ISSN:2541-9684

Алхасов А.Б.

Асхабов А.М.

Богуш И.А.

Diccuñicen au Akagonna Hayn

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК Институт геологии Дагестанского научного центра

№ 3(70), 2017

Ежеквартальный научный журнал

"ТРУДЫ ИНСТИТУТА ГЕОЛОГИИ ДАГЕСТАНСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН"

Издается по решению Ученого совета Института геологии ДНЦ РАН Журнал выходит 4 раза в год. Зарегистрирован в федеральной службе по надзору в сфере связи и массовых коммуникаций Российской Федерации (Роскомнадзор) ПИ № ФС77-67725 от 10 ноября 2016 года

Научно-редакционный совет: д.т.н., ИПГ ДНЦ РАН, академик РАН, Коми НЦ УрО РАН д.г.-м.н.,г.н.с., профессор ЮРГПУ (НПИ) д.г.-м.н., , г.н.с., профессор ГИН РАН академик РАН. ОНЗ РАН д.г.-м.н., профессор ИГиГ НАН Азербайджана д.ф.-м.н., профессор, Геофизический институт ВНЦ РАН, д.г.-м.н., профессор, ИГиИС НАН Армении министр природных ресурсов и экологии РД д.ф.-м.н., Чеченской академии наук член-корреспондент РАН, ОНЗ РАН д.ф.-м.н., профессор, ДГУ академик РАН академик РАН. ГИН РАН член-корреспондент НАН Азербайджана

Редакционная коллегия: *д.г.-м.н., г.н.с. ИГ ДНЦ РАН*,

к.т.н., с.н.с.

д.т.н., г.н.с. к.ф.-м.н, с.н.с. д.т.н., профессор д.т.н., профессор д.ф.-м.н., профессор к.г.-м.н. с.н.с. д.г.-м.н., г.н.с. д.б.н., г.н.с., профессор к.ф.-м.н. д.ф.-м.н., в.н.с. К.Г.Н., С.Н.С. д.ф.-м.н., профессор к.г.-м.н.,с.н.с.,(технический редактор) д.г.-м.н., г.н.с., профессор К.г.-М.Н., С.Н.С. д.г.-м.н., г.н.с. к.ф.-м.н. *к.г.-м.н*. д.т.н., в.н.с., профессор К. г. - М. Н. к.ф.-м.н,,доцент н.с., (ответственный секретарь) м.н.с., (составитель)

Гаврилов Ю.О. Глико А.О. Гусейнов Д. Д. Заалишвили В.Б. Карапетян Д.К. Карачаев Н.А. Керимов И.А. Морозов Ю.А. Рабаданов М.Х. Рундквист Д. В. Федонкин М.А. Алиева Э.Г-М Черкашин В.И. (главный редактор) Мамаев С.А. (зам. главного редактора) Абдуллаев Ш.-С.О. Алиев И.А. Ахмедов Г.Я. Ахмедов С.А. Ашурбеков Н.А. Газалиев И.М. Гусейнов А.А. Залибеков З.Г. Ибаев Ж.Г. Идармачев Ш.Г. Идрисов И.А. Курбанисмаилов В.С. Магомедов Р.А. Маммаев О.А. Маиапулин В.У. Осика Д.Г. Таймазов Д.Г. Темирбекова У Т. Тотурбиев Б.Д. Юсупов А.Р. Якубов А.З. Гусейнова А.Ш. Абдулмуталимова Т.О.

Материалы журнала отражают точку зрения авторов и не является официальной позицией Института. При использовании материалов ссылка на журнал обязательна.

Адрес редакции: 367030, г. Махачкала, ул. М. Ярагского 75 наш сайт в интернете http://www.igdncran.ru, e-mail: dangeogis@mail.ru Тел. 8(8722)62-93-95; факс: 8(8722)62-06-82 © НП Редакция Журнала «Труды института геологии Дагестанского научного центра РАН»

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ "ТРУДЫ ИНСТИТУТА ГЕОЛОГИИ ДАГЕСТАНСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН"

Научный журнал "Труды Института геологии ДНЦ РАН" издается Институтом геологии ДНЦ РАН с 1956 г.

Рецензируемый научный журнал (включен в систему Российского индекса научного цитирования - РИНЦ) посвящен широкому спектру вопросов фундаментальной и прикладной геологии. Его отличие от других аналогичных журналов - в наибольшем охвате тематик в области геологии и геоэкологии. Обсуждаются проблемы, находящиеся на стыке науки и практики, использование современных ГИС-технологий в области наук о Земле.

Информация о журнале, правила для авторов располагаются на сайте http://www.igdncran.ru

Научное направление журнала - ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

25.00.01 Общая и региональная геология

- 25.00.02 Палеонтология и стратиграфия
- 25.00.03 Геотектоника и геодинамика
- 25.00.05 Минералогия, кристаллография
- 25.00.06 Литология
- 25.00.07 Гидрогеология
- 25.00.08 Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение
- 25.00.10 Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых
- 25.00.11 Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения
- 25.00.12 Геология, поиски и разведка нефтяных и газовых месторождений
- 25.00.23 Физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов
- 25.00.25 Геоморфология и эволюционная география
- 25.00.33 Картография
- 25.00.35 Геоинформатика
- 25.00.36 Геоэкология (по отраслям)

ISSN 2541-9684 Журнал является рецензируемым. Журнал выходит 4 раза в год. Тираж - 200 экземпляров http://elibrary.ru/ (РИНЦ) http://www.igdncran.ru

СОДЕРЖАНИЕ

ОПАСНЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В РАЙОНЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ТУПОЛАНГСКОЙ ПЛОТИНЫ И ГЭС (юго-западный Гиссар, Узбекистан) <i>Гончар А.Д., Садыкова Л.Р.</i>
ТЕХНОЛОГИЯ МОНИТОРИНГА ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В РАЙОНАХ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ (ГЭС) Нигматов Г.М., Магомедов Х.Д
СПЕКТРАЛЬНО-ВРЕМЕННЫЕ ОБРАЗЫ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ОСНОВЕ ЭМПИРИЧЕСКИХ ДАННЫХ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ Заалишвили В.Б., Мельков Д.А
ПРОЕКТ МНОГОКОМПОНЕНТНОГО ГРАВИИНЕРЦИАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА <i>Таймазов Д.Г</i>
ПРИМЕНЕНИЕ ПАКЕТА ПРОГРАММ Win ABD ДЛЯ ОБРАБОТКИ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ ГОРНЫХ ПОРОД В ЗОНЕ ОБХОДНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ПЛОТИНЫ ЧИРКЕЙСКОЙ ГЭС Дещеревский ¹ А.В., Идармачев ² Ш.Г
СЕЙСМИЧНОСТЬ ЦЕНТРАЛЬНОГО ДАГЕСТАНА В 2016 г. Асманов О.А., Адилов З.А
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УРОКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КИЗИЛ-ДЕРЕ Мацапулин В.У., Тулышева Е.В., Исаков С.И., Абдулганиева Т.И
МЕТОДЫ ИНЖЕНЕРНО-СЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ЦЕЛОСТНОСТИ КОНСТРУКЦИИ СООРУЖЕНИЙ Громыко ¹ П.В., Селезнев ¹ В.С., Лисейкин ¹ А.В., Бах ² А.А., Красников ² А.А
МОНИТОРИНГ СОСТАВА ПРИРОДНЫХ ГАЗОВ В СВЯЗИ С СЕЙСМИЧЕСКИМИ СОБЫТИЯМИ НА ВОСТОЧНОМ КАВКАЗЕ И НА СОПРЕДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ <i>Caudob O.A</i> 65
МЕТОДИКА НЕПРЕРЫВНОГО КОНТРОЛЯ ЗА ЦЕЛОСТНОСТЬЮ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ ДИАФРАГМЫ ГРАВИТАЦИОННОЙ ПЛОТИНЫ Идармачев Ш.Г
ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛОТИНЫ Музаев ^{1.2} И.Д., Харебов ¹ К.С., Музаев ¹ Н.И
МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЭПИЦЕНТРАЛЬНЫХ ЗОН КОРОВЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ Морозов В.Н., Маневич А.И., Татаринов В.Н
ВАРИАЦИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В РАЙОНЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПУНКТОВ ИЗБЕРБАШ И ЧИРКЕЙ ЗА 2012 – 2016 гг. Алиев И.А., Мусаев М.А

УДК 552.5

ОПАСНЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В РАЙОНЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ТУПОЛАНГСКОЙ ПЛОТИНЫ И ГЭС (юго-западный Гиссар, Узбекистан)

Гончар А.Д., Садыкова Л.Р.

Институт геологии и геофизики им. Х.М. Абдуллаева Госкомгеологии Республики Узбекистан

Выявлены основные типы опасных геологических процессов в районе возводимого на р. Туполанг гидросооружения и определена степень их влияния на сооружение. Показана необходимость срочного проведения геофизических и гидрологических исследований для определения масштабов этих процессов и разработки мер по их локализации и ликвидации для безопасной эксплуатации гидросооружения.

Ключевые слова: опасные геологические процессы, плотина, сейсмичность, тектонические нарушения.

IN THE PROCESS OF CONSTRUCTION OF HYDROELECTRIC POWER PLANT AND RAFT TOPOLANSKY GEOLOGICAL HAZARDOUS AREAS (SOUTH-WEST GISSAR UZBEKISTAN)

Gonchar A.D., Sadykova L.R.

Institute of Geology and Geophysics of Kh.M. Abdullaev The State Geological Committee of the Republic of Uzbekistan

Identified the main types of hazardous geological processes in the area being built on the river Tupolang structures and the degree of their influence on the structure. Shows the need for urgent implementation of geophysical and hydrological studies to determine the extent of these processes and development of measures on localization and liquidation for the safe operation of hydraulic structures.

Keywords: hazardous geological processes, the dam, seismicity, tectonic-destruction.

Гиссарский хребет самый высокий среди гор Узбекистана. Расположен на юге Республики в Сурхандарьинском вилояте. В верховьях реки Туполангдарья находится самая высокая точка Республики – пик Узбекистан, высотой в 4688 м над уровнем моря. Склоны гор очень крутые, скалистые, покрыты снежниками и ледниками. Для Гиссарского хребта характерна высокая расчлененность южных склонов. Центральная часть хр.Хазрати-Султана (верховья р.Тупалангдарья) имеет несколько вершин, превосходящих отметку 4000 м. Широко развито оврагообразование, что характерно для областей, испытывающих поднятие. В весенне-осенний период, сопровождаемый дождями, часты сели.

Район Гиссарского хребта является одним из наиболее сейсмоопасных в Узбекистане. По данным Д.Х. Атабаева [1], изучавшего глубинное строение земной коры Сурхандарьинского региона, по материалам метода обменных волн землетрясений и геоплотностному моделированию, отложения палеозоя в Сурхандарье погружены на глубины до 10км и более.

Горная река Туполанг (Туполангдарья - тадж. бурная) является одной из главных составляющих равнинную реку Сурхан (тадж. Красная) Это основная водная артерия Сурхандарьинской области. По информационным данным, длина р. Туполанга 112 км., площадь водосбора в горной части составляет 2200 км², средний модуль стока горной части составляет 52 м³/сек. Русло реки каменистое - с заметным наклоном, отчего создается местами бурное течение воды. Количество стока воды Туполанга связано со многими факторами: абсолютными высотами ее бассейна, степенью оледенения и площадью снеговых полей на водоразделе, соотношением осадков и испарения. Формирование водостока происходит в результате таяния сезонных снегов и ледников, слияния с водой многочисленных притоков, а также в результате дождевых осадков.

Возрастающие проблемы с водо- и энергоснабжением населения и промышленности в Сурхандарьинской области Узбекистана, создали предпосылки для сооружения в бассейне реки Туполанг гидросооружения и ГЭС. Основными факторами безопасности создания плотины

считается выбор строительства в наиболее устойчивых в геологическом отношении горных породах. При определении структуры бортов будущего возводимого сооружения, проектировщики, на наш взгляд, совершили несколько крупных ошибок. Так, они посчитали, что здесь развит грабен, в полого опущенной части которого развита пачка гипсов с мощностью до 20-40м. Восходящие термальные воды могут, по их мнению, привести к процессам карстообразования, что создаст реальную угрозу для сооружения и его просадку. Для оценки степени опасности развития этих процессов, руководство строительства плотины, на завершающем, по существу, этапе возведения плотины, обратилось к Институту геологии и геофизики АН РУз в 2014г.с просьбой провести комплексные исследования района гидросооружения.*

Вмещающими породами в районе плотины являются верхнемеловые глинистокарбонатные толщи морского генезиса [4,6]. Развиты они в структурном отношении на крыле крупного антиклинория, имеют довольно пологие залегания. Обнажение пород в бортах реки позволяет определить их залегание в левом борту= 50-55⁰ в правом до 30-35⁰. Это не подтверждает наличие грабена и, соответственно, полого залегающих отложений в подошве. Как следует из проведенных нами тематических работ (2014-2015гг), с использованием материалов космофотосъемок, плотина оказалась поставленной, хоть и в самом узком месте русла реки, но в зоне сочетания нескольких крупных тектонических нарушений – двух вдоль береговых, крупного по руслу реки и одного субширотного (рис. 1).

*Авторы благодарны руководителю строительства Н-А. Фаттоеву за помощь в проведении работ



Рис.1. Панорама на Туполангскую плотину и часть водохранилища. Вид с высоты 7,59 км. Показаны основные линии разломов.

Это сказалось на нарушенности вмещающих плотину отложений. В проанализированном керне 5 скважин из основания плотины отмечено несколько разномасштабных зон нарушения толщ – от разобщенности керна на фрагменты до пастообразной массы (рис.2.). С повышением уровня водохранилища эти зоны стали путями фильтрации воды внутри тела насыпной плотины.



СКВ.5.Керн из зоны мелкого тектонического нарушения. Сохранены элементы текстуры.

Б



СКВ.2.Керн из зоны тектонического нарушения. Исходная порода –зеленоватый аргиллит- преобразован до пастообразного состояния.

Рис.2. Степень влияния тектонических нарушений на породы в керне скважин №5 (А) и №2 (Б)

Проведенным фациальным анализом установлено, что отложения верхнего мела в бассейне реки Туполанг сформировались в условиях морского бассейна с перепадом глубин. Литологически это выражено в разрезе тонкого и ритмичного переслаивания аргиллитов и глинистых известняков со слепками асимметричных знаков ряби. На отдельных уровнях разреза встречаются включения тонкостенных и разрозненных створок устриц [4],следы жизнедеятельности илоедов и обильные талломы водорослей. Гипс, возможно, поступал в бассейн седиментации с речными водами из расположенных западнее юрских осадочных толщ, где имеет широкое развитие. Можно полагать, что береговая линия бассейна имела субмеридиональное простирание, в последствие осложненное при структурообразовании. Однако устойчивому формированию отложений препятствовали частые шторма, перемывавшие гипс и переотлагавшие его в более удаленные участки бассейна, где он и захоронялся в виде морфологически различных комков, не превышающих 5-10см. (рис.3.) .Источник информации о наличии под основанием плотины мощной пачки гипсов нами так и не был обнаружен, являясь мифом проектировщиков, пугавших самих себя и строителей на «всякий случай».



Рис.3. Комковатые включения гипса в глинистом известняке. Керн скв. 5. Максимальное по мощности в изученных скважинах (до 0.25 м.).

О влиянии волнового воздействия на придонное осадконакопление указывает широкое развитие комковой текстуры в керне из скважин этого района. На темноцветных отложениях мела залегают красноцветные переслаивающиеся песчаники и аргиллиты бухарского яруса палеогена.

