов В.К., Еремьянц В.Э. Удар. Распространение волн деформаций в ударных системах. М.: Наука. 1985. 355 с.
3. Еремьянц В.Э. Динамика ударных систем. Моделирование и методы расчета. Palmarium Academic Publishing. Saarbrucken. Germany. 2012. 586 с.
4. Нью В.В. Влияние параметров ударной системы «боек-инструмент-пластина» на эффективность передачи энергии удара / Современные техника и технологии в научных исследованиях: материалы 6-й Международной конференции молодых ученых. Бишкек. 2014. С. 176–180.

## ПРИМЕР ПРИМЕНЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНОЙ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ

Сатаркулов А.М., Нечаева А.В.

тел.: +996 700 411843; e-mail: [areng@qip.ru](mailto:areng@qip.ru)

Кыргызско-Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызская Республика

**Введение.** При пропорциональном нагружении стандартных цилиндрических образцов по схеме Кармана (неравномерное трехосное сжатие) их деформация до предела упругости никак не может быть описана [1], если полагать, что упругая деформация подчиняется линейному (обобщенному) закону Гука. Вместо последнего рассмотрена возможность применения физически нелинейной теории упругости, подобно тому, как это практикуется при исследовании глин и песков [2].

**Исходные данные и их интерпретация.** Задается траектория сложного нагружения стандартного образца: к образцу прикладывается гидростатическое давление, затем задается приращение осевого давления при постоянном уровне бокового давления: ( $\sigma_2 = \sigma_3$ ). В момент задания приращения осевой нагрузки, согласно условию непрерывности деформаций, осевая деформация должна иметь плавное изменение своего приращения. Для описания характера изменения объемной деформации в этой точке потребуется разложить тензор упругой деформации на шаровую (объемную) и девиаторную компоненты. Согласно [4], тензор упругой деформации можно представить в виде

$$T_{\varepsilon} = T_{\varepsilon_0} + D_{\varepsilon},$$

где  $T_{\varepsilon_0}$  - шаровая (объемная) компонента;  $D_{\varepsilon}$  - девиаторная компонента. Шаровую (объемную компоненту) тензора деформаций можно записать следующим образом

$$\varepsilon_0 = \frac{\varepsilon_{ii}}{3} = \delta_{ij} \varepsilon_{ij},$$

где  $\delta_{ij}$  - символ Кронекера (дельта-символ);  $\varepsilon_{ij}$  - тождественное изображение тензора  $T_{\varepsilon}$ . Девиаторная компонента тензора деформаций запишется следующим образом

$$e_{ij} = \varepsilon_{ij} - \delta_{ij} \varepsilon_0.$$

При анализе экспериментальных данных [1] для пропорционального нагружения ( $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$ ) стандартных образцов горных пород было установлено, что зависимость объемной деформации от текущего значения среднего давления  $\theta = \theta(P)$  ( $\theta = 1/3 \cdot (\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3)$ ,  $P = 1/3 \cdot (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)$ ) близка к линейной. Например, для материала талькохлорит [1] для всех осуществленных в опыте видов нагружения аппроксимация экспериментальных данных составляет  $\theta = 0,637 \cdot 10^{-3} P$ . Компонента девиатора деформаций  $\varepsilon_1^{\circ}$  ( $\varepsilon_1^{\circ} = \varepsilon_1 - \theta$ ) при уровнях напряженного состояния  $c=0,407$  и  $c=0,51$  для этой горной породы аппроксимируется, в свою очередь, зависимостью от компоненты девиатора напряжений:  $\varepsilon_1^{\circ} = (0,167 \cdot 10^{-2} + 0,211 \cdot 10^{-5} \sigma_1^{\circ}) \cdot \sigma_1^{\circ}$  ( $\sigma_1^{\circ} = \sigma_1 - P$ ).

Аналогичная методика была применена для описания соответствующих зависимостей для стандартных образцов, подвергавшихся испытанию на сложное нагружение.

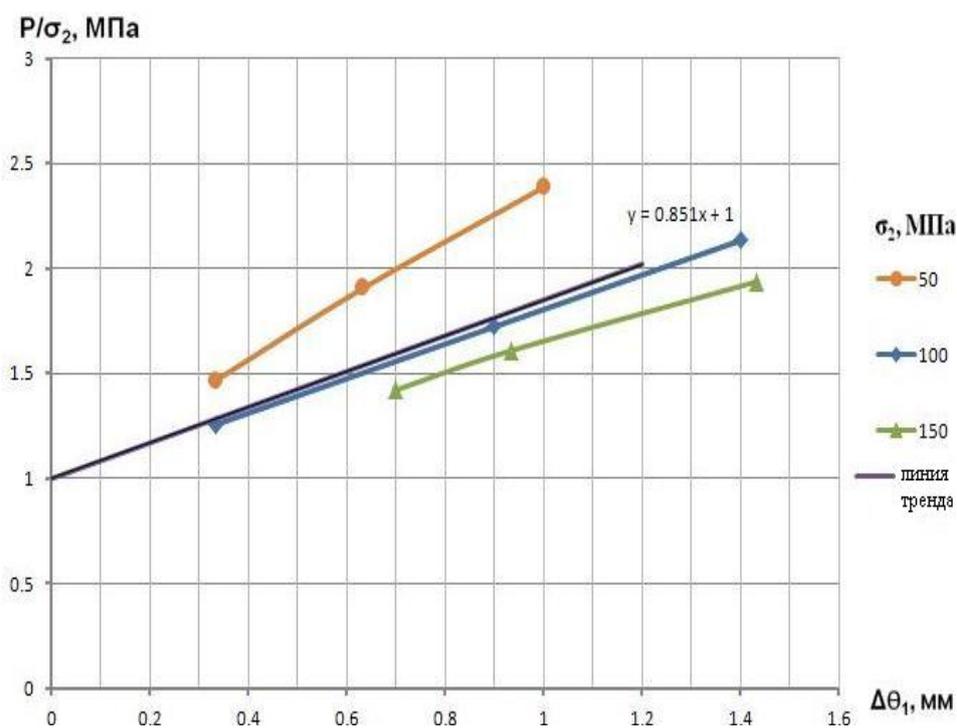


Рис. 1. Диаграмма изменения объемной деформации в зависимости от отношения текущего среднего давления к заданному боковому давлению для материала гранит для диапазона боковых давлений.

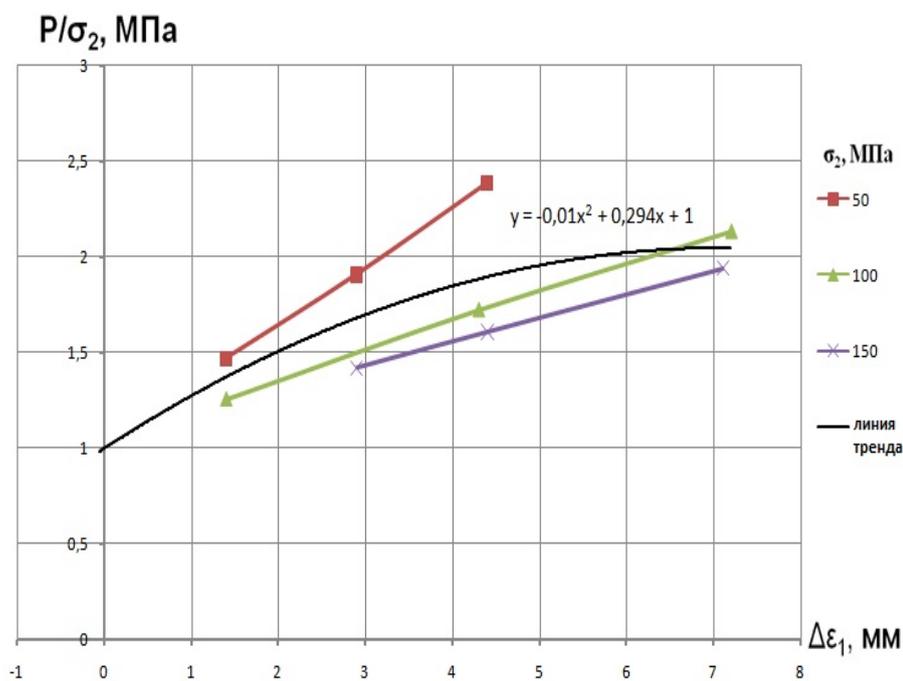


Рис. 2. Диаграмма изменения осевой деформации в зависимости от отношения текущего среднего давления к заданному боковому давлению для материала гранит для диапазона боковых давлений.

На рис. 1 и рис. 2 представлены диаграммы изменения значений объемной деформации и осевой деформации соответственно в зависимости от отношения текущего среднего давления к заданному боковому давлению для материала гранит для диапазона боковых давлений [1].

Как видно из рис.1, для такой траектории нагружения изменение объемной деформации для всего диапазона боковых давлений также может быть описано единой линейной функциональной зависимостью. С определенной степенью точности такая единая функциональная зависимость дает возможность вычисления значения девиаторной компоненты тензора упругой деформации как разности между приращениями осевой деформации и объемной деформации при заданных уровнях боковых давлений. Из определенного таким образом значения девиаторной компоненты возможно вычисление изменений значения поперечной деформации. В таблице 1 приведены значения девиаторных компонент тензора упругой деформации, рассчитанные данным способом, в сравнении со значениями, полученными из анализа экспериментальных данных [1] для материала гранит при уровне бокового давления 50 МПа.

Таблица 1. Сравнительная таблица девиаторных компонент тензора упругих деформаций

Приращение осевой деформации, мм	Аналитическое значение девиаторной компоненты тензора деформаций, мм	Расчетное значение девиаторной компоненты тензора деформаций, мм	Степень расхождения между аналитическими и расчетными значениями, %
1.4	1.6	1.7	6,25
2.9	3.4	3.5	2,94
4.4	5.1	5.3	3,92

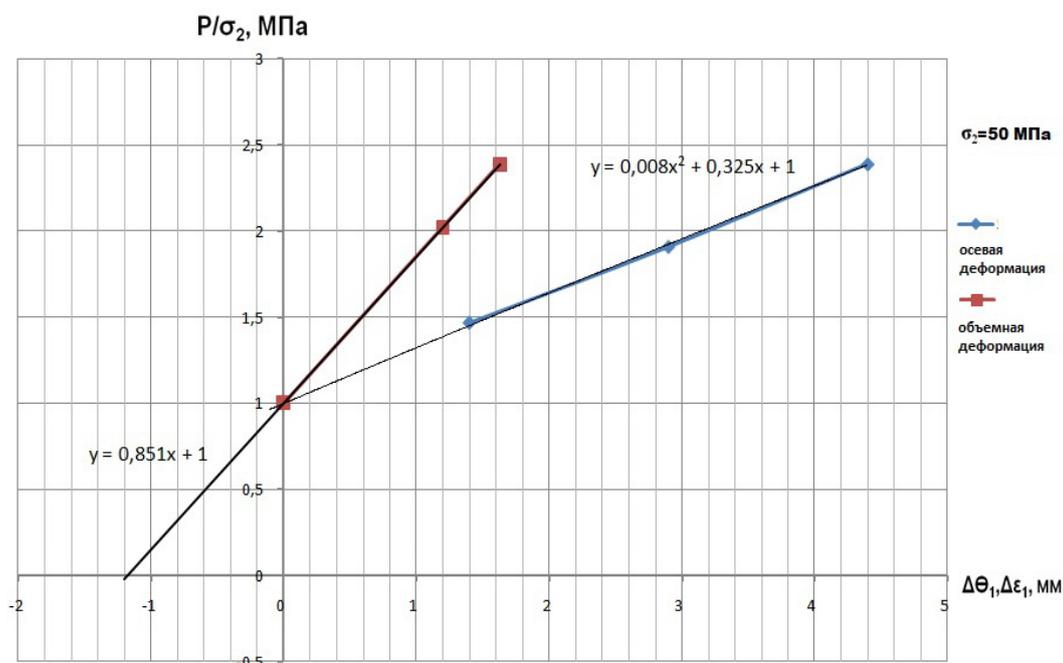


Рис. 3. Пример восстановления значений объемной деформации в области гидростатического давления для материала гранит при боковом давлении 50 МПа.

Установленная единая функциональная зависимость изменения значений объемной деформации также дает возможность восстановления приблизительной картины объемного

деформирования материала образца при гидростатическом давлении. Предполагается, что аппроксимация единой линии объемной деформации вплоть до пересечения ее на графике с осью абсцисс дает значения объемной деформации материала при гидростатическом давлении. Пример такого построения показан на рис. 3.

**Заключение.** Разделение тензора упругой деформации на шаровую и девиаторную части позволило установить для них независимые друг от друга законы изменения их значений в зависимости от среднего напряжения. Установлено, что шаровая компонента тензора упругой деформаций изменяется по линейному закону, в то время как девиаторная компонента- по нелинейному (полиномиальному) закону, причем, как выяснилось, характер изменения значений компонент не зависит от истории нагружения образца. Таким образом, удалось описать законы изменения компонент тензора деформации, не прибегая к закону Гука, не учитывающего нелинейное изменение компонент тензора упругой деформации при некоторых видах напряженного состояния.

Также показан способ вычисления девиаторной компоненты тензора деформаций. при помощи установленного линейного закона изменения значений объемной деформации в зависимости от текущего среднего давления приблизиться к описанию реальной диаграммы изменения поперечной деформации (или ее восстановления), что особенно актуально при анализе экспериментальных данных [3].

Кроме того, предложен способ восстановления значений объемной деформаций при гидростатическом давлении.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ставрогин А.Н., Протосеня А.Г. Пластичность горных пород. М.: Недра. 1979. 305 с.
2. E.Muzino, W.F.Chen, M.A. Asce. PLASTICITY MODELS FOR SOILS– Theory and Calibration proceeding of the workshop on limit equilibrium. Plasticity and Generalized Stress-Strain In Geotechnical Engineering, McGill University. 1980. P. 553-591.
3. K.Mogi.Experimental rock mechanics. Taylor&FrancisGroup,London. UK. 2007. 380 p.
4. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. М.: Машиностроение. 1975. 401 с.

### ТЕХНОЛОГИЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЯ ВАЗ-2121 «НИВА» НА СТЕНДЕ С БЕГОВЫМИ БАРАБАНАМИ

Шипугин В.С., Курманбаев С.А.

тел.: 87012024115, 87714024119; e-mail: [Sabraliev51@mail.ru](mailto:Sabraliev51@mail.ru)

Казахская автомобильно-дорожная академия им. Л.Б.Гончарова, г. Алматы, РК

**Конкретизация нормативов тяговых параметров.** Проверку тяговых свойств было решено вести на скорости 60 км/ч. Нормативные значения диагностического параметра «тяговая сила», который при испытаниях силовым методом, т.е. в стабильном за скоростью режиме, означает создаваемое стендом.

Возможно проверять тяговые свойства на стенде в динамическом режиме, за ускорением разгонки. Для случая свободной разгонки нормативные ускорения можно подсчитать по формуле (1) при  $F_{нд} = 0$ .

$$ap = (F_n - F_{нд}) / (m_{пр ст} + 4m_{пр к}), \quad (1)$$

где  $F_n$  – сила нагрузки, Н;  $F_{нд}$  – действительная сила нагрузки в случае затрудненной разгонки, Н; при свободной разгонке  $F_{нд} = 0$ ;  $m_{пр ст}$  – приведенная масса стенда, кг;  $m_{пр к}$  – приведенная масса колеса и связанных из них вращательных частей автомобиля, кг.

Приведенная масса стенда (обеих блоков):

$$m_{пр см} = 240 + 221 = 461 \text{ кг},$$

приведенная масса четырех колес и связанных из них вращательных частей автомобиля:

$$4m_{пр к} = 4 \cdot 32 = 128 \text{ кг}$$

При этом формула (1) принимает вид  $ap = F_n / (461 + 128) = F_n / 589$ .

Результаты расчетов нормативов тяговых параметров сведены в таблице 1.

Таблица 1. Нормативные и контрольные значения тяговых параметров автомобиля ВАЗ-2121 «Нива» на скорости 60 км/ч

Технический стан двигателя (крутящий момент, %%)	Сила нагрузки $F_n$ , Н	Ускорение свободной разгонки $ap$ , м/с <sup>2</sup>
100	985	1,67
95	914	1,55
90	843	1,43
85	772	1,31
80	701	1,19

**Расчет нормативов тормозных параметров.** Нормативный тормозной путь на дороге, согласно ДСТУ 3649-97, нужно вычислять по следующей формуле:

$$S = V_0 \times (0,10 + V_0 / 150),$$

где  $0,10 = (t_3 + t_n/2) / 3,6$ ;  $150 = 2 \cdot 3,6^2 \cdot 5,8 = 25,92 \cdot 5,8 \approx 26j_n$ , где  $j_n$  - нормативное замедление, м/с<sup>2</sup>.

Заметим, что согласно тому же стандарту, время срабатывания тормозной системы автомобилей категории М1 не превышает 0,5 с. Составим на основании двух требований ДСТУ, касающихся времени запаздывания и времени нарастания, систему уравнений:

$$t_3 + t_n = 0,5,$$

$$t_3 + t_n/2 = 0,36.$$

Отняв от первого уравнения второе, получим  $t_n = 0,28$  с, а дальше –  $t_3 = 0,22$  с. Эти значения будут использованы далее.

Тормозная сила на переднем и заднем колесах была определена исходя из расчетных значений момента инерции колеса. Теперь, когда момент инерции был подтвержден экспериментально, эти значения можно уточнить: момент инерции колеса-  $I = 1,334 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ; приведенная масса колеса средняя- 12, 85 кг; с учетом приведенной массы трансмиссии– 32 кг. Тогда, масса автомобиля ВАЗ-2121 в состоянии проверки тормозов составит (с учетом масс водителя, исследователя-испытателя, приборов и колес с отсоединенной от двигателя трансмиссией):

$$M_{адн} = 1150 + 150 + 10 + 4 \cdot 32 = 1438 \text{ кг}.$$

Нормативные значения тормозных сил:

- для переднего колеса:  $P_{гнп} = 0,58 \cdot 1438 \cdot 5,8 / 2 = 2419 \text{ Н}$ ;

- для заднего колеса:  $P_{гнз} = (1 - 0,58) \cdot 1438 \cdot 5,8 / 2 = 1751 \text{ Н}$ .

Расчет стендового упроченного замедления на передних и задних колесах ( $j_c$ )

$$j_{сн} = \frac{P_{mn}}{0,5 \cdot m_{он} + m_k} \quad (2)$$

$$j_{сн} = \frac{2419}{0,5 \cdot 240 + 32} = 15,91 \text{ м/с}^2;$$

$$j_{сз} = \frac{P_3}{0,5 \cdot m_{оз} + m_k}; \quad (3)$$

$$j_{сз} = \frac{1751}{0,5 \cdot 221 + 32} = 12,29 \text{ м/с}^2$$

Скорость проверки тормозов передних колес:

$$V_{узн} = V_0 \cdot \sqrt[3]{\frac{\beta \cdot M_{add}}{m_{cm} + 5 \cdot m_k}} = 40 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,58 \cdot 1438}{240 + 2 \cdot 32}} = 56,0 \text{ км/год};$$

задних колес:

$$V_{узн} = V_0 \cdot \sqrt[3]{\frac{(1 - \beta) \cdot M_{add}}{m_{cm} + 5 \cdot m_k}} = 40 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,42 \cdot 1438}{221 + 2 \cdot 32}} = 51,4 \text{ км/год}.$$

Принимаем общую скорость для проверки передних и задних тормозов автомобиля ВАЗ-2121 равной 55 км/ч.

Исходя из стандартной формулы для стенда, запишем расчетную формулу тормозного пути на стенде для передней и задней осей:

$$S_n = V_0 \times (0,10 + V_0 / 26j_n); \quad (4)$$

$$S_n = 55 \cdot \left( 0,10 + \frac{55}{26 \cdot 15,91} \right) = 12,81 \text{ м};$$

$$S_z = V_0 \times (0,10 + V_0 / 26j_z); \quad (5)$$

$$S_z = 55 \cdot \left( 0,10 + \frac{55}{26 \cdot 12,29} \right) = 14,97 \text{ м}.$$

Полное время торможения можно подсчитать по следующей формуле:

$$t_n = t_z + t_n/2 + V_0 / 3,6j_{nc} = 0,36 + V_0 / 3,6j_{nc}. \quad (6)$$

$$t_n = 0,36 + \frac{55}{3,6 \cdot 15,91} = 1,32 \text{ сек}$$

$$t_z = 0,36 + \frac{55}{3,6 \cdot 12,29} = 1,60 \text{ с}.$$

**Расчет давления в ресивере динамометрического устройства ДУ-76.** При тормозных испытаниях на инерционном стенде нажатие на тормозную педаль выполняется автоматически, с помощью динамометрического устройства. На стендах типа ХАДИ для легковых автомобилей применяется динамометрическое устройство ДУ-76, которое представляет собой пневматический цилиндр диаметром 50 мм с кронштейном, установленным на полу салона автомобиля, и захватом для педали. Это устройство хорошо зарекомендовало себя в процессе многолетней эксплуатации и может быть применено на нашем стенде без изменения.

Устройство должно обеспечивать стандартное усилие нажатия 490 Н (за ДСТУ 3649-97). Для этого нужно подавать в цилиндр воздух под давлением, которое может быть вычислено по формуле:

$$p = F / S = 4F / \pi D^2, \quad (7)$$

где  $F$  – нужное усилие, Н;  $S$  – площадь цилиндра, м<sup>2</sup>;  $D$  – внутренний диаметр цилиндра.

$$p = 4 \cdot 490 / \pi \cdot 0,05^2 = 249,555 \text{ Па} \approx 0,25 \text{ МПа} (2,54 \text{ кгс/см}^2).$$

Если при торможении на стенде колесо блокируется через высокую эффективность тормоза, нужно уменьшить давление вдвое и повторить испытание, после чего экстраполировать полученные значения замедления на полный режим.

**Норматив эффективности стояночной тормозной системы.** Нормативная тормозная сила на двух задних колесах автомобиля ВАЗ-2121 «Нива» составляет 2594 Н [1]. Соответствующее упроченное замедление на рассчитанном выше стенде должны составить

$$j_{ст} = 2594 / (221 + 2 \cdot 32) = 9,10 \text{ м/с}^2.$$

**Обоснование режимов проверки затраты топлива.** В технических характеристиках автомобилей сейчас приводятся значения контрольного расхода топлива автомобилями по стандарту ЕЭК в трех режимах: 90 км/ч, 120 км/ч и в городском цикле [1], а по государственному стандарту - в двух режимах - 90 км/ч и в городском цикле. На стенде во время общего диагностирования будет проверяться лишь первый показатель. Для автомобиля ВАЗ-2121 «Нива» эта норма составляет 10,5 л/100 км (при 80 км/ч - 9,9 л/100 км).

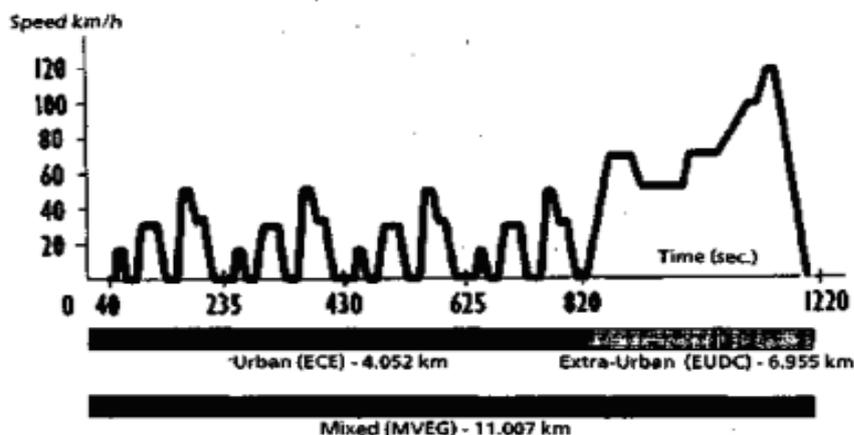


Рис. 1. Схема циклов измерения затраты топлива Европейским стандартом 93/116.

Европейский стандарт 93/116, что вошел в действие с 01.01.97, устанавливает порядок измерения нормы затраты топлива в других трех режимах - городской цикл (4 км), загородный (7 км) и смешанный цикл (11 км) на протяжении 1220 секунд (рис. 1). Но действие этого стандарта распространяется лишь на новые автомобили (т.е. продукцию автозаводов), а для регулярных эксплуатационных проверок такие режимы непригодны (весьма большая затрата времени).

При проверке на спроектированном нами стенде возможно воссоздавать скорость до 135,6 км/ч. Очевидно, для имитации дорожного режима измерения контрольной затраты необходимо воссоздать не только скорость, но и нагрузку на двигатель. При равномерном движении автомобиля на ровной горизонтальной дороге тяговая сила составляет:

$$P_T = P_\psi + P_W = G_a \cdot \psi + kF \cdot v^2 / 3,6^2, \quad (8)$$

где  $P_\psi$ ,  $P_W$  – силы суммарного дорожного сопротивления и сопротивления воздуха, соответственно, Н;  $G_a$  – вес автомобиля во время дорожных испытаний, Н; проверка затраты топлива выполняется в состоянии полной массы;  $\psi$  – коэффициент суммарного дорожного сопротивления;  $k$  – фактор обтекаемости;  $v$  – скорость автомобиля, км/ч.