Современный структурный облик южных склонов отрогов Гиссара сложился под влиянием крупной региональной фазы тектогенеза, прошедшей в начале неогена. Под ее влиянием и обнажились, с выходом на дневную поверхность, толщи мезозоя. При формировании современной структуры в отложениях мезозоя отмечено проявление всех видов и масштабов тектонических нарушений - от разломов, надвигов, блоков до складок. Но во многих обнажениях мелового разреза, особенно в пачках с присутствием глинистых известняков, содержащих включения комков гипса, наблюдаются внутрипластовые изгибы слоев (рис. 4), природа которых может быть связана с их гравитационным оползанием.



Рис.4.. Панорама левого борта реки Туполанг с признаками гравитационного оползания в отложениях верхнего мела.

Идея о гравитационном, склоновом происхождении некоторых сложных приповерхностных структурных ассоциаций впервые была высказана Ф.П.В. Джилет-Ламонтом ещё в 1799 г. В середине и конце XIX в. эту идею плодотворно разрабатывали К.А. Кюн, К. Науман, Г. Шардт, М. Люжон, М. Рид, Э. Рейер. Особо популярной она стала после опубликования современных работ Э. Хаармана, Р.В. ван Беммелена, Д. Шнееганса, М. Жинью, Л. Море, А.Д. Архангельского, Н.Б. Вассоевича, А.В. Волина, В.В. Белоусова, С.С. Шульца, Б.М. Келлера и многих других выдающихся исследователей, доказавших, что гравитационные склоновые дислокации не являются редкостью.

Они характерны как для геосинклинальных, подвижных, так и платформенных, устойчивых областей. М.М., Умеркулов и Е.И Цимбалистова [5] первыми рассмотрели некоторые предпосылки развития склоновых процессов в бассейне р. Туполанг.

Устойчивость склонов зависит от их кругизны, от структуры и физико-механических свойств, слагающих горных пород, а также от продолжительности времени, в течение которого склоны существуют. По данным В.А.Дедеева и П.К.Куликова [3], угол устойчивости склона для известняка = 32°, сланца = 26–29°. В глинах угол внутреннего трения близок к нулю. Устойчивость склона, сложенного скальными нетрещиноватыми породами, определяется критерием прочности Кулона—Моора, согласно которому предельным является угол 45°. Он соответствует направлению действия максимальных касательных напряжений в массивах пород, находящихся в объёмном (трёхосном) напряжённом состоянии. В трещиноватых породах этот угол меньше. Он изменяется от 45° до величины угла естественного откоса в несвязных горных породах в зависимости от степени трещиноватости и ориентировки трещин, согласных со склоном. На склонах, существующих продолжительное время, предельная крутизна значительно меньше указанных величин. В принципе, она стремится к нулю, так как при длительном воздействии нагрузок любой твёрдый материал ведёт себя подобно жидкости. Это обусловлено ползучестью горных пород, возникающей при релаксации упругих напряжений, т. е. вследствие самопроизвольной разрядки упругих напряжений и перехода упругой деформации в остаточную.

Потеря устойчивости влечёт за собой разрушение склона. Причиной разрушения является тяжесть избыточных масс, располагающихся выше поверхности критической крутизны. Под воздействием собственной тяжести эти избыточные массы приходят в движение, направленное вниз по склону. Так как избыточные массы горных пород силами вязкого трения связаны с материнским массивом, то движение захватывает не только сами избыточные, но и непосредственно подстилающие их породы. Глубина захвата зависит как от длины склона, так и от наличия внутри материнского массива малопрочных пластичных пород или зон, ослабленных трещиноватостью и разрывными нарушениями. В благоприятных условиях глубина захвата может достигать нескольких сотен метров.

В изученном разрезе верхнего мела в левом борту реки Туполанг, отложения залегают, при падении к северо-западу, под углом до 50-55⁰. Под длительным влиянием атмосферного воздействия, включения гипса в карбонатах подвергались вымыванию, что приводило к потери сплошности пластов и формированию в них многочисленных открытых полостей. В итоге – пласт расчленялся на отдельные крупные блоки, приобретая своеобразное чешуйчатое строение (фото 5).

Повсеместно залегая на аргиллитах, блоки карбонатов под влиянием собственного веса начинали двигаться в низ, в итоге формировался крутой склон с нивелированной кровлей подстилающих. Лишь местами, в низах выходов сохранились небольшие останцы сползшего слоя. В процессе сползания гипсосодержащих отложений под их тяжестью происходила не только нивелировка кровли подстилающих отложений, но и срезание части крупных сидеритовых конкреций-септарий, содержащихся в них. Возможно, что ускорителем процесса оползания пластов могла служить и повышенная сейсмичность региона.



Рис.5. Блоковое строение пластов глинистых известняков позднего мела в бассейне р.Туполанг.

Установленный тип проявления тектоники является новым для региона и может служить показателем устойчивости крутых горных склонов при оценке горно-инженерных обстановок [2]. Следует отметить, что в недалеком геологическом прошлом, при формировании современной структуры изучаемого района, избыточная обломочная масса на склонах неоднократно сползала (обваливалась ?) и запруживала русло реки. Размер некоторых глыб превышает 5х5м. Распределение их беспорядочное, вмещающая масса песчано-глинистая. Наибольший интерес при генетическом анализе четвертичных отложений в бассейне реки Туполанг вызывают две оползневые естественные плотины, наблюдаемые в районе села Оби-Наргиз. Их высота составляет не менее двухсот метров, сложены они в основании глыбовым горизонтом. Это пласт, мощностью до 10-25м, состоит из разнообразных по составу глыб, размер которых местами достигает 5-6м. Выше развиты прослои и пачки крупногалечных гравелитов, сменяемых палевыми суглинками. Отстоят плотины (завалы) друг от друга на несколько сот метров и имеют схожее внутреннее строение и внешний облик. В плане имеют треугольную форму. Склоны довольно покатые, гребень четкий и пологий с наклоном к правому борту (фото 6), т.е. оползни формировались на левом крутом берегу реки.



Рис.6. Тела двух оползневых завалов в районе села Оби-наргиз.

Определить очередность формирования завалов пока не представляется возможным, что не исключает их одновременности. В современном рельефе сохранился контакт завалов в левом борту реки, с толщами верхнего мела, осложненный вертикальным тектоническим нарушением.



Рис.7. Космоснимок с высоты 2.69 км. двух завалов в русле р.Туполанг, проявлены изгибами его русла

Прорыв завалов произошел вдоль правого берега реки, вызвав изгиб ее русла. Причиной завалов можно полагать скопление на склонах обломочного материала, под влиянием собственного веса и сейсмики, сползшего вниз и перекрывшего русло реки. В возникших замкнутых водоемах в результате осаждения глинистой фракции и сформировались суглинки.

В настоящее время суглинки разрабатываются при строительстве различных объектов, при этом работами в них были вскрыт скелет человека и кости мелких животных, к сожалению не изученные специалистами. Помимо этого, в суглинках часты обломки керамики, по мнению археологов Института истории АН РУз, датируемые 4-5 веками н.э. Строение разреза и находки в суглинках костных останков и древней керамики позволяет предполагать о кратковременном развитии в бассейне реки Туполанг озерного бассейна около полутора тысяч лет назад, память о котором не сохранилась у потомков.. При использовании его воды, в условиях крутых склонов, в него могли попадать и гибнуть люди и животные.

При планировании проведения сооружений в бассейне Туполанга и аналогичных горных рек района следует учитывать неустойчивость обломочного материала на крутых склонах в районе с повышенной сейсмичностью, где в прошлом уже происходили гигантские оползни.

Изучение физических свойств образцов основных литологических разновидностей пород верхнемелового разреза вмещающих плотину пород (аргиллиты, глинистые известняки с редкими прослоями алевролитов), в специализированных лабораториях ИГИРНИГМа, показало следующее. Открытая пористость отложений колеблется в широких пределах от 0.15% до 15,76%, полная пористость составляет от 0.63% до 15.86%. Объемная плотность пород от 2.40-2.91 г/см³.

По мере наращивания высоты плотины и заполнения водохранилища, проявились явные признаки фильтрации воды в штольнях сооружения, что считается опасным геологическим процессом, требующим серьезного изучения и предотвращения их развития. Рассмотрим установленные проявления фильтрации воды в подземных проявлениях и наземные ее признаки.

1. Во всех штольнях в обоих бортах гидросооружения фильтрация воды проявляется в следующих видах:

- пятна влаги на бетонных стенах и потолках штолен;

- пятна ржавчины на бетонных стенах, свидетельствующие о нарушении арматуры;

- в бетонных стенах в зонах тонких трещин в бетоне или отверстий мелких скважин, при незначительном поступлении воды, возникают тонкие пузырчатые пленочки, выполненные кальцитом в жидкой консистенции. При прекращении поступления воды пленки подсыхают;

- возникновение на потолке вокруг прутьев арматуры сталагмитов кальцита, иногда длиной до полуметра (рис. 8.). Капеж по сталагмитам показывает продолжение их роста;



Рис.8. Натеки кальцита на потолке штольни и сталактиты

- под сталагмитами идет в лунках бетонного пола начало образования сталактитов. В них отмечено формирование экзотического «пещерного жемчуга». Это округлые образования кальцита с размером от 0.2мм до 0.5см, реже до 1см, среди которых по размеру различают пизолиты и оолиты (рис.9).



Рис.9. Пещерный жемчуг из штолен гидросооружения (крупные - пизолиты, мелкие -оолиты).

Поверхность жемчужин гладкая, ровная, белого цвета. Их генезис связан с колебательной энергией падающей с потолка воды, насыщенной карбонатом кальция. Формируются вокруг каких либо песчинок в виде нарастающих слоев.

«Пещерный жемчуг» известен также в Крыму, Карпатах, на Урале и в ряде других карстовых районов. Ранее для Узбекистана был отмечен в одной из карстовых пещер Гиссарского региона

Выше перечисленные признаки фильтрации воды в теле плотины имеют незначительные масштабы проявления, хотя отмечены повсеместно. Более опасным, на наш взгляд, является широко развитый капеж с потолка штолен, местами переходящий в разномасштабные потоки.

Под их влиянием участками идет разрушение потолка штолен с отваливанием мелких кусков бетона. Вероятно, это связано и с употреблением при укреплении штолен низких сортов цемента (типа цемента-100), слабо предохраняющего от агрессивного влияния воды.

2. Рост водохранилища и плотины стимулировал ниже них оживление высохших родников и появление многочисленных новых проявлений воды. При обследовании в бассейне близ лежащего сая Обичинаргаз, расположенного в левом борту реки Туполанга и недалеко от плотины, наблюдается до десятка разномасштабных проявлений фильтрации воды. Среди них можно выделить разномасштабные слабо увлажненные пятна (мочажины) в выходах глинистых известняков, некоторые по мере высыхания покрыты белыми соляными корочками. В зонах трещиноватости известняков вода либо сочится в виде слабых струек, либо образует разные по мощности родниковые излияния. Отмечено возрождение некоторых родников, окруженных старой кладкой. Увеличение притока воды сказалось и на появлении небольших водопадов, что не наблюдалось ранее в период проведения работ 2014-2015 гг. Фильтрация воды отмечена и в здании ГЭС, поставленном над закрытым руслом реки, что вызвало сооружение вокруг него дренирующих канав.

Выводы. Выявлены основные типы опасных геологических процессов в районе возводимого на р.Туполанг гидросооружения и определена степень их влияния на сооружение. Заполнение Туполангского водохранилища до запланированных отметок и наращивание плотины, вызвали проявление фильтрационных процессов, как в теле гидросооружения, так и в прилегающих районах ниже плотины. Необходимо срочное проведение геофизических и гидрологических исследований для определения масштабов этих процессов и разработки мер по их локализации и ликвидации для безопасной эксплуатации гидросооружения.

Литература

- 1. Атабаев Д.Х. Глубинное строение сурхандарьинской депрессии и его отражение в рельефе. Автореферат дис.работы на соискание уч. степени канд. ф.-м.наук. Ташкент, 2013.- 25 с.
- 2. Гончар А.Д., Хусанов С.Т.Проявление нового вида тектоники в мезозое юго-западных отрогов Гиссарского хребта //Тезисы Межд. науч.-тех. конф «Интеграция науки и практики как механизм эффективного развития геологической отрасли республики Узбекистан», Ташкент.- С. 61-64.
- 3. Дедеев В.А., Куликов. П.К. Происхождение структур земной коры. Гравитационные оползания и соскальзывания. Интернет.
- 4. Миркамалов Х.Х. Стратиграфия и фауна меловых отложений юго-западных отрогов Гиссарского хребта. Ташкент, «ФАН», 1986, 104 с.
- 5. Умеркулов М.М., Цимбалистова Е.И. Геологические предпосылки развития склоновых процессов в Гиссарском хребте (на примере бассейна р.Туполанг) //Вопросы инженерной геодинамики (САИГИМС). Вып.1 Ташкент, 1975.- С. 25-31.
- 6. Эгамбердыев М.Э., Шаймуратов Т.Х., Норматова Г.Б. Основные типы разрезов мела Сурхандарьинской впадины и прилегающих районов и их корреляция Узб.геол.ж., 1994, № 3.- С. 52-58.

УДК 552.5

ТЕХНОЛОГИЯ МОНИТОРИНГА ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В РАЙОНАХ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ (ГЭС)

Нигматов Г.М., Магомедов Х.Д. ФБГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ) МЧС России Единая геофизическая служба РАН

Гидроэлектростанции, главной частью которых являются плотины, встроенные в грунтовый массив, удерживают огромное количество воды. Водохранилища ГЭС создают сосредоточенные нагрузки на литосферу, изменяют гидрогеологические условия в окрестности тела плотины и водохранилища. В зонах изменения гидрогеологических условий от воздействия ГЭС возрастает вероятность возникновения геологических опасностей. Для своевременной оценки геологических опасностей и рисков на прилегающих к ГЭС территориях необходимы эффективные методы комплексного мониторинга систем «плотина-грунт». В данной статье приводится опыт работы авторов в этом направлении.

Ключевые слова: уязвимость, динамико-геофизический метод, сейсмческий риск, литосфера, система «грунт-сооружение».

Hydroelectric power stations main parts of which are the dams built in the soil massif hold a huge amount of water. Reservoirsofhydroelectricpower station create the concentrated loads on a lithosphere, change hydrogeological conditions in the vicinity of a body of a dam and reservoir. The probability of emergence of geological dangers increases in zones of hydrogeological conditions change from the influence of hydroelectric power station. Effective methods of complex monitoring of "dam soil" systems are necessary for a timely assessment of geological dangers and risks in territories, adjacent to hydroelectric power station. The experience of authors in this direction is given in the article.

Key words: vulnerability, dynamic-geophysical method, seismic risk, lithosphere, "soil - construction" system.

Изменение гидрогеологических и деформационных условий в районе тела плотины, происходит из-за просачивания воды в грунт и тело плотины. Под действиемпостоянно изменяемого давления воды при разных режимах работы ГЭС и вибрации вероятность возникновения катастрофических геологических процессови повреждения тела плотины возрастает. В зонах крупных ГЭС могут возникать геологические опасности, связанные с наведенными и природными землетрясениями, оползнями, провалами, суффозиями и другими опасными геологическими процессами, приводящими к предельным деформациям и угрозе повреждения тела плотины. Примерами таких катастрофических явлений могут быть: авария на Саяно-Шушенской ГЭС, сходы оползней в береговой части водохранилища в районе г. Ульяновска, катастрофическое землетрясение в Китае в провинции Сычуань (считается, что оно было вызвано давлением водохранилища ГЭС на литосферу).

Повреждение тела плотины может привести к образованию прорана и катастрофическому затоплению территории с повреждением зданий и сооружений воздействием волны прорыва. Поэтому системы мониторинга должны контролировать не только грунтовый массив, но и тело плотины. Необходим комплексный мониторинг с одновременной оценкой, как опасностей, так и уязвимости. На рис. 1 представлена блок-схема такого комплексного мониторинга, результатами которого должны быть мероприятия по предупреждению ЧС.

ФБГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ) МЧС России имеет большой опыт применения технологии комплексного мониторинга для оценки сейсмической и геологической опасностей, оценки уязвимости плотин, сооружений, зданий [1]. На рис. 2 показана схема геодинамического полигона для оценки геологической и сейсмической активности территории в районе Кавказских минеральных вод. Подобная система комплексных геодинамических измерений с применением высокоточных спутниковых геодезических приемников в сочетании с другими динамикогеофизическими приборами может быть установлена в районе ГЭС, при этом площадь охвата системой мониторинга может составлять 3600 км².



Рис. 1. Блок-схема комплексного мониторинга системы «грунт-сооружение».



Рис.2. Пример применения высокоточных геодезических спутниковых приемников для мониторинга геологических опасностей в районе Кавминвод.



Рис. 3. Мобильный пункт сбора динамико-геофизических данных с датчиков, расположенных на склоне р. Волга.

С помощьюдинамико-геофизического метода определяется интегральная жесткость и устойчивость системы «грунт-сооружение». Метод основан на оценке интегральной жесткости

системы «грунт-сооружение» по его собственным колебаниям, параметрам сигналов и микросейсмическим шумам. Период собственных колебаний конструктивной системы «грунтсооружение» прямо пропорционален его массе и обратно пропорционален его жесткости:

$$T_{1x} = k \times \sqrt{\frac{m}{EJ}},$$

где: m- приведенная масса системы, кг/м; EJ- жесткость системы, как произведение модуля упругости на момент инерции, $H \times m^2$; k –коэффициент, учитывающий конструктивную схему системы «грунт-сооружение».

В процессе динамико-геофизических измерений в береговой зоне на р. Волга были получены периоды собственных колебаний и ускорения в пространственной системе координат X, У, Z. Результаты измерений представлены ниже:



Рис.4.Спектр колебаний системы «грунт-сооружение» по оси X в диапазоне частот 0-400 Гц.



Рис.5.Спектр колебаний системы «грунт-сооружение» по оси У в диапазоне частот 0-400 Гц.



Рис.6.Спектр колебаний системы «грунт-сооружение» по оси Z в диапазоне частот 0-400 Гц.



Рис.7. Ускорения системы «грунт-сооружение» по оси Х видны срывы, связанные с перемещением поверхности склона.



поверхности склона.



Рис.9. Ускорения системы «грунт-сооружение» по оси Zвидны срывы, связанные с перемещением поверхности склона.

Полученные при динамико-геофизических испытаниях данные были сведены в таблицы, где:

T_x - период собственных колебаний по оси X;

Т_у -период собственных колебаний по оси У;

T_z - период собственных колебаний по оси Z;

А_х - ускорения по оси Х;

- Ау -ускорения по оси У;
- А_z ускорения по оси Z;

Таблица №1.

T 1	1		
Ланные линамико-геоо	ризических	испытании	злания
Autore Autore 1 000			<u>од</u> анны.

N⁰	Место измерений	T _x ,c	T _y , c	T _z , c	А _х , м/с ²	А _у , м/с ²	А _z , м/с ²
1	Грунтовый	1/ 1,1	1/ 1,1	1/ 1,1	0,22	0,18	0,15
	массив	1/ 134	1/ 127	1/ 128	0,12	0,1	0,15
		-	-	-	0,0045	0,005	0,007

Для оценки возможных геологических опасностей выполнялся комплексный анализ динамических параметров грунтового массива. Видно, что данные первой строки таблицы сдвинуты в низкочастотную область и имеют равное значение по частоте по всем осям при этом видно увеличение амплитуд колебаний.

В процессе наблюдений были установлены закономерные связи геологических процессов с изменением уровня воды в водохранилище, атмосферным давлением и вибрационным воздействием от прохождения тяжелых грузовых поездов.





Рис.10. Связь между изменением уровня воды в водохранилище, атмосферным давлением и сходом оползней (стрелки сверху рис.). Такая же связь между атмосферными и геодинамическими процессами наблюдается при землетрясениях(см. рис.11 и 12).



Рис.11. Связь между атмосферными процессами и землетрясениями в Непале в 2015 г.



Рис.12.Связь между колебаниями земной коры (средний график), атмосферным давлением и изменением уровня воды в скважина.

Установлена связь между молниевой и сейсмической активностью.

На рис.13 приведен прогноз сейсмической активности территории Прикаспия, выполненный Г.М. Нигметовым на основе анализа портрета космических снимков, более подробно связь между различными проявлениями предвестниковых полей и сейсмической активностью изложены в статье [2].

Данный прогноз можно использовать для выбора возможных очагов землетрясений. На рис. 14 приведен пример расчета возможных последствий с применением геоинформационной системы для прогнозируемого возможного очага землетрясений. Динамико-геофизический метод применяется специалистами ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ) для оценки уязвимости и сейсмостойкости сооружений, включая плотины.

Состав аппаратуры, применяемый в динамико-геофизическом методе, приводится на рис.15.

Для прозвучивания тела плотины и оценки несущей способности грунтов могут применяться сейсмоимпульсныемашины, представленные на рис.16.



ПРОГНОЗ ЗОН ПОВЫШЕННОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН И ПРИГРАНИЧНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ НА 2008-20017 г.г.

Рис. 13. Прогноз зон повышенной сейсмической активности.

При возможном прорыве плотины могут пострадать здания и сооружения, находящиеся в зонах затопления или сейсмического воздействия их надо проверять на устойчивость и сейсмостойкость.

Зная опасности и уязвимость сооружений можно оценить риски. На рис. 17 показаны результаты работ по оценке рисков для территории Краснодарского края.



Рис. 14. Макросейсмическое поле, полученное с помощью ГИС, для оценки возможных последствий землетрясения.



Рис. 15. Состав аппаратуры для динамико-геофизического метода мониторнга системы «грунт-сооружение».



Рис. 16. Применение сейсмоимпульсной машины для волновогокаротажа системы «грунт-сооружение».



Построение карты индивидуального сейсмического риска Краснодарского края

и сооружений для мобильного обследования Рис. 17. Карта индивидуального сейсмического риска для территории Краснодарского края.

Таким образом, с помощью динамико-геофизического метода можно оценить:

- 1.Вероятность возникновения геологических опасностей;
- 2. Уязвимость плотины, зданий и сооружений в возможной зоне затопления;
- 3. Оценить возможные риски для населения;
- 4. Разработать превентивные мероприятия по снижению рисков.

УДК 550.34

СПЕКТРАЛЬНО-ВРЕМЕННЫЕ ОБРАЗЫ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ОСНОВЕ ЭМПИРИЧЕСКИХ ДАННЫХ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Заалишвили В.Б., Мельков Д.А.

Геофизический институт - филиал Федерального научного центра «Владикавказский научный центр Российской академии наук»

Для моделирования сейсмических воздействий используется стохастический метод, основанный на эмпирических данных о зависимости преобладающего периода, максимального ускорения и продолжительности колебаний от эпицентрального расстояния до предполагаемого сейсмического источника, его магнитуды и глубины очага. На основе спектрально-временного анализа (вейвлет-анализа) построена трехмерная огибающая сейсмического процесса.

Ключевые слова: ускорение, спектр, частотно-временной анализ, вейвлет-анализ продолжительность, фаза

SPECTRAL-TEMPORAL PATTERNS OF SEISMIC IMPACTS ON THE BASIS OF STRONG MOTION EMPIRICAL DATA

Zaalishvili V.B., Melkov D.A.

Geophysical Institute of Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences

Stochastic modeling is used for seismic loadings modeling based on empirical data on variation of dominant period, maximum acceleration and duration with distance to possible earthquake source, its magnitude and depth. Using spectral-temporal analysis (wavelet analysis) 3D time-frequency envelope function for seismic loadings modelling is designed.

Keywords: acceleration, spectctrum, time-frequency, wavelet, duration, phase

Проблема адекватной оценки сейсмической опасности представляет важнейшую задачу инженерной сейсмологии. Актуальность проблемы стремительно растет с неуклонным развитием урбанизированных территорий. Известно, что на Кавказе наибольший риск, т.е. экономические и социальные потери связан с сейсмическими событиями. Достаточно вспомнить Дагестанское (Дагестан, 1970), Черногорское (Чечня, 1976), Спитакское (Армения, 1988) и Рачинское (Грузия, 1991), Барисахо (1992), Бакинское 2000), Тбилисское (2002), а также недавнее землетрясение в Чечне (2008).

Методы, основанные на стандартных спектрах реакции нашли широкое применение благодаря возможности моделирования акселерограмм для заданных параметров сейсмического воздействия на основе стохастических моделей. Основы метода разработаны К.С. Завриевым, А.Г. Назаровым [Завриев и др., 1969], И.Л. Корчинским [Корчинский и др., 1961], Я.М. Айзенбергом [Айзенберг, 1976]. Эмпирические соотношения между основными параметрами сейсмограммы и землетрясения получены Ф.Ф. Аптикаевым [1981] и др. Существуют три основных независимых параметра, описывающих сейсмическое движение грунта: амплитуда, характеризующая интенсивность сигнала, продолжительность колебаний и преобладающий период спектра. Ещё одна важная для практики проектирования зданий и сооружений величина – логарифмическая ширина спектра S, которая является стабильной и имеет значение S = 0,60 ± 0,24 [Аптикаев, Эртелева, 2008]. На основе параметров ожидаемого сейсмического события: магнитуды, глубины очага, типа подвижки и эпицентрального расстояния рассчитываются указанные показатели, на основе которых вычисляются спектр реакции и огибающая.

Форма огибающей определяется только во временной области. В настоящее время представляется возможным построение модели основанной на детальном изучении спектральновременных параметров сейсмических записей на основе современных математических методов анализа (вейвлет-анализ, поляризационный анализ и т.д.).

Для анализа была выбрана база данных сильных движений Strong Motion Virtual Data Center (VDC) (http://www.strongmotioncenter.org). База данных содержит данные о механизме

очага, оценку кратчайшего расстояния к поверхности разрыва и др. данные. Поскольку изучение влияния грунтовых условий на данном этапе в задачу исследований не входило, были выбраны сейсмические станции, расположенные на коренных породах и плотных грунтах ('Hard Rock', 'Rock', 'Very dense soil and soft rock'), только трехкомпонентные записи, по которым известна точная ориентировка сейсмоприемников, что позволяет использовать для обработки поляризационный анализ. Данным условиям в базе данных VDC удовлетворяет 95 записей 26 землетрясений [Заалишвили и др., 2015].

Спектрально-временное разложение сигналов было выполнено с помощью вейвлетпреобразования, алгоритм которого был разработан на основе быстрого преобразования Фурье (БПФ) [Torrence, Compo, 1998].

Алгоритм расчета был реализован в программе MATLAB на основе функции ifft., что увеличило скорость расчетов более, чем в 10000 раз по сравнению с использованием непосредственно формулы. Следует отметить, что, в отличие, от стандартных функций коэффициенты вейвлет разложения в данном случае рассчитывалось с одинаковым шагом по времени соответствующему шагу дискретизации исходного сигнала, т.е. разложение изначально «избыточно», что необходимо для более удобного графического представления результатов (задача сжатия сигнала в данном случае не ставится).

Полученные спектрально-временные разложения сейсмических записей аппроксимировались огибающей, которая для каждой частоты имела стандартный вид (1), используемый в методе нормальных спектров [Аптикаев и др., 1979].

$$A(t) = \frac{A_{\max} 3(t - \delta)d}{9(t - \delta)^2 - 9(t - \delta)d + 4d^2}$$
(1)

Форма огибающей представлена на рис. 1. Отличие предложенного подхода заключается в аппроксимации каждой частотной составляющей и дополнительном параметре – сдвиге по времени δ . В результате каждый спектрально-временной образ акселерограммы A(t,f) представляется ансамблем огибающих, который может быть задан тремя спектральными кривыми A_{max}(f), d(f), δ (f).



Рис. 1. Пример огибающей

Поскольку вейвлет преобразование является полосовым фильтром с известной частотной характеристикой (вейвлет-функцией) можно восстановить исходный сигнал, используя обратную свертку, в случае ортогонального преобразования, но для непрерывного вейвлет преобразования это усложняется избыточностью во временном и частотном масштабе. Однако, избыточность дает возможность использовать для восстановления сигнала отличную функцию, простейшей из которых является дельта-функция [Farge, 1992]:

$$x_n = \frac{\delta j \sqrt{\Delta t}}{C_{\delta} \psi_0(0)} = \sum_{j=0}^J \frac{\operatorname{Re}(W_n(s_j))}{\sqrt{s_j}}$$
(2)

Множитель Cd является реконструкцией дельта-функции из ее вейвлет-преобразования, является постоянным для каждой базовой функции и для вейвлета Морле Cd = 0,776.

Для моделирования спектральной огибающей для заданных магнитуды М и кратчайшего расстояния до плоскости разрыва R была выполнена статистическая обработка инструментальных данных методом множественного регрессионного анализа. Зависимости искались в форме (3), для каждой частотной составляющей (коэффициенты являются функциями частоты). Результаты приведены в таблице 1 и рис. 2-4.

$$A = a_{1} M + a_{2} lg (R) + a_{3}$$

$$d = d_{1} M + d_{2} lg(R) + d_{3}$$

$$\delta = \delta_{1} M + \delta_{2} R + \delta_{3}$$
(3)

Алгоритм расчета синтетической акселерограммы будет состоять в следующем:

1) Вычисление спектральных кривых A(f), d(f), δ(f) по формулам (3) для заданных магнитуды M и кратчайшего расстояния до плоскости разрыва R.

2) Моделирование спектрально-временной огибающей A(f,t) по формуле (1). Использование сглаживания при необходимости.

3) Расчет синтетической акселерограммы путем обратного вейвлет-преобразования по формуле (2).

В качестве примера практического использования предложенного метода рассмотрен Владикавказский разлом с сейсмическим потенциалом М=7.1, представляющий опасность для территории г. Владикавказа – рис.5-6. Следует отметить, что зависимости получены в данной работе для выборки акселерограмм, большая часть которых получена на территории Северной Америки, поэтому соответствующие коэффициенты в дальнейшей работах будут уточняться. Также требуется уточнить зависимости для параметров a2 и d2.