На стенде в упроченном режиме:

$$P_T = P_H + P_{\text{по}} = P_H + G_{\text{вч}} \cdot f, \quad (9)$$

где  $P_H$  – сила нагрузки, создаваемая погрузочным устройством стенда, Н;  $P_{\text{по}}$  – сила постоянных сопротивлений, т.е. сопротивления катания шин по барабанам и сопротивлений от сил трения, Н;  $G_{\text{вч}}$  – часть веса автомобиля в снаряженном состоянии, которая приходится на ведущие колеса во время стендовой проверки, Н;  $f$  – коэффициент постоянных сопротивлений (0,04045).

Определим, какая сила нагрузки должны быть создана на стенде для имитации дорожного режима работы силового агрегата, для чего приравняем правые части выражений (8) и (9) и выделим  $P_H$ :

$$P_H = (P_w + P_\psi) - G_{\hat{A} \times} \cdot f = \left( \frac{kF \cdot V^2}{3,6^2} + G_a \cdot \psi \right) - G_{\hat{A} \times} \cdot f, \quad (10)$$

Коэффициент обтекаемости:

$$k = 0,5 \cdot C_x \cdot \rho_n, \quad (11)$$

где  $C_x$  - коэффициент аэродинамического опора; для автомобиля ВАЗ-2121  $C_x = 0,536$  [4];  $\rho_n$  - плотность воздуха; при нормальных физических условиях  $\rho_n = 1,22 \text{ кг/м}^3$ .

Лобовая площадь  $F$  составляет приблизительно:

$$F \approx 0,8 \cdot B \cdot H, \quad (12)$$

где  $B$ ,  $H$  - соответственно, ширина и высота автомобиля, м; для автомобиля ВАЗ-2121  $B = 1,68$  м,  $H = 1,59$  м.

Итак, значение фактора обтекаемости для автомобиля ВАЗ-2121 «Нива» составит:

$$k = 0,5 \cdot 0,536 \cdot 1,22 \cdot 0,8 \cdot 1,68 \cdot 1,59 = 0,327 \cdot 2,137 \approx 0,7.$$

Скорость - 90 км/ч. Вес автомобиля при полной массе:  $G_a = 1550 \cdot 9,81 = 15205,5 \text{ Н}$ .

Коэффициент суммарного дорожного сопротивления на хорошей дороге для современных легковых автомобилей практически не отличается от коэффициента сопротивления качению; при радиальных шинах с металлокордом на скорости 90 км/ч  $\psi \approx 0,0126$  [4], если рисунок протектора дорожный. При универсальном рисунке нужно принять большие значения, например, 0,020.

Расчет нужных сил и мощности нагрузки при измерении затраты топлива автомобилями ВАЗ-2121 «Нива» на стенде (скорость 90 км/ч) в табл. 1.

Таблица 1. Расчет нужных сил и мощности нагрузки при измерении затраты топлива автомобилями ВАЗ-2121 «Нива» на стенде (скорость 90 км/ч)

Показатель	Значение
$k$	0,7
$k v^{2/3}, 6^2, \text{ Н}$	$0,7 \cdot 90^2 / 3,6^2 = 437,5$
$G_a \cdot \psi, \text{ Н}$	$15205,5 \cdot 0,020 = 304,1$
$G_{вч} = G_{ac}, \text{ Н}$	$1150 \cdot 9,81 = 11281,5$
$G_{вч} f, \text{ Н}$	$11281,5 \cdot 0,040435 = 456,2$
$P_H, \text{ Н}$	$437,5 + 304,1 - 456,2 = 285,4$

**Расчет силы, необходимой для обращения колес приводом стенда при нажатой педали сцепления.** Этот параметр характеризует техническое состояние трансмиссии и ходовой части. Если он преувеличивает норму, это может свидетельствовать о наличии чрезмерных сопротивлений, вызванных разными неисправностями (чаще всего - затирание тормозных накладок по дискам или барабанам, плохое состояние подшипников ступиц, разрегулирование конических передач в мостах, отсутствие или несоответствие сезона смазочных масел в картерах).

Сила суммарных сопротивлений на стенде при нормальном состоянии автомобиля составляет

$$F_{оп} = 310,258 + 2,87025 v - 0,0138945 v^2$$

Вычисленная по этой формуле сила представляет на скорости 60 км/ч 432 Н, на скорости 15 км/ч - 350 Н.

Технология проверок тягово-экономических и тормозных свойств на примере автомобиля ВАЗ-2121 «Нива» разработана согласно рекомендациям [2, 3].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Автомобиль-ревью 2005. Русское издание швейцарского каталога. Stanford Trident Publishing. 2005. 304 с.

2. Мармут І.А. Розробка науково-методичних основ проектування універсальних пересувних станцій діагностики легкових автомобілів // Вестник Национального технического университета «ХПИ». № 14. 2001. С. 148-152.
3. Рабинович Э.Х., Зуев В.А., Мармут И.А. Обоснование выбора инерционной массы стенда с беговыми барабанами для передвижных диагностических станций // Вестник Национального технического университета «ХПИ». № 14. 2001. С. 148-152.
4. Автомобили ВАЗ. Электронный справочник Автофак Ladaonline.

## МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

### ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА И МЕТОДОВ РАСЧЕТА ФЕРМ, СЕРИЙНО ВЫПУСКАЕМЫХ ОСОО «ПЕРВАЯ МЕТАЛЛОБАЗА»

Васильев Л. И.

тел.: (+996 550) 72392; e-mail: [l.e.v.k@mail.ru](mailto:l.e.v.k@mail.ru)

Кыргызско-Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызская Республика

Для покрытия пролетов в строительстве применяются, в частности, плоские шарнирно – стержневые конструкции – фермы. Задача строителя-проектировщика заключается в выборе той или иной конструкции фермы для покрытия заданного пролета и проверки выбранной фермы на восприятие заданной нагрузки из условий жесткости, устойчивости и прочности.

1. В статье обоснованы выбор и методики расчета на прочность ферм, серийно выпускаемых ОсОО «Первая металлобаза» для пролетов до 12 метров.

2. Для каждого профиля определена длина, по которой фермы отнесены к «коротким», «средним» или «длинным».

3. Предельные нагрузки для «коротких» ферм ограничены устойчивостью раскосов. Рассчитываются методом вырезания узлов. Предельные нагрузки приведены.

4. «Средние» фермы могут рассчитываться методом вырезания узлов, а так же, как балка сплошного сечения. Превышение предельных нагрузок приводит к потере устойчивости сжатых панелей. Предельные напряжения сжатых панелей приведены.

5. «Длинные» фермы применять нецелесообразно из-за малой несущей способности.

### РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ ПОЛИМОРФНОЙ ВЕЙВЛЕТ-СЕТИ НА БАЗЕ ВЕЙВЛЕТА МОРЛЕ

Верзунов С.Н.

тел.: +996 553 722030; e-mail: [verzunov@hotmail.com](mailto:verzunov@hotmail.com)

Институт автоматки и информационных технологий НАН КР,  
Кыргызско-Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызская Республика

В последнее время наблюдается неослабевающий интерес к искусственным нейронным сетям. Среди положительных качеств нейронных сетей следует отметить возможность работы с многомерными данными, способность к обучению, толерантность к помехам. Однако алгоритм обратного распространения ошибки, использующийся для обучения нейронных сетей, известен невысокой производительностью и склонностью к сходимости к локальному минимуму ошибки [1]. В связи с этим актуально создание специализированных архитектур нейронных сетей, предназначенных для решения конкретных практических задач. Так, например, для аппроксимации произвольных функций была предложена архитектура нейронной сети на основе вейвлет-базисов – вейвлет-сеть, обладающая хорошими показателями скорости и качества обучения [2]. Данная работа посвящена разработке новой архитектуры вейвлет-сети для аппроксимации нестационарных временных рядов, в которой параметры вейвлет-базиса выбираются исходя из минимума энергии ошибки.

Рассматривается динамическая система, математические характеристики которой точно не известны. Имеется только набор маркированных данных входного и выходного временного ряда, генерируемых системой в равномерные дискретные интервалы времени  $\Delta t$  (рис. 1).

Входной временной ряд  $u(t)$  – некоторая известная временная последовательность, а выходной временной ряд  $d(t)$  – заданная временная последовательность, являющаяся суммой некоторого неизвестного модельного ряда  $y(t)$  и случайной ошибки  $\varepsilon(t)$ , характеризующейся равномерной спектральной плотностью и равномерно распределённым значением амплитуды:

$$d(t) = y(t) + \varepsilon(t). \quad (1)$$

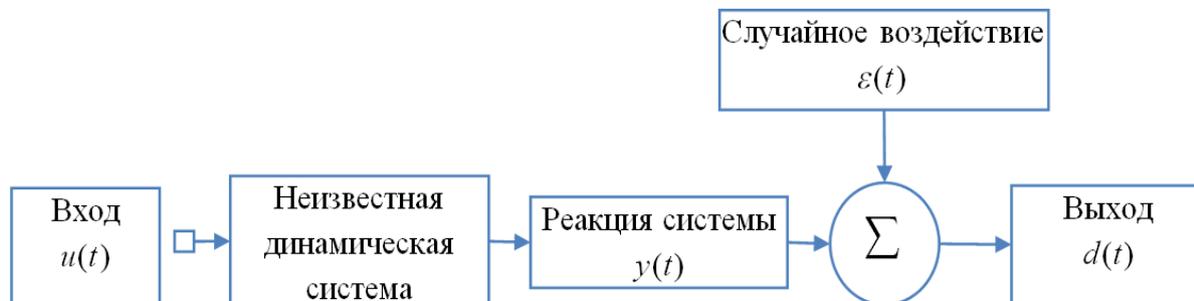


Рис. 1. Неизвестная динамическая система.

Требуется определить модельный временной ряд  $y(t)$ , при этом предполагается, что амплитудные и спектральные характеристики его изменяются со временем, он может иметь линейный тренд и постоянную составляющую, т.е. временной ряд  $y(t)$  является нестационарным. Предлагается использовать вейвлет-сеть (рис. 2), аппроксимирующую любой временной ряд  $d(t)$  как линейную комбинацию набора дочерних вейвлетов  $h_{a,b,p}(t)$ , получающихся путем растяжения –  $a$ , и сдвига –  $b$ , материнского вейвлета Морле  $h(t, p) = \cos(pt)e^{-0.5t^2}$ :

$$h_{a,b,p}(t) = h(\tau, p) = \cos(p\tau)e^{-0.5\tau^2}, \quad \tau = \frac{t-b}{a}, \quad (2)$$

где  $p$  – дополнительный настраиваемый параметр, изменяющий форму материнского вейвлета способом, отличным от сжатия и сдвига, и создающий по сути новый базовый вейвлет.

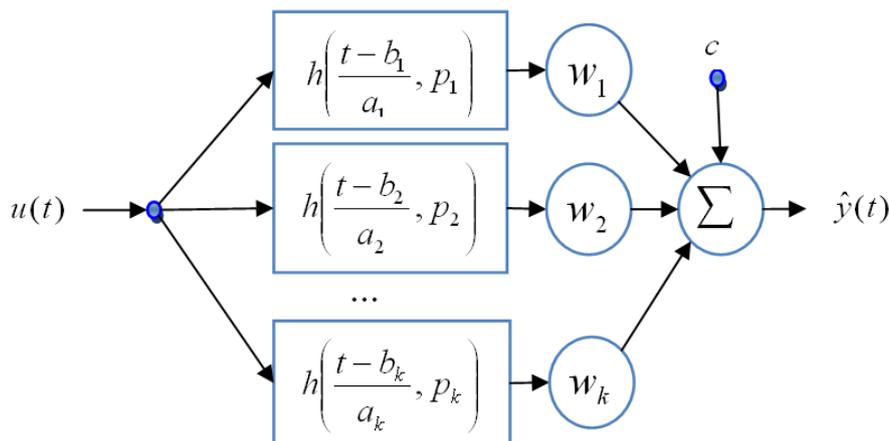


Рис. 2. Полиморфная вейвлет-сеть.

В результате в сети одновременно используется множество базовых вейвлетов, различающихся параметром  $p$ . Такая трактовка даёт основание назвать эту вейвлет-сеть полиморфной вейвлет-сетью (от др. греч. πολύμορφος – многообразный). Аппроксимация  $\hat{y}(t)$  временного ряда такой сетью может быть представлена как:

$$\hat{y}(t) = c + u(t) \sum_{k=1}^K w_k h_{a_k, b_k, p_k}(t), \quad (3)$$

где  $c$  – смещение сети;  $u(t)$  – вход сети;  $K$  – количество вейвлетов и  $w_k$  – весовые коэффициенты. Традиционная вейвлет-сеть [2] отличается от полиморфной отсутствием параметров  $p_k$  и  $c$ .

Для минимизации  $E$  используется метод наискорейшего спуска [3], который требует градиенты  $\frac{\partial E}{\partial w_k}$ ,  $\frac{\partial E}{\partial a_k}$  и  $\frac{\partial E}{\partial b_k}$  для последовательного изменения каждого конкретного параметра

$w_k, a_k, b_k, p_k$  и  $c$ :

$$\frac{\partial E}{\partial w_k} = - \sum_{t=1}^T e(t) h(\tau) u(t),$$

$$\frac{\partial E}{\partial b_k} = - \sum_{t=1}^T e(t) u(t) w_k \frac{\partial h(\tau)}{\partial b_k}, \quad (5)$$

$$\frac{\partial E}{\partial a_k} = - \sum_{t=1}^T e(t) u(t) w_k \tau \frac{\partial h(\tau)}{\partial b_k} = \tau \frac{\partial E}{\partial b_k}, \quad (6)$$

$$\frac{\partial E}{\partial p_k} = - \sum_{t=1}^T e(t) u(t) w_k \frac{\partial h(\tau, p_k)}{\partial p_k},$$

$$\frac{\partial E}{\partial c} = - \sum_{t=1}^T e(t),$$

$$\text{где } \tau = \frac{t - b_k}{a_k}.$$

Для вейвлета Морле (2):

$$\frac{\partial h(\tau)}{\partial b} = \frac{1}{a} [p \sin(p\tau) e^{-0.5\tau^2} \tau h(\tau)],$$

$$\frac{\partial h(\tau, p_k)}{\partial p_k} = \frac{\partial \cos(p_k \tau) e^{-0.5\tau^2}}{\partial p_k} = -\sin(p_k \tau) \tau e^{-0.5\tau^2}.$$

Направление спуска определяется вектором антиградиента:

$$\left[ \Delta w = -\frac{\partial E}{\partial w}; \Delta b = -\frac{\partial E}{\partial b}; \Delta a = -\frac{\partial E}{\partial a}; \Delta p = -\frac{\partial E}{\partial p}; \Delta c = -\frac{\partial E}{\partial c} \right].$$

Таким образом, вектора параметров сети изменяются по правилам:

$$\begin{aligned} \bar{w}(n+1) &= \bar{w}(n) + \mu \Delta \bar{w}, \\ \bar{b}(n+1) &= \bar{b}(n) + \mu \Delta \bar{b}, \\ \bar{a}(n+1) &= \bar{a}(n) + \mu \Delta \bar{a}, \\ \bar{p}(n+1) &= \bar{p}(n) + \mu \Delta \bar{p}, \\ c(n+1) &= c(n) + \mu \Delta c. \end{aligned} \quad (4)$$

где  $\mu$  – параметр скорости обучения, шаг градиентной процедуры.

Способность разработанной полиморфной вейвлет-сети к аппроксимации нестационарных временных рядов исследована на модельном примере, в котором в качестве модельной функции выбрана функция с изменяемыми во времени амплитудой и частотой:

$$y(t) = \begin{cases} 10e^{-0.03t-0.3} \sin(0.6t - 0.1) + t + 0.5, & t < 0, \\ 10e^{-0.03t-0.3} \sin(0.3t - 0.1) + t + 0.5, & t \geq 0. \end{cases} \quad (5)$$

$$-20 \leq t < 20, \Delta t = 0.5.$$

Как видно из (5), функция содержит линейный тренд и постоянную составляющую. Случайная ошибка  $\varepsilon(t)$ , которая определяет аппроксимируемый выходной ряд (1), имеет равномерное распределение:

$$\varepsilon(t) = k_1 \rho$$

где  $\rho$  – равномерно распределенная на интервале  $[-0.5; 0.5)$  случайная величина,  $k_1$  – некоторый коэффициент, характеризующий амплитуду ошибки (предполагается, что случайная ошибка может различаться по величине).

Для аппроксимации модельной функции (5) использовалась предложенная полиморфная и традиционная вейвлет-сеть. Обе сети содержали по 16 вейвлетов Морле (2). Начальные значения параметров в каждом случае задавались одинаково. Масштабы,  $a$  принимают случайные значения, равномерно распределенные на интервале  $2 \leq \bar{a}_0 < 5$ . Начальные значения весов также случайны и принимают значения  $-0,5 \leq \bar{w}_0 < 2$ . Параметры сдвигов вейвлетов сети, напротив, не случайны, а располагаются через одинаковые промежутки в области определения модельной функции, т.е.  $-20 \leq \bar{b}_0 < 20$ . Начальные значения параметров сетей  $\bar{p}_0 = 2$  и  $c_0 = 0$  одинаковы.

В полиморфной вейвлет-сети эти параметры настраиваются в соответствии с (4). Количество вейвлетов, способ задания и начальные значения параметров определены таким образом, чтобы за 200 итераций обеспечить достижение возможно меньшего значения параметра  $\Delta E(\infty)$  и для полиморфной и для традиционной вейвлет-сети. Для временного ряда, отличного от (5), потребуется заново подобрать начальные значения параметров сети. Результаты обучения на протяжении 200 эпох обычной и полиморфной вейвлет-сети при разных значениях параметра  $k_2$ , определяющего величину случайной ошибки и различных начальных значениях параметров, приведены в таблице. 1.

На рис. 3 показана зависимость отношения сигнал/шум [4] для временного ряда  $\hat{y}(t)$ ,  $M$  от отношения сигнал/шум для временном ряду  $d(t)$ ,  $S$ .

Таблица 1. Результаты вычислительного эксперимента

$k_1$	$S$	Стандартная вейвлет-сеть		Полиморфная вейвлет-сеть	
		$\hat{n}$	$M$	$\hat{n}$	$M$
1.500	718.6±15.5	20.0±5.3	188.2±32.4	10.2±1.5	581.9±71.2
2.250	327.5±6.7	19.8±4.7	173.7±22.5	11.3±2.1	495.0±41.7
3.375	146.2±3.5	19.2±3.5	174.5±21.9	10.4±1.8	400.5±30.2
5.062	64.1±1.6	23.7±5.8	140.1±21.2	11.9±2.3	236.9±16.7
7.594	29.0±0.7	28.8±7.1	93.3±7.5	16.6±4.0	123.3±8.9
11.391	12.8±0.3	59.8±12.8	56.8±4.3	32.5±10.3	69.3±10.8
17.086	5.7±0.1	101.0±23.8	27.4±3.0	38.8±11.4	30.0±3.6

Также на этом рисунке показан график зависимости величины  $M$  от самой себя. Он ограничивает область применения вейвлет-сетей, поскольку если  $M$  меньше  $S$ , то применять вейвлет-сеть не имеет смысла.

Например, при значении  $S$  большем, чем 327.5, ошибка аппроксимации как полиморфной, так и традиционной вейвлет-сети, превышает случайную ошибку, имеющуюся во временном ряду  $d(t)$ . А значит, использовать вейвлет-сеть не имеет смысла.

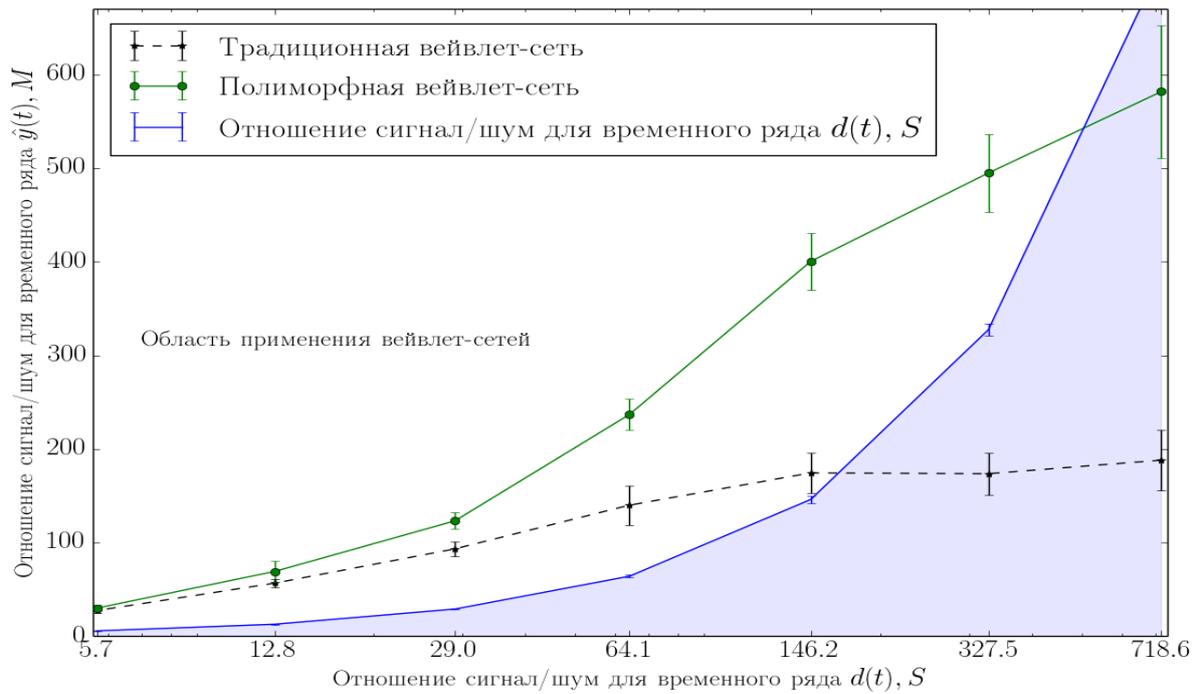


Рис. 3. Зависимость  $M$  от  $S$  для традиционной и предложенной полиморфной вейвлет-сети и область применения вейвлет-сетей в диапазоне значений  $S$  (ось абсцисс имеет логарифмический масштаб).

На рис. 4 показана зависимость продолжительности сходимости сетей от отношения сигнал/шум  $S$ .

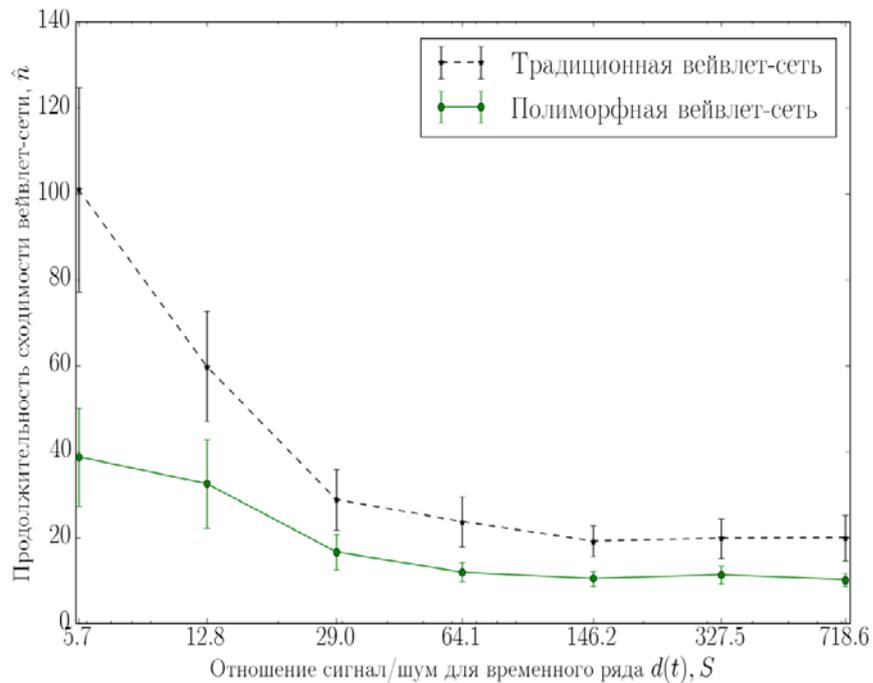


Рис. 4. Зависимость продолжительности сходимости сетей  $\hat{n}$  от  $S$  (ось абсцисс имеет логарифмический масштаб).

При значении  $S$  меньше, чем 29, продолжительность обучения начинает резко возрастать. А при отношении сигнал/шум  $S$  меньше, чем 5.7, вейвлет-сеть вообще не достигает энергии ошибки, равной 0.1 от первоначальной. Это значит, что даже за 200

итераций как традиционная, так и полиморфная вейвлет-сеть не может быть удовлетворительно обучена.