Таблица	1
---------	---

с Г		-	-	з	лоэффиц л	леппов дл	s enempted	<u>و</u>	· · · · ·
<u>I, I Ц</u>	<u>a₁</u>	a ₂	a ₃	d ₁	\mathbf{d}_2	d ₃	0 1	02	<u> </u>
22,20	0,27	-0,41	-0,57	0,57	0,60	-3,82	-8,18	-0,17	53,52 20,62
20,41	0,09	-0,46	0,69	0,69	0,50	-4,54	-5,91	-0,13	39,03
18,72	0,08	-0,46	0,83	0,68	0,53	-4,40	-4,53	-0,10	31,00
17,10	0,08	-0,49	0,99	0,68	0,54	-4,45	-3,83	-0,08	26,26
15,74	0,08	-0,50	1,14	0,69	0,55	-4,58	-3,30	-0,06	23,02
14,45	0,08	-0,47	1,17	0,72	0,55	-4,72	-5,15	-0,03	21,50
15,25	0,11	-0,44	0,95	0,72	0,30	-4,70	-2,92	-0,04	20,05
12,14	0,18	-0,41	0,30	0,09	0,47	-4,44	-2,40	-0,05	10,50
11,15	0,20	-0,40	0,45	0,09	0,43	-4,43	-1,62	0,00	12,00
0.26	0,21	-0,39	0,41	0,08	0,45	-4,50	-1,15	0,02	/,58
9,50	0,29	-0,41	-0,01	0,54	0,48	-3,48	-0,15	0,05	0,81
0,30 7 97	0,28	-0,45	0,18	0,58	0,54	-5,82	-0,05	0,05	0,32
7,87	0,20	-0,50	0,50	0,04	0,09	-4,50	-0,42	0,01	3,81 4.01
1,22	0,29	-0,05	0,48	0,02	0,80	-4,30	-0,41	0,00	4,01
0,02 6.07	0,50	-0,39	0,38	0,59	0,70	-4,52	-0,29	0,05	2,77
0,07 5.56	0,29	-0,48	0,52	0,59	0,00	-4,05	-0,21	0,05	1,08
5,50 5,10	0,27	-0,40	0,35	0,58	0,47	-3,83	-0,05	0,00	0,41
5,10 1 69	0,28	-0,44	0,52	0,58	0,50	-5,84	-0,08	0,00	0,74
4,00	0,52	-0,48	0,15	0,00	0,54	-4,02	-0,20	0,03	1,47
4,29	0,41	-0,47	-0,41	0,37	0,30	-3,01	-0,05	0,04	2.06
5,95 2,61	0,51	-0,40	-1,09	0,40	0,41	-5,05	0,50	0,05	-2,00
5,01 2,21	0,58	-0,40	-1,47	0,40	0,30	-2,45	1.09	0,07	-3,24
2,02	0,00	-0,55	-1,49	0,37	0,55	-2,29	1,00	0,08	-7,15
5,05 2,78	0,03	-0,70	-1,39	0,35	0,58	-2,24	1,51	0,10	-9,03
2,78	0,05	-0,91	-1,20	0,35	0,50	-2,44	1,02	0,00	-0,01
2,55	0,09	-1,01	-1,57	0,31	0,08	-2,35	1,11	0,04	-0,75
2,54 2.15	0,70	-0,98	-1,45	0,30	0,00	-2,07	1,04	0,04	-10.27
2,13	0,08	-0,81	-1,00	0,27	0,04	-2,05	1,73 2.07	0,04	12 20
1,97	0,86	-0,78	-2,07	0,21	0,00	-1,50	2,07	0,03	-12,29
1,00	0,80	-0,02	-3.25	0,17	0.48	-1,31	2,25	0,03	-14 33
1,03	0,85	-0,40	-3.46	0.24	0,40	-1,35	2,34	0,04	-14,55
1,32	0,89	-0,34	-3 71	0,24	0,37	-0.96	2,45	0,03	-15,01
1,39	0,09	-0.47	-3 71	0,12	0.47	-0.65	3.06	0.04	-19 10
1,20	0,90	-0.55	-3 53	0.09	0,17	-0.69	3 14	0.04	-19 53
1,17	0.88	-0.61	-3 34	0.12	0,60	-0.88	2.89	0.04	-18.02
0.98	0.87	-0.68	-3.14	0,12	0,65	-1.08	3.07	0.02	-18 48
0.90	0.90	-0.70	-3.32	0.09	0.61	-0.64	5.98	-0.08	-36.10
0.83	0.91	-0.70	-3.39	0.08	0.56	-0.52	4.77	-0.05	-29.10
0.76	0.89	-0.70	-3.25	0.14	0.53	-0.80	2.10	0.02	-12.96
0.70	0.86	-0.72	-3.08	0.20	0.52	-1.12	0.57	0.02	-3.53
0.64	0.85	-0.70	-3.13	0.23	0.47	-1.26	0.63	0.04	-4.88
0.58	0.88	-0.68	-3.38	0.24	0.46	-1.31	1.33	0.05	-9.84
0.54	0.91	-0.72	-3.60	0.26	0.51	-1.45	1.21	0.02	-8.69
0,49	0,87	-0,69	-3,54	0,29	0,56	-1,61	58,09	-2,16	-350,44



Рис. 2. Коэффициенты регрессии для максимальной амплитуда огибающей



Рис. 3. Коэффициенты регрессии для продолжительности



Рис. 4.



Рис. 5. Спектрально-временная огибающая синтетической акселерограммы для Владикавказского разлома (M=7.1, R=10 км)



Рис. 6. Синтезированная акселерограмма для Владикавказского разлома, рассчитанная по спектральновременной огибающей

Выводы

1. На основе быстрого преобразования Фурье (БПФ) реализован алгоритм быстрого дискретного вейвлет преобразования (ДВП) и создана база данных спектрально-временных образов записей сильных движений.

2. Сейсмическое воздействие может быть аппроксимировано семейством огибающих функций, таким образом, что для каждой частоты задается определённая продолжительность, амплитуда и сдвиг по времени.

3. Предложена формула генерирования сейсмического сигнала на основе обратного вейвлет-преобразования с учетом фазовых характеристик сигнала для различных частот.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ МК-454.2014.5 «Исследование записей сильных землетрясений методами поляризационного и вейвлет-анализа и разработка современной спектрально-временной модели сейсмического воздействия».

Литература

- 1. Айзенберг Я.М. Сооружения с выключающимися связями для сейсмических районов. М.: Стройиздат, 1976. - 229 с.
- 2. Аптикаев Ф.Ф. Параметризация записей сейсмических колебаний //Вопросы инженерной сейсмологии, вып. 21. 1981. С. 3–8.
- 3. Аптикаев Ф.Ф., Эртелева О.О. Параметры спектров реакции //Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. №5, 2008. С. 23–25.
- 4. Гусев А.А., Шумилина Л.С., Акатова К.Н. Об оценке сейсмической опасности для города Петропавловска-Камчатского на основе набора сценарных землетрясений //Вестник отделения наук о Земле РАН. №1(23), 2005.
- 5. Заалишвили В.Б. Сейсмическое микрорайонирование территорий городов, населенных пунктов и больших строительных площадок. М.: Наука, 2009. 350 с.
- 6. Заалишвили В.Б., Мельков Д.А., Бурдзиева О.Г. Определение сейсмического воздействия на основе конкретной инженерно-сейсмологической ситуации района. Журнал «Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений» Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2010. № 1. С. 35-39.
- 7. Заалишвили В.Б., Харебов К.С., Мельков Д.А. Инструментально-расчетный метод оценки сейсмических свойств грунтов //Отдельные вопросы инженерной сейсмологии и сейсмостойкого строительства. Владикавказ, 2014. С. 73-84.
- Заалишвили В.Б., Мельков Д.А., Кануков А.С., Габараев А.Ф.База данных спектрально-временных разложений записей сильных движений //Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа Материалы IV Всероссийской научно-технической конференции. 2015. С. 149-155.
- 9. Завриев К.С., Назаров А.Г., Айзенберг Я.М. и др. Основы теории сейсмостойкости сооружений. М.: Стройиздат, 1969.
- 10. Корчинский И.Л., Поляков С.В., Быховский В.А. и др. Основы проектирования зданий в сейсмических районах. М.: Госстройиздат, 1961
- 11. Поляков С.В. Последствия сильных землетрясений. М., Стройиздат, 1978, 311с.
- 12. РБ-06-98 Определение исходных сейсмических колебаний грунта для проектных основ. М.: Федеральный надзор России по ядерной и радиационной безопасности (Госатомнадзор России), 2000.
- 13. Boore D.M. 1983 Stochastic simulation of high-frequency ground motion based on seismological models of the radiated spectra. Bull. Seism. Soc. Am., 73. 1983. Pp. 1865-1894.
- 14. Torrence C. and Compo G.P. A Practical Guide to Wavelet Analysis, , Bullentin of the American Meteorological Society, Vol. 79, No. 1, January 1998
- 15. Farge, M., 1992: Wavelet transforms and their applications to turbulence. Annu. Rev. Fluid Mech., 24, 395–457.
- 16. Beresnev I.A., Atkinson G.M. (1998). FINSIM a FORTRAN program for simulating stochastic acceleration time histories from finite faults. Seismological Research letters. Vol. 69. No. 1

УДК 528.27+550.831

ПРОЕКТ МНОГОКОМПОНЕНТНОГО ГРАВИИНЕРЦИАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

Таймазов Д.Г.^{1,2}

¹Единая геофизическая служба РАН, ²Институт геологии ДНЦ РАН

Описывается предлагаемый автором многокомпонентный гравиинерциальный комплекс (МГИК), включающий газожидкостный гравиметр, вертикальный гравитационный градиентометр, вариометр и двухкоординатный наклономер. Показана возможность эффективного использования МГИК как в динамической геофизике, так и в геологоразведке.

Ключевые слова: Газожидкостный гравиметр, струнный преобразователь, термокомпенсатор, вертикальный градиентометр, вариометр, двухкоординатный наклономер, сейсмоакселерометр, гравиинерциальный комплекс.

THE PROJECT OF A MULTICOMPONENT GRAVIINERTIAL COMPLEX

Taymazov D. G.

¹United geophysical service of RAS, ²Institute of Geology, Dagestan scientific center, RAS

The multicomponent gravity-inertial complex (MGIC) proposed by the author is described, which includes a gasliquid gravimeter, a vertical gravimetric gradient meter, a variometer and a two-coordinate tiltmeter. The possibility of effective use of the MGIC both in dynamic geophysics and in geological prospecting is shown.

Keywords: gas-liquid gravimeter, string converter, thermal compensator, vertical gradient meter, variometer, two-coordinate tiltmeter, seismic accelerometer, gravity-inertial complex.

Введение

В работе [1] мы обосновали целесообразностьпроведенияисследований неприливных изменений силы тяжести (НИСТ) на геодинамических полигонах, в частности на территории Дагестана, методом повторных площадных гравиметрических наблюдений с использованием предложенной нами методики разбивки сети.Для этого предлагается использовать серийно выпускаемые гравиметрыCG-5 Autograv фирмы Scintrex (Канада) [2,3]. Российских аналогов, сравнимых по классу точности с CG-5, не существует.

По предварительным оценкам, при достаточно большом числе гравиметровых связей – измерений относительных приращений силы тяжести между пунктами долговременной гравиметрической сети и опорным пунктом в каждой серии (эпохе) наблюдений, точность выявления НИСТ между эпохами может быть доведена до ~0,001-0,002 мГал, что существенно облегчит их интерпретацию в связис протекающими геодинамическими процессами. При этом основной причиной выбора такого трудоемкого подхода к исследованиям НИСТ является общий для всех пружинных гравиметров недостаток – дрейф нуль-пункта (для гравиметров CG-5 Autograv он составляет 0,02 мГал в день в стационарных условиях), причем скорость дрейфа неравномерна во времени, поскольку зависит от разных факторов – температуры, условий хранения и перевозки гравиметра и т.д.Другая причина – отсутствие серийно выпускаемых приборов для измерения вторых производных гравитационного потенциала - градиентометров и вариометров, которые существенно облегчили бы интерпретацию НИСТ. Решение этих проблем предусмотрено впроекте многокомпонентного гравиинерциального комплекса(МГИК), представленном в настоящей работе. Термин «гравиинерциальный комплекс» отражает то обстоятельство, что в него помимо приборов для измерения производных гравитационного потенциала, в качестве составного элемента вариометра входит также двухкоординатный наклономер, являющийся одновременно и трехкомпонентным сейсмоакселерометром. Эта функция важна также с точки зрения возможности регистрации микросейсм, влияющих, как известно, на измерения силы тяжести и вторых производных гравитационного потенциала. Ниже кратко описываютсяразработки, включенные в МГИК.

Таймазов Д.Г. ПРОЕКТ МНОГОКОМПОНЕНТНОГО ГРАВИИНЕРЦИАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

Газожидкостный гравиметр

Основными недостатками пружинных гравиметров являются нестабильность во времени упругих характеристик чувствительного элемента (пружины), приводящая к дрейфу нуля прибора, нелинейность зависимости упругих характеристик материала пружины (металла или кварца) от температуры, которая затрудняет термокомпенсацию в достаточно широком интервале температур, и зависимость показаний от наклонов корпуса прибора, повышающая требования к его юстировке и понижающая тем самым производительность съемочных работ. Эти недостатки ограничивают точность относительных измерений силы тяжести на уровне $\pm 0,01$ мГал в стационарных условиях, а наличие дрейфа нуля гравиметров препятствует определению неприливных изменений силы тяжести (НИСТ) точнее нескольких сотых долей миллигала.Заявленная в [1] точность в ~0,001-0,002 мГалможет быть достигнуто только путем увеличения числа гравиметровых связей до нескольких десятков в каждую эпоху (за счет увеличения числа как рейсов, так и используемых гравиметров) с одновременным использованием предложенной методики разбивки сети и обработки результатов.Предлагаемая нами альтернатива этому трудоемкому пути заключается в создании газожидкостных гравиметров (ГГ), в которых роль упругих элементов выполняет газ.

Основными причинами, по которым ГГ не получили широкого распространения, являются сильная температурная зависимость их показаний – более 1000 мГал / 0 С, обусловленная большим температурным коэффициентом объемного расширения газа (это более чем на порядок хуже, чем в пружинных гравиметрах), малая точность индикации уровней рабочей жидкости (как правило, ртути) и взаимодействие последней со стенками вмещающих резервуаров. К их достоинствам могут быть отнесены линейность зависимости упругих свойств газа от температуры, облегчающая его аналитический учёт или компенсацию в широком диапазоне температур, и, главное, постоянство во времени упругих характеристик газа. Но эти достоинства, очевидно, могут быть использованы только при устранении названных недостатков. В известной степени это достигнуто в предложенном нами вариантеГГ [4,5], в котором в качестве пробных масс используются ртутные столбы, уравновешенные давлением газа в замкнутых резерву-



арах. В нем достигнуто оптимальное сочетание их достоинств, использован более совершенный емкостный преобразователь перемещений [6,7], дополнительно введена системакомпенсации влияния теплового расширения рабочей жидкости и градиентов температуры в объеме гравиметра, а также предусмотрено надежное арретирование чувствительной системы.

На рис.1 показан вертикальный разрез предлагаемого гравиметра. В нем ртутный столб 1 занимает нижние части верхнего вакуумированного резервуара 2 и нижнего резервуара с газом 3, а также соединяющую их трубку 4. Индикация перемещений верхнего уровня ртутного столба, обусловленных изменениями силы тяжести, осуществляется емкостным преобразователем с изменяемой площадью перекрытия обкладок, статорные обкладки которого нанесены гальванически или наклеены в виде колец на внешнюю боковую поверхность непроводящего цилиндра 5, подвешенного к корпусу на гибкой тяге 6 и снабженно-

Рис.1. Вертикальный разрез гравиметра

го жидкостным демпфером, а роторные обкладки нанесены на коаксиальную ей внутреннюю боковую поверхность поплавка 7. Арретирование гравиметра осуществляется с помощью фиксаторов 8, прижимающих поплавок к стенкам резервуара 2 и одновременно фиксирующих цилиндр 5. Полупроницаемая перегородка 9 в резервуаре 3 препятствует попаданию ртути в его верхнюю часть. Система арретировки существенно смягчает требования к условиям транспортировки и хранения гравиметра. Питание емкостного преобразователя и вывод информации осуществляется через электровводы 10. Сильфон 13 накрыт предохранительным кожухом 14. Герметизированный зазор между сильфоном и кожухом заполнен тем же газом, что и резервуар 3, при том же давлении. Пространство между кожухом 14 и корпусом 15, как и весь остальной объем, вакуумировано.

Термокомпенсация в гравиметре происходит следующим образом.

При увеличении, например, температуры жидкость в резервуаре 11 расширяется и растягивает сильфон 12 и связанный сним сильфон 13, увеличивая тем самым объем резервуара 3. При уменьшении температуры – наоборот. Объемы резервуаров 3 и 11, диаметры сильфонов 12 и 13 и коэффициент объемного расширения жидкости подобраны так, чтобы изменение объема резервуара 3 при изменении температуры происходило по закону

$$V = V_0 \cdot \left(1 + \beta t\right),\tag{1}$$

где V – объем резервуара при температуре t, V_0 – объем резервуара при $t = 0^{\circ}$ C, β – температурный коэффициент объемного расширения газа, т.е. по закону изобарического расширения самого газа. Очевидно, что при этом давление газа в резервуаре 3 будет оставаться постоянным независимо от его начального значения.

Из условия термокомпенсации (1) следует соотношение

$$\beta \cdot V_0 = q \cdot \beta^T \cdot V^T, \qquad (2)$$

где q – отношение площадей оснований сильфонов 13 и 12, V^{T} – объем толуола, β^{T} – его коэффициент объемного расширения. При q, равном 5, и термических коэффициентах расширения жидкости и газа, равных соответственно ~0,001 (толуол) и ~0,0037, объем жидкости со-



Рис.2. Схема системы дополнительной термокомпенсации градиентометра

ставляет примерно 40% объема резервуара.

Второй по значимости источник ошибок – зависимость плотности ртути ρ от температуры t, приводящий к зависимости от последней и давления ртутного столба $P = \rho \cdot g \cdot H$. Здесь H – расстояние между поверхностями ртути в верхнем и нижнем резервуарах (высота столба ртути), g – ускорение силы тяжести. В первом приближении (без учета градиентов t) задача компенсации этой зависимости решается просто адекватным увеличением объема термокомпенсирующей жидкости (поскольку погрешности, вносимые температурным расширением газа и ртути, имеют одинаковый знак).

При наличии градиентов температуры задача компенсации заметно усложняется, но в рамках предлагаемого ниже подхода имеет ре-

шение, отвечающее заданным нами метрологическим требованиям. Оно заключается в разработке автономных систем термокомпенсации для каждого из трех фрагментов ртутного столба, находящихся соответственно в верхнем резервуаре 1, соединительной трубке 2, и нижнем резервуаре 3, схематически изображенных на рис.2. Введение автономных систем термокомпенсации, реагирующих на интегральные температуры этих фрагментов, избавляя от необходимости учета градиентов температуры, существенно упрощает саму термокомпенсацию, сводя ее к согласованию теплофизических параметров отдельных элементов термодинамической системы с их геометрическими размерами. Единственное конструктивное нововведение – заполненная дополнительным объемом толуола герметизированная трубка 4, установленная коаксиально трубке 2 и сообщающаяся с сильфоном 12 рис.1.

Как показал анализ, для обеспечения температурной стабильности гидростатической системы, изображенной на рис.2, должны выполняться следующие соотношения между ее параметрами:

$$V^{fl} = H_1 \cdot Q, \tag{3}$$

$$\frac{q \cdot \beta^T \cdot V_2^T}{\beta^{H_g} \cdot V_2^{H_g}} = \frac{V \cdot H_2}{V_2^{H_g} \cdot H} + \frac{V}{H \cdot S} + 1,$$
(4)

$$\frac{q \cdot \beta^T \cdot V_3^T}{\beta^{H_g} \cdot V_3^{H_g}} = \frac{V}{H \cdot S} + 1.$$
(5)

Здесь H_1 – высота столба ртути в резервуаре 1, H_2 , $V_2^{H_g}$ – высота столба и объем ртути в соединительной трубке 2, $V_3^{H_g}$ – объем ртути в резервуаре 3, β^{H_g} – коэффициент объемного расширения ртути, V_2^T – объем толуола, заключенного между коаксиальными трубками 2 и 4, V_3^T – объем толуола в резервуаре 7, S – площадь свободной поверхности ртути в резервуаре 3, равная таковой же в резервуаре 1. Как нетрудно убедиться, для обеспечения равенства (3) в случае цилиндрической формы поплавка к его погруженной части следует добавить дополнительный объем $\Delta V^{fl} = Q \cdot h$, так что $V^{fl} = Q \cdot (H_1 - h) + Q \cdot h = Q \cdot H_1$, в полном соответствии с (3). На рис.2 дополнительный объем показан в виде кольца 6.

Эти соотношения вместе с (2)составляют независимый набор легко выполнимых условий, необходимых и достаточных для обеспечения полной температурной стабильности предлагаемого газожидкостного гравиметра. Отсутствие перекрестного влияния и аддитивность этих условий обусловлена еще тем, что при наличии термостатирования на уровне $\pm 0,001$ °C (что предусмотрено и легко осуществимо) максимальные температурные погрешности, подлежащие компенсации, не превышают 10⁻⁶ от измеряемой величины – ускорения силы тяжести *g*.

Таким образом, в предлагаемом газожидкостном гравиметре, в отличие от пружинных, возможна прецизионная компенсация влияния наклонов оси чувствительности прибора, а также температуры и его градиентов в объеме прибора. Введение автономных систем термокомпенсации, реагирующих на интегральные температуры отдельных узлов, избавляя от необходимости учета градиентов температуры, существенно упрощает саму термокомпенсацию, сводя ее к согласованию теплофизических параметров отдельных элементов термодинамической системы с их геометрическими размерами.Особо следует подчеркнуть возможность в конструктивном исполнении гравиметра пространственносовместить рабочую жидкость и газ, с одной стороны, и термокомпенсирующую жидкость, с другой,устраняятем самымперепады температуры между ними.

Использование предложенного нами емкостного преобразователя с изменяемой площадью перекрытия обкладок обеспечивает гравиметру практически неограниченный диапазон измерений без ущерба для точности. Наличие арретира существенно смягчает требования к условиям его транспортировки и хранения.Эти преимущества в сочетании с отсутствием дрейфа нуля открывают возможность использования предлагаемого гравиметра для площадных наблюдений в свободном режиме, без частых и трудоемких гравиметровых связей с опорными пунктами.При этом существенно облегчаются как гравиразведочные работы в целях поиска полезных ископаемых, так и исследования НИСТ, в том числе и обусловленных вертикальными движениями земной коры.Это обстоятельство, в свою очередь,позволит отказаться от трудоемких и дорогостоящих повторных геометрических нивелирований.

Вертикальный гравитационный градиентометр

Для адекватной интерпретации регистрируемых НИСТ необходимы измерения вторых производных гравитационного потенциала, в первую очередь вертикального градиента силы тяжести[1]. Он представляет наибольшую трудность для измерения, поскольку совпадает по направлению с полным вектором силы тяжести. Отсюда и жесткие требования к юстировке вертикальных гравитационных градиентометров (ВГГ), что является одной из главных причин отсутствия их серийного производства.

В предложенном нами в [8,9] градиентометре массы выполнены в виде верхней и нижней гидростатических систем, включающих цилиндрические резервуары с рабочей жидкостью, например ртутью, и размещенные в них без механического контакта со стенками поплавки.Верхний поплавок жестко связан с нижним резервуаром и через осевой стержень – с двумя парами дифференциальных струнных преобразователей с одинаковыми номинальными натяжениями. Струны преобразователей расположены под малыми углами к горизонтали, попарно в двух вертикальных плоскостях, линия пересечения которых совпадает с вертикальной осью градиентометра.При этом результирующие натяжений пар струн направлены по вертикальной оси градиентометра в противоположных направлениях и компенсируют друг друга. Нижний поплавок жестко связан с верхним резервуаром и корпусом.

Так как геометрические размеры верхней и нижней гидростатических пар поплавокрезервуар несколько различаются (за счет веса верхнего поплавка, нижнего резервуара и соединяющих их элементов), то для полной компенсации влияния температуры геометрические параметры резервуаров, поплавков и ртути в каждой гидростатической системе подобраны так, чтобы действующие на резервуары и поплавки гидростатические силы не зависели от температуры. Это достигается при выполнении для каждой их них соотношения

$$\frac{Q}{S} = \frac{V^{fl}}{V^{Hg}},\tag{6}$$

где Q – площадь горизонтального сечения поплавка по урезу ртути, S – площадь свободной поверхности ртути, V^{fl} – объем погруженной части поплавка, V^{Hg} – объем ртути. Чтобы обеспечить выполнение этого соотношения при больших площадях свободных поверхностей ртути в резервуарах и тем самым практически устранить погрешности, вызванные поверхностным натяжением ртути, в предлагаемом градиентометре поплавки изготовлены из материала с большим коэффициентом теплового расширения, например из дюралюминия, а резервуары – из материала с малым коэффициентом теплового расширения, например из инвара. Как показывают расчеты, при этом для каждой гидростатической системы, как верхней, так и нижней, должно выполняться еще соотношение

$$\frac{Q}{S} = \frac{V^{fl} \cdot \left(\beta^{Hg} - 3\alpha^{fl}\right)}{V^{Hg} \cdot \beta^{Hg} + 3\left(\alpha^{fl} \cdot V^{fl} - \alpha^{\nu} \cdot V^{\nu}\right)},\tag{7}$$

где V^{ν} – объем резервуара ниже уровня ртути, α^{fl} и α^{ν} – коэффициенты линейного расширения материалов соответственно поплавка и резервуара, β^{Hg} – коэффициент объемного расширения ртути. Таким образом, в итоге,используя для верхней гидростатической пары индекс 1, а для нижней – индекс 2, условие температурной стабильности ВГГ можно представить в виде следующих двойных соотношений:

$$\frac{Q_1}{S_1} = \frac{V_1^{fl}}{V_1^{Hg}} = \frac{V_1^{fl} \cdot \left(\beta^{Hg} - 3\alpha^{fl}\right)}{V_1^{Hg} \cdot \beta^{Hg} + 3\left(\alpha^{fl} \cdot V_1^{fl} - \alpha^{\nu} \cdot V_1^{\nu}\right)},$$
(8)

$$\frac{Q_2}{S_2} = \frac{V_2^{fl}}{V_2^{H_g}} = \frac{V_2^{fl} \cdot \left(\beta^{H_g} - 3\alpha^{fl}\right)}{V_2^{H_g} \cdot \beta^{H_g} + 3\left(\alpha^{fl} \cdot V_2^{fl} - \alpha^{\nu} \cdot V_2^{\nu}\right)}.$$
(9)

На рис.3 показан вертикальныйразрез градиентометра.

В вакуумированном корпусе 1 установлены две пары жестких конформных резервуаров 2-3 и 4-5 с малыми зазорами, заполненными ртутью. Полый резервуар 5 (нижний поплавок) с помощью стержня 6 жестко прикреплен к резервуару 2, который закреплен в корпусе кольцом 7. Полый резервуар 3 (верхний поплавок) через стержень 8 и жесткую рамку 9 связан с нижним резервуаром 4. К нижней части резервуара 4 прикреплен стержень 10. Стержни 8 и 10 зафиксированы в корпусе гибкими горизонтальными растяжками 11 и 12. Концы стержней связаны с корпусом струнами 13, натянутыми между полюсами постоянных магнитов 14 под малым углом к горизонтали.

Градиентометр работает следующим образом.

В исходном положении вес всего чувствительного элемента (поплавка 3, нижнего резервуара 4 и соединительных элементов) и сила гидростатического давления ртути на дно нижнего резервуара 4 уравновешиваются выталкивающей силой, действующей со стороны ртути в верхнем резервуаре 2 на поплавок 3, и натяжение струн 13 и противонаправленных им струн, лежащих в перпендикулярной плоскости с результирующим натяжением, направленным вниз (на рисунке не показаны), одинаково, на что указывает равенство частот их собственных коле-



Рис.3. Вертикальный разрез градиентометра

баний. При увеличении, например, вертикального градиента силы тяжести W_{ZZ} суммарная сила гидростатического давления и веса чувствительного элемента будет преобладать над выталкивающей силой, действующей на поплавок. Это приведет к увеличению натяжения струн 13 и уменьшению натяжения противонаправленных струн (не показаны). При уменьшении W_{ZZ} все происходит наоборот. По разности частот собственных колебаний этих пар струн определяется приращение градиента силы тяжести.

Разностная частота собственных колебаний струн, образующих дифференциальный частотный преобразователь, составит в относительных единицах

$$\frac{\Delta v}{v} = \frac{\Delta F}{2f \cdot \sin \alpha} = \frac{\rho \cdot V \cdot H}{2f \cdot \sin \alpha} \cdot \Delta W_{ZZ}, \qquad (10)$$

где ν – частота собственных колебаний струны при номинальной нагрузке, ΔW_{ZZ} – измеряемое приращение градиента, W_{ZZ} – среднее значение полного вертикального градиента силы тяжести для Земли, равное ~ 0,3 мГал/м, V – объем поплавка, ρ – плотность ртути, f – номинальное натяжение струн, α – угол наклона струн к горизонтали. При $\rho = 13,6$ г/см³ (ртуть), V = 3000 см³, H = 50 см, f = 10 Г, $\sin \alpha = 0,1$ ($\alpha \approx 6^{0}$) и $\delta(\Delta v/v) \approx 10^{-7}$ рассчитанная по формуле (10) погрешность измерения ΔW_{ZZ} составляет ~ ±0,10 Е. Если зазор между концентрическими сферами равен ~ 2 мм, то масса ртути в сосудах составит ~7 кг, а общая ориентировочная масса градиентометра ~20 кг. Сила гидростатического давления ртути на нижний сосуд соответствует грузу, массой ~ 30 кг. Таким образом, положительный эффект от использования силы гидростатического давления жидкости вместо груза заключается в возможности увеличения эффективной массы груза, необходимой для увеличения чувствительности и точности измерений, без существенного увеличения общей массы градиентометра. Этой же цели служат также малые величины угла наклона струн к горизонтали и номинальной нагрузки на них. Кроме того, увеличению точности способствует и практическое отсутствие влияния наклонов, благодаря чему отпадает необходимость в точном нивелировании прибора. Последнее, в сочетании с электрическим частотным выходным сигналом, существенно увеличивает производительность съемочных работ и помехозащищенность градиентометра.

Для подавления влияния температуры и его градиентов, помимо термостатирования, в каждом из резервуаров предусмотрена автономная система термокомпенсации, осуществляемая путем подбора площадей свободных поверхностей ртути и горизонтальных сечений по урезу ртути поплавков 3 и 5 с тем, чтобы изменения действующих на поплавок 3 и резервуар 4 гидростатических сил, вызванные температурными изменениями плотности ртути в каждом из резервуаров 2 и 4, равнялись противонаправленным изменениям гидростатических сил, вызванные температурными изменениями гидростатических сил, вызванные потивонаправленным изменениями гидростатических сил, вызванным изменениями уровней ртути в них.

Таким образом, в предлагаемом ВГГ осуществима прецизионная компенсация влияния на его показания температуры и градиентов температуры в объеме прибора простым согласованием теплофизических параметров и геометрических размеров его узлов. Сочетание термокомпенсации с термостатированием может обеспечить практически полную температурную и термоградиентную устойчивость его чувствительной системы.

При наклоне корпуса на некоторый малый угол проекции на ось чувствительности градиентометра сил, действующих на чувствительный элемент по направлению вверх и вниз, изменяются в одинаковой степени и поэтому не влияют на натяжение струн.

Благодаря показанной выше помехозащищенности и высоким ожидаемым производительности и точности измерений $W_{ZZ}(\pm 0,1\div 1E)$ предлагаемый градиентометр, помимо выявления временных вариаций элементов гравитационного поля в стационарных условиях, может быть использован и в геологоразведе, а также в инженерной геологии для обнаружения и трассирования естественных и техногенных подземных пустот.

Гравитационный вариометр

Как уже отмечалось, для адекватной интерпретации регистрируемых НИСТ необходимы измерения вторых производных гравитационного потенциала [1]. Кроме вертикального градиента W_{ZZ} к ним относятся также другие компоненты тензора вторых производных гравитационного потенциала – W_{XX} , W_{XY} , W_{YY} , W_{XZ} , W_{YZ} , которые измеряются горизонтальными градиентометрами и вариометрами.