Таким образом, полиморфная вейвлет-сеть с базовым вейвлетом Морле может быть эффективно применена при отношении сигнал/шум  $S$  в диапазоне от 29 до 327.5 единиц.

Если  $S$  меньше 29, целесообразность применения вейвлет-сети оказывается под вопросом, а при значениях, больших чем 327.5 единиц, применять её для этого ряда не только бесполезно, но и вредно, поскольку при этом  $M$  становится меньше, чем  $S$ .

Традиционная вейвлет-сеть может успешно применяться при отношении сигнал/шум  $S$  около 29-146.2, поскольку при этом достигается приемлемое качество аппроксимации и скорость обучения. Если сравнивать эффективность вейвлет-сетей именно в этом диапазоне, то полиморфная вейвлет-сеть даёт на 69%-87% лучшее отношение сигнал/шум. Продолжительность сходимости сократилась на 8-14 итераций, т.е. примерно на 45-47%. Эти улучшения, как видно по рис. 3, 4 и таблице 1, лежат за пределами статистической погрешности. Их можно объяснить тем, что полиморфная вейвлет-сеть благодаря наличию в своей структуре смещения  $s$  и дополнительного настраиваемого параметра  $p$  способна лучше учесть наличие в модельном временном ряду постоянной составляющей и изменения его частоты. Исходный код вейвлет-сетей опубликован по адресу <https://github.com/abalckin/cwavenet>.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Хайкин С. Нейронные сети. М.: Издательский дом «Вильямс». 2006. 1104 с.
2. Dr. Ioannis and M. Besieris et al. Self-Tuning Neuro Wavelet Network Controllers, Systems, Man, and Cybernetics. 1997. Pp. 42-45.
3. Банди Б. Методы оптимизации. М.: Радио и связь. 1988. 128 с.
4. Сосулин Ю.Г. Теория обнаружения и оценивания стохастических сигналов. М: Советское радио. 1978. 120 с.

## ОПТИМАЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ТЕХНИКИ БОРОЗДКОВОГО ПОЛИВА ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЛЕЛЬ ДАНГАРИНСКОЙ СТЕПИ (ТАДЖИКИСТАН)

Гайратов М.Т.

тел.: (+992) 93-523-70-85, (+992) 90-999-44-14; e-mail: gairatov\_malikdod@mail.ru

Таджикский национальный университет

**Введение.** Усовершенствование и дальнейшее развитие технологии бороздкового полива с целью повышения продуктивности земельных ресурсов аридных зон, особенно территорий с просадочными грунтами, к числу которых относится Дангаринская долина, требует проведения ряда первоочередных инженерно-мелиоративных и агротехнических мероприятий. Они, прежде всего, связаны с полным устранением процесса водной эрозии почвы, обеспечением оптимального режима влаги в корнеобитаемых слоях грунта, предотвращением интенсивного увлажнения и предупреждением интенсивного подъема уровня грунтовых вод до критических глубин. Реализация этих мероприятий требует количественной оценки таких гидродинамических факторов, как динамика впитывания воды при поливах по борозде и её связь с гидравлическими характеристиками струи воды в борозде, с удельным расходом поливной струи и с процессом суммарного испарения влаги с орошаемых территорий.

**Исходные данные.** При поливе сельскохозяйственных культур по бороздам качество полива, производительность труда и продуктивность использования оросительной воды зависит, прежде всего, от правильности подбора элементов техники полива–расхода поливной

струи, длины борозд и продолжительности полива. Особую важность рациональная техника поверхностных поливов приобретает на просадочных массивах, где преобладают преимущественно почвы легкого механического состава с высокой водопроницаемостью (особенно в начальной стадии освоения целинных грунтов), повышенной размываемостью и способностью почвогрунтов к просадочным деформациям при увлажнении.

Множеством экспериментов и математическим моделированием показано, что процессы впитывания воды и увлажнения воздушно-сухого почвогрунта являются сложным многофакторным процессом, в динамике которых, наряду с физико-механическими, физико-химическими константами грунта и гидравлическими характеристиками источника увлажнения, значительную роль играют капиллярно-сорбционные эффекты.

Влияния водно-физических характеристик, в том числе капиллярно-сорбционных эффектов грунта, сложны и значительны в условиях неполного насыщения – при поверхностном поливе земель с вековыми засушливыми лессовыми грунтами, широко распространенными на территории Таджикистана.

Динамика впитывания воды при неполном насыщении, особенно территорий с просадочными грунтами, взаимосвязь процессов движения воды по борозде и впитывания влаги в почву и их роль в обосновании и выборе оптимальных параметров техники бороздкового полива изучена слабо, и поэтому разработка математических моделей динамики впитывания влаги в зависимости от основных гидродинамических характеристик движения воды при бороздковых поливах представляет собой большой теоретический и практический интерес.

В данной работе путем математического моделирования и анализа систематических данных опытов делается попытка установить взаимосвязь процессов инфильтрации и горизонтального движения воды по борозде и на этом основании изучить влияние этой взаимосвязи на выбор оптимальных элементов техники бороздкового полива как на начальном этапе освоения, так и при стабилизации водно-физических и других свойств лессовых просадочных грунтов в результате орошения.

Систематические опыты, анализ и обобщение данных экспериментальных исследований, проведенные на лессовых просадочных грунтах юга Таджикистана (Гараутинский, Ташрабадский и Дангаринский массивы), показывают, что при первых поливах вековых засушливых земель, в самом начале стадии промачивания воздушно-сухого грунта, скорость впитывания воды очень велика, а величина расхода на инфильтрацию составляет от 40 до 60-80 и более литров в час на 1 м<sup>2</sup> площади. Через 3-4 года после начала орошения, при соответствующих агротехнических обработках и в результате просадки и уплотнения грунтов, величины гидрофизических характеристик грунта, в частности, величина начальной скорости впитывания воды уменьшается в 4-5 раз, а установившаяся скорость впитывания в 14-20 раз и более (рис. 1).

Естественно, эти обстоятельства и то, что затраты на восстановление оросительной сети, разрушенной в результате просадок достигают около 40% их первоначальной стоимости, является веским обоснованием рациональности и эффективности предложения о поэтапном освоении земель с просадочными грунтами. При этом на первом этапе освоения (период проявления интенсивных просадочных деформаций) поперечные размеры оросительной сети должны удовлетворять условию пропуска необходимого расхода воды на поле по максимальной ординате укомплектованного графика гидромодуля с учетом значительности потери воды на инфильтрацию.

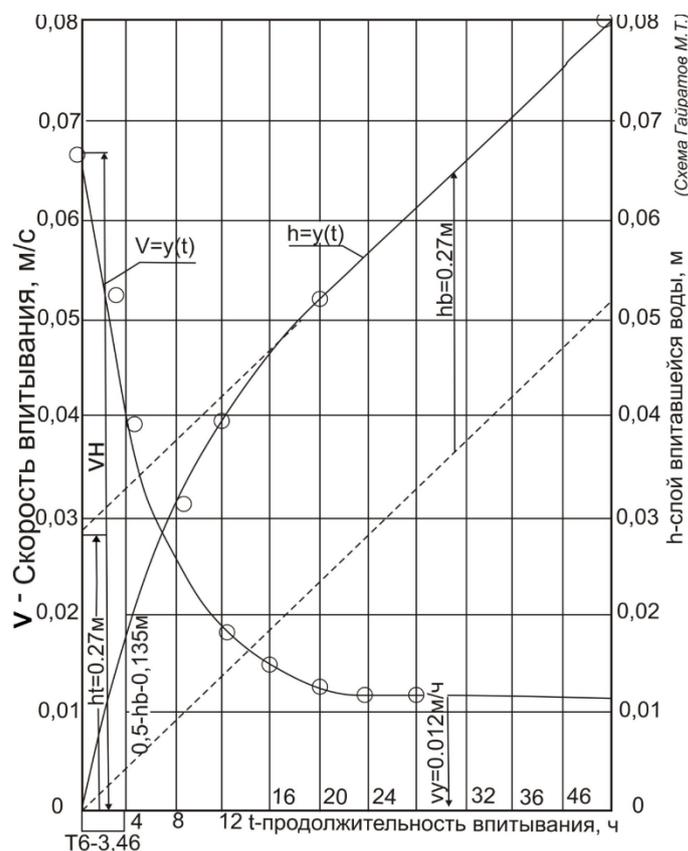


Рис. 1. Изменения скорости впитывания воды во времени.

Кроме того, на этом этапе внутрихозяйственная оросительная сеть с сооружениями должна состоять из гибких или полугибких транспортирующих трубопроводов, по длине которых на расстоянии, равном оптимальной длине борозд, устанавливаются легкие гидранты с двумя патрубками для присоединения к ним поливных шлангов с отверстиями. Размеры отверстий соответствуют расчетным поливным струям в борозды из условия неразмываемости почвогрунта, вычисленные по водопроницаемости грунтов в первые годы освоения.

Математическую модель процесса движения воды по борозде построим на базе уравнения водного баланса в период от начала полива до истечения некоторого времени  $t$ - продолжительность полива [1, 2]:

$$Q_0(t) = Q_v(x,t) + Q_u(x,t) + Q_e(x,t) + Q_c(x,t) - Q_f(x,t), \quad (1)$$

где  $Q_0(t)$  - объем воды, поступившей в борозду;  
 $Q_v(x,t)$  - объем воды, ушедшей на увлажнение почвогрунта по длине борозды;  
 $Q_u(x,t)$  - объем воды, накопившейся по длине борозды;  
 $Q_e(x,t)$  - объем испарившейся воды по длине борозды;  
 $Q_c(x,t)$  - объем сбросившейся воды из конца борозды;  
 $Q_f(x,t)$  - количество атмосферных осадков, выпавших за время полива.  
Теперь предположим, что удельный расход  $Q$  (л/с или м<sup>3</sup>/ч) полива в начале борозды ( $x=0$ ), площадь поперечного сечения струи воды в борозде  $\omega$ , интенсивность выпадения атмосферных осадков  $E$  на единицу площади – постоянные величины ( $Q=\text{const}$ ,  $\omega=\text{const}$ ,  $E=\text{const}$ ).

При этом из (1) мы приходим к известным интегро-дифференциальным уравнениям типа Вольтерра относительно величины добегаания  $x(t)$  и скорости  $u=dx/dt$  добегаания струи:

$$\omega x(t) = Qt - a \int_0^t \{w[x(\tau), t] + E[x(\tau), t]\} u(\tau) d\tau + a \epsilon t x(t); \quad (2)$$

$$\omega u(t) = Qt - a \int_0^t \{v[x(\tau), t] + e[x(\tau), t]\} u(\tau) d\tau + a \varepsilon t d[tx(t)]/dt; \quad (3)$$

где,  $\tau$  - время добега струи до данного створа;  $E[x(\tau), t]$  и  $e[x(\tau), t]$  - объем и скорость суммарного испарения с единицы площади;  $a$  - ширина увлажненной полосы;  $w(x, t)$  и  $v(x, t)$  - объем и скорость впитывания воды на единицу площади борозды.

При  $E(x, t) = e = \varepsilon = 0$  численные решения задачи (2)-(3) при известных эмпирических представлениях  $w(x, t)$  и  $v(x, t)$  даны Ф.Б. Абуталиевым [1].

В вопросах оптимизации режима влаги в корнеобитаемых слоях почвогрунтов и особенно в проблеме обеспечения равномерной просадки орошаемых земель со структурно-неустойчивыми грунтами, а также в эффективном использовании воды при периодических поливах важным является решение обратной гидродинамической задачи: определение объема  $w(x, t)$  и скорости впитывания  $v(x, t)$  из уравнений (2)-(3).

Так, пользуясь теоремой о среднем из уравнений (2)-(3), получим:

$$\omega(x, t) = Qt - a\{w[x(t_1), t] + E[x(t_1), t]\}u(t_1)t + a\varepsilon tx(t); \quad (4)$$

$$\omega u(x, t) = Q - a\{v[x(t_2), t] + e[x(t_2), t]\}u(t_2)t + a\varepsilon[x(t) + tu(t)]; \quad (5)$$

где  $t_1 = \theta_3 t$ ,  $t_2 = \theta_4 t$ ,  $0 < \theta < 1$ ,  $i=1, 4$

Из первых уравнений (4) и (5) найдем среднеинтегральную величину объема и скорости впитывания воды за время  $t$  на единицу площади борозды:

$$\hat{w}(x, t) = [Q \cdot t - \omega x(t) - (\check{E}(x, t) - \varepsilon t)ax(t)]/ax(t); \quad (6)$$

$$v(x, t) = [Q - \omega u(t) - (\hat{e}(x, t) - \varepsilon)ax(t) + a\varepsilon tu(t)]/ax(t); \quad (7)$$

Несколько другие виды формул для расчета  $\hat{w}(x, t)$  и  $v(x, t)$  получаются из вторых формул (4) и (5). Величину объема впитывания воды в грунт можно определить в промежутке времени  $[t_i, t_{i+1}]$  из формулы ( $\Delta x_i = x(t_{i+1}) - x(t_i)$ ,  $\Delta t_i = t_{i+1} - t_i$ ):

$$\Delta \hat{w}_i = Q(x_i t_{i+1} - t_i x_{i+1})/ax_i x_{i+1} - \Delta \check{E}_i + \varepsilon \Delta t_i \quad (8)$$

В течение ряда лет на опытном участке с просадочными грунтами проводились систематические опыты, основной целью которых являлось определение таких гидродинамических параметров бороздкового полива, как оптимальный удельный расход  $Q$  поливной струи, при котором не происходят водная эрозия и смыв плодородного слоя почвы, изучение динамики добега струи воды в борозде и процесса увлажнения плодородного слоя грунта при разных степенях уплотнения грунта в борозде (например, при работе агротехнических механизмов). На рис. 2-3 приведены графики функций длины  $x(t)$  скорости  $u(t)$  добега струи воды в зависимости от времени  $t$  в первом году освоения.

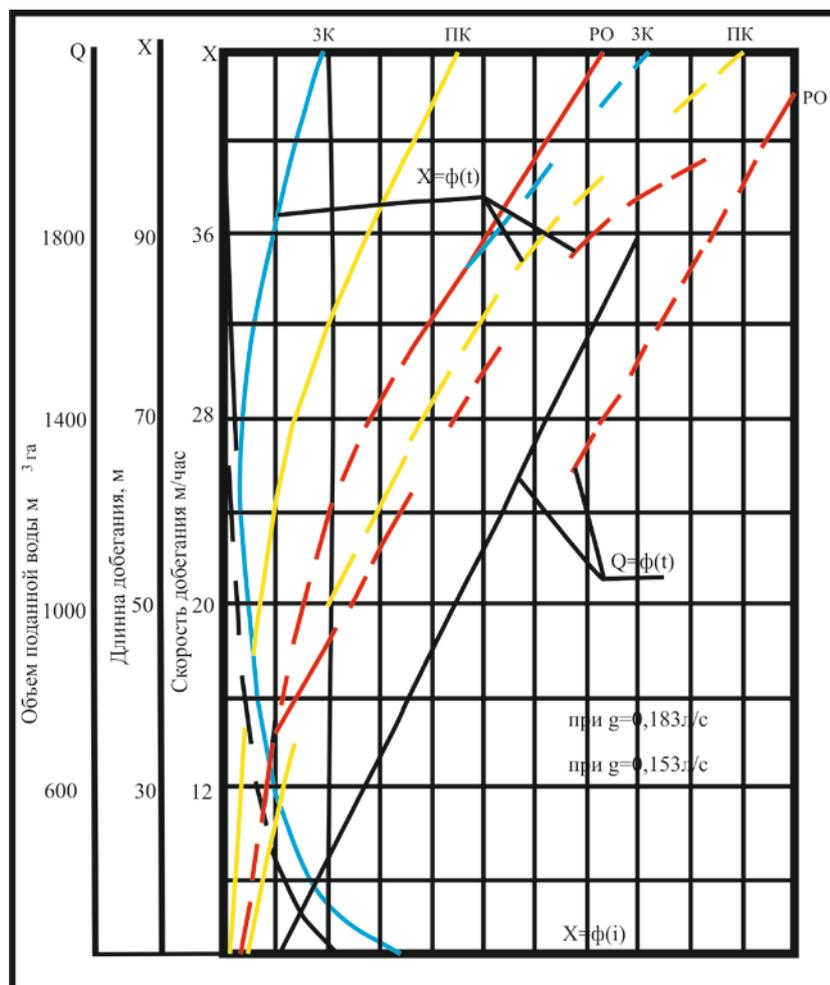


Рис. 2. Характеристики движения воды по борозде во времени:  
 РО - рабочий орган; ПК - переднее колесо; ЗК - заднее колесо трактора-культиватора;  $x = \varphi(t)$  - зависимость длины добега от времени;  $Q = \varphi(t)$  - объем поданной воды в борозду во времени в расчетах на 1 га.

Расчет величин  $w$  и  $v$  выполнен по формулам (6) и (7) при  $e = \varepsilon = 0$  (в наших опытах, когда продолжительность поливов как в первый, так и в четвертый год освоения не превышала 1,0-1,5 сут., доля суммарного испарения равнялась 3-5% поливной нормы, а атмосферные осадки отсутствовали).

Параметр определялся по формуле:

$$\omega = 0,00147 \sqrt[3]{Q^2/i},$$

$Q$  - в л/с;  $i$  - уклон борозды. Длина борозды  $\ell = 100$  м; в первом году освоения:  $Q = 0,153$  л/с,  $i = 0,018$ ,  $\omega = 0,0016$  м<sup>2</sup> и в четвертом году освоения:  $Q = 0,153$  л/с,  $i = 0,014$ ,  $\omega = 0,0017$  м<sup>2</sup>.

В результате расчетов были установлены гидродинамические характеристики впитывания и динамика движения воды в бороздах, по которым проходили рабочие органы (РО), переднее колесо (ПК) и заднее колесо (дважды ЗК) трактора культиватора. В первый (полив 2-й) и четвертый (полив 3-й) годы освоения объем  $w$  впитавшейся воды в момент добега струи воды до конца борозды ( $\ell = 100$  м) составил, соответственно: в борозде РО- 13,1 и 10,6 м<sup>3</sup>, в борозде ПК- 10,8 и 4,4 м<sup>3</sup>, в борозде ЗК- 8,8 и 3,1 м<sup>3</sup>. При этом величина скорости движения воды в конце борозды равнялась, соответственно: 1,5 и 2,5; 2,25 и 6,5; 3,25 и 8,5 м/ч.

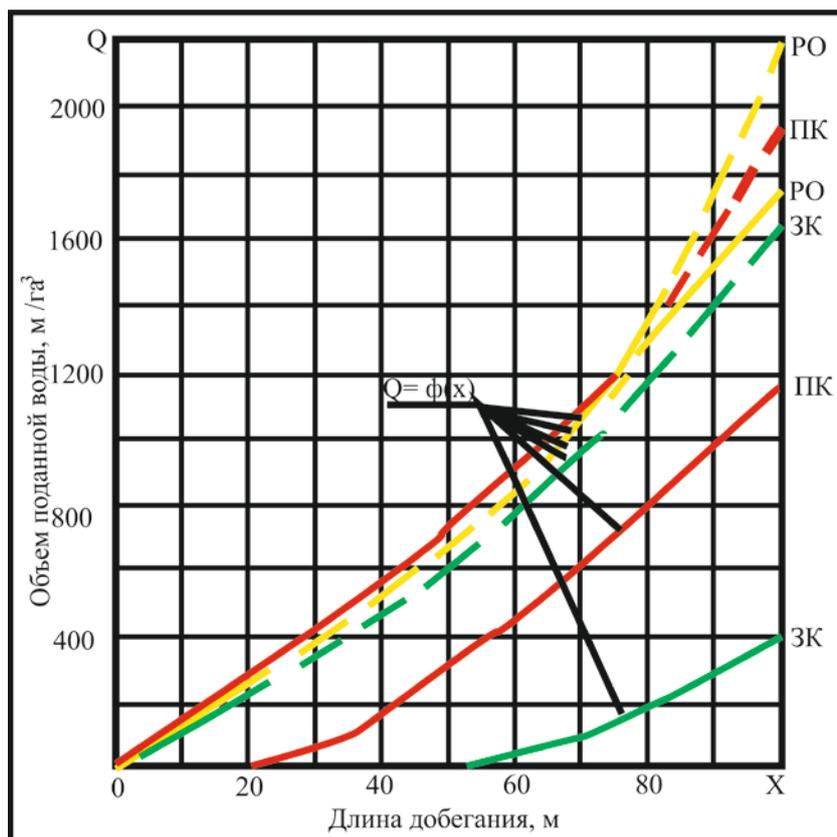


Рис. 3. Динамика длины добегающей струи в бороздах с различной степенью уплотнения  $Q = \varphi(x)$  объем поданной воды в зависимости от длины борозды в расчете на 1 га.

В первый год освоения средняя скорость впитывания за первые 2 часа от начала полива для борозд РО, ПК и ЗК равна, соответственно, 1,5; 1,4 и 1,4 см/ч, а при достижении струи воды конца борозд - одинакова и равна величине 0,54 см/ч, причем последнее значение  $v$  достигается при различной продолжительности полива для борозд РО, ПК и ЗК, соответственно, за 24, 20 и 16,5 часов. Значительные изменения в динамике процесса впитывания происходят в четвертый год освоения. Например, хотя при достижении струи воды конца борозды средняя скорость впитывания для всех борозд одинакова и равна 0,54 см/ч, но добежание струи до конца борозд происходит значительно раньше, чем в первый год освоения: для борозд РО, ПК и ЗК – продолжительность этого времени равна, соответственно, 20, 8,6 и 6 часам.

Сравнение данных наблюдений и их анализ показали, что факторы уплотнения дна борозды органами агротехнических механизмов, а также в результате равномерной просадки и последующего изменения физико-механических свойств и параметров грунта играют определяющую роль в проблемах освоения территорий аридных зон, в выборе оптимальных параметров бороздкового полива и техники орошения на различных этапах освоения земель с просадочными грунтами.

Расчет впитывания воды при наличии сброса воды с конца борозды длиной  $\ell$  можно выполнить с помощью формулы

$$w(\ell, t) = [Qt - Q_c(t - t_\ell) - \omega\ell] / a\ell - \check{E}(\ell, t) + \varepsilon t; \quad (9)$$

где  $t_\ell$  - время добегающей струи воды до конца борозды.

Отсюда, в частности, можно определить продолжительность полива  $T$ , при котором обеспечивается промачивание глубины  $\hat{y} = w(\ell, T) / \sigma$ : ( $\sigma$  – недостаток насыщения грунта)

$$T = [a\sigma\ell\hat{y} + \omega\ell + E(\ell, T)a\ell - Q_c t_c] / (Q - Q_c - \varepsilon a\ell) \quad (10)$$

Кроме того, объем впитавшейся воды при добегании в борозду длиной 60-70 м, уплотненные передним и задним колесами трактора-культиватора в первом году освоения достаточен для добегания соответствующих борозд четвертого года освоения на длину 100 и более метров. Например, объем впитавшейся воды в борозду уплотненное ПК равно 4,7 м<sup>3</sup> на длину 70 м в первом году освоения больше объема впитавшейся воды в соответствующей борозде четвертого года освоения длиной более 100 м (4,5 м<sup>3</sup> на длине 96 м). Этот важный вывод может являться веским обоснованием к переходу на поэтапное освоение земель с просадочными грунтами. Особое значение оно имеет, когда орошаемый массив, наряду с просадочностью, имеет большие уклоны и сложный рельеф поверхности.

На больших уклонах местности при поливе добеганием концевые части борозд недоувлажняются. Поэтому полив здесь обязательно должен продолжаться и после добегания воды до конца борозды.

**Заключение.** Весь процесс полива по бороздам (а также полосам) на больших уклонах можно разделить на три стадии. В первой стадии за время  $t_g$  происходит добегание поливной струи  $q_n$  до конца борозды с одновременным впитыванием всей воды в почву. Продолжительность добегания  $t_g$  зависит прежде всего от расхода поливной струи  $q_n$  и от длины поливной борозды  $l_b$ , которые, в свою очередь, зависят от почвы и уклона борозды. Для легкоразмываемых почв (например, суглинистых и лессовых) расход значительно меньше, чем для слаборазмываемых (например, каменистых). С увеличением уклона борозд от нуля до 0,002-0,005 расход струи и длину борозды нужно увеличивать, а при дальнейшем увеличении уклона – уменьшать в соответствии с величиной предельных (неразмывающих) расходов. На слабоводопроницаемых почвах длина борозды больше, а на сильноводопроницаемых – меньше.