В известных гравитационных вариометрах[10] чувствительные элементы выполнены в виде горизонтальных крутильных весов с разнесенными по координатам пробными массами. Главными их недостатками являются малая производительность съемочных работ, связанная с большим временем успокоения коромысла крутильных весов после перевода в новый азимут, сложность конструкции и процедуры измерений, связанные с оптической системой вывода информации и фотографическим методом регистрации, и ограниченное число измеряемых компонентов

 $(W_{XZ}, W_{YZ}, W_{XY}, W_{\Delta} = W_{YY} - W_{XX}).$
Предложенный нами вариометр [11,12] содержит измерительную систему (ИС) в виде закрепленных в углах жесткой квадратной рамы четырех идентично ориентированных двухкоординатных датчиков горизонтальных ускорений (наклономеров), разнесенных по горизонтальным и вертикальным координатам. ИС подвешена с помощью гибкой тяги за середину верхнего ребра рамы к крышке внешнего кожуха, заполненного вязкой жидкостью, без механического контакта с его стенками. При этом ИС имеет отрицательную плавучесть, близкую к нулю, а его центр тяжести расположен ниже метацентра. По разностям показаний этих датчиков при различных азимутах плоскости их расположения определяются все 6 независимых компонентов тензора вторых производных гравитационного потенциала.

Функциональная схема вариометра представлена на рис.4.



Рис.4. Функциональная схема вариометра

Измерительная системавариометра состоит из жестко прикрепленных друг к другу с помощью квадратной рамы двухкоординатных наклономеров 1, 2, 3 и 4, расположенных в одной плоскости. Они образуют четыре пары датчиков, разнесенных попарно по горизонтальной и вертикальной координатам. Пары датчиков 1-2 и 3-4 разнесены по горизонтальным координатам Х или Ү (в зависимости от азимута системы), а пары 1-4 и 2-3 – по вертикальной координате Z. Чувствительные элементы всех четырех датчиков ориентированы идентично, т.е. в каждом датчике один из чувствительных элементов ориентирован по координате Х, а другой – по координате Ү. С помощью жесткого стержня 5 и гибкой тяги 6 ИС подвешена за середину верхнего ребра рамы к крышке внешнего кожуха 7, заполненного вязкой жидкостью 8, без механического контакта с его стенками. Устойчивость ориентации ИС относительно кожуха 7 обеспечивается прикрепленным к нему и стержню 5 плоской пружиной, расположенной в горизонтальной плоскости (не показана). Центровка ИС обеспечивается тем, что ее объем подобран так, чтобы малая часть ее веса

(примерно 0,001) падал на тягу 6, а устойчивость вертикального положения ИС обеспечивается тем, что ее центр тяжести расположен ниже метацентра. Каждый датчик измеряет непосредственно первые производные гравитационного потенциала W_X, W_Y по координатам X и Y или, что то же самое, горизонтальные составляющие ускорения силы тяжести. Эти величины зависят от наклона корпуса всей системы датчиков (погрешность нивелирования вариометра) и от установки каждого чувствительного элемента в корпусе (погрешность ориентации чувствительных элементов в корпусе при изготовлении вариометра). Кроме того, измеряемые каждым из датчиков 1, 2, 3 и 4 величины (W_{x1}, W_{y1}), (W_{x2}, W_{y2}), (W_{x3}, W_{y3}) и (W_{x4}, W_{y4}) зависят также от их градиентов вдоль координат, по которым разнесены датчики, т.е. от вторых производных гравитационного потенциала $W_{XX}, W_{XY}, W_{YY}, W_{XZ}, W_{YZ}$.

Рассмотрим группу датчиков 1-2-3. Если составить разность показаний идентично ориентированных чувствительных элементов для каждой пары разнесенных по координатам датчиков $(\Delta W_X)_X = W_{X2} - W_{X1}$, $(\Delta W_Y)_X = W_{Y2} - W_{Y1}$, $(\Delta W_X)_Z = W_{X3} - W_{X2}$, $(\Delta W_Y)_Z = W_{Y3} - W_{Y2}$ (в азимуте X – X) и $(\Delta W_Y)_Y = W_{Y2} - W_{Y1}$ (в азимуте Y – Y), то эти разности, как и в прототипе, не будут зависеть от наклона корпуса, обусловленного погрешностью нивелирования вариометра, так как этот фактор влияет на все датчики в одинаковой степени. Устранение влияния малых отклонений от идентичности ориентации осей чувствительности и наклонов самих датчиков относительно корпуса достигается тем, что указанные разности определяются при двух диаметрально противоположных ориентациях вариометра в каждом азимуте, а затем составляются алгебраические суммы этих разностей для каждой пары датчиков.Вторые производные гравитационного потенциала определяются по формулам

$$W_{XX} = \left[(\Delta W_X)_X + (\Delta W_X)'_X \right] / 2l$$

$$W_{XY} = \left[(\Delta W_Y)_X + (\Delta W_Y)'_X \right] / 2l$$

$$W_{YY} = \left[(\Delta W_Y)_Y + (\Delta W_Y)'_Y \right] / 2l$$

$$W_{XZ} = \left[(\Delta W_X)_Z + (\Delta W_X)'_Z \right] / 2l$$

$$W_{YZ} = \left[(\Delta W_Y)_Z + (\Delta W_Y)'_Z \right] / 2l$$
(11)

где l – база вариометра,т.е. расстояния между датчиками по соответствующим координатам, а штрихами обозначены приращения, измеренные после разворота вариометра на 180°.При отсутствии внешних масс (гор, возвышенностей и т.п.) или когда они находятся на достаточном удалении, по измеренным значениям W_{XX} и W_{YY} можно определить вертикальный градиент силы тяжести W_{7Z} , используя уравнение Лапласа для внешних точек

$$W_{XX} + W_{YY} + W_{ZZ} = 2\omega^2, \qquad (12)$$

где ω - угловая скорость вращения Земли.При l = 50 см для обеспечения точности измерения вторых производных ±1 Е точность измерения W_X и W_Y должна составлять ± 5·10⁻¹¹g.

Таким образом, по данным группы датчиков 1-2-3 можно определить все 6 независимых компонентов тензора вторых производных гравитационного потенциала W_{XX} , W_{XY} , W_{YY} , W_{XZ} , W_{YZ} и W_{ZZ}. Очевидно, эти же компоненты могут быть определены и с использованием групп датчиков 2-3-4, 3-4-1 и 4-1-2, т.е. добавление 4-го датчика увеличивает в 4 раза число возможных путей определения вторых производных, увеличивая тем самым результативную точность (за счет перекрестного контроля). Кроме того, как нетрудно убедиться, это открывает возможность определения третьих производных гравитационного потенциала W_{XXZ} , W_{YYZ} , W_{XYZ} , W_{ZZZ} . Для определения остальных компонентов W_{XXY} , W_{YYX} , W_{XZZ} , W_{YZZ} , W_{XXX} и W_{YYY} необходимы дополнительные измерения в параллельных азимутах. Всего для определения всех 6 независимых компонентов вторых производных и всех 10 независимых компонентов третьих производных гравитационного потенциала достаточны измерения с установкой вариометра на четырех сторонах квадрата с длиной сторон, равной базе вариометра l, и выполнением двух измерений на каждой стороне с разворотом на 180⁰ (итого 8 измерений). При этом автоматически обеспечивается многократный перекрестный контроль каждого определяемого компонента. Если затраты времени на каждое измерение составят примерно 3 минуты, то весь цикл измерений на одном пункте может быть выполнен за 30 минут. При этом используемые датчики горизонтальных ускорений (наклономеры) должны иметь надежные системы арретирования. Для этих целей по всем параметрам подходит двухкоординатный скважинный наклономер (ДСН), предложенный нами в [13,14].

Заключение

Описанный выше гравиинерциальный комплекс, наряду с другими разработками [15-17], является составной частью предложенной нами ранее многокомпонентной деформационнойстанции траншейного типа для сейсмопрогностических наблюдений [18-20]. Это основное предназначение МГИК. Но его отдельные компоненты в разных сочетаниях могут входить и в другие измерительные комплексы. Например, ДСН в малогабаритном исполнении, благодаря наличию надежной дистанционной системы арретирования, вместе с многокомпонентным скважинным деформографом [15] может входить в состав скважинного наклономернодеформографического комплекса, который будет описан в другой работе. Он может быть использован также автономнокак для регистрации наклонов в геофизических и инженерных целях, так и для регистрации сейсмоакселерограмм в трех ортогональных координатах и широком динамическом и частотном диапазонах.

Благодаря ожидаемому практически полному отсутствию дрейфа нуля входящих в него приборов и наличию в них эффективной термокомпенсации, МГИК в целом позволит проводить площадные наблюдения НИСТ и гравиразведочные работы в свободном режиме, без частых и трудоемких гравиметровых связей с опорными пунктами.

Литература

- 1. Таймазов Д.Г., Таймазов М.Д. О целесообразности возобновления повторных гравиметрических наблюдений в районе Сулакского каскада ГЭС в Дагестане //Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. Выпуск № 1(68). Махачкала, 2017. С. 83-87.
- 2. Вельтистова О.М., Печерин В.Н. Гравиметрические наблюдения с применением автоматического микропроцессорного гравиметра CG-5 Autograv: метод.указания / Ухта: УГТУ, 2014., 26 с.
- 3. Милюков В.К., Юшкин В.Д., Миронов А.П., Заалишвили В.Б., Кануков А.С., Дзеранов Б.В. Мониторинг приращений силы тяжести на опорных гравиметрических пунктах Северного Кавказа высокоточными относительными гравиметрами //Геология и геофизика Юга России, № 2, 2013, с. 39-45.
- 4. Таймазов Д.Г. Газожидкостный гравиметр: Патент РФ, № 2282218. БИ. 2006б. № 23.
- 5. Таймазов Д.Г. О путях улучшения метрологических и эксплуатационных характеристик газожидкостных гравиметров //Сейсмические приборы. 2008. Т. 44. № 4. С. 27-35. (Taimazov D.G. Ways to improve metrological and operational characteristics of liquid gravimeters //Seismic Instruments. 2008. V. 44. No 4. P. 27-35.)
- 6. Таймазов Д.Г. Емкостный преобразователь перемещений: Патент РФ № 2281457. БИ. № 22. 2006.
- 7. Таймазов Д.Г. Широкодиапазонный емкостный преобразователь перемещений для прецизионных приборов и систем позиционирования //Сейсмические приборы. 2008. Т. 44. № 3. С. 48-54. (TaimazovD.G. Wide_rangedisplacementcapacitancetransducerforprecision instrumentsandpositioningsystems // SeismicInstruments. 2008. V. 44. No 3. P. 48-54.)
- 8. Таймазов Д.Г. Вертикальный гравитационный градиентометр: Патент РФ, № 2292065. БИ. № 2. 2007.
- Таймазов Д.Г. Струнный вертикальный гравитационный градиентометр //Сейсмические приборы. 2008. Т. 44. № 4. С. 36-42. (Taimazov D.G. Stringed vertical gravimetric gradientmeter // Seismic Instruments. 2008. V. 44. Р. 36-42.)
- 10. Гравиметрия. Справочникгеофизика /Подред. Е.А. Мудрецовой; Т.5. М.: Недра, 1981. 397 с.
- 11. ТаймазовД.Г. Гравитационныйвариометр: Патент № 2290674. БИ № 36. 2006.
- 12. Таймазов Д.Г. Безмаятниковый гравитационный вариометр //Сейсмические приборы. 2009. Т. 45. № 3. С. 56-59. (Taimazov D.G. Nonpendular gravitational variometer //Seismic Instruments. 2009. V. 45, No 3. P. 56-59.)
- 13. Таймазов Д.Г. Двухкоординатный струнный наклономер: Патент РФ № 2287777. БИ. 2006. № 32.
- 14. Таймазов Д.Г. Двухкоординатный струнный наклономер //Сейсмические приборы. 2010. Т. 46. № 4. С. 52-56. (Taimazov D.G. Two-coordinate string tiltmeter //Seismic Instruments. 2010. V. 46, No 4. P. 52-56.)
- 15. Таймазов Д.Г. Многокомпонентный скважинный деформограф. Вестник Дагестанского научного центра РАН. 2006. № 26. С. 9–16.
- 16. Таймазов Д.Г. Прецизионный проволочный экстензометр для сейсмопрогностических наблюдений. Сейсмические приборы. 2008. Т. 44. № 3. С. 55-58. (Taimazov D.G. Precision wire extensometer for seismoprognostic observations //Seismic Instruments. 2008. V. 44. No 3, P. 55-58.)
- 17. ТаймазовД.Г. Трехжидкостныйгидростатическийнивелир. Сейсмические приборы. 2009. Т. 45. №2. С. 42-45. (Taimazov D.G. Three-fluid hydrostatic level //Seismic Instruments. 2009. V. 45. P. 42-45.)
- 18. Таймазов Д.Г. О возможности создания многокомпонентной деформационной станции траншейного типа для сейсмопрогностических наблюдений // Сейсмические приборы. 2010. Т. 46. № 1. С. 42-49. (Taimazov D.G. About an opportunity of creation multicomponent deformometric station of trench-type for seismoprognostic observations // Seismic Instruments. 2010. V. 46, No. 1, p. 42-49.)
- 19. ТаймазовД.Г. Некоторыетектонофизические и аппаратурно-методические проблемы прогноза землетрясений /Российская акад. наук, Дагестанский научный центр, Ин-т геологии, Махачкала, 2005. 175 с.
- 20. Таймазов Д.Г., Мамаев С.А., Абакаров А.Д., Таймазов М.Д. О состоянии и перспективах развития системы сейсмической безопасности территории Дагестана // Вестник Дагестанского научного центра РАН. 2013. № 51. С. 36-42.

УДК 550.3

ПРИМЕНЕНИЕ ПАКЕТА ПРОГРАММ Win ABD ДЛЯ ОБРАБОТКИ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ ГОРНЫХ ПОРОД В ЗОНЕ ОБХОДНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ПЛОТИНЫ ЧИРКЕЙСКОЙ ГЭС

Дещеревский¹ А.В., Идармачев² Ш.Г. ¹Институт физики Земли РАН ²Институт геологии ДНЦ РАН

С помощью пакета программ WinABD обработаны результаты наблюдений за электрическими параметрами горных пород в скважинах, расположенных в зоне обходной фильтрации плотины Чиркейской ГЭС. Установлена закономерная связь между сезонным изменением уровня воды в водохранилище и электрическими параметрами пород.

Ключевые слова: электрическое зондирование, кажущееся сопротивление, электрофильтрационное поле, деформация горных пород.

THE APPLICATION OF THE SOFTWARE PACKAGE WIN ABD FOR PROCESSING TIME SERIES OF OBSERVATIONS OF THE ELECTRICAL PARAMETERS OF ROCKS IN THE AREA OF THE BYPASS FILTERING DAM OF CHIRKEY HYDROPOWER STATION

Demievsky¹ A.V., Idarmachev² Sh.G. ¹Institute of physics of the Earth Russian Academy of Sciences ²Institute of Geology Dagestan scientific center of RAS

With the help of the software package WinABD processed the results of observations of the electrical parameters of rocks in the wells located in the area of the bypass filter dam chirkeisk HPS. Set the logical relationship between the seasonal change of water level in the reservoir and the electrical parameters of rocks.

Key words: electrical sounding, apparent resistivity, electrofiltration field, deformation of rocks.

Для проведения исследований был выбран массив горных пород вблизи плотины Чиркейской ГЭС (рис. 1) с размерами 600 х 400 м, который примыкает к правому борту высотной плотины. На данном участке строителями ГЭС были пробурены две скважины с глубинами 120 м и 180 м для наблюдения за боковой фильтрацией воды из водохранилища в период его заполнения. Уровни воды в скважинах имеют синхронный ход с уровнем водохранилища с некоторым отставанием по амплитуде. Фильтрация воды происходит по трещинным зонам массива.



Рис. 1. Фото участка правого борта плотины Чиркейской ГЭС (места расположения скважин № 1 и № 2 отмечены звездочками)

Исследуемый массив пород мощностью 450 м сложен из горизонтально залегающих пачек плотных известняков верхнего мела, мощность которых меняется в пределах 0,3–1,5 м. При деформации массива состояние трещин меняется: сжатие приводит к росту электрического сопротивления и уменьшению боковой фильтрации, а раскрытие трещин – к обратному процессу. Таким образом, электрические параметры исследуемого массива позволяют отслеживать деформации, происходящие в нем под действием различных факторов: тектонических напряжений, землетрясений, сезонных изменений уровня воды в водохранилище и др.

Для наблюдений за электрическими параметрами горных пород в скважине применяется симметричная четырехэлектродная установка электрического зондирования, представляющая собой зонд с закрепленными на нем свинцовыми электродами. Расстояние между питающими электродами равно 9 м. Приемные электроды расположены посередине между питающими электродами. Измерительный зонд всегда находится ниже уровня воды в скважине. Питающие электроды расположены посередине между питающими электроды расположены на глубине 90 м и 99 м, при этом верхний электрод всегда находится ниже минимального уровня воды в скважине на 30 м. Расстояние между питающими электродами выбиралось таким образом, чтобы ток, который течет по воде в скважине между электродами, был минимальным, а основной ток от электродов растекался по породе. Реальный ток, протекающий через породу, превышает в 40 раз величину тока по воде, заключенной в скважине. Влияние, оказываемое сопротивлением воды в скважине на кажущееся сопротивление породы, будет минимальным, если учесть, что температура воды в скважине на глубине 90 м практически не зависит от температуры на поверхности.

Для измерения кажущегося сопротивления (R_k) используется установка «Георезистор», разработанная в Федеральном государственном бюджетном управлении науки Институт геологии Дагестанского научного центра РАН (ИГ ДНЦ РАН), которая состоит из платы сбора данных серии ЛА-И24, сопряженной с персональным компьютером, программы управления измерениями кажущегося сопротивления, генератора импульсов. Она обеспечивает непрерывный режим измерений, высокую чувствительность к вариациям кажущегося сопротивления пород. Длительность измерений одного сеанса равна 59 минутам. В конце каждого часа полученный массив данных обрабатывается соответствующей программой, а результаты измерений сохраняются на жестком диске. Относительная погрешность измерений за суточный период не превышает δ =0,18%.

Для анализа использовались ряды данных кажущегося сопротивления (R_k) в скв. № 1 (см. рис. 1), электрического поля (ЕП) и температуры воды в скв. № 2 (Т_{скв.}), естественного электрического поля (ЕП) в скв. № 1, уровня воды в водохранилище (Н_{вдхр.}), температуры атмосферы (Т_{атм.}), давления атмосферы (Р_{атм.}) и осадков.

Методика анализа

Для рядов, содержащих сильный сезонный ход, формальный статистический анализ малополезен, так как для регулярных вариаций с общим периодом очень высока вероятность совпадения этих составляющих в фазе или в противофазе. Поэтому для анализа использовался пакет программ WinABD (ИФЗ РАН), который позволяет рассматривать отдельно сезонные и несезонные (остаточные) компоненты вариаций. Остаточная компонента вариаций по свойствам довольно близка к стационарному случайному процессу. Для выяснения наличия связи между такими сигналами можно использовать обычные статистические методы, такие, как корреляционный анализ. Расчет сезонной компоненты температуры, давления и R_k проводился по методике [2]. Эта методика предполагает расчет сезонной вариации методом наложения эпох с последующим сглаживанием. Цель сглаживания – подавление случайных высокочастотных флуктуаций среднесезонной функции (ССФ). Поэтому оптимальная величина сглаживания подбирается, исходя из степени вариабельности сезонного хода от года к году, амплитуды высокочастотных шумов, числа периодов сезонности, по которым рассчитана ССФ. Процедура обработки данных включает в себя:

1) сглаживание ряда в скользящем окне с заполнением пропусков;

2) расчет среднесезонной функции;

3) расчет остаточной компоненты, который реализуется в результате вычитания среднесезонной функции от исходного ряда, т.е. ряд, отфильтрованный от сезонной части;

4) расчет взаимнокорреляционной функции (ВКФ);

5) вычисление спектров.

Графики рядов данных, которые использовались для анализа, приведены на рис. 2, за исключение данных осадков.



Рис. 2. Графики рядов данных: 1 – кажущегося сопротивления R_k (Ом·м) в скв. № 1; 2 – электрического поля ЕП (В) в скв. № 2; 3 – температуры воды $T_{cкв.}$ (°С) в скв. № 2; 4 – электрического поля ЕП (В) в скв. № 1; 5 – уровня воды в водохранилище $H_{вдхр.}$ (м); 6 –температуры атмосферы $T_{атм.}$ (°С); 7– давления атмосферы $P_{aтм.}$ (мм. рт. ст.)

Анализ влияния метеофакторов и температуры воды в скважине на кажущееся сопротивление пород показал, что они не оказывают существенного влияния [2].

Оценка связи между уровнем водохранилища и кажущимся сопротивлением Для анализа использовались ряды данных H_{вдхр.} и R_k (рис. 3).



Рис. 3. Графики рядов данных Н_{вдхр.} и R_k

Коэффициент корреляции между ними равен –0,80. Для сезонных вариаций наблюдается близкое совпадение фаз, а корреляция довольно высокая. Однако совпадение фаз графиков все же не точное. В период интенсивного роста уровня воды в водохранилище падение R_k происходит очень резко, а во время разгрузки наблюдается более плавный рост.

Для среднесезонных графиков H_{Bdxp} и R_k была вычислена взаимнокорреляционная функция ВКФ. Максимальная корреляция ВКФ (-0,94) достигается при сдвиге 12 суток, когда R_k отстает от уровня воды. Это означает, что прямого влияния уровень воды в водохранилище на R_k не оказывает, однако возможно косвенное влияние через промежуточный третий фактор, действующий с определенной задержкой. В качестве такого третьего фактора могут выступать деформационные или фильтрационные процессы. Возможно даже, что оба эти процессы связаны между собой, например, повышение уровня воды приводит к увеличению давления в порах и трещинах породы, которая в свою очередь вызывает перераспределение упругих напряжений в среде.

Если водохранилище имеет гидродинамическую связь с нижележащими породами, то давление воды в порах и трещинах будет равно гидростатическому давлению P_{гидро.}=pgh, где р – плотность воды, g – ускорение свободного падения,

h – глубина нижележащих пород. Величина эффективного давления (Р_{эфф.}) на скелет породы равна разности геостатического и гидростатического давлений (Р_{эфф.}=Р_{гор.}–Р_{гидро.}). Поэтому увеличение гидростатического давления приводит к снижению эффективного давления и как следствие к деформации пласта, т. е. его расширению. Такой механизм воздействия подтверждается данными прямых деформационных измерений в районе плотины Саяно-Шушенской ГЭС [3]. Повышение сезонного уровня воды приводит к упругой деформации расширения пород в основании плотины, вследствие повышения порово-трещинного давления в подстилающих породах, а уменьшение уровня – к сжатию пород.

Оценка связи напряженности естественного электрического поля в скважине с уровнем водохранилища и кажущимся сопротивлением.

Для рядов данных электрического поля (ЕП) в скв. № 1 (см. рис. 2, график №4) глубиной 120 м сезонных вариаций не обнаружено.

Для данных, полученных в скв. № 2 (см. рис. 2, график № 2) глубиной до 180 м между графиками ЕП (№ 2) и Н_{вдхр.} (№ 5) визуально наблюдается хорошее совпадение, пики максимумов и минимумов примерно совпадают. В период наполнения водохранилища напряжение на электродах растет, а при уменьшении уровня воды в водохранилище в осенне-зимний период, наоборот, уменьшается. Наиболее отчетливо данная зависимость наблюдается для 2011 и 2012 гг. [4].

Сезонное изменение амплитуды напряженности электрического поля составляет в среднем 10 мВ/м, что является вполне реальным для горных районов. Для таких аномалий необходимо допустить наличие высоких скоростей фильтрации воды в пористых средах. В таком случае изменение ЕП должно происходить с некоторым опозданием от Н_{вдхр}. Расчет их взаимнокорреляционной функции показывает наличие сдвига фаз между ними, т. е. максимальная корреляция наблюдается, когда ЕП отстает от Н_{вдхр}. На 12 суток. Из этого следует, что электрофильтрационное поле связано с уровнем водохранилища. Следует отметить, что такого же порядка сдвиг фаз наблюдается и для графиков Н_{вдхр}. и R_k в скв. № 1. Физический смысл запаздывания ЕП от Н_{вдхр}, состоит в том, что процесс фильтрации воды из водохранилища до места расположения электродов требует определенного времени. В данном случае, примерно 12 суток. Такое совпадение результатов позволяет предположить, что фильтрация воды влияет на R_k в скважине №1 через промежуточный фактор. Таким фактором является изменение гидростатического давления, который связан с уровнем воды в водохранилище.

Повышение гидростатического давления уменьшает электрическое сопротивление и повышает уровень электрофильтрационного поля, а понижение давления воды приводит к обратному процессу – к увеличению электрического сопротивления и уменьшению поля.

Выводы

1. Реализована на практике методика геофизического мониторинга опасных геологических процессов в бортах плотины Чиркейской ГЭС, которая включает в себя выбор места, измерительной установки, способа размещения системы электродов и датчиков в скважине, измерительных систем и программы обработки временных рядов.

2. Для сезонных вариаций уровня водохранилища и кажущегося сопротивления имеется довольно близкое совпадение фаз, а корреляция составляет –0,94. Однако совпадение фаз не точное. Временная задержка кажущегося сопротивления от уровня воды в водохранилище составляет 12 суток. Это означает, что прямого влияния уровень воды в водохранилище на кажущееся сопротивление не оказывает, а влияет опосредованно, через промежуточный фактор, действующий с определенной задержкой. Такими факторами могут являться деформационные или фильтрационные процессы в массиве пород. Возможно, что оба эти процесса связаны между собой, например, повышение уровня воды приводит к увеличению давления в порах и трещинах породы, которое изменяет состояние трещин, тогда расширение трещин уменьшает электрическое сопротивление и увеличивает коэффициент фильтрации породы.

Литература

- Алиев М.М., Даниялов М.Г., Магомедов Х.Ж., Идармачев И.Ш.Сезонные вариации напряженности естественного электрического поля в районе плотины Чиркейской ГЭС, связанные с изменением уровня воды в водохранилище. Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных //Материалы XI Международной сейсмологической школы, г. Чолпон-Ата, Кыргызстан, 11– 17 сентября. Обнинск. 2016.
- 2. Дещеревский А.В., Сидорин А.Я. Некоторые вопросы методики оценки среднесезонных функций для геофизических данных. М.: ОИФЗ РАН. 1999. 40 с.
- 3. Дещеревский А.В., Идармачев И.Ш., Идармачев Ш.Г. Анализ влияния сезонных изменений уровня воды в Чиркейском водохранилище и атмосферных параметров на кажущееся сопротивление горных пород в скважине, расположенной в районе правого борта плотины ГЭС //Геология и геофизика Юга России. 2016. № 3.- С. 48–53.
- 4. Савич А.И., Газиев Э.Г. Влияние воды водохранилищ высоких плотин на поведение скальных массивов основания //Гидротехническое строительство. 2005. № 11.- С. 33–37.

УДК 530.348.098.64 (470.6)

СЕЙСМИЧНОСТЬ ЦЕНТРАЛЬНОГО ДАГЕСТАНА В 2016 г.

Асманов О.А., Адилов З.А. Единая геофизическая служба РАН

Центральный Дагестан является одним из самых сейсмоактивных районов северо-восточного Кавказа, где ежегодно регистрируется в среднем около четырехсот землетрясений выше пятого энергетического класса. В статье представлен анализ ощутимых землетрясений 2016 г. в центральной части Дагестана.

Ключевые слова: сейсмоактивный район, макросейсмическиесведения, диапазон энергетических классов, ощутимые сотрясения, хронологическая последовательность.

SEISMICITY OF CENTRAL DAGESTAN IN 2016

Asmanov OA, Adilov Z.A. Unified Geophysical Service of the Russian Academy of Science

Central Dagestan is one of the most seismically active regions of the north-eastern Caucasus, where an average of about four hundred earthquakes above the fifth energy class is recorded annually. The article presents an analysis of tangible earthquakes in 2016 in the central part of Dagestan.

Keywords: seismoactive region, macroseismic studies, range of energy classes, perceptible tremors, chronological sequence.

В прошедшем 2016 г. на территории центрального Дагестана произошли четыре землетрясения, которые вызвали ощутимыесотрясения: 1) Мехельтинское – 13 мая с $K_P=13,5$ ($M_s=5,27$), $I_0=5$; 2) Араканское – 24 августа с $K_P=10,1$ ($M_s=3,4$), $I_0=4$; 3) Ботлихское – 2 сентября с $K_P=9,73$ ($M_s=3,18$), $I_0=4$; 4) Кизилюртовское–II – 22 декабря с $K_P=10,32$ ($M_s=3,5$), $I_0=4-5$.

Центральный Дагестан (рис. 1) является одним из самых сейсмоактивных районов в северо-восточном Кавказе, где ежегодно регистрируется в среднем 400 землетрясений с К_Р≥5 [1]. На рис. 1 цифрами 1–4 обозначены ощутимые землетрясения, в указанной выше хронологической последовательности, под рисунком указаны энергетические классы (ЭК) землетрясений.



Рис. 1. Карта эпицентров ощутимых землетрясений 2016 г. в центральном Дагестане

Как правило, ощутимые сейсмические события вызывают особый интерес, в связи с возникающими задачами оценки сейсмической опасности районов и необходимостью выявления особенностей развития сейсмичности в очаговых областях. Первым в хронологической последовательности из ощутимых землетрясений было Мехельтинское землетрясение.

Мехельтинское землетрясение. Мехельтинское землетрясение[2], произошедшее 13 мая 2016 года в 21 час 17 минут, было наиболее сильным в 2016 г (К_P= 13,5) в горном Дагестане в при-

граничной зоне с Чеченской Республикой. Названо оно по названию ближайшего к нему населенного пункта Мехельта. Максимальный макросейсмический эффект в с. Мехельта достиг 5 баллов. Глубина очага по инструментальным данным равна 48 км, географические координаты гипоцентра равны: φ =42,80⁰N; λ = 46,40⁰E, энергетический классК_P= 13,5 [1]; M_s = 5,27.

Форшоки и афтершоки. В десятидневный период до Мехельтинского землетрясением (с 3 по 12 мая) в эпицентральной зоне зарегистрировано шесть слабых толчков в диапазоне энергетических классов K_P = 4,6 - 6,97, которые можно отнести к форшокам (табл. 1, рис. 2). Из них наибольший по энергии форшок с K_P = 6,97 произошел 5 мая в 03 ч. 49 м. на глубине h = 2 км в северо-западной части от основного очага. Энергетическая ступень между главным толчком и максимальным форшом составляла: ΔK_P = 6,5.

В период с 13 мая с 21 ч. 24 м. до 17 мая 20 ч. 08 м. зарегистрировано 6 афтершоков в диапазоне энергий K_{P} = 5,7 - 9,4. Энергетическая ступень между главным толчком и максимальным афтершоком ΔK_{P} = 4,1 довольно высока, что может быть связано с некоторой разрядкой напряжений в очаге. В пространстве область форшоков и афтершоков занимает северозападный и северо-восточный области от главного толчка площадью около 300 км² в приграничной зоне Дагестана и Чеченской Республики.

Поле эпицентровфоршоков и афтершоков, представленных на рис. 2 достаточно разбросано, тем не менее, есть некоторые особенности. Гипоцентры форшоков варьируют в интервале глубин $h_{\phi op} = 7,5 - 22,5$ км, а афтершоков - в интервале глубин $h_{a\phi r} = 40 - 57$ км (табл. 1).