Чем больше время добегания  $t_g$ , тем хуже равномерность увлажнения почвы по длине борозды и тем больше потери воды в слое почвы ниже корнеобитаемой зоны. Поэтому нужно стремиться к уменьшению времени добегания  $t_g$ . В конкретных условиях этого можно добиться за счет увеличения (до предельно неразмывающих значений) расхода поливной струи, уменьшения длины борозды, а также уплотнения поливаемых борозд (например, колесами трактора).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Абуталиев Ф.Б. и др. К теории и расчету на ЭВМ задачи бороздкового полива. Ташкент: ФАН. 1967.
2. Саттаров М.А. Некоторые модели динамики движения воды в почвогрунтах при бороздковых поливах // Докл. АН Таджикской ССР. 1985. Т. XXVIII. № 7. С. 384-388.
3. Саттаров М.А. Вопросы теории и расчета бороздкового полива применительно к просадочным грунтам // Гидротехника и мелиорация. 1985. № 8. С. 43-46.

## ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛИВА ОБВОДНЕННЫХ КУЛЬТУР НА СКЛОНОВЫХ ЗЕМЛЯХ ДАНГАРИНСКОЙ ДОЛИНЫ (ЮЖНЫЙ ТАДЖИКИСТАН)

Гайратов М.Т.

тел.: (+992) 93-523-70-85, (+992) 90-999-44-14; e-mail: [gairatov\\_malikdod@mail.ru](mailto:gairatov_malikdod@mail.ru)

Таджикский национальный университет

Важнейшим средством как упорядочения водопользования, так и повышения водообеспеченности орошаемых земель и водосбережения является совершенствование

техники полива. Основное распространение в странах бассейна Аральского моря получил поверхностный способ орошения по бороздам (70% от общей орошаемой площади), полосам (26%), чекам (4%).

В Таджикистане доминирующим способом полива сельхозкультур является полив по бороздам (более 98% общей площади орошения). Объясняется это как «универсальностью» этого способа при адаптации к разнообразным природно-хозяйственным условиям, так и относительной простотой его организации. Он также наиболее полно соответствует требованиям механизации сельхозпроизводства и темпам роста орошаемых земель.

В республике на площади немногим более 12,4 тыс. га, что соответствует менее 2% от общей орошаемой площади, применяется полив затоплением по чекам для производства риса; в Согдийской области, на ограниченной площади (около 100 га) в опытно-производственных условиях применяется капельное орошение.

Из всей площади поверхностного орошения по бороздам, около 2% в Хатлонской области и около 4,15% в Согдийской области, полив осуществляется посредством переносных поливных трубопроводов. Частое перемещение передвижного поливного оборудования (за один полив 3-4 позиции) снижает производительность труда и существенно (в условиях дефицита энергоносителей) увеличивает долю ручного труда и организационные потери оросительной воды. Полив дождевальными машинами и установками в Таджикистане практически нигде не применяется из-за энергоемкости и металлоемкости оборудования и других причин.

В связи с этим целесообразно развивать направление, стимулирующее применение новых приемов орошаемого земледелия, основанных на совершенных видах поливной техники в частных и арендных хозяйствах, в условиях разгосударствления орошаемых земель на фермерские и кооперативные хозяйства. Особенно это актуально для дорогостоящих систем капельного орошения, на достаточном научно-производственном уровне разработанных в Таджикистане [1, 2, 3].

Первоочередными объектами применения совершенных способов и технологий орошения должны являться оросительные системы с хронически низкой водообеспеченностью, массив водоподач на которые связан с дорогостоящим машинным водоподъемом, так как орошаемые территории представлены сильноводопроницаемыми почвогрунтами и сложным рельефом поверхности. Представляется очень актуальным при ирригационном и сельскохозяйственном освоении новых земель, расположенных на лессовых просадочных грунтах, орошение начинать по временным передвижным оросительным сетям на период проявления основных просадочных деформаций и заменой их стационарной (постоянной) оросительной сетью после завершения деформаций. Элементы техники полива (полив по бороздам) назначаются отдельно для начального этапа орошения и после стабилизации водно-физических свойств лессовых грунтов.

Временная передвижная оросительная сеть состоит из полужестких или гибких распределительных трубопроводов и гибких поливных полиэтиленовых шлангов, проложенных по поверхности орошаемого поля. В качестве гибких распределительных трубопроводов лучше применять пластмассовые армированные бесшовные шланги (АНШ), предназначенные для транспортировки воды, а также слабых щелочных и кислотных растворов при поливе (подкормке) сельскохозяйственных культур и для других гидромелиоративных целей. Армированные напорные шланги (АНШ) выпускаются диаметрами 40, 82, 125, 140, 180 и 200 мм любой длины.

Полиэтиленовые шланги выполняются из полиэтилена низкой плотности (высокого давления), стабилизированного мелкодисперсной сажей в количестве 2%, методом непрерывной шнековой экструзии с последующим пневматическим растяжением на пленочном раздувном агрегате АРП – 45-5000 с диаметром шнека 45 мм. Длина шлангов от 100 до 250 м, масса от 0,10 до 0,20 кг на 1 п.м.

Поливные отверстия в шлангах пробивают непосредственно на поле при помощи простейшего металлического пробойника. Режущая кромка пробойника находится на

пересечении внутренней конической поверхности с внешней цилиндрической. Угол пересечения около  $30^{\circ}$ . Высота пробойника 50-65 мм. Его изготавливают из инструментальной стали. Диаметр пробойника должен быть равен диаметру поливного отверстия, который устанавливают в зависимости от расхода поливной струи и диаметра шланга по табл. 1. Расстояние между поливными отверстиями должно быть равно расстоянию между поливаемыми бороздами, обычно 0,6; 0,9 или 1,2 м.

Таблица 1. Диаметры поливных отверстий, мм

Диаметр поливного шланга, мм	Поливная струя, л/с										
	0,02	0,03	0,05	0,06	0,07	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50
150	3,9	4,7	6,1	7,2	8,6	10,5	12,2	14,9	16,0	17,2	19,2
200	3,6	4,4	5,6	6,7	8,0	9,8	11,3	13,9	15,0	16,0	17,9

Пробивку отверстий производят следующим образом. На рабочий стол укладывают один конец шланга. В него заливают 1-2 ведра воды и просовывают хорошо обструганную доску длиной 1,0-1,5 м и шириной около 20 см, затем легким ударом молотка по пробойнику пробивают отверстие. После этого доску передвигают внутри шланга на необходимое расстояние и пробивают следующие отверстия через 0,6; 0,9 или 1,2 м и т.д. (в зависимости от расстояния между бороздами). Для того чтобы отверстия при поливе были направлены вниз под углом  $45-50^{\circ}$  от вертикали, их пробивают не посередине шланга, а на расстоянии около 10 см от кромки шланга. Шланги с пробитыми отверстиями сматывают в рулон и развозят по поливному участку.

Полиэтиленовые шланги выдерживают напор до 2-2,5 м, минимальные напоры в шланге рекомендуется применять в 1,25 его диаметра. При увеличении струи в два раза напор в шланге возрастает в четыре раза и будет равен пяти диаметрам (0,75-1,0 м), то есть менее допустимого. Диаметр шланга подбирают таким, чтобы скорость движения воды в начале его при максимальной поливной струе была равна 0,8-1,5 м/с. При очень мутной поливной воде (мутность более 1,5 г/л), во избежание сильного заиливания шлангов, скорость должна быть 1,5-2 м/с; при чистой воде и отсутствии шлангов малых диаметров она может быть 0,8 м/с. Отверстия в шланге нерегулируемые, постоянного диаметра по всей его длине. Управление расходом поливных струй осуществляют в голове шланга путем изменения подачи воды в него. Регулирование струями одновременно с одной позиции автоматизирует процесс распределения струй по длине шланга. Трассу расположения шланга в плане разбивают при помощи нивелировки. При нивелировке рейку вначале устанавливают около гидранта водовыпуска (рядом с местом подключения шланга) и делают по ней отсчет, принимая его за исходный. Затем вычисляют отсчеты по рейке в остальных точках, в соответствии с расчетными уклоном и расстоянием между точками установки рейки. На ровном спланированном участке достаточно устанавливать рейку через 20-30 м, а на сложном рельефе – через 10 м. Уклон трассы расположения шлангов определяют при средней поливной струе по таблице 2.

После вычисления отсчетов по рейке для всех точек, рейку переносят на 10-30 м (в зависимости от рельефа) от гидранта в направлении расположения шланга и находят точку с вычисленной заранее отметкой (отсчетом по рейке). Эту точку закрепляют кольшком, камнями или комьями земли, а рейку устанавливают на следующую точку. Таким образом, продолжают до конца поливного шланга.

Уклон можно определить гидростатическим нивелированием при помощи переносной трубки малого диаметра длиной 5-10 метров, заполненной водой с двумя пьезометрами на концах (принцип сообщающихся сосудов).

По табл. 2 определяют уклоны трасс гидравлически гладких полиэтиленовых шлангов, расположенных прямолинейно.

Таблица 2. Расчетные уклоны поливных полиэтиленовых шлангов длиной 150 м

Поливная струя, л/с	Диаметр шланга 150 мм			Диаметр шланга 200 мм		
	Расстояние между поливными отверстиями, м					
	0,6	0,9	1,2	0,6	0,9	1,2
0,02	0,0002	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000
0,03	0,0004	0,0002	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000
0,05	0,0010	0,0005	0,0003	0,0002	0,0001	0,0001
0,07	0,0018	0,0010	0,0006	0,0004	0,0002	0,0001
0,10	0,0034	0,0017	0,0010	0,0008	0,0004	0,0002
0,15	<u>0,0069</u>	0,0033	0,0020	0,00016	0,0006	0,0005
0,20		<u>0,0056</u>	0,0034	0,0026	0,0013	0,0008
0,25			0,0049	<u>0,0038</u>	0,0019	0,0012
0,30			<u>0,0068</u>		0,0027	0,0016
0,35					<u>0,0034</u>	0,0022
0,40						0,0027
0,45						<u>0,0032</u>

Примечание: При значениях поливных струй, расположенных ниже жирной черты, скорости движения воды в начале шлангов указанных диаметров превышают 2 м/с, поэтому для этих значений струй необходимо увеличить длину шланга или увеличить расстояние между отверстиями.

Если шланг располагается не по прямой линии, а криволинейно в плане, то уклоны, принятые по табл. 12, нужно увеличить в 1,5-2 раза. Если при этом шланг имеет не гладкую, а шероховатую поверхность в результате стабилизации его крупнодисперсной сажой, уклон шланга должен быть увеличен в три раза. При длине шланга 150 м отклонения поливных струй от расчетного, как правило, не превосходят 10-15%. В случае необходимости повышения равномерности раздачи воды шланг должен быть уложен с переменным уклоном с точкой перегиба уклона посередине длины трассы. Шланги раскладывают около гидрантов перед первым поливом и оставляют около него на весь поливной сезон, они обслуживают участок вправо и влево от распределительного трубопровода. Переносить шланги на другие гидранты не рекомендуется, во избежание излишних затрат труда на эту операцию. При малой стоимости полиэтиленовых шлангов такой порядок их работы экономически целесообразен.

Непосредственно перед поливом концы шлангов прикрепляют к патрубкам гидрантов резиновыми кольцами и раскатывают шланги по намеченной трассе. Одновременно с этим соединяют отдельные шланги между собой, вставляя конец одного отрезка в другой (по ходу движения воды) на 1-1,5 м, и завязывают конец шланга шпагатом. В ветреную погоду шланги одновременно с раскаткой по всей длине присыпают землей через 2-5 м или пускают в шланг небольшим расходом воду, их промывают в нижерасположенный канал перед окончанием полива на самом нижнем участке одновременного полива. Поливной ток воды, выделяемый бригаде, подают сначала в один из распределительных трубопроводов, затем в другой и т.д.

Последовательность основных операций при проведении поливов из внутрихозяйственной оросительной сети с поливными шлангами и распределительными трубопроводами следующая: предварительно приоткрыв гидранты на первом участке распределительного трубопровода (между водозаборным сооружением и первой перегораживающей задвижкой) и закрыв перегораживающие задвижки, медленно открывают задвижку в водозаборном сооружении и постепенно наполняют первый участок распределительного трубопровода водой; поливные шланги в этот момент должны быть отсоединены от патрубков во избежание наполнения их воздухом, входящим из распределительного трубопровода; выпустив весь воздух из распределительного трубопровода, поочередно, снизу вверх по трубопроводу, закрывают все гидранты; одевают

шланги на патрубки гидрантов и закрепляют их резиновыми кольцами; вновь открывают гидранты и заполняют шланги водой до установления в бороздах необходимых поливных струй; гидранты открывают медленно, так как при быстром открытии их шланги перекручиваются, а иногда срываются с патрубков; проходят вдоль поливных шлангов и проверяют работу поливных отверстий; при добегании поливных струй до конца борозд уменьшают их, прикрывая гидранты на такую величину, чтобы поверхностный сброс свести к минимуму; после подачи необходимой поливной нормы промывают поливные шланги и заканчивая полив, закрывают гидранты. Полив на следующем участке одновременного полива начинают, обычно, во время полива на предыдущем участке. Для этого, предварительно приоткрыв гидрант на втором участке распределительного трубопровода (между первой и второй перегораживающими задвижками), медленно открывают первую перегораживающую задвижку и постепенно наполняют второй участок распределительного трубопровода. Последовательность остальных операций та же, что и на первом участке.

После окончания полива на последнем (нижнем) участке открывают последнюю перегораживающую (промывную) задвижку и промывают распределительный трубопровод. Затем, предварительно закрыв задвижку в водозаборном сооружении, проходят вдоль трубопровода и закрывают все перегораживающие задвижки. Поливные борозды нарезают на всю длину гона трактора (500-800 м), что дает возможность осуществлять полив по сквозным бороздам одновременно на всю длину гона трактора, а для перехвата и отвода поверхностного сброса использовать кюветы дорог.

После окончания вегетационных поливов распределительные трубопроводы и сооружения на них подлежат осмотру, в результате которого должны быть выявлены неисправности на сети, составлена дефектная ведомость и произведен необходимый ремонт.

Перед заморозками все трубопроводы необходимо проверить и освободить от воды. Задвижки и гидранты нужно смазать солидолом и оставить открытыми, за исключением задвижки в водозаборном сооружении. В перерывах между поливами, в случае необходимости, проводится профилактический осмотр и ремонт распределительных трубопроводов.

Полив из сети распределительных трубопроводов и полиэтиленовых шлангов возможен и при большой мутности поливной воды (от 1,5-2,0 до 8-12 г/л в зависимости от фракционного состава наносов). Однако в этих условиях при организации и проведении поливов необходимы следующие дополнительные мероприятия.

Во-первых, наносы крупнее 0,10-0,15 мм нужно не допускать в трубопроводы и шланги, задерживая их в специальных ирригационных отстойниках. Во-вторых, все наносы, поступившие в трубопроводы и шланги, необходимо транспортировать транзитом во взвешенном состоянии на всей длине распределительных трубопроводов и на большей части длины поливных шлангов. Для этого необходимо скорости движения воды в распределительном трубопроводе назначать, по возможности, ближе к максимально-допустимым (около 2,5-3,0 м/с), устраивая трубопровод телескопическим. На отдельных участках трубопровода, например, на начальном участке, эти скорости можно уменьшить, но не менее 0,5-0,6 м/с. В местах пересечения распределительным трубопроводом границ участков одновременного полива на нем необходимо смонтировать перегораживающие задвижки, предотвращающие поступление наносов в нижние части трубопровода при поливе верхних участков. Скорости движения воды в начале поливных полиэтиленовых шлангов при максимальной поливной струе следует назначать 1,5-2,0 м/с.

По возможности обеспечить работу поливных шлангов только максимальными струями (с максимальными скоростями движения воды), регулируя величину поверхностного сброса при добегании поливных струй до конца борозд выключением шлангов из работы через один ярус.

В наиболее тяжелых случаях необходимо обеспечить работу поливных шлангов с транзитным расходом воды, подаваемой из конца шланга в выводную борозду, нарезаемую взамен концевой части данного шланга или взамен соседнего (вниз по уклону борозд) шланга.

В-третьих, необходимо обеспечить раздачу из отверстий шланга наиболее мутной воды из придонных слоев потока. Для этого поливные шланги укладывают отверстиями вниз, но таким образом, чтобы поливальщики во время полива могли их видеть. В-четвертых, все наносы, отложившиеся в трубопроводных шлангах, должны быть удалены гидравлической промывкой в момент окончания полива.

Промывка распределительного трубопровода осуществляется сравнительно легко путем открытия промывной задвижки и транзитного прогона воды по трубопроводу в течение времени от 3-5 до 0,5-1,0 ч. в зависимости от мутности поливной воды и скоростей движения воды в трубопроводе. Промывку следует считать законченной, когда мутность промывной воды сравняется с мутностью воды в канале.

Промывку сильно заиленных поливных полиэтиленовых шлангов проводят два поливальщика следующим образом. В конце полива конец шланга развязывают и направляют в продольный сбросной канал или кювет дороги. Механически воздействуя на шланг (путем встряхивания или ходьбы по нему), поливальщики увеличивают подачу воды в него. После прогона воды с повышенной скоростью в течение нескольких минут с обязательными механическими воздействиями на шланг и отложившиеся наносы, подачу воды прекращают и осматривают шланг. Если насосы остались в нем, то операцию повторяют до тех пор, пока шланг не будет чистым. Очищенный от наносов шланг отсоединяют от гидранта. Поливальщик, поднимая конец шланга (около гидранта) до пояса, перебирает его руками, медленно двигаясь по трассе, при этом удаляются остатки воды и наносов.

По окончании промывки шланги оставляют на трассе на 1-2 дня. Затем скатывают их в бухты и укладывают около гидрантов до начала полива на участке с другой стороны трубопровода. Продолжительность промывки шланга зависит от мутности поливной воды, скорости движения воды, его длины и изменяется от 3-5 до 35-40 мин. При большой мутности поливной воды длина шланга должна быть ограничена 150 метрами.

**Заключение.** Приведенные материалы могут быть использованы при освоении новых земель в пределах горных территорий с мощным лёссовым покровом.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Икромов И.И. Техника и технология микроорошения сельскохозяйственных культур в Таджикистане. Душанбе: Ирфон. 2005. 157 с.
2. Нурматов Н.К. Совершенствование техники поверхностного полива на склонах // Гидротехника и мелиорация. 1979. № 8. С. 35 - 40.
3. Нурматов Н.К. Технология орошения сельскохозяйственных культур на склоновых землях. Душанбе: Ирфон. 1991. 372 с.

## ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ СКЛАДСКОЙ СИСТЕМЫ ФИРМЫ МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Дуденко Р.П.

тел.: (996) 550 93 10 08; e-mail: [radmila\\_dudenko@mail.ru](mailto:radmila_dudenko@mail.ru)

Кыргызско-Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызстан

**Введение.** Оптимизация работы складской системы фирмы в данной статье сводится к решению задачи управления запасами. Данная задача возникает, когда экономический объект не может работать без производственных или товарных запасов, поскольку их отсутствие приводит к простоям, штрафам, потере клиентов. Задачи управления запасами позволяют ответить на следующие актуальные вопросы: каковы оптимальные величины объема заказа на закупку или производство товара, периода поставок заказов, величины запаса, моментов

подачи заказа товара, позволяющие минимизировать общие затраты на покупку, производство, доставку, хранение товара.

**Цель работы:** сократить расходы на хранение и пополнение запасов торговой фирмы путем оптимизации системы управления запасами.

**Постановка задачи.** Планируемый период разделен на 4 недели, в каждом из которых спрогнозирован спрос. Известны начальный уровень запасов и зависимость суммарных затрат на хранение и пополнение запасов в данном периоде от среднего уровня хранимых запасов и их пополнения. Требуется определить размеры пополнения запасов в каждом промежутке времени для удовлетворения заданного расхода (спроса) из условия минимизации суммарных затрат за весь планируемый период времени.

Для решения данной задачи мною был выбран метод динамического программирования.

**Метод динамического программирования в общем виде.** Динамическое программирование – метод оптимизации, приспособленный к операциям, в которых процесс принятия решения может быть разбит на этапы (шаги). Данные операции называются многошаговыми.

Общая постановка задач динамического программирования. Рассматривается управляемый процесс. В результате управления система (объект управления)  $S$  переводится из начального состояния  $s_0$  в состояние  $\hat{s}$ . Предположим, что управление можно разбить на  $n$  шагов, т.е. решение принимается последовательно на каждом шаге, а управление, переводящее систему  $S$  из начального состояния в конечное, представляет собой совокупность  $n$  шаговых управлений.

Обозначим через  $X_k$  управление на  $k$ -ом шаге ( $k = 1, 2, \dots, n$ ). Пусть  $X (X_1, X_2, \dots, X_n)$  – управление, переводящее систему  $S$  из состояния  $s_0$  в состояние  $\hat{s}$ . Обозначим через  $s_k$  состояние системы после  $k$ -го шага управления. Получаем последовательность состояний  $s_0, s_1, \dots, s_{k-1}, s_k, \dots, s_{n-1}, s_n = \hat{s}$  (рис. 1) [1].

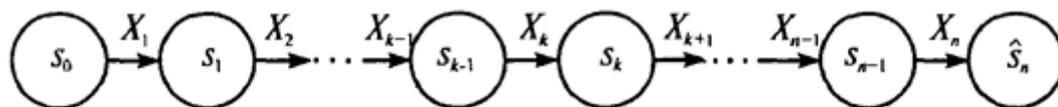


Рис.1. Последовательность состояний и управлений для системы S. [1]

Показатель эффективности рассматриваемой управляемой системы – целевая функция – зависит от начального состояния и управления.

$$Z = F(s_0, X) [1] \tag{1}$$

Сделаем несколько предположений.

1. Состояние  $s_k$  системы в конце  $k$ -го шага зависит только от предшествующего состояния  $s_{k-1}$  и управления на  $k$ -ом шаге  $X_k$  (и не зависит от предшествующих состояний и управлений).

2. Целевая функция (1) является аддитивной от показателя эффективности каждого шага. Показатель эффективности  $k$ -го шага:

$$z_k = f_k(s_{k-1}, X_k), k = 1, 2 \dots n [1] \tag{2}$$

$$Z = \sum_{k=1}^n f_k(s_{k-1}, X_k) [1] \tag{3}$$

Задача пошаговой оптимизации: определить такое допустимое управление  $X$ , переводящее систему  $S$  из состояния  $s_0$  в состояние  $\hat{s}$ , при котором целевая функция (3) примет наибольшее (наименьшее) значение.

В основе метода динамического программирования лежит принцип оптимальности Беллмана: «Каково бы ни было состояние  $s$  системы в результате какого-либо числа шагов, на ближайшем шаге нужно выбирать управление так, чтобы оно в совокупности с оптимальным управлением на всех последующих шагах приводило бы к оптимальному выигрышу на всех оставшихся шагах, включая данный» [1].

Составление уравнений Беллмана.

Рассмотрим  $n$ -ый шаг.  $S_{n-1}$  – состояние системы к началу  $n$ -го шага;  $s_n = \hat{s}$  – конечное состояние;  $X_n$  – управление на  $n$ -ом шаге, а  $f_n(s_{n-1}, X_n)$  – целевая функция (выигрыш)  $n$ -го шага.

$Z_n^*(s_{n-1})$  – условный максимум целевой функции  $n$ -ом шаге.

$$Z_n^*(s_{n-1}) = \max_{\{X_n\}} f_n(s_{n-1}, X_n) [1] \quad (4)$$

Условно-оптимальное управление на  $(n-1)$ -ом шаге:

$$Z_n^*(s_{n-2}) = \max_{\{X_{n-1}\}} \{f_{n-1}(s_{n-2}, X_{n-1}) + Z_n^*(s_{n-1})\} [1] \quad (5)$$

Согласно принципу оптимальности,  $X_k$  выбирается из следующего условия (уравнения Беллмана):

$$Z_k^*(s_{k-1}) = \max_{\{X_k\}} \{f_k(s_{k-1}, X_k) + Z_{k+1}^*(s_k)\} [1], \text{ где} \quad (6)$$

$$k = n - 1, n - 2, \dots, 2, 1.$$

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кремер Н.Ш., Путко Б.А., Тришин И.М., Фридман М.Н. Исследование операций в экономике: учеб. пособие для вузов / Под ред. проф. Н.Ш. Кремера. М.: Юнити. 2002. 407 с.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТОВ ИНЕРЦИИ ФЕРМ, СЕРИЙНО ВЫПУСКАЕМЫХ ОСОО «ПЕРВАЯ МЕТАЛЛОБАЗА»

Ерёмин А. А.

тел.: (+996 707) 979277; e-mail: [xaptmah555@mail.ru](mailto:xaptmah555@mail.ru)

Кыргызско-Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызская Республика

Экспериментально определялись прогибы ферм (ФМ 125-6, ФМ 150-6, ФМ 200-6, ФМ 250-6, ФМ 300-9) под действием заданной нагрузки.

По известным соотношениям вычислялись моменты инерции ферм относительно горизонтальной оси.

Взвешиванием определены массы погонного метра указанных ферм.

Геометрические, массовые характеристики и моменты инерции сведены в таблицу, которая является сортаментом ферм, выпускаемых ОсОО «Первая металлобаза».

## ПОСТРОЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ АССОРТИМЕНТНОЙ СТРУКТУРЫ ТОРГОВОЙ КОМПАНИИ С ПОМОЩЬЮ СОВМЕЩЕННОГО ABC-XYZ-АНАЛИЗА

Кроха А. А.

тел.: (+996) 550 453 194; e-mail: [alice.krokha@gmail.com](mailto:alice.krokha@gmail.com), [alisa.krokha@gmail.com](mailto:alisa.krokha@gmail.com),  
КРСУ, г. Бишкек, Кыргызстан

Существующие рыночные отношения требуют тщательного внимания к формированию и рациональному управлению ассортиментом потребительских товаров. Это обстоятельство является одним из важных критериев конкурентоспособности компании, занятой в розничной торговле.

Как правило, ассортимент потребительских товаров разнообразен и различается происхождением, назначением, условием хранения различных видов товаров.

Ассортиментная политика торговой компании – это целенаправленная деятельность в области товарного обеспечения рынка, которая основана на долгосрочном планировании и регулировании. Удовлетворение спроса потребителей возможно с учетом оптимизации номенклатуры товаров. В свою очередь это обеспечит повышение рентабельности деятельности компании. Чем более качественно подобран ассортимент, тем большая прибыль будет получена компанией.

Качественное управление товарами компании подразумевает проведение ежедневного детального анализа большого количества информации по статистике продаж, запасов товара и неликвидов. Проведение подобного анализа требует большого количества времени. Отсюда можно сделать вывод, что необходимо определить те группы товаров, которые важно проверять каждый день, а какие можно проверять не чаще раза в неделю (месяц).

Важно сказать, что существует множество методик, применяющихся для анализа ассортимента товаров торговой компании. Перечислим некоторые из них: методы ABC- XYZ-анализа, метод Дибба-Симкина, анализ по адаптированной матрице Бостонской консалтинговой матрице.

В данной статье будут рассмотрены методы ABC- и XYZ-анализа. Суть данного анализа заключается в проведении анализа продаж компании, структурирования и определения четких «локомотивов» среди всех групп. Такой анализ проводится, как правило, не по одному, а по нескольким показателям работы компании: показателям оборота, прибыли, расходов и т.д.

ABC-анализ – это инструмент, который позволяет изучить товарный ассортимент, определить рейтинг товаров по рассмотренным критериям и выявить ту часть ассортимента, которая обеспечивает максимальный и наилучший эффект.

Основополагающая идея ABC-анализа строится на основе принципа Парето, который, как известно, формулируется так: «20% усилий дают 80%, а остальные 80% усилий – лишь 20% результата», т.е. 20% всех товаров дают 80% оборота.

ABC-анализ – метод, позволяющий классифицировать товарные запасы компании по степени их важности путем деления на три категории. Итак, классические границы следующие:

- ❖ А – наиболее ценные, 20% - товарные запасы; 80% - продажи, эти товары постоянно должны присутствовать в товарном ассортименте компании. За ними необходимо постоянное наблюдение и контроль.
- ❖ В – промежуточные, 30% - товарные запасы; 15% - продажи, эти товары средней степени важности.
- ❖ С – менее ценные товарные запасы, 50% - товарные запасы; 5% - продажи, это наименее важные товары, это либо претенденты на исключение из товарного ассортимента, либо товары-новинки [2].

XYZ-анализ – математически-статистический метод, который позволяет проанализировать и спрогнозировать стабильность продаж отдельных видов товаров. Этот

анализ делит объекты по степени отклонения от среднего показателя, высчитываемого за несколько периодов.

Существуют рекомендованные границы классификации по XYZ-анализу:

❖ X: коэффициент вариации – 0-10%; в этот класс попадут товары, характеризующиеся стабильной величиной потребления и высокой степенью прогнозирования.

❖ Y: коэффициент вариации – 10-25%; в этот класс попадут товары, характеризующиеся сезонными колебаниями и средними возможностями их прогнозирования.

❖ Z: коэффициент вариации – более 25%; в этот класс попадут товары с нерегулярным потреблением и непредсказуемыми колебаниями, поэтому спрогнозировать их спрос не предоставляется возможным [2].

Чем меньше величина коэффициент вариации, тем точнее прогноз. Чем стабильнее спрос на товар, тем легче им управлять, и, соответственно, тем ниже потребность в больших неуточненных запасах товаров.

Совместное использование ABC- и XYZ-анализа позволяет достичь хороший эффект для выявления безусловных лидеров, и, наоборот, нерентабельных позиций в товарном ассортименте торговой компании.

**Вывод.** Таким образом, использование совмещенного ABC- и XYZ-анализа имеет ряд значительных преимуществ, к которым можно отнести следующее:

- ❖ повышение эффективности системы управления товарами и товарными запасами;
- ❖ повышение доли высокорентабельных товаров без нарушения основных принципов ассортиментной политики;
- ❖ выявление приоритетных товаров, т.е. товаров, приносящих максимальный доход и характеризующихся стабильным потреблением;
- ❖ сокращение количества продаж, утраченных из-за отсутствия необходимых товарных запасов.

Таким образом, ABC-XYZ-анализ позволяет в полной мере оценить ассортимент компании и выбрать метод управления данным ассортиментом.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Зотов В.В. Ассортиментная политика фирмы: учебно-практическое пособие. М.: Эксмо. 2006. 240 с.
2. Ксенофонтова О.Л., Новосельская Н.А. ABC-XYZ – анализ как средство управления товарным ассортиментом торгового предприятия // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. 2013. № 2. (34).

## ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ СФЕРЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ ДЖУМГАЛЬСКОЙ ВПАДИНЫ

Суранова К.Ж.

тел.: 0552775581; e-mail: [suranova.75@mail.ru](mailto:suranova.75@mail.ru)

Кыргызская государственная юридическая академия, г. Бишкек, Кыргызстан

В научных исследованиях сфера обслуживания населения является сложным и комплексным мероприятием, т.к. ее аспекты изучают географы и экономисты, социологи, психологи, культурологи, а также специалисты в рамках комплексной сервисологии. К этому необходимо добавить информацию о появлении в составе вышеперечисленных исследований

нового направления- экологии сервиса, являющейся результатом социологизации сферы обслуживания. Поэтому объектом предлагаемой работы выступает сфера сервиса (обслуживания), а предметом - процесс организации и развития ее качества.

Возникновение и развитие экологических исследований для организации сферы обслуживания как самостоятельного научного направления связаны с началом 2000-х гг., когда [1-3] были выпущены труды по вопросам географии сервиса и сферы обслуживания. В них отражены следующие основные задачи:

- анализ географических различий и особенностей потребности и услуг;
- изучение территориальной организации сферы обслуживания и формирования ее приоритетов в конкретных условиях;
- исследование закономерностей и особенностей развития и размещения сферы обслуживания.

Нами принято во внимание то, что методом научного анализа является совокупность конкретных способов и путей достижения конечной цели, к числу которых относятся общенаучные - исторический, математический, сравнительный и картографический методы, широко применяемые во многих отраслях, а также частные, использующиеся в конкретных рамках.

Исходя из этого, целью данной работы является выявление возможности применения географических подходов для организации сферы обслуживания в Джумгальском районе, отдаленном от городской инфраструктуры.

**Результаты и обсуждение методов и материалов.** Первый – описательный - один из известных методов исследований: описываются природные условия и богатства, географическое положение местности, население и населенные пункты, а также формы хозяйственной деятельности.

Необходимо подчеркнуть, что этот метод с обновленным содержанием и подходами является актуальным и сегодня, т.к. стремительное развитие международных путей сообщения и туризма, а также мирового рынка услуг требуют приложения многоплановой информации о странах и регионах.

Помимо научно-теоретического значения, описательный метод имеет и практическое значение с точки зрения планирования, обоснования и организации туристических маршрутов, профессионального обучения и переподготовки гидов-экскурсоводов. Так, поскольку основой для научно-туристического описания территории является схема страноведческого обследования, то она включает в себя информацию о:

- географическом положении и природе местности- рельефе, климате, континентальных водах, Всемирном океане, природных зонах, растительном и животном мире;
- населении и народах - численности, воспроизводстве, половозрастном составе населения, занятости, уровне и количестве, размещении и расселении населения, качестве и формах урбанизации, миграции, этническом меньшинстве и др.;
- истории и культуре, политических условиях развития туризма;
- экономике и инфраструктуре территории и окружающей среды.

Это, описанное с точки зрения организации и развития туризма и сервиса, в совокупности дает комплексное страноведческое представление. В них большое практическое значение имеют текстовые материалы туристической привлекательности по объектам, размещению учреждений обслуживания с приложением соответствующих карт и фотографий.

2. Картографический метод отличается универсальностью не только в исследовательских, но и в практических работах, особенно, в решении экологических задач, т.к. он широко используется для анализа территориальной организации и размещения сферы обслуживания в целом и отдельных ее составляющих в частности. При этом решающую теоретическую и практическую важность имеют следующие тематические карты и атласы:

- объектов туристической привлекательности, дестинаций и маршрутов, географии туристических центров, регионов и основных людских потоков;

- учреждений здравоохранения и посещаемости туристами санитарно-курортных услуг и курортных центров;
- транспортных путей, сетей и узлов, а также туристических маршрутов и населенных пунктов;
- научно-образовательных и культурных учреждений и центров.

Иными словами, на туристические карты наносятся все широко известные и привлекательные историко-архитектурные строения и природные объекты, особо охраняемые территории и транспортные артерии с приведением километровых отметок, крупные и знаменитые населенные пункты, основанные на следующих методических подходах (табл. 1).

Таблица 1. Методические подходы геоэкологических исследований

№	Методические подходы	Цель и задачи применения
1	Территориальный	Выявление, изучение и прогноз территориальных особенностей организации и развития сферы обслуживания, анализ территориальных различий и их причин
2	Экологический	Оценить возможности негативного влияния территориальной организации сферы обслуживания на окружающую среду
3	Проблемный	Выявление проблем и «слабых сторон» развития сферы обслуживания по разным пространственным уровням с разработкой программы по совершенствованию территориальной организации сферы обслуживания
4	Системный	Рассмотрение сферы сервиса как целостную систему компонентов, комплексно учитывая внутренние взаимосвязи, влияние внутренних и внешних факторов на ее развитие
5	Типологический	Типология и классификация услуг, центров обслуживания, уровней территориальной организации сферы обслуживания
6	Поведенческий	Изучение влияния территориальных различий потребительского поведения людей на организацию и развитие сферы обслуживания

Вместе с вышесказанным, на крупномасштабных туристических картах, наряду с населенными пунктами и их составляющими, а также основными маршрутами городских туров и экскурсий, отображаются объекты размещения, туристические агентства и информационные центры посетителей, дипломатические представительства, медицинские учреждения, банки и банкоматы и др. С помощью этого метода решаются следующие приемы:

- картограммы, на которых цветовыми оттенками или штриховкой показывают оказываемые виды сферы обслуживания и особенности ее предоставления по территориальным единицам - на уровне айыльного округа и селений. Также на разных частях территории диаграммными знаками показывают статистическо-количественные данные по видам сферы обслуживания населения;
- линии движения, т.е. направление и интенсивность туристических потоков и пассажирских перевозок.

3. Количественные и математические методы. В их основе лежит сбор, обработка и анализ статистических данных. Нами в экологических исследованиях сферы обслуживания по хозяйствующим субъектам и населенным пунктам, странам и регионам, направленным на оценку объемов и цен на услуги, их пространственно-временных изменений, а также на

выявление территориальных различий, использованы, по данным [5], 3 группы показателей - абсолютные, относительные и интегральные.

Абсолютными значениями выражены количество и суммарная площадь учреждений обслуживания, число обслуживающего персонала, объемы предоставляемых услуг, пассажиропотока, количество посещений в объекты обслуживания за определенный период времени, интенсивность и численность туристических потоков.

Относительные показатели рассчитываются на 1, 1000 или 10 000 жителей посещения в объекты обслуживания, их общее количество, численность обслуживающего персонала и специалистов. Также на единицу площади (км<sup>2</sup>) приводятся данные о количестве объектов обслуживания населения и плотность путей сообщения.

Нами интегральные показатели в баллах или процентах использованы для оценки уровня обслуживания [3]. Так, с помощью статистических сведений определены уровни развития услуг по видам, например, функционирование в зависимости от времени года, а также степень удовлетворения ими населения. Это тесно связано с математическим методом, применяемым для обработки, отображения и обобщения статистических данных относительно отдельных видов услуг и динамики их предоставления. Составлены таблицы, диаграммы и графики, которые делают результаты этих исследований в сфере обслуживания достоверными, точными и наглядными.

Комплексируя картографические, статистические и математические методы, получаем полное представление об объекте исследований. Так, тематические карты и атласы сферы обслуживания, включенные различные схемы и диаграммы, четко отражают количественные показатели развития сферы услуг по территориальным единицам.

4. Геоинформационные методы, где геоинформационные системы являются цифровыми программно-техническими средствами и оборудованием сбора, обработки, хранения и передачи экологических сведений. В нашем случае геоинформационными методами составляют динамичные многослойные карты, объединяющие различные тематические карты-слои. Их комбинации, выполненные в различных вариантах и соотношениях, выявляют закономерности взаимосвязанного территориального развития услуг по видам и времени функционирования, а также осуществляют создание электронных баз как в абсолютных, так и в относительных эколого-географических сервисных данных совмещая со всеми типами динамичных карт.

5. Сравнительно-экологический метод, целью проведения которого является выявление сходства и различий исследуемых объектов по уровням развития, объемам и спектрам услуг, потребностям населения, существенно различающимся по региональным признакам и территориальным единицам. Сравнение при комплексном использовании вышеприведенных методов с количественными показателями сферы обслуживания приводит к более точным и достоверным результатам.

6. Историческим методом исследуется временной ход развития сферы обслуживания как на глобальном, так и на страновом и региональном уровнях. На базе историко-экологического анализа формируется представление об особенностях современного состояния сферы сервиса в конкретном регионе, а также о тенденциях и перспективах ее развития.

7. Для сбора и обработки информации применяются, по мнению [4], дистанционные, лабораторные и полевые методы, мониторинговые наблюдения и социологические опросы, которые, в ответ на научно-технический прогресс, обновляются и совершенствуются, в связи с чем для получения информации применяются следующие подходы:

- анализ печатных изданий - профильной литературы, статей, статистических ежегодников, отчетов и др.;
- изучение картографических материалов - печатных и электронных карт по организации видов сферы обслуживания;
- полевые исследования и социологические опросы для оценки места и роли сферы обслуживания с учетом потребностей населения в структуре хозяйства и повышения качества жизни населения, уровня обслуживания по конкретным территориальным

единицам, а также для обоснования путей и подходов усовершенствования территориальной ее организации.

Имея недолгую историю, эколого-географические исследования нуждаются в дальнейшем усовершенствовании своего методического аппарата. Нами изучены возможности применения ряда общегеографических методов в экологических исследованиях сферы обслуживания населения. При этом установлено, что наряду с новейшим-геоинформационным-методом свою актуальность не потеряли и традиционные методы, но «количественная революция» и тенденции математизации затронули и географию сервиса. Широкое использование статистических методов повысили достоверность и объективность получаемых результатов в области различий уровня сферы обслуживания и отдельных услуг, а также прогноза динамики ее развития.

На фоне современного этапа развития взаимоотношений в системе «общество - природа-техника», обостривших экологические проблемы, на повестку дня выходят вопросы экологизации и устойчивого развития сферы гостеприимства и сервиса. Их реализация требует глубокого теоретико-методического обоснования, базирующегося на экологическом, системном и проблемном подходах.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов М.А. География сервиса. М. 1985. 110 с.
2. Максаковский В.П. Географическая культура: учебник для вузов. М. 1998.
3. Сапожникова Е.Н. Страноведение: теория и методы туристского изучения стран. М. 2004.
4. Саргсян Т.А. География сервиса: содержание и место в системе наук // Образование и наука в Арцахе. 2012. С. 80-83.

## О СОВРЕМЕННОМ СОСТОЯНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ НА ПУТИ К УСТОЙЧИВОМУ РАЗВИТИЮ В КЫРГЫЗСТАНЕ

Суранова К.Ж.,<sup>1</sup> Кендирбаева Дж.Ж.<sup>2</sup>

тел.: 0552775581; e-mail: [suranova.75@mail.ru](mailto:suranova.75@mail.ru)

<sup>1</sup>Кыргызская государственная юридическая академия, г. Бишкек, Кыргызстан

<sup>2</sup>Институт сейсмологии НАН КР, г. Бишкек, Кыргызстан

Мы способны согласовать деятельность человека с законами Природы. В этом процессе культурное и духовное наследие будет способствовать решению главных задач, от которых зависит дальнейшее существование цивилизации.

Брундтланд Г.Х.

Современный мир предъявляет высокие требования к проблемам, которыми он действительно обеспокоен, подавляющая часть которых принадлежит экологической науке, хотя ее дисциплинам отводится подчиненная роль. Экология как образовательная дисциплина должна готовить человека к жизни. Действительно, экологическая политика на всех территориальных уровнях в устойчивом развитии отражается активным внедрением экологически ориентированных технологий при полном неприятии всего экологически несостоятельного в обществе.

Иными словами, это формирование академически мотивированной гражданской позиции у обучающихся, т.е. бережного отношения к природе как всеобщему наследию, т.е. к

ценности, подлежащей передаче из поколения в поколение, по крайней мере, в состоянии сохранности.

Поэтому современная парадигма экологического образования анализируется через призму понятия «образования для устойчивого развития», концепция которого была провозглашена ЮНЕСКО в качестве приоритета на XXI век [1]. В Кыргызстане, к сожалению, в действующей модели образования для устойчивого развития преобладает концептуальная и тематическая схоластика, что может дискредитировать саму идею образования, особенно экологического направления. Например, оно традиционно продолжается на смеси приоритетов, в которых решающая роль отводится материальным ресурсам и способам их использования, не обращая внимания на фундаментально-коренные трансформации, происходящие в миропорядке информационного общества [2-4]: сегодня современный материальный мир отображается передовыми техническими средствами, например, физиономичность земной поверхности - от планетарной картины до тончайших деталей («Гугл планета» и др.), а также разнообразные сканирования в диапазонах электромагнитных волн, недоступные человеческому глазу (УФ, ИК, радиодиапазоны). В связи с этим необходима разработка концептуальных основ от общего и специального экологического образования до формулировки его решаемых задач, к которым относятся:

- учебные программы для выпускников школ и университетов, которые помогут им получить стабильные средства к существованию;
- поощрение всех секторов общества, включая и промышленность;
- ориентирование ВУЗов, правительства и общественных организаций к подготовке кадров в области рационального использования окружающей среды;
- обеспечение местных общин подготовленными на местах специалистами из числа местных жителей для решения проблем окружающей среды;
- проведение работы со СМИ, театральными группами, а также представителями развлекательной и рекламной индустрии для поощрения активных участников в обсуждении проблем окружающей среды;
- использование опыта и понимания экологической сущности окружающей среды среди коренных народов в системе подготовки кадров.

Как видно из вышеприведенного, экологическое образование с самого начала направлено на широкий охват населения с дифференциацией на категории обучающихся, т.е. на дошкольное и школьное просвещение, среднее, высшее и послевузовское специальное образование и, наконец, на универсальные программы просвещения. Их различие заключается в сложности их содержания в зависимости от возрастных особенностей контингента, а также от уровня их базового (стартового) образования.

По нашему мнению, качество образования можно улучшить двумя путями: первый, паллиативный, сохраняя содержание наук о Земле в целом и геоэкологии в частности, т.е. наблюдением, созерцанием или экспериментом в школе, организовав экологическую площадку, метеонаблюдения и мониторинг территории, результаты которых в средних классах будут использоваться для познания связи с физикой и химией, биологией и историей, а завершается формированием матрицы мироотображения у старшеклассников. Это упрощает современную экологическую проблематику, хотя сегодня продолжается в большинстве государств СНГ; второй вариант - радикальный, отделив экологию в школьной образовательной программе через отказ от нынешних традиций обучения основам естествознания. Для этого предстоит формировать в школах матрицу мироотображения, основанную на краеведении и страноведении, а также матрицу экологии за счет миропонимания, начиная от эвристического подхода и заканчивая глобальными проблемами современности.

В профессионально ориентированном блоке обучение должно акцентироваться на активном усвоении навыков для использования в разных сферах жизни геоэкологического метода, например, для поисков, демонстрации и применения в бизнесе и быту, путешествиях и анализе окружения, активно используя план-схему, карты и атлас местности и городов. Это в

настоящее время продуктивно на основе применения ГИС-технологий (геоинформационная система) для «извлечения» знаний вместо передачи учебной литературы от преподавателя, проводимой без толкования образовательных программ в интернет-передаче.

Школьная экология во втором случае приобретает совершенно другое содержание, т.к. не копирует структуру краеведения и механику физических процессов, не является упрощенной формой естествознания, а становится социально значимым и ценностно ориентированным. Это, по нашему мнению, крайне важно для мотивации в выборе специальности и процессе обучения, например, как шаманство в свое время, определившее вхождение в медицину.

Теперь, опираясь на собственный опыт работы в высшей школе Кыргызстана, перейдем на образовательный процесс ВУЗов. Так, читаем лекции и пользуемся иллюстрациями, в лучшем случае, переводя, их в презентации, формируем системы понятий, сообщаем о негативных фактах, полагая, что студенты представляют научную картину, но они - члены информационной эпохи предпочитают быстро получаемое и легко ассимилируемое, хотя нередко получают суррогатное знание через СМИ, от которых некоторые отвлекаются лишь для удовлетворения первичных потребностей. Еще написание курсовых работ и рефератов утратило свое назначение в качестве способа формирования компетентности, исчез облик студента с книжками в библиотеках, т.к. любой реферат молниеносно добывается из интернета, из-за чего преподаватель вынужден придумывать хитроумные темы. На этом фоне даже шпаргалки становятся народным достоянием: составление их вариантов равнялось освоению учебника, а студенты легко и свободно добывают справочно-энциклопедический и оперативный материал, намного опережая преподавателя в возможности завладения источниками информационных продуктов и технологий.

Поэтому смартфоном и мобильным телефоном, ставшими шпаргалками 21-го века, нет смысла бороться, необходимо заняться поиском рационального способа их использования в образовании. Тем более на nive высшего экологического образования нет необходимости в «бумажных» учебниках, не говоря о дороговизне, финансовой затратности, в иллюстрации лекции рисунками и выдачи реферативных заданий, поскольку все это воспринимается студентами как вчерашний день, т.е. как время, ушедшее безвозвратно.

На основе вышеизложенного материала приходим к заключению, что, во-первых, нужна качественно новая, опережающая время концепция образования, рассчитанная на личность в условиях более «виртуального» мира, у которой совершенно новая шкала ценности и иные приоритеты, чем, что дороги нам, а во-вторых - действительно, следует отказаться от вороха бумаг, так называемых, учебно-методических комплексов, хотя их надо иметь по всем дисциплинам, но в легком и мобильном виде, доступном для широкого обсуждения. Прорывов немало, но их надо собрать воедино в новую познавательную-конструктивную систему, направленную не только на решение выживаемости человечества, но и, надеемся, на неуклонное развитие общества, ориентированного на фундамент устойчиво-ноосферного развития.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Программа действий. Повестка дня на 21 век и другие документы конференции в Рио-де-Жанейро. Женева. 1993.
2. Географические аспекты перехода к устойчивому развитию стран СНГ. М-К.: 1999.
3. Наше общее будущее: доклад Международной комиссии по окружающей среде и устойчивому развитию (МКОСР). М.: Прогресс. 1989. 510 с.
4. География, общество и окружающая среда. Т. 5. География социально-экономического развития / Под редакцией Алексеева А.И., Мироненко Н.С. М.: Дом «Городец». 2004. 672 с.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ МАРШРУТОВ СЕТИ MPLS-TE

Ткачев М. С.

тел.: 0555 905 662; e-mail: [m.tkachevv@gmail.com](mailto:m.tkachevv@gmail.com)

ЗАО «Альфа Телеком», г. Бишкек, Кыргызстан

**Введение.** Технология многопротокольной коммутации по меткам MPLS появилась как результат объединения способов маршрутизации технологии IP, характеризующихся высокой производительностью и пропускной способностью, со способами коммутации режима асинхронной передачи ATM. В настоящее время основными побудительными мотивами использования технологии MPLS являются большие возможности расширения сети, увеличенная скорость отправки пакетов, интеграция средств IP и ATM, перераспределение потоков данных (Traffic Engineering, TE), использование виртуальных частных сетей MPLS (Virtual Private Networks, VPN), быстрое изменение общей структуры маршрутизации и надежное обеспечение качества обслуживания (Quality of Service, QoS). Благодаря перечисленным достоинствам MPLS обоснованно претендует на роль транспортной основы сетей следующего поколения (Next Generation Network, NGN) [1, 2].