• •

Таблица 1

Форшоки и афтершокиМехельтинского землетрясения								
No	Дата, д. м.	to, ч.м.с.	φ ⁰ , N	λ ⁰ , Ε	Н, км	Кр		
Форшоки								
1	03.05	21-31-30	42,76	46,61	7,5	4,6		
2	04.05	0-32-07,1	42,94	46,60	10,5	5,1		
3	05.05	03-49-51	42,89	46,24	11,5	6,9		
4	08.05	15-56-48	42,77	46,70	8,5	5,3		
5	10.05	23-16-1,2	42,90	46,29	11,0	5,5		
6	12.05	0-33-24,7	42,95	46,61	9	4,9		
			Афтершоки					
1	13.05	21-24-33	42,96	46,40	40	6,8		
2	13.05	22-45-33	42,84	46,37	43	9,4		
3	13.05	23-41-50	42,88	46,36	55	6,8		
4	15.05	05-17-17	42,93	46,36	54	8,2		
5	16.05	01-02-11,7	42,93	46,34	57	5,7		
6	17.05	20-08-19,8	42,87	46,45	5	6,5		
1	13.05	21-24-33	42,96	46,40	40	6,8		

Макросейсмические сведения. Макросейсмические сведения о проявлениях Мехельтинского землетрясения собраны сотрудниками Дагестанского филиала ЕГС РАН в основном при помощи телефонного опроса жителей городов и населённых пунктов Гумбетовского, Казбековского, Ботлихского и других районов. Макросейсмические сведения получены от случайных свидетелей. Обработка результатов опроса населения осуществлялась по опросной таблице, составленной на базе шкалы MSK-64 [4]. По оценкам дагестанских сейсмологов макросейсмический эпицентр с координатами $\varphi = 42,93$, $\lambda = 46,6$ расположен к северу отс. Мехельта и расчетная интенсивность в эпицентре составляет 5,4 балла.

Асманов О.А., Адилов З.А. СЕЙСМИЧНОСТЬ ЦЕНТРАЛЬНОГО ДАГЕСТАНА В 2016 г.



Рис. 2. Карта эпицентров основного толчка, форшоков и афтершоковМехельтинского землетрясения: 1 - основной толчок; 2 - энергетический класс К_Р; 3 - глубина эпицентров; 4 - форшок; 5 - афтершок; 6 - административная граница.

Особенно убедительные сведения об интенсивности сотрясений получены из сел. Буртунай (сидящие в кресле испугались, выбежали, услышали звук; гул, как будто прошла тяжёлая машина, грохот был похож на проходящий рядом эшелон; стены вибрировали, казалось, будто упадёт крыша). Здесь по показаниям жителей интенсивность сотрясения можно оценить в I_i≥ 5 баллов.

Землетрясение проявилось во всех населённых пунктах Дагестана от севера (г. Южный Сухокумска) до юга (с. Касумкент) на эпицентральных расстояниях до 213 км.

Собранный материал позволил произвести оценки интенсивности сотрясений вблизи эпицентра и построить схемы изосейст (рис. 3).

Есть данные о макросейсмических проявлениях землетрясения за пределами Дагестана. Как сообщил Гайсумов М.Я. («с/с»Грозный» г. Грозный) землетрясение ощущалось в населённых пунктах: Ножай-юрт, Ведено – 4-5 баллов; Гудермес – 4 балла; Грозный – 3-4 балла. Перечисленные немногочисленные макросейсмические сведения представлены в таблице 2.

Таблица 2

Макросейсмические сведения о Мехельтинском землетрясении								
N⁰	Населенные пункты	Δ, км	φ ⁰ , N	λ ⁰ , Ε				
5 баллов								
1	Буртунай	7	42,88	46,61				
2	Дылым	15	43,07	46,63				
3	Мехельта	20	42,78	46,50				
4	Дубки	23	43,01	46,85				
	4-5 бал	ЛОВ						
5	Ножай-юрт	27	43,08	46,36				
6	Ведено	29	42,95	46,01				
7	Кизилюрт	36	43,20	46,86				
8	Хасавюрт	40	43,25	46,59				
9	Буйнакск	45	42,82	47,11				
10	Ботлих	47	42,66	46,21				
4 балла								
11	Гудермес	58	43,31	46,1				
12	Гуниб	68	42,38	46,96				
13	Кака-шура	68	42,65	47,38				

14	Махачкала	68	42,97	47,50			
3-4 балла							
15	Бабаюрт	72	43,60	46,77			
16	Карабудахкент	79	42,66	47,55			
17	Сулак	81	43,27	47,51			
18	Грозный	86	43,31	45,66			
19	Манаскент	90	42,73	47,68			
20	Кизляр	103	43,84	46,71			
	3 балла	l					
21	Тлярата	92	42,46	46,38			
22	Бежта	93	42,13	46,12			
23	Кумух	95	42,17	47,11			
24	Сергокала	103	42,45	47,66			
25	Уркарах	121	42,16	47,63			



Рис. 3. Карта изосейст Мехельтинского землетрясения: 1, 2 – инструментальный и макросейсмический эпицентры соответственно; 3 - интенсивности сотрясений в баллах по шкале MSK-64; 4 – изосейсты; 5 – государственная граница.

Араканское землетрясение. Араканское землетрясение названо по одноименному населенному пункту, в 6-ти километрах от которого 24 августа 2016 г. в 21 ч. 08 мин. в центральной части Дагестана произошло землетрясение.

По данным Дагестанского филиала ФИЦ ЕГС РАН географические координаты гипоцентра равны $\phi = 42,68^{\circ}$ N, $\lambda = 47,06^{\circ}$ E, h=11,5 км [1]. ЭК равен K_P= 10,1, а магнитуда M_s= 3,4.Интенсивность сотрясений в эпицентре составила I₀ = 4 балла по шкале MSK-64.

Макросейсмические данные. Макросейсмические данные были собраны работниками сейсмостанции Аракани и переданы по телефону сотрудникам Дагестанского филиала ФИЦ ЕГС РАН, т.е. без выезда в населенные пункты.

По их же сообщениям, в таких населенных пунктах, как: Аракани (Δ =5 км), Кудутль (Δ =5 км), Аркас (Δ =8 км), Майданская (Δ =9 км) и Апши (Δ =10км) было замечено дребезжание посуды и оконных стекол, раскачивание подвешенных предметов, колебание мебели, слышался гул, а вот повреждений в штукатурке и в кладке печей не наблюдалось.

Интенсивность I = 3–4 балла ощущалась в таких населенных пунктах, как: Ирганай, Гергебиль, Мочох, Шамилькала, НижнееКазанище, Дургели, Унцукуль, Какашура. Толчок почувствовали некоторые люди, находившиеся в состоянии покоя и в помещениях на первых и вторых этажах. Спавшие люди проснулись, но не испугались. При этом дребезжала посуда, легко колебались подвешенные предметы, слышался гул, напоминающий шум автотранспорта.

Интенсивность I = 3 балла ощущалась в Буйнакске, Гунибе, Хунзахе и в Гели. В этих населенных пунктах землетрясение было замечено отдельными людьми, находившимися в состоянии покоя в помещениях на первых этажах, отмечалось легкое колебание подвешенных предметов, но при этом большинство жителей села землетрясение даже не почувствовали.

Интенсивность I = 2-3 балла была зафиксирована в Верхнем Каранае, Новом Чиркее, Губдене, Карабудахкенте и в Мехельта. Землетрясение было замечено отдельными людьми, находившимися в состоянии покоя в помещениях на первых-вторых этажах. При этом ощущались волнообразные колебания. Отмечено беспокойство животных (вой собак).

Интенсивность I = 2 балла была зафиксирована в Дубках, Кумухе, Сергокале, Манаскенте, Махачкале и Ботлихе. Землетрясение ощущалось на верхних этажах пяти- и девятиэтажных зданий различных типов. Сообщения об ощущениях на первых этажах отсутствуют. Большинство жителей города землетрясение даже не почувствовали.

Оценка интенсивности сотрясений по шкале MSK-64 представлена в таблице 3 и на карте (рис. 4).



Рис. 4. Карта изосейстАраканского землетрясения 24 августа в 21 ч 08 мин с К_р =10,1: 1 – интенсивность сотрясений в баллах по шкале MSK-64 [2]; 2,3 – эпицентр землетрясения по инструментальным и макросейсмическим данным соответственно.

Необходимо отметить, что, несмотря на то, что информация о землетрясении была собрана в небольшом количестве населенных пунктов, у нас была возможность оконтурить зону двумя изолиниями со значениями балльностиI = 4 и I = 3 балла.

Также был определён макросейсмический гипоцентр землетрясения на расстоянии 6 км к востоку от селения Аракани, с координатами ϕ =42,61⁰N, λ =47,07⁰ E и глубиной очага h=12 км.

По отношению к инструментальному эпицентру макросейсмический эпицентр находится южнее на 6 км.

Таблица 3

N⁰	Пункт	Δ, км	Координаты				
			φ, °N	λ, °E			
4 балла							
1	Аракани	5	42,60	46,99			
2	Кудутль	5	42,57	47,01			
3	Аркас	8	42,64	47,14			
4	Майданская	9	42,59	46,96			
5	Апши	10	42,60	47,17			
		3-4 балла					
6	Ирганай	12	42,63	46,93			
7	Гергебиль	12	42,50	47,06			
8	Могох	13	42,62	46,81			
9	Шамилькала	18	42,68	46,87			
10	Нижнее Казанище	19	42,76	47,16			
11	Дургели	20	42,66	47,29			
12	Унцукуль	24	42,70	46,79			
13	Гели	27	42,65	47,39			
		3 балла					
14	Буйнакск	23	42,82	47,11			
15	Гуниб	26	42,38	46,96			
16	Хунзах	29	42,54	46,70			
17	Гели	32	42,72	47,39			
		2-3 балла					
18	Верхний Каранай	29	42,82	46,90			
19	Нов. Чиркей	38	43,16	47,05			
20	Губден	42	42,56	47,56			
21	Карабудахкент	43	42,70	47,56			
22	Мехельта	50	42,79	46,50			
2 балла							
23	Дубки	48	43,02	46,83			
24	Кумух	49	42,16	47,11			
25	Сергокала	53	42,45	47,66			
26	Манаскент	54	42,74	47,69			
27	Махачкала	54	42,96	47,51			
28	Ботлих	68	42,66	46,20			

Макросейсмические данные об Араканском землетрясении.

Ботлихское землетрясение. Территория известняков в Дагестане в сейсмическом отношении изучена недостаточно. Сильные ощутимые землетрясения происходят редко, поэтому любое заметное сейсмическое событие в данной зоне вызывает пристальный интерес.

В 2016 г. в Ботлихском районе, вблизи районного центра села Ботлих, было зарегистрировано 9 землетрясений с энергетическим классом $K_P = 5,35 - 9,73$. На глубинах от 8-ми до 15 км [1], наиболее сильное ($K_P = 9,73$) из них было зафиксировано 2 ноября в 00 ч. 19 м. с координатами $\phi = 42,71^{\circ}$ N; $\lambda = 46,19^{\circ}$ E и с глубиной 12 км.

Данное землетрясение, как и остальные восемь слабых толчков, было зарегистрировано на приграничной с Чеченской Республикой территории известнякового Дагестана [6]. По местоположению эпицентра землетрясение было названо Ботлихским. Для Ботлихского района данное событие стало единственным событием подобной силы за весь период инструментальных наблюдений с 1975 года.

Несмотря на умеренное значение магнитуды (Ms = 3,18) Ботлихское землетрясение охватило значительную площадь и ощущалось на территории Цумадинского, Гумбетовского, Ахвахского районов. Землетрясение было зафиксировано всеми сейсмическими станциями Дагестана, а также станциями ЕГС РАН соседнего региона – Чеченской Республики.

При сводной обработке данных для определения координат эпицентра были использованы записи 16 станций с эпицентральными расстояниями от 5 км (с. Ботлих) и до 170 км (с. Ахты).

Макросейсмические данные. Сразу же после произошедшего землетрясения работницей сейсмостанции Ботлих Магомаевой А.А. были опрошены близлежащие населенные пункты, полученные сведения представлены в таблице 4 и на карте (рис. 5).

Таблица 4

N₂	Пункт	Δ, км	٥, °N	λ, °E	N⁰	Пункт	Δ, км	φ, °N	λ, °E
4 балла					8	Анды	14	42,77	46,27
1	Ботлих	4	42,66	46,21	9	Агвали	16	42,54	46,12
2	Ансалта	5	42,68	46,12	10	Верх. Гаквари	16	42,53	46,01
3	Годобери	7	42,63	46,11	11	Карата	16	42,58	46,33
4	Чанко	8	42,71	46,25			3 балла		
5	Ниж. Инхо	8	42,69	46,5	12	Шабдух	22	42,75	46,42
6	Алак	9	42,6	46,19	13	Килятль	25	42,69	46,47
3-4 балла					14	Мехельта	29	42,78	46,5
7	Гигатль	13	42,58	46,09					



Рис. 5. Карта изосейст Ботлихского землетрясения 2 ноября 2016 г. с К_Р = 9,73, где 1 – балльность по шкале MSK-64; 2 – изосейста землетрясения; 3 – инструментальный эпицентр; 4 – макросейсмический эпицентр; 4 – административная граница.

Как видно из таблицы, интенсивность сотрясений силой в 4 балла ощущалась в селах Ботлих, Ансалта, Годобери, Чанко, Нижнее Инхо, Алак.

Землетрясение ощущалось в вышеуказанных селах. Жители перечисленных населенных пунктов слышали подземный гул, похожий на звук проезда тяжелой груженой машины. В отдельных домах было замечено движение незакрытых дверей, дрожание мебели и дома, звон оконных стекол; некоторые люди испугались, но не вышли на улицу.

Трехбалльную изосейсту провести не удалось из-за отсутствия информации из населенных пунктов, удаленных от эпицентра.

Макросейсмический эпицентр имеет координаты фмак =42,69 °N; λмак=46,17 °E и hмак =12 км.

В таблице 4указанабалльность в населенных пунктах и расстояние от макросейсмического эпицентра до каждого из них. Азимут простирания большой оси четырехбалльнойизосейсты равен $AZM = 38^{\circ}$.

По данным рисунка 2, площадь четырех-балльной зоны равна S₄=290 км², длина продольной оси – 23 км, а поперечной – 16 км.

Следует отметить, что макросейсмический эпицентр Ботлихского землетрясения смещен в юго-западном направлении от инструментального эпицентра на 3 км. Несовпадение эпицентров можно объяснить возможной ошибкой в локализации землетрясения или приближенным составлением четырех-балльнойизосейсты.В заключении отметим, что Ботлихское землетрясение 2 ноября является единственным событием подобной силы в пределах Ботлихского района за весь инструментальный период наблюдения (с 1975 г.). Детальная информация о нём в определенной мере восполняет пробел в наших знаниях о сейсмичности территории, полезной при оценке сейсмической опасности указанного района.

Кизилюртовское–II землетрясение.22 декабря в 16 ч. 31 мин. произошло ощутимое землетрясение недалеко от г. Кизилюрта, поэтому названо Кизилюртовское–II землетрясение, так как 31 января 1999 г. было Кизилюртовское–I землетрясение с магнитудой M_s = 5,6 и силой сотрясений в эпицентре 7 баллов [3] на 16 км юго-восточнее от Кизилюртовского–II землетрясения. Кизилюртовское–II землетрясение зарегистрировали все сейсмостанции Дагестана. Его параметры по данным сети Дагестанского филиала ФИЦ ЕГС РАН: φ =43,16 ⁰N; λ =46,79 ⁰E; h=13 км; K_P=10,32; M_s=3,5.[1]. Землетрясение сопровождалось незначительным числом