Под термином Traffic Engineering (TE) понимают методы и механизмы сбалансированной загрузки всех ресурсов сети за счет рационального выбора пути прохождения трафика через сеть. Технология управления трафиком – достаточно эффективный механизм использования ресурсов сети. Основным инструментом выбора и установления путей в сетях передачи данных сегодня является технология MPLS-TE. Она применяет и развивает концепцию виртуальных каналов в сетях X.25, Frame Relay и ATM, объединяя ее с техникой выбора путей на основе информации о топологии и текущей загрузке сети, получаемой с помощью протоколов маршрутизации сетей [2, 3]. Технология MPLS-TE позволяет создавать коммутируемые по меткам тракты через звенья, имеющие надлежащие ресурсы, тем самым гарантируя, что для обслуживаемого потока всегда будет иметься достаточная полоса пропускания, и что перегрузка будет предотвращена как в стабильном режиме работы, так и в случаях сетевых отказов.

**1. Моделирование сети MPLS-TE.** OMNeT++ - это объектно-ориентированная, модульная среда моделирования с открытой архитектурой [4]. Она может быть использована в следующих областях:

- моделирование проводных и беспроводных сетей передачи данных;
- моделирование протоколов;
- вычисление производительных аспектов комплексных программных систем;
- моделирование и симуляция любых систем, в которых происходят дискретные события и которые могут быть легко отображены в виде взаимодействующих объектов, обменивающихся сообщениями.

Рассмотрим сеть MPLS-TE, состоящую из 3-х управляющих модулей, 7-ми модулей LSR (Label Switching Router) и 5-ти конечных устройств (рис. 1).

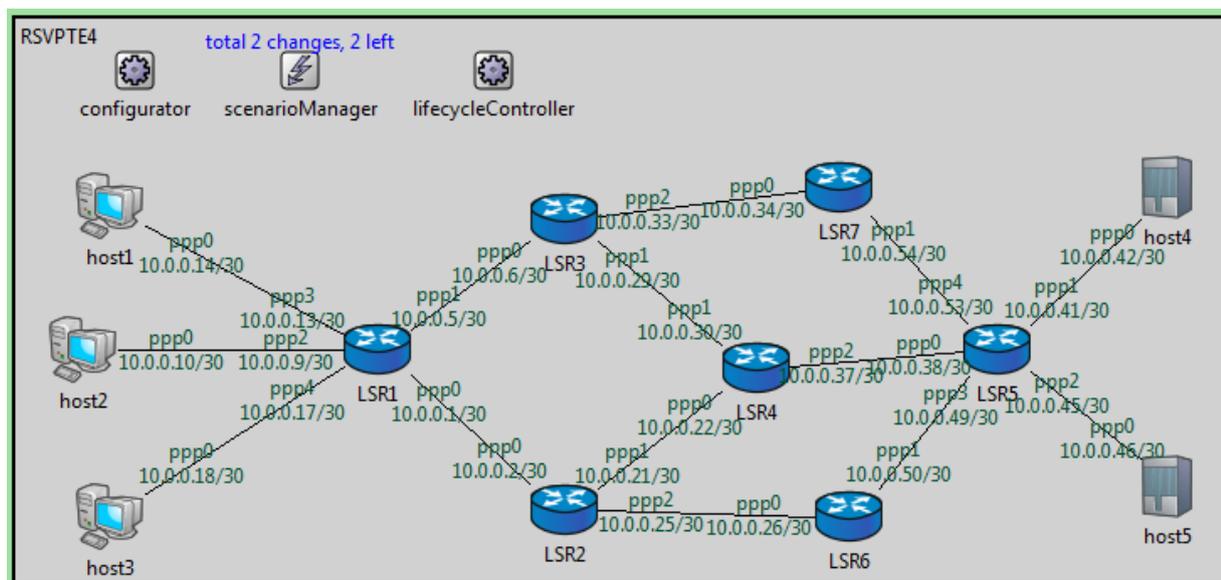


Рис. 1. Модель MPLS-TE сети в среде OMNeT++.

Модуль *Configurator* отвечает за присвоение ip-адресов и установление статической маршрутизации между элементами MPLS-TE сети. Присвоение ip-адресов происходит поинтерфейсно, и при этом учитываются подсети.

Модуль *ScenarioManager* используется для настройки и контроля имитационных экспериментов. С его помощью можно запланировать точное событие, которое произойдет в определенное время.

Модуль *LifecycleController* управляет операциями изменения состояний сетевых узлов. Данный модуль работает совместно с модулем ScenarioManager и позволяет останавливать, приостанавливать, включать, выключать, имитировать неисправность сетевых устройств.

Модуль *StandardHost* имитирует конечное устройство, т.е. такое устройство, которое не обладает способностью перенаправлять сетевой трафик. Примерами таких устройств могут быть как обычные персональные компьютеры, так и целые центры обработки данных.

Модули *LSR* являются основными узлами сети MPLS-TE. Они используются для пересылки поступающих пакетов на следующие участки маршрутов. При этом вставляются в эти пакеты новые метки взамен тех, которые в них содержались. Эта операция называется заменой меток (label swapping) [1, 2]. Для определения направлений для пересылаемых пакетов используются стандартные протоколы управления IP-сетью.

**2. Основные элементы LSR-маршрутизатора сети MPLS-TE.** Модули LSR состоят из целого ряда функциональных подмодулей (рис. 2). Все подмодули модуля LSR условно можно разделить на две группы: «*основные*», непосредственно участвующие в передаче данных, и «*управляющие*», которые влияют на передачу данных.

К «*основным*» подмодулям относятся:

1) Подмодуль *lo0* отвечает за внутренний сетевой интерфейс и за передачу данных внутри модуля LSR.

2) Подмодуль *ppp[x]* отвечает за внешние сетевые интерфейсы, которые позволяют LSR-маршрутизатору взаимодействовать с другими сетевыми устройствами.

3) Подмодуль *MPLS* задействует протокол многопротокольной коммутации по меткам. Основная задача этого подмодуля заключается в работе с метками и передаче пакетов на следующий участок маршрута.

4) Подмодуль *NetworkLayer* используется как общий интерфейс для протоколов транспортного уровня: TCP, UDP, echo/ping, RSVP.

5) Подмодуль **RSVP** задействует для передачи сигнальных сообщений протокол RSVP-TE. Сообщения протокола RSVP-TE переносят метки и резервируют полосы пропускания для прокладки путей по меткам LSP (Label Switch Path).

6) Подмодуль **LinkStateRouting** использует протокол состояния каналов для передачи информации о топологии и состоянии соединений всем участникам сети MPLS-TE.

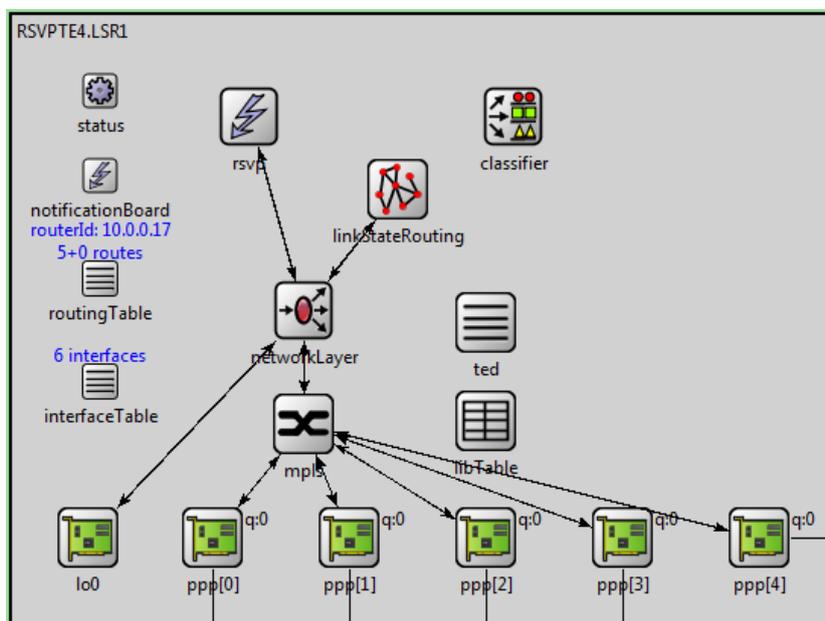


Рис. 2. Модель LSR-маршрутизатора в среде OMNeT++.

К «управляющим» подмодулям относятся:

1) Подмодуль **Status (NodeStatus)** содержит информацию о текущем состоянии модуля LSR. Это своеобразный индикатор для обозначения рабочей готовности всего модуля LSR в целом.

2) Подмодуль **NotificationBoard** используется для уведомления о сетевых событиях, таких как изменения в таблице маршрутизации, изменение статусов сетевых интерфейсов, изменение настроек сетевых интерфейсов, изменение состояний каналов передачи данных и т.д.

3) Подмодуль **InterfaceTable** содержит таблицу с информацией обо всех сетевых интерфейсах модуля LSR1.

4) Подмодуль **RoutingTable** содержит таблицу маршрутизации с указанием названий сетевых интерфейсов, ip-адресов и метрик маршрутов.

5) Подмодуль **Classifier** отвечает за классификацию поступающих потоков сетевых пакетов, и присвоение им меток.

6) Подмодуль **LIBTable** содержит базу данных LIB (Label Information Base) с информацией обо всех метках, назначенных и обработанных маршрутизатором LSR.

7) Подмодуль **TED** содержит базу данных TED (Traffic Engineering Database) с информацией об обработанных и оптимизированных маршрутах, включая общую и зарезервированную полосу пропускания для каждого соединения.

У каждого подмодуля своё назначение, но вместе они позволяют маршрутизатору LSR выполнять следующие функции:

- 1) определять своих соседей и распознавать их сетевые адреса;
- 2) присваивать метрики расстояний с каждым из своих соседей;
- 3) создавать сетевые пакеты, содержащие всю собранную информацию;

- 4) посылать эти пакеты всем соседним маршрутизаторам, и принимать все пакеты, отправленные другими маршрутизаторами;
- 5) вычислять кратчайшие пути ко всем маршрутизаторам.

**3. Моделирование отказоустойчивости маршрутов сети MPLS-TE.** При начальной инициализации модули LSR опрашивают своих соседей для получения информации, которая в последующие моменты времени будет использована для построения топологии всей MPLS-TE сети, оценки метрик маршрутов и выбора наикратчайшего оптимального пути. В результате выбран путь, проходящий через LSR-маршрутизаторы, отмеченные красным цветом, а именно LSR1 -> LSR2 -> LSR4 -> LSR5 (рис. 3):

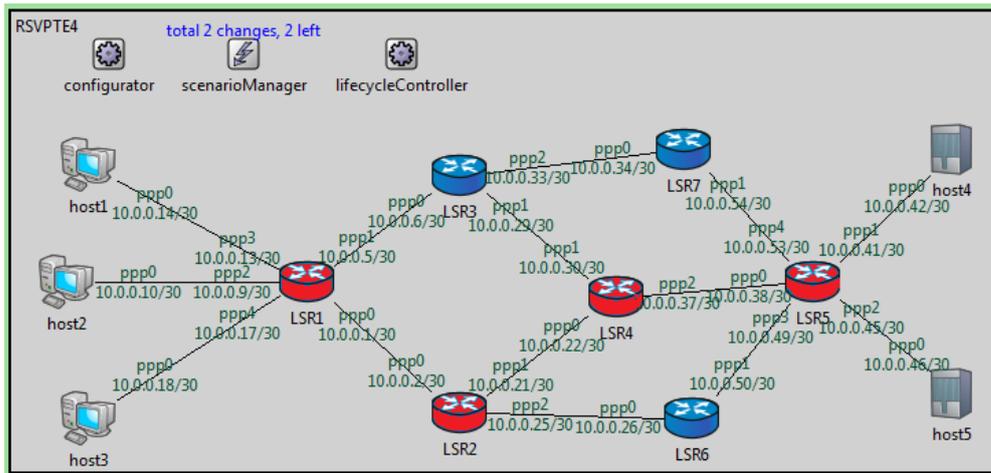


Рис. 3. Выбор кратчайшего оптимального маршрута.

Сетевые пакеты от трех конечных устройств (host1, 2 и 3) будут проходить по указанному маршруту к пункту назначения (host4).

Смоделируем две последовательные ситуации: через 1 секунду с момента начала передачи пакетов выходит из строя LSR4, являющийся третьим маршрутизатором в оптимальном наикратчайшем пути к конечному узлу host4; затем, спустя еще 0.1 секунды, выходит из строя маршрутизатор LSR6 (рис. 4).

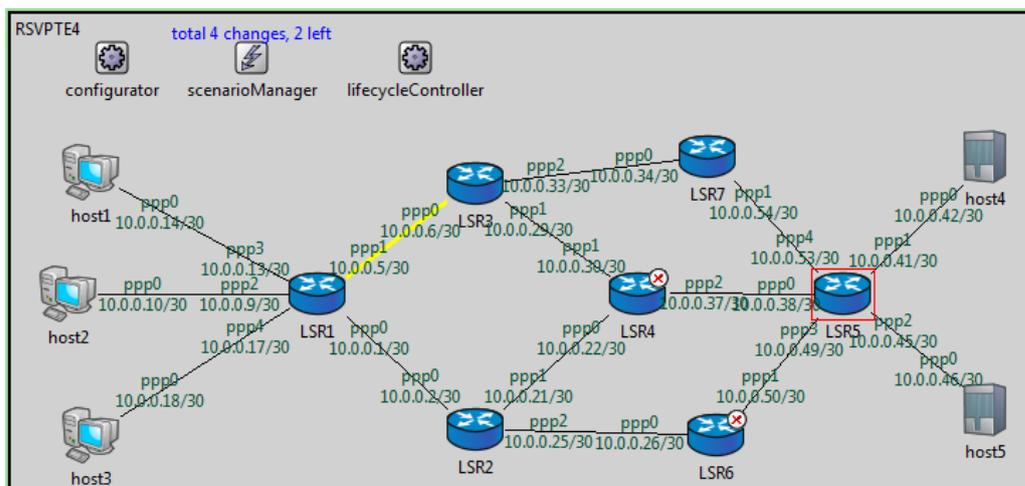


Рис. 4. Выход из строя маршрутизаторов LSR4 и LSR6.

Спустя 0.5 секунды выбран другой оптимальный маршрут, проходящий через маршрутизаторы LSR1 -> LSR3-> LSR7-> LSR5. При этом до момента окончания вычисления

альтернативного оптимального пути все пакеты направлялись по предыдущему маршруту и терялись, проходя через неисправные маршрутизаторы LSR4 и LSR6. После выбора альтернативного оптимального пути те пакеты, которые проходили через маршрутизатор LSR2, были возвращены в LSR1 и направлены по новому оптимальному маршруту.

**Заключение.** Рассмотренный пример наглядно иллюстрирует возможности сети MPLS-TE оперативно, в режиме реального времени, анализировать изменения в выбранных оптимальных маршрутах, и, при необходимости, предоставлять альтернативные пути следования для сетевых потоков пакетов. Это происходит благодаря слаженной работе всех подмодулей маршрутизаторов LSR и существенно уменьшает большие потери данных, так как обнаружение и обход неисправных маршрутизаторов происходит автоматически за считанные доли секунды.

Сеть MPLS-TE – это сложная сетевая архитектура, позволяющая гарантировать доставку сетевых пакетов от источника до пункта назначения по оптимальному пути при условии, что будет доступен хотя бы один исправный маршрут следования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Олвейн В. Структура и реализация современной технологии MPLS. М.: Издательский дом «Вильямс». 2004. 480 с.
2. Гольдштейн Б.С., Гольдштейн А.Б. Технология и протоколы MPLS. СПб.: БХВ. 2005. 304 с.
3. Simha A., Osborne E. Traffic Engineering with MPLS. Indianapolis. Cisco Press. 2002. 608 p.
4. <http://inet.omnetpp.org>.

## РЕГИСТРАЦИЯ СБОЕВ И ОТКАЗОВ МОДУЛЕЙ ПАМЯТИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ОДИНОЧНЫМИ ТЯЖЕЛЫМИ ЯДРАМИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Толендиулы С., Грищенко В.Ф.

тел.: +7 7078166121; e-mail: [sanat\\_tolendiuly@mail.ru](mailto:sanat_tolendiuly@mail.ru)

тел.: +7 7772864701; e-mail: [eqseq@mail.ru](mailto:eqseq@mail.ru)

ДТОО «Институт ионосферы», г. Алматы, Республика Казахстан

**1. Актуальность проблемы.** Интенсивное освоение космического пространства предъявляет повышенные требования к надежности бортовых электронных систем, разработке и созданию нового поколения электронной компонентной базы (ЭКБ), устойчивой к условиям эксплуатации и воздействия факторов космического пространства (КП).

Практика эксплуатации космической техники и систем показала, что в результате комплексного воздействия факторов КП происходят сбои и отказы в основном в автоматизированных системах, что приводит к их преждевременной деградации и, как следствие, уменьшению срока функционирования КА на орбите. Сбои бортовых электронных систем регистрируются на КА различного назначения. Так, в период активного освоения космического пространства целый ряд ИСЗ, например, серии «Электрон», «Молния», «Эксплорер-14,15», «Телстар-1» и другие преждевременно ухудшили свои эксплуатационные параметры из-за воздействия радиационных факторов космического пространства. Например, на модулях Harris было зарегистрировано 72 сбоя за 731 день полета спутника от группы тяжелых ядер космических лучей (КЛ) [1].

В настоящее время накоплен значительный статистический материал по сбоям запоминающих устройств (ЗУ) со спутников серии «SPOT» [2]. Отмечается корреляция между интенсивностью отказов и изменением геофизической и геомагнитной обстановки на более

чем 300-х космических аппаратах (КА) [3]. Эти и другие статистические данные в некоторых случаях указывают на взаимосвязь событий, но не раскрывают характер, механизм и причины сбоев и отказов ЗУ в реальных условиях. Следует отметить, что КА «Вояджер-1, -2» уже летают более 30 лет, в бортовой системе которых используются микросхемы первого поколения, являющиеся наиболее радиационно-стойкими.

В результате отказа бортовых вычислительных комплексов серьезные нештатные ситуации возникали также на пилотируемых комплексах ОК «Мир» и Международной космической станции (МКС).

Причины и характер отказов бортовой электронной аппаратуры различны. Например, возникшие нештатные ситуации в системе управления КА «KazSat-1» и «Фобос-грунт» показали, что комплектацию бортового оборудования необходимо проводить с учетом надежности ЭКБ к условиям полета.

В Казахстане созданы и запущены КА различного назначения, в том числе: телекоммуникационные спутники «KazSat-2, -3», КА дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), предполагается запуск КА научного назначения. Поэтому поиск и разработка альтернативных методов и систем для оценки надежности бортовой электронной аппаратуры особенно в условиях многолетних космических полетов является чрезвычайно актуальным.

Подготовка бортовой аппаратуры на предполетном этапе связана с проведением различного вида испытаний в наземных условиях. При этом используются различные способы моделирования и прогнозирования оценки надежности бортовой электронной аппаратуры.

Математическое и компьютерное моделирование является высокоэффективным и относительно низкочувствительным методом при создании и исследовании сложных технических систем, для которых проведение натурного исследования представляет определенные сложности и где велик коммерческий риск. Имитационное моделирование используется при разработке и проектировании таких работ, как стыковка и сборка крупногабаритных элементов орбитальных станций, дистанционное управление автоматическими межпланетными станциями в условиях многолетних космических полетов и многие другие, когда принятие решений требует «проигрывания» развития событий и их последствий. Следует отметить, что имитационное моделирование разрабатывается на основе достоверных результатов наземных моделирующих исследований. Проводятся как наземные моделирующие исследования, так и прогнозирование интенсивности отказов в КП [4-7].

Наиболее реальным способом оценки надежности ЭКБ бортовой аппаратуры КА является проведение испытаний в наземных условиях. В соответствии с ГОСТами и ОСТами штатное и научное бортовое электронное оборудование КА должно быть оснащено комплектующими повышенной надежности, типа SPACE и Military. Основным параметром надежности является радиационная стойкость изделий. С этой целью в наземных условиях испытания ЭКБ бортовой аппаратуры проводятся при облучении протонами, электронами, нейтронами и другими видами излучений при дозовых нагрузках, значительно превышающих реальные. При использовании в составе бортовой электронной аппаратуры ЭКБ нового поколения (СБИС) большое внимание уделяется испытаниям на воздействие одиночных тяжелых ядер высоких энергий, поскольку в этом случае область повреждения от одиночного ядра высоких энергий сравнима с размерами активной области ячейки модулей памяти. Возникают так называемые сбои и катастрофические отказы модулей памяти, приводящие к отказу различных бортовых систем.

Наземные испытания на воздействие одиночных тяжелых ядер высоких энергий проводятся на различных циклотронах, ускорителях и с использованием изотопных источников. Это связано с необходимостью создания мобильных и недорогих средств и систем для проведения испытаний.

В данной работе представлены две системы, которые были разработаны в Казахстане для регистрации сбоев и отказов модулей памяти при воздействии одиночных тяжелых ядер высоких энергий в наземных моделирующих условиях.

**2. Экспериментальные установки для регистрации сбоев модулей памяти.** В наземном моделирующем эксперименте регистрация сбоев и отказов ЗУ проводилась с использованием разработанной микропроцессорной системы «SPACE» и низкотемпературного испытательного стенда.

**2.1. Микропроцессорная система «SPACE».** Система предназначена для дистанционного контроля работоспособности ЗУ с целью выявления, локализации и идентификации сбоев и отказов в условиях воздействия различных видов излучений. Система позволяет контролировать все типы статических запоминающих устройств, имеющих входные/выходные сигналы ТТЛ уровней с объемом  $8 \div 512$  Кбит, а также динамических запоминающих устройств различных серий с объемом не более 256 Мбит.

Система предназначена для работы в двух режимах: автономном и интерактивном. При работе в автономном режиме запоминаются и маскируются: информация об адресе сбоя и ошибочном байте, дефектные ячейки ЗУ, дефектные микросхемы ЗУ; ведется отсчет времени работы. Для визуального оперативного контроля при работе в интерактивном режиме отображается информация, накопленная в автономном режиме, проводится тестирование системы и оперативный контроль ЗУ, отображение его результатов.

В системе предусмотрены возможность резервирования напряжения питания статического запоминающего устройства с целью сохранения накопленной информации, контроль работы программы за счет введения временных меток. Система состоит из следующих устройств: устройство управления, устройство запоминающее статическое, устройство запоминающее динамическое, устройство индикации. Все устройства соединены общей шиной. Питание осуществляется от напряжений постоянного тока 5В, 12 В, -12 В. Потребляемый ток 2,5 А; 0,3 А; 0,05 А, соответственно.

На рис. 1 представлен алгоритм микропроцессорной системы «SPACE» для сбора информации о сбоях запоминающих устройств.

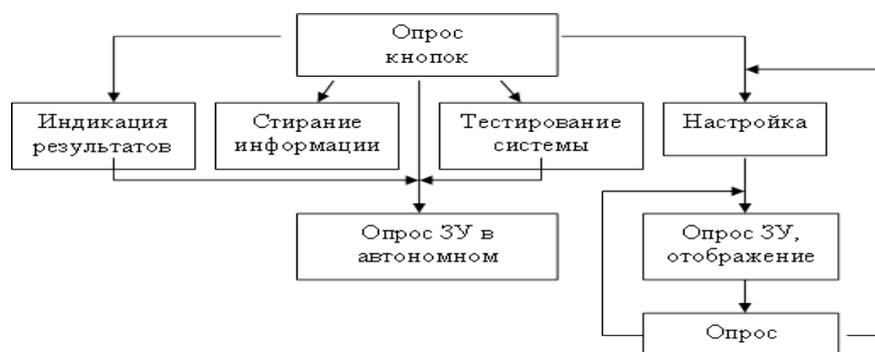


Рис. 1. Алгоритм работы системы «SPACE» для сбора информации о сбоях ЗУ.

*Устройство управления* предназначено для управления периферийными приборами и устройствами путем передачи и приема информации по 8-и разрядной магистрали данных, 16-и разрядной магистрали адреса и 4-х разрядной магистрали управления. Устройство может быть выполнено на основе микропроцессора и работает по программе, которая зашита в ПЗУ. Устройство обеспечивает размещение микросхем ПЗУ в области адресного пространства. При необходимости использования устройства управления в других системах, оно может быть дополнено ОЗУ на микросхемах статического типа. Устройство управления потребляет ток не более 1 А по цепи +5 В и не более 0,2 А по цепи 12 В и 0,5 А по цепи -12 В.

*Устройство запоминающее статическое* предназначено для записи, хранения и считывания информации в микропроцессорных системах; питается от постоянного напряжения  $5 \pm 0,25$  В; обеспечивает хранение информации с малой потребляемой мощностью. Данный режим включается автоматически при отключении, либо отказе основного источника питания.

*Устройство запоминающее динамическое* предназначено для записи, хранения и считывания информации и состоит из следующих функциональных узлов: матрицы микросхем памяти; счетчика адресов регенерации; шинного формирователя; устройства формирования сигнала сброса микропроцессора.

*Устройство индикации* предназначено для оперативного визуального контроля и отображения информации на 14-ти семисегментных индикаторах по принципу динамической индикации под управлением центрального процессора. Потребляемый ток при всех включенных сегментах не превышает 1,5 А, напряжение питания  $5 \pm 0,5$  В. Устройство состоит из следующих функциональных узлов: селектора адреса, усилителей и ключей, блока индикаторов. Селектор адреса предназначен для формирования сигнала выбора микросхемы.

Защита информации в системе обеспечена записью в память корректирующих кодов и замком защиты во избежание случайной записи микропроцессором при его ошибке. Плата памяти может быть расширена в зависимости от задач тестирования.

Обнаружение логических событий обеспечивается микропроцессором, записывающим и считывающим ЗУ с различным заполнением. С целью обеспечения целостности информации используются различные механизмы проверки. Обеспечивается защита от тиристорного эффекта.

В системе используются низкоуровневые логические схемы, предназначенные для декодирования адресной шины с целью обеспечения устойчивости к влиянию космических излучений. Декодер адреса содержит функцию, обеспечивающую обнаружение неверного адреса и сгенерирует на прерывание на вход микропроцессора, или в том случае, когда процессор оказывается в неопределенном состоянии (системная ошибка).

Для регистрации сбоев с использованием системы SPACE разработаны тестовые программы для ПЗУ, по которым в автоматическом режиме проводится опрос ЗУ.

**2.2. Низкотемпературный стенд для испытаний воздействия одиночных тяжелых ядер различных энергий.** Для проведения исследования была разработана экспериментальная установка для регистрации единичных сбоев интегральных схем при воздействии тяжелых заряженных частиц космического пространства.

В цилиндрической камере рис. 2 фиксируют температуру ( $T = 20^{\circ}\text{C}$ ) и создают вакуум  $\sim 10^{-3}$  торр., затем образец в виде ячейки модули памяти с размером  $1\text{см} \times 1\text{см}$  устанавливают на предметный столик, и на последнем крепится источник излучения  $^{252}\text{Cf}$  или ( $^{226}\text{Ra}$ ). Сбои и отказы регистрируют с помощью электрических контактов в установке в момент облучения одиночными заряженными частицами (ОД  $^{252}\text{Cf}$  с энергией  $\sim 1$  МэВ/нуклон, или  $\alpha$ -частицами с энергией  $\sim 5$  МэВ/нуклон), с дальнейшей обработкой данных. Также можно расширить диапазон условий регистраций  $-20^{\circ}\text{C} \div +20^{\circ}\text{C}$  во время исследования.

Структурная схема экспериментальной установки приведена на рис. 2 (а - вид сверху и б - вид снизу): 1 - цилиндрическая камера; 3 - предметный столик; 4 - источник излучения  $^{252}\text{Cf}$ ; 5- электрические контакты; 6 - вакуумный фланец; 7 - органическое стекло; 8 - вывод для создания вакуума; 9 - вывод (вакуумная лампа); 10 - вакуумный вывод для измерения электрических характеристик образца; 11 - вывод для охлаждения образца в диапазоне температур от  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $+20^{\circ}\text{C}$ ; 12 - вывод для термопары.

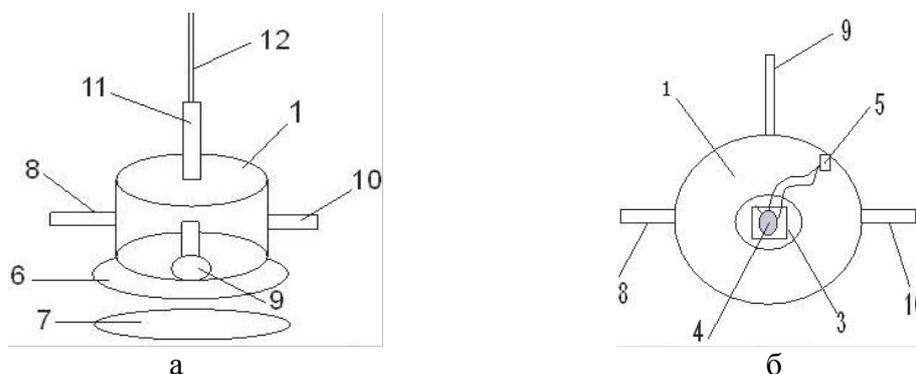


Рис. 2. Установка для регистрации единичных сбоев интегральных схем при воздействии тяжелых заряженных частиц космического пространства.

Данный стенд был использован для регистрации единичных сбоев интегральных схем при воздействии альфа-частиц с энергиями  $\sim 5$  МэВ. Полученные результаты используются для оптимизации состава бортовой электронной аппаратуры КА различного назначения.

**3. Экспериментальные данные.** На представленных установках в наземных моделирующих условиях был выполнен эксперимент по регистрации сбоев и отказов при облучении одиночными ядрами высоких энергий  $C^{12}$ ,  $O^{16}$ ,  $Mg^{18}$  с энергией  $\sim 4,5$  ГэВ/нуклон (ОИЯИ, Дубна, Моск. обл) и  $\alpha$ -частицами с  $E = 5$  МэВ ( $^{226}Ra$ ).

Особенностью данного эксперимента было то, что регистрация сбоев и отказов проводилась в момент облучения. На рис. 3 представлены экспериментальные значения дозовой зависимости интенсивности сбоев для различных частиц.

Анализ результатов показал, что зависимость интенсивности сбоев ЗУ от дозы для различных частиц имеет существенные различия. Так, для кислорода интенсивность сбоев заметна уже при потоках  $\Phi = 5 \cdot 10^7$  ч/см<sup>2</sup>, для Mg -  $\Phi = 10^6$  ч/см<sup>2</sup>, а для  $\alpha$ -частиц  $\Phi > 10^8$  ч/см<sup>2</sup>. По нашему мнению, такие изменения указывают на вклад дополнительного (вторичного) излучения, в том числе: ядер отдачи, фрагментов и сопутствующего излучения, образующихся при ядро-ядерных взаимодействиях кислорода и магния с материалом мишени [8].

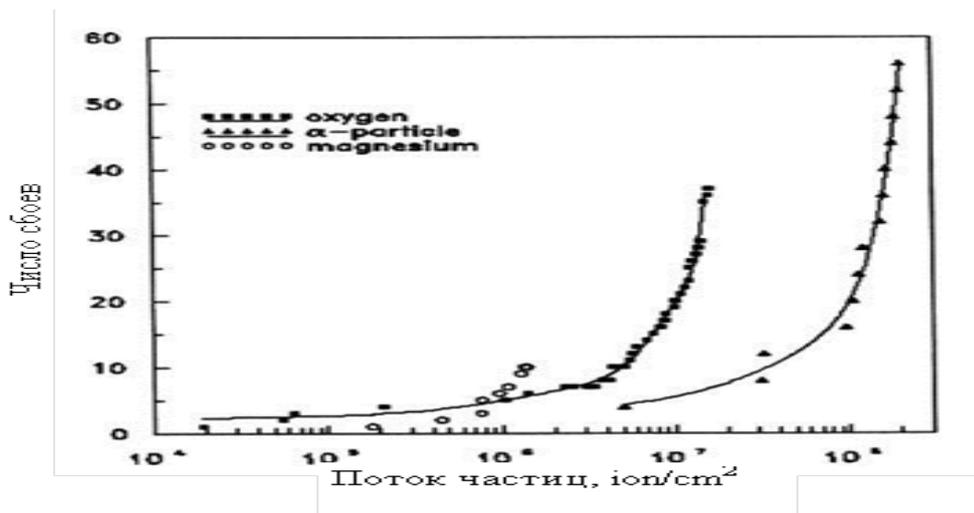


Рис. 3. Дозовая зависимость интенсивности сбоев ЗУ для различных ядер.

**Заключение.** Таким образом, представленные микропроцессорная система SPACE и низкотемпературный испытательный стенд могут быть использованы для наземных имитационных исследований и испытаний на воздействие одиночных тяжелых ядер высоких

энергий. Полученные результаты используются при прогнозировании отказов бортовой электронной аппаратуры КА различного назначения для многолетних космических полетов.

**Благодарности.** Авторы бесконечно благодарны д.ф.-м.н. Бухарбаеву К.С. за консультации и обсуждение результатов, Гурченко Г.С. за изготовление действующих макетов систем и помощь при проведении наземных испытаний.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Blake J.B., Mandel R. On-orbit observation of single event upset in Harris HM-6508 1 K RAMS // IEEE Trans. Nucl.Sci. 1986. V.33. P. 1616-1619.
2. Chaphis J. Heavy ion effects on SPOT satellites comparison between on-orbital observation and upset Rate prediction / 1-st Radiations et their effects on Component and Systems. 1991. Montpellier. France. P. 120.
3. Белов А. В., Виллорези Дж., Дорман Л. И. и др. Влияние космической среды на функционирование искусственных спутников Земли // Геомагнетизм и аэрономия. 2004. Т. 44. № 4. С. 502-510.
4. Schwank J. R., Shaneyfelt M.R., Baggio J., Dodd E., Felix J.A., Febret-Cavrois V., Paillet P., Lum G.K., Girard S., Blackmore E. Effects of Angle of Incidence on Proton and Neutron-Induced Single-Event Latchup // IEEE Transaction on Nuclear Science. 2006. V. 53. № 6. P. 3122-3131.
5. Martinie S., Autran J.L., Uznanski S., Roche P., Gasiot G., Munteanu D., Sauze S., Loaiza P., Warot G., Zampaolo M. Alpha-Particle Induced Soft-Error Rate in CMOS 130 nm SRAM // IEEE TRANS NUCL SCI. 2011. V. 58. № 3. P. 1086-1092.
6. Munteanu L., Autran J.-L. Modelling and Simulation of Single-Event Effects in Digital Devices and ICs. // IEEE Transactions on Nuclear Science. 2007. V. 54. № 6. P. 2525-2533.
7. Кузнецов Н.В. Частота одиночных случайных эффектов в электронике на борту космических аппаратов // Космические исследования. 2005. Т. 43. № 6. С. 443-451.
8. Zhantayev Zh., Grichshenko V. Complex influence of factors of a Space on materials and devices of electronics in the microgravity / Proc. 40-th COSPAR Scientific Assembly: abstracts. 2014. Moscow. Russia. P. STW-S-361.

#### **ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ПРЕССОВАНИЯ ИСХОДНЫХ ПОРОШКОВ СИСТЕМЫ Mg+B НА ВЫХОД MgB<sub>2</sub> В ПРОДУКТЕ РЕАКЦИИ, ПОЛУЧЕННОГО В РЕЖИМЕ СВС**

Толендиулы С., Абдулкаримова Р.Г., Фоменко С.М., Мартиросян К.С., Акимхан А.М.  
тел.: +7 7078166121; e-mail: [sanat\\_tolendiuly@mail.ru](mailto:sanat_tolendiuly@mail.ru)  
Казахский национальный университет им. Аль-Фараби,  
г. Алматы, Республика Казахстан

В системе магний-бор известны соединения боридов магния MgB<sub>2</sub>, MgB<sub>4</sub>, MgB<sub>6</sub> и MgB<sub>12</sub> [1, 2]. В последнее время сильно повысился интерес к дибориду магния, у которого в 2001 г. была открыта сверхпроводимость при температуре около 39 К [3]. Диборид магния получают в основном синтезом из элементов: Mg + 2B = MgB<sub>2</sub>, варьируя состав шихты, защитную среду и режимы термообработки [4]. Основным способом получения диборида магния является твердофазный синтез в той или иной модификации. В частности, одним из довольно перспективным выглядит СВС в условиях высокого давления [5].

В настоящей работе представлены результаты синтеза образцов диборида магния методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) из порошков магния и бора в реакторе высокого давления и изучено влияние предварительного

прессования исходных порошков в таблетки при давлениях от 8 – 30 т на выход диборида магния в конечном продукте реакции .

Сырьем для синтеза служили порошок аморфного бора В94 марки А (20 мкм) и порошок магния марки МПФ-1 (250 мкм). Тщательно перемешанную на воздухе нестехиометрическую смесь (Mg 55.3%, В 44,7%) исходных порошков магния и аморфного бора загружали в стальную цилиндрическую пресс-форму с внутренним диаметром 30 мм, и длиной полости 150 мм. Нестехиометрическую смесь (избыток магния) готовили с целью восполнения возможных потерь магния при синтезе вследствие его высокой летучести. Смеси, спрессованной при давлении 8 т, был присвоен номер 1, при давлении 20- номер 2, а смеси, спрессованной при давлении 30 т,- номер 3. Из полученных таким образом трех видов смесей порошков прессовались «таблетки» диаметром 30 мм и высотой 10-15 мм.

После этого проводился твердофазный синтез в среде аргона при давлении  $P \geq 15$  атм. Температура во время прохождения СВС была 1100 -1200°С.

Рентгенофазовый анализ (РФА) синтезированного диборида магния в виде порошка проводился на дифрактометре ДРОН-4 в  $\text{CuK}_\alpha$ -излучении. Рентгенофазовый анализ синтезированных таблеток  $\text{MgB}_2$  показал (таблицы 1-3), что в зависимости от предварительного прессования (8-30 т) исходных смесей выход диборида магния в конечном продукте увеличивается с 74,7% до 78,6%, а основной примесной фазой является оксид  $\text{MgO}$ , обнаруживаемый практически во всех образцах. Кроме того, наблюдаются следы включения  $\text{MgB}_4$ ,  $\text{SiO}_2$  и Mg.

Таблица 1. Результаты РФА исходных порошков аморфного бора и магния, спрессованных в «таблетки» при давлении 8 т

№	Состав исходной смеси	Результаты РФА, %				
		MgO	MgB <sub>2</sub>	Mg	MgB <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>
1	Mg + B (Mg-55.3%; B-44.7%)	21.5	74.7	1.5	1.8	1.0

Таблица 2. Результаты РФА исходных порошков аморфного бора и магния, спрессованных в «таблетки» при давлении 20 т

№	Состав исходной смеси	Результаты РФА, %		
		MgO	MgB <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>
2	Mg + B (Mg-55.3%; B-44.7%)	23.3	75.3	0.8

Таблица 3. Результаты РФА исходных порошков аморфного бора и магния, спрессованных в «таблетки» при давлении 30 т

№	Состав исходной смеси	Результаты РФА, %			
		MgO	MgB <sub>2</sub>	Mg	SiO <sub>2</sub>
3	Mg + B (Mg-55.3%; B-44.7%)	20.2	78.6	0.7	0.5

Таким образом, исходя из полученных результатов, можно констатировать, что предварительное прессование исходных порошков аморфного бора и магния влияет на выход диборида магния в конечном продукте реакции в процессе твердофазного синтеза. В связи с этим дальнейшие исследования влияния предварительного прессования исходных смесей на выход диборида магния в конечном продукте являются перспективными.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Самсонов Г. В., Перминов В. П. К.: Магниты. 1971. 344 с.
2. Серебрякова Т.И., Неронов В.А. М.: Высокотемпературные бориды. 1991. 368 с.
3. Nagamatsu J., Nakagawa N., Muranaka T. et al. Superconductivity at 39 K in magnesium diboride // Nature. 2001. № 410. P. 63.
4. Ивановский А. Л.: Успехи химии. 2001. 812 с.
5. Савчук Я.М., Прихна Т.А., Сергиенко Н.В., Сврдун В.Б. и др. / Сборник докладов Международной научной конференции «Актуальные проблемы физики твердого тела» ФТТ. 2005 г. Белорусь. Минск. С. 32-35.

## ПРИМЕНЕНИЕ ОБЪЕКТНО-РЕЛЯЦИОННОГО ОТОБРАЖЕНИЯ В ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯХ НА ПРИМЕРЕ NHVERNATE

Чжен В.Д.

тел.: +996773718018; e-mail: [vicchjen@mail.ru](mailto:vicchjen@mail.ru)

Кыргызско-Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызская Республика

**Введение.** Объектно–ориентированный подход является лидирующим в разработке гибких масштабируемых программных приложений в клиент-серверной среде [1]. Реляционные базы стали стандартными хранилищами данных для приложений, обрабатывающих транзакции в режиме реального времени [2]. Поэтому все больше приложений строятся на основе объектно-ориентированного подхода и доступа к реляционным базам данных.

При разработке объектно-ориентированных приложений возникает ряд проблем:

- отображение объектов из модели приложения в реляционную модель базы данных;
- управление блокировкой доступа и транзакциями для обеспечения целостности данных;
- оптимизация с учетом показателей производительности реляционных баз данных.

Каждая из этих проблем представляет интерес для исследования.

**Постановка задачи.** В данной статье рассматривается проблема производительности объектно–ориентированных приложений и проводятся эксперименты с построением архитектуры определенного веб-приложения. Проблема заключается в увеличении времени отклика страницы приложения при увеличении количества выводимых данных. Цель данного исследования заключается в том, чтобы установить, какой метод построения архитектуры из двух рассматриваемых является более оптимальным.

Предлагается метод сравнения двух подходов к построению уровня доступа к данным, выполняющим основную роль в связи приложения с базой данных. Первый подход заключается в построении собственного уровня доступа к данным. Второй – в использовании готового средства для отображения объектов приложения в реляционную модель базы данных.

В работе [3] предложены методы оценки производительности, основа которых лежит в измерении времени отклика. В данном случае измеряется время отклика сервера при загрузке страницы. В работе [4] подробно рассматриваются инструменты оценки и анализа производительности Web-приложений.

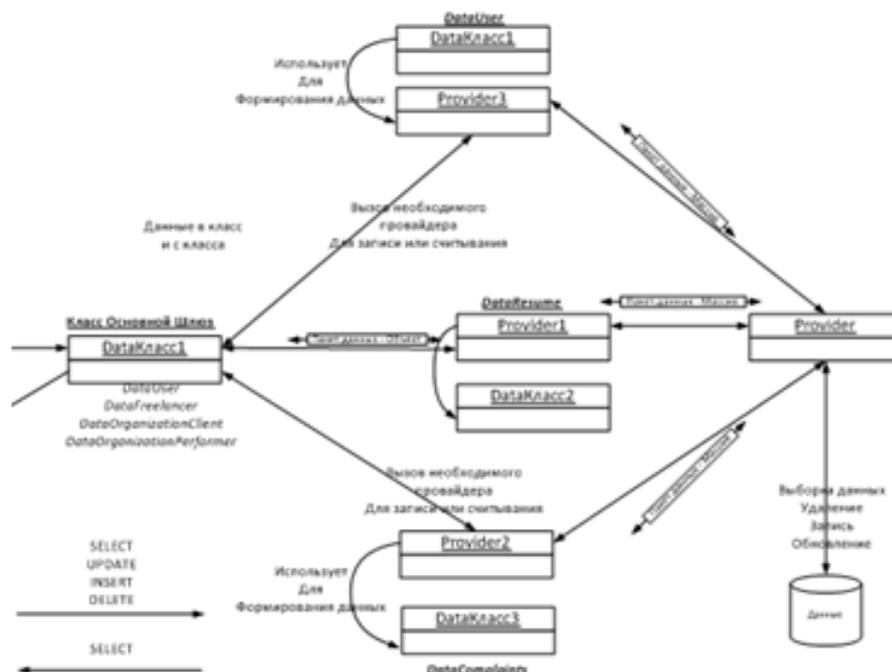
Для практической реализации данного предложения были проведены эксперименты на программном обеспечении действующего веб-портала Software.uz. Портал реализован на платформе ASP.NET с использованием языка C#. При проведении эксперимента использовались следующие средства: Microsoft Visual Studio 2013, Microsoft SQL Server 2012, Mozilla Firefox 32.0, Firebug 2.0.4.

**Уровень доступа к данным.** Объектно–реляционное приложение предоставляет объектно-ориентированный интерфейс к реляционным данным. В таких приложениях объектная модель отображается в реляционную схему базы данных.

Обычно для таких приложений разрабатывается собственный уровень доступа к данным (Data Access Layer – DAL) или используется существующий для трансформации объектных операций в запросы реляционной базы данных и наоборот.

Посредник отображает объекты в реляционные записи. Записи в реляционной базе данных представлены как экземпляры класса и любые обновления данных в этих экземплярах ведут к обновлениям в соответствующих записях в базе данных.

**Эксперимент.** На первом этапе исследована производительность с использованием собственной модели уровня доступа к данным. На рис. 1 приведен фрагмент архитектуры классов приложения.



**Рис. 1. Архитектура классов приложения**

Архитектура классов включает в себя объектно–ориентированные классы, представляющие сущности предметной области приложения, например, объекты пользователя, клиента или исполнителя. Они называются Data классы. В этих объектах содержатся атрибуты класса. Так, для объекта пользователя атрибутами являются ID пользователя, имя, адрес и т.д. Таким образом, Data классы представляют собой контейнеры для хранения данных о бизнес объектах. Для каждого Data класса существует класс, предоставляющий методы для CRUD операций (создание, чтение, обновление и удаление записей), называемый Provider класс. В свою очередь, Provider класс генерирует необходимые SQL–запросы, имплементирует их и возвращает необходимые значения обработчикам страниц.

Диаграмма последовательности функции по выборке новостей показана на рис. 2.

Как видно из диаграммы, в классе ProviderNews создается список объектов DataNews. Выборка данных производится с помощью метода SELECT(), который класс ProviderNews унаследует от абстрактного класса AbstractProvider. Метод выполняет запрос по выборке данных и заполняет данными объект SqlDataReader. Затем созданный список объектов DataNews циклично заполняется объектами из объекта SqlDataReader. После заполнения списка он возвращается вызывающему коду.

Ниже приведен код метода абстрактного класса по выборке записей из таблицы:

```

public virtual void SELECT()
{
    ReturnList = new List<T>();
    this.SqlQuery = string.Format("SELECT * FROM {0}", TableName);
    this.GlobalSqlCommand = new SqlCommand(this.SqlQuery, this.GlobalSqlConnection);
    OpenConnection();
    this.GlobalSqlReader = GlobalSqlCommand.ExecuteReader();
}

```

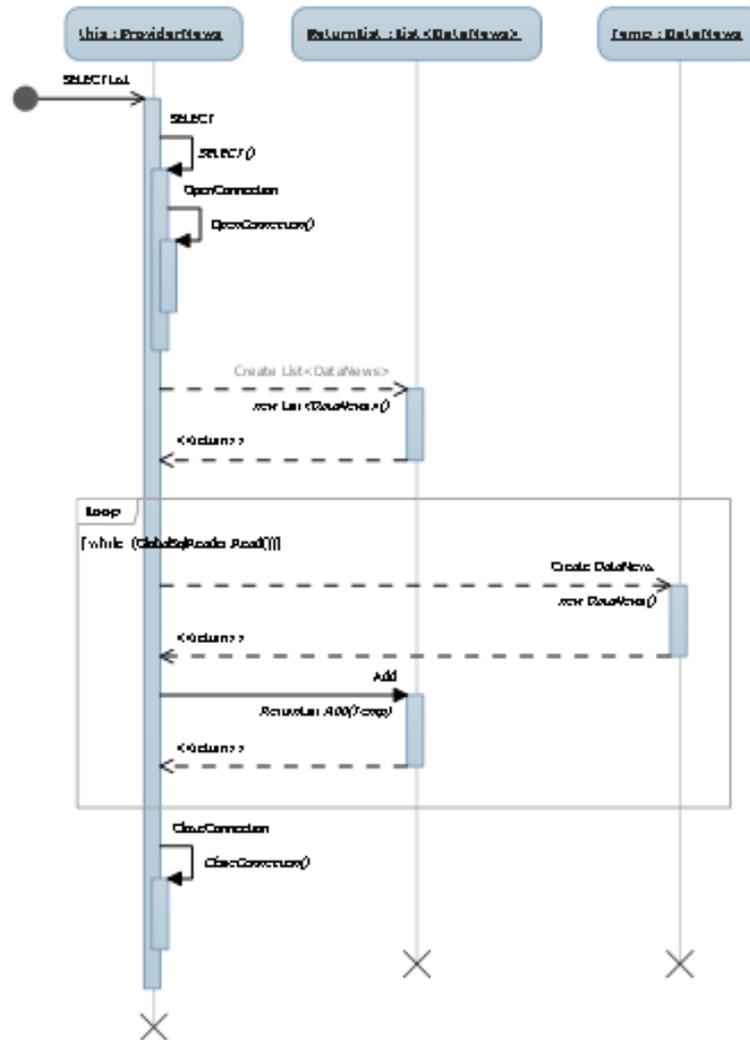


Рис. 2. Диаграмма последовательности выбора новостей

Элементом, вызывающим вышеуказанный метод, является серверный объект ObjectDataSource. При инициализации элемент вызывает метод SELECT, получает данные и предоставляет их элементам управления с привязкой к данным. В данном случае - объекту таблицы GridView.

Производительность приложения измерялась временем отклика страницы просмотра Новостей, Фрилансеров и Программных продуктов. На странице были расположены таблицы с записями трех бизнес объектов – Фрилансеров, Новостей и Продуктов. При запросе к странице выполняются запросы на выбор данных из соответствующих таблиц. Для исследования производительности количество выводимых на страницу записей каждого объекта менялось в диапазоне от 60 до 1600 единиц.



Существует два подхода для реализации методов чтения записей: HQL – язык запросов Hibernate и HCQ – Hibernate запросы по критерию. В проведенном эксперименте был применен подход HCQ. Запрос SELECT записей новостей приведен ниже:

```
public ICollection<DataNews> GetAllItems(string Lang)
{
    using (ISession session = NHibernateHelper.OpenSession())
    {
        var news = session.CreateCriteria(typeof(DataNews)).List<DataNews>();
        return news;
    }
}
```

В методе CreateCriteria в качестве критерия передается тип данных новостей и принимается список записей.

Исследование производительности фреймворка проводилось аналогично вышеуказанному, т.е. определялось изменение времени отклика страницы при различных количествах выводимых записей.

На рис. 6 приведены результаты второго этапа.

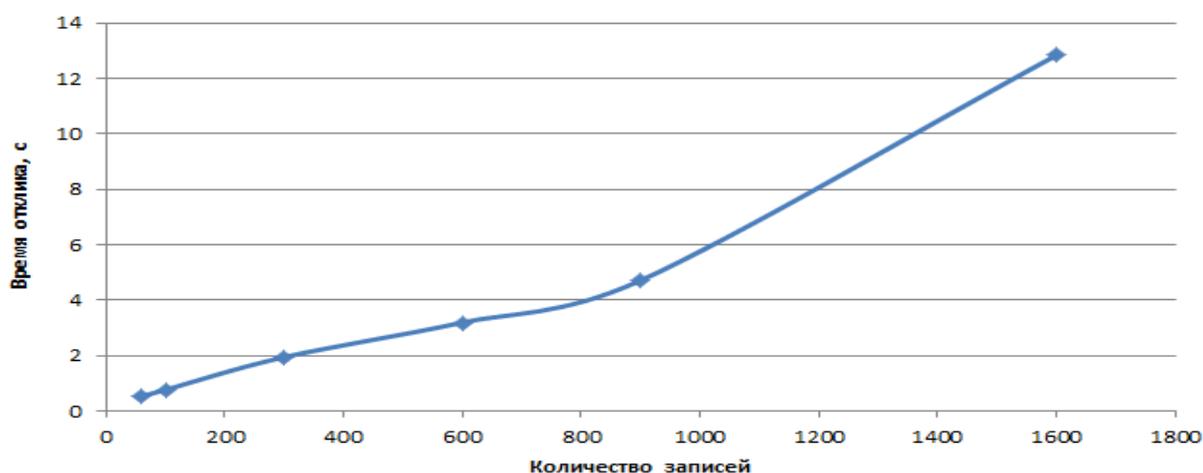


Рис. 6. Зависимость времени отклика от количества записей в базе данных при использовании фреймворка NHibernate

Из рис. 6 видно, что скорость увеличения времени отклика в целом количественно совпадает с результатами первого этапа (рис. 3). Также можно отметить, что в данном случае скорость возрастает при выводе выше 800 записей.

Анализ результатов показал, что при сравнительно небольших объемах данных (в данном случае до 1600 записей) разница во времени отклика страницы в обоих незначительна. Однако, несмотря на то, что использование ORM NHibernate делает разработку более быстрой, основным его недостатком, по нашему мнению, является слабый контроль над SQL-запросами. В случаях, когда необходимо выполнить сложный либо модифицировать существующий SQL-запрос, возникают трудности при их изменении. В случае написания собственного уровня доступа к данным код запросов контролируется разработчиком.

**Выводы.** Проведенные эксперименты позволили установить, что оба рассмотренных подхода дают количественно близкие результаты по времени отклика. Различие заключается в следующем:

- предлагаемый уровень доступа к данным более эффективен с точки зрения контроля и сопровождения кода и SQL запросов;

— у ORM инструментов больше уровней сложности, что создает трудности для понимания их работы в сравнении с разработкой собственного уровня доступа к данным.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Chandra Vennapoosa The History of Object Oriented Programming, 2006 [Электронный ресурс]. Ссылка на ресурс: <http://www.exforsys.com/tutorials/oops-concepts/the-history-of-object-oriented-programming.html>
2. Реляционная СУБД, Википедия [Электронный ресурс]. URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Реляционная СУБД>.
3. Ботыгин И. А., Каликин К.А. Исследование методов увеличения производительности web-приложений // Известия Томского политехнического университета. Томск. 2008. Вып. № 5. Т. 312.
4. Группа ACE специалистов Microsoft. Тестирование производительности Web-приложений Microsoft. NET. Пер. с англ. М.: Издательско-торговый дом Русская Редакция. 2003.
5. ORM. Википедия [Электронный ресурс]. URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/ORM>.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСКОРЕНИЯ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ И МОМЕНТА ИНЕРЦИИ ФИЗИЧЕСКОГО МАЯТНИКА

Габдулин Р. Р.

тел: +996 550909114; e-mail: [ram\\_gab@mail.ru](mailto:ram_gab@mail.ru)

Кыргызско-Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызстан

**Силы тяготения. Гравитационное поле.** Силами тяготения мы называем результат гравитационных взаимодействий, которые описываются законом всемирного тяготения, открытым Ньютоном.

Материальные точки притягиваются друг к другу с силами, пропорциональными произведению их масс и обратно пропорциональными квадрату расстояния между ними (рис. 1):

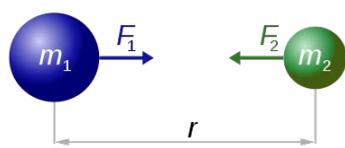

$$F_1 = F_2 = G \frac{m_1 \times m_2}{r^2} \quad (1)$$

Рис. 1. Гравитационное взаимодействие.

Коэффициент пропорциональности  $G$  называется гравитационной постоянной. Она характеризует интенсивность гравитационного взаимодействия (численно равна силе притяжения двух точечных масс по 1 кг, находящихся на расстоянии 1 м друг от друга) и является одной из основных физических констант. В единицах системы СИ ее величина равна:

$$G = 6,673 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2 = 6,673 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 / (\text{кг} \cdot \text{с}^2).$$

Формула (1) дает только величину силы взаимодействия двух точечных тел. На самом деле речь идет о двух силах, с которыми по третьему закону Ньютона действуют тела друг на друга. Силы равны по величине (1) и направлены навстречу друг к другу по прямой, соединяющей эти тела. Такие силы называются центральными.

Можно показать, что однородные тела, имеющую сферическую форму (даже если их размеры не малы по сравнению с расстоянием между ними), также притягиваются с силами, определяемыми формулой (1), в этом случае  $r$  – это расстояние между центрами сфер, как показано на рис. 1.

Любое тело создает вокруг себя гравитационное поле, т.е. наделяет окружающее пространство определенными свойствами: любое другое тело, находящееся в этом поле, испытывает воздействие (силу) со стороны этого поля. Следовательно, характеристикой поля, создаваемого массой  $m_1$  в данной точке пространства, является отношение силы (1) к величине массы  $m_2$ . В общем случае это отношение имеет вид:

$$g = F/m \quad (2)$$

и называется напряженностью гравитационного поля в данном месте. Напряженность – векторная характеристика поля, она направлена (так как  $m > 0$ ) туда же, куда и сила притяжения  $F$  – т.е. в сторону тела массой  $m_1$  – тела, которое создает это поле. Численно напряженность равна силе, действующей на “пробное” точечное тело с единичной массой, помещенное в данную точку поля. Размерность напряженности поля совпадает с размерностью ускорения – в системе единиц СИ она равна  $H/kg = m/c^2$ .

Если нам известна напряженность  $g(r)$  гравитационного поля в любой точке пространства  $r$ , то, как это следует из формулы (2), мы можем вычислить силу, которая будет действовать на точечное тело массой  $m$ , помещенное в данную точку поля:

$$F(r) = mg(r). \quad (3)$$

Природа гравитационного поля раскрывается в общей теории относительности Эйнштейна и является свойством пространства-времени, появляющимся в присутствии материи. Этим свойством является неевклидовость метрики (геометрии) пространства-времени, и материальным носителем тяготения является пространство-время. Тот факт, что гравитацию можно рассматривать как проявление свойств геометрии четырёхмерного неевклидова пространства, это есть следствие того, что все тела в поле тяготения получают одинаковое ускорение («принцип эквивалентности» Эйнштейна). Пространство-время при таком подходе приобретает физические атрибуты, которые влияют на физические объекты и сами зависят от них.

Исследование гравитационного поля имеет важное общенаучное и прикладное значение. Так, гравитационное поле Земли — это силовое поле, обусловленное притяжением масс Земли и центробежной силой, которая возникает вследствие суточного вращения Земли; оно незначительно зависит также от притяжения Луны и Солнца и других небесных тел и масс земной атмосферы. Гравитационное поле Земли характеризуется силой тяжести, потенциалом силы тяжести и различными его производными. Потенциал имеет размерность  $m^2 \cdot c^{-2}$ , за единицу измерения первых производных потенциала (в т.ч. силы тяжести) в гравиметрии принят миллигал (мГал), равный  $10^{-5} m \cdot c^{-2}$ , а для вторых производных — этвеш, равный  $10^{-9} \cdot c^{-2}$ .

Гравитационное поле Земли в совокупности с другими геофизическими данными используется для изучения модели радиального распределения плотности Земли. По нему делаются выводы о гидростатическом равновесном состоянии Земли и о связанных с этим напряжениях в её недрах. По наблюдениям приливных вариаций силы тяжести изучают упругие свойства Земли.

Параметры гравитационного поля Земли используется при расчёте орбит искусственных спутников Земли и траекторий движения ракет. По аномалиям гравитационного поля Земли изучают распределение плотностных неоднородностей в земной коре и верхней мантии, проводят тектоническое районирование, поиски месторождений полезных ископаемых с помощью разведки. Гравитационное поле Земли используется для вывода ряда фундаментальных постоянных геодезии, астрономии и геофизики. Для исследования гравитационного поля Земли применяются различные приборы, в том числе устройства на основе маятников.



$$\omega_0 = \sqrt{\frac{mgd}{J}} \quad (9)$$

Следовательно, физический маятник, отклоненный на малый угол от положения равновесия, совершает гармонические колебания.

Так как  $T = \frac{2\pi}{\omega_0}$ , то для периода колебаний физического маятника получаем следующую формулу:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J}{mgd}}, \quad (10)$$

где  $J$  – момент инерции физического маятника относительно оси, проходящей через точку подвеса  $O$ ;  $d$  – расстояние от точки подвеса  $O$  до центра инерции  $C$ .

Следовательно, период гармонических колебаний физического маятника зависит от момента инерции маятника  $J$  и ускорения свободного падения  $g$ . Обозначим

$$\frac{J}{md} = l_{\text{пр}}. \quad (11)$$

Величина называется приведенной длиной физического маятника, под которой понимается длина такого математического маятника, период колебаний которого равен периоду колебаний данного физического маятника. Тогда период колебаний физического маятника можно записать следующим образом:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l_{\text{пр}}}{g}}, \quad (12)$$

Откуда 
$$g = \frac{4\pi^2 l_{\text{пр}}}{T^2}. \quad (13)$$

Таким образом, для определения ускорения свободного падения нужно определить приведенную длину и период колебаний физического маятника.

Установка для исследования физического маятника показана на рис. 3.

Физический маятник представляет собой металлический стержень с нанесенными делениями (1), вдоль которого может перемещаться груз; общая масса конструкции составляет 140 граммов. Положение груза на стержне может быть зафиксировано с помощью винта (2). Маятник подвешивается к кронштейну (3), расположенному в корпусе с металлическим каркасом в форме параллелепипеда со стеклянными стенками. Внутри у правой и левой стенок корпуса расположены герконы (4), срабатывающие при приближении маятника. Контакты герконов включены в схему, управляющую работой электронного секундомера (5).

**Определение момента инерции физического маятника.** Данный эксперимент проводится с помощью установки, изображенной на рис. 3.

1. Закрепив груз на стержне в нижнем положении, определить положение центра тяжести физического маятника путем его уравнивания на опоре, измерить расстояние  $d$  от точки подвеса до центра тяжести.
2. Подвесить маятник к кронштейну.
3. Включить секундомер и установить его нулевое показание.
4. Отвести маятник в сторону до положения рядом с герконом и отпустить его. Вычислить период колебаний физического маятника, умножив показание секундомера на 2.



Рис. 3. Установка с физическим маятником.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики. М.: Высшая школа. 1999. 466 с.
2. Трофимова Т.И. Курс физики. М.: Высшая школа. 2003. 385 с.
3. Савельев И.В. Курс общей физики. М.: Наука. 2001. 428 с.
4. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т. I. М.: Наука. 2003. 417 с.

**СОДЕРЖАНИЕ**  
**ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ, ГЕОЭКОЛОГИЯ И**  
**ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ**

Асаналиев А.С. ИЗМЕРЕНИЕ ТАНГЕНСА УГЛА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ПРИ РАЗРУШЕНИИ ГЕОМАТЕРИАЛОВ	3
Бекмаганбетова Д. А. ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ НАВЕДЕННОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ ПРИ ОПИСАНИИ ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ СРЕДЫ «ГРУНТ-ЖИДКОСТЬ»	6
Бектурсунов Ж.З., Мамбетсадыкова А.А., Маметова Б.К. О ВЗАИМОСВЯЗИ УРОВНЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД С КОЛЕБАНИЯМИ АТМОСФЕРНЫХ ЯВЛЕНИЙ КЫРГЫЗСТАНА	9
Бектурсунов Ж.З., Мамбетсадыкова А.А., Маметова Б.К. ОСОБЕННОСТИ РЕЖИМА ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ТЕРМОМИНЕРАЛЬНЫХ ВОД ИССЫК-КУЛЬСКОЙ ВПАДИНЫ В ПЕРИОДЫ САРЫ-ДЖАЗСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ	12
Валиев Ш.Ф. ИНЖЕНЕРНЫЕ НАГРУЗКИ НА ГЕОЛОГИЧЕСКУЮ СРЕДУ ТАДЖИКИСТАНА	17
Валиев Ш.Ф., Усупаев Ш.Э. О ТРАНСФОРМАЦИИ ЛИТОСФЕРЫ ГЕОРИСКАМИ В ТАДЖИКИСТАНЕ	22
Воронцова Е.В. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОСЕЙСМИЧЕСКИЕ И СЕЙСМОИОНОСФЕРНЫЕ ЭФФЕКТЫ	27
Дрокин Д.А. СОВРЕМЕННЫЕ ДВИЖЕНИЯ НА ПЛОЩАДКЕ POLIGON ПО ДАННЫМ ЛИНЕЙНО-УГЛОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ	30
Енягин Ю.В. АВТОМАТИЧЕСКАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ И АНАЛИЗ ПЕРВИЧНЫХ ДАННЫХ ЛИНЕЙНО-УГЛОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ	32
Жумашева З.Н., Жумашов Ж.Н. О МЕТОДАХ УПРАВЛЕНИЯ ГЕОРИСКАМИ ПРИ ОСВОЕНИИ НЕФТИ И ГАЗА	36
Жумашов Ж.Н., Жумашева З.Н. ОБ УГЛЕВОДОРОДНОМ СЫРЬЕ ФЕРГАНЫ И ГЕОРИСКАХ ОТ ЕГО ОСВОЕНИЯ	40
Жураев Ф.Ф., Умурзаков Р.А. О КОЛИЧЕСТВЕННОМ ИЗУЧЕНИИ ТЕКТОНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ МЕЗОЗОЙ-КАЙНОЗОЙСКИХ ДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ НА ПРИМЕРЕ ВПАДИН ЮГО-ВОСТОКА ТУРАНСКОЙ ПЛИТЫ	45

Забинякова О.Б. ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ ОДНОМЕРНОЙ ЗАДАЧИ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ	48
Кайраткызы Д., Хачикян Г.Я., Жумабаев Б.Т. ГЕОМАГНИТНЫЕ БУРИ И СЕЙСМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ НА СЕВЕРНОМ ТЯНЬ-ШАНЕ	55
Копылов Е.Ю. ИМИТАТОР СИГНАЛОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА	59
Лазарева Е.А. ИНТЕНСИВНОСТЬ И ЧАСТОТА ПОЯВЛЕНИЯ СИЛЬНЫХ ГЕОМАГНИТНЫХ БУРЬ С DST-ИНДЕКСОМ МЕНЕЕ 80 НТЛ	68
Лашин О.А. АКТИВНАЯ ИНДУКЦИОННАЯ РАМКА С АПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПЕРЕХОДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНОГО КОМПЛЕКСА	71
Лозбин А.Ю., Инчин П.А., Шпади М.Ю., Аязбаев Г.М., Быкаев Р.Ж. О ПРОЕКТЕ СОЗДАНИЯ СЕТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ ГРОЗОПЕЛЕНГАЦИИ И ИССЛЕДОВАНИЯ АТМОСФЕРНО-ЛИТОСФЕРНЫХ СВЯЗЕЙ В РЕГИОНЕ СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ	79
Мажников М. С. ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ВЕКТОРОВ СКОРОСТИ ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ ТЯНЬ-ШАНЯ	81
Малосиева М.Т. ОТРАЖЕНИЕ ГЛУБИННЫХ РАЗЛОМОВ И ИХ СЕГМЕНТОВ В ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЯХ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ИССЫК-КУЛЬСКОЙ ВПАДИНЫ	83
Мансуров А.Н. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ТЕНЗОРА СКОРОСТИ СОВРЕМЕННОЙ ДЕФОРМАЦИИ ЗЕМНОЙ КОРЫ В ОТДЕЛЬНЫХ ОБЛАСТЯХ ТЯНЬ-ШАНЯ ПО НАБОРАМ ТОЧЕК GPS-НАБЛЮДЕНИЙ С ОДНОРОДНЫМ РЕЖИМОМ ДЕФОРМАЦИИ	87
Мансуров А.Н. УЛУЧШЕНИЕ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ЦЕНТРАЛЬНО-АЗИАТСКОЙ GPS-СЕТИ С ПОМОЩЬЮ СПЕЦИАЛЬНО РАЗРАБОТАННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ	93
Матюков В.Е. ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОСТРОЕНИЙ ПО ПРОФИЛЮ «TRAGE-ALAI» С УЧЕТОМ РЕЗУЛЬТАТОВ ДРУГИХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ	98
Орунбаев С.Ж. О КАРТЕ САЙТ-ЭФФЕКТОВ ДЛЯ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ГОРОДА НАРЫН	102

Полинчук А.Ю. РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ДОСТУПА К ДАННЫМ СЕЙСМОСТАНЦИИ REFTEK 130 DAS	107
Райымкулов М.А. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА ОХРАНЯЕМЫЕ СООРУЖЕНИЯ	111
Расулжонов М.С., Жураев Ф.Ф, Махкамов А.А., Умурзаков Р.А. ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРИЕНТАЦИИ ЛОКАЛЬНЫХ НЕОТЕКТОНИЧЕСКИХ СТРУКТУР И АНОМАЛИЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ( $\Delta T$ ) В ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТЕРРИТОРИИ УЗБЕКИСТАНА	112
Тойшиев Н., Хачикян Г.Я. ПЕРИОДИЧНОСТЬ В ВОЗНИКНОВЕНИИ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В РЕГИОНАХ С МАГНИТНЫМИ СИЛОВЫМИ ЛИНИЯМИ $L=2.0-2.2$	116
Тургумбаев А.А. ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ GPS-ИЗМЕРЕНИЙ НА ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ GAMIT/GLOBK	121
Турдушев И.А. РАСЧЕТ ДИНАМИКИ ВЕТРОВЫХ ТЕЧЕНИЙ В ОЗЕРЕ ИССЫК-КУЛЬ	127
Шакиров А.Э., Усупаев Ш.Э. МАГНИТНОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЛИНЕЙНЫХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ СТРУКТУР: ЛИНЕАМЕНТОВ И РАЗЛОМОВ КЫРГЫЗСКОГО ТЯНЬ-ШАНЯ	131

### МЕХАНИКА

Айтемиров М.К. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ПНЕВМОЗАРЯЖАНИЯ ГРАНУЛИРОВАННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ	140
Васильков Р.Е. ВЛИЯНИЕ ТВЕРДОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПЛАСТИНЫ НА КОЭФФИЦИЕНТ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СКОРОСТИ ШАРА ПРИ УДАРЕ	143
Грищенко М.А. МАШИНА ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПОЛОВ В ТРУДНОДОСТУПНЫХ МЕСТАХ	147
Дроздова И.С. ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ БЛОКА ОТЛИВОК НА ЕГО НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИ ВИБРОУДАРНОЙ ОБРУБКЕ ЛИТЯ	149
Ким С.Б., Ли И.Р. ДРОБИЛЬНАЯ МАШИНА СО СЛОЖНЫМ ДВИЖЕНИЕМ РАБОЧИХ ОРГАНОВ	153

Курманбаев С.А., Нурахметов М.Ж. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОПРЕОБРАЗОВАНИЯ В ДВС	156
Масимханов Е.А., Утеулова А.А. РАБОЧИЙ ОРГАН ПОГРУЗЧИКА С РАСЧЕТНОЙ ТРАЕКТОРИЕЙ РАЗГРУЗКИ ГРУЗА	160
Муктарбекова Г.М. ФУНКЦИИ ПОЛОЖЕНИЯ И ПЕРЕДАТОЧНЫЕ ФУНКЦИИ ЗВЕНЬЕВ МАНИПУЛЯТОРА ОТБойНОГО АГРЕГАТА	163
Ню В.В. ВЛИЯНИЕ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ В КОНТАКТЕ ИНСТРУМЕНТА С ПЛАСТИНОЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ ПРИ ВИБРОУДАРНОЙ ОБРАБОТКЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ	168
Сатаркулов А.М., Нечаева А.В. ПРИМЕР ПРИМЕНЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНОЙ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ	172
Шипугин В.С., Курманбаев С.А. ТЕХНОЛОГИЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЯ ВАЗ-2121 «НИВА» НА СТЕНДЕ С БЕГОВЫМИ БАРАБАНАМИ	176

#### МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

Васильев Л. И. ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА И МЕТОДОВ РАСЧЕТА ФЕРМ, СЕРИЙНО ВЫПУСКАЕМЫХ ОСОО «ПЕРВАЯ МЕТАЛЛОБАЗА»	181
Верзунов С.Н. РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ ПОЛИМОРФНОЙ ВЕЙВЛЕТ-СЕТИ НА БАЗЕ ВЕЙВЛЕТА МОРЛЕ	181
Гайратов М.Т. ОПТИМАЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ТЕХНИКИ БОРОЗДКОВОГО ПОЛИВА ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЛЕЛЬ ДАНГАРИНСКОЙ СТЕПИ (ТАДЖИКИСТАН)	186
Гайратов М.Т. ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛИВА ОБВОДНЕННЫХ КУЛЬТУР НА СКЛОНОВЫХ ЗЕМЛЯХ ДАНГАРИНСКОЙ ДОЛИНЫ (ЮЖНЫЙ ТАДЖИКИСТАН)	192
Дуденко Р.П. ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ СКЛАДСКОЙ СИСТЕМЫ ФИРМЫ МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ	197
Ерёмин А. А. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТОВ ИНЕРЦИИ ФЕРМ, СЕРИЙНО ВЫПУСКАЕМЫХ ОСОО «ПЕРВАЯ МЕТАЛЛОБАЗА»	199

Кроха А. А. ПОСТРОЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ АССОРТИМЕНТНОЙ СТРУКТУРЫ ТОРГОВОЙ КОМПАНИИ С ПОМОЩЬЮ СОВМЕЩЕННОГО АВС-XYZ- АНАЛИЗА	200
Суранова К.Ж. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ СФЕРЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ ДЖУМГАЛЬСКОЙ ВПАДИНЫ	201
Суранова К.Ж., Кендирбаева Дж.Ж. О СОВРЕМЕННОМ СОСТОЯНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ НА ПУТИ К УСТОЙЧИВОМУ РАЗВИТИЮ В КЫРГЫЗСТАНЕ	205
Ткачѳв М.С. МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ МАРШРУТОВ СЕТИ MPLS-TE	208
Толендиулы С., Грищенко В.Ф. РЕГИСТРАЦИЯ СБОЕВ И ОТКАЗОВ МОДУЛЕЙ ПАМЯТИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ОДИНОЧНЫМИ ТЯЖЕЛЫМИ ЯДРАМИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ	212
Толендиулы С., Абдулкаримова Р.Г., Фоменко С.М., Мартироян К.С., Акимхан А.М. ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ПРЕССОВАНИЯ ИСХОДНЫХ ПОРОШКОВ СИСТЕМЫ Mg+V НА ВЫХОД MgV <sub>2</sub> В ПРОДУКТЕ РЕАКЦИИ, ПОЛУЧЕННОГО В РЕЖИМЕ СВС	217
Чжен В.Д. ПРИМЕНЕНИЕ ОБЪЕКТНО-РЕЛЯЦИОННОГО ОТОБРАЖЕНИЯ В ВЕБ- ПРИЛОЖЕНИЯХ НА ПРИМЕРЕ NHVERNATE	219
Габдулин Р. Р. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСКОРЕНИЯ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ И МОМЕНТА ИНЕРЦИИ ФИЗИЧЕСКОГО МАЯТНИКА	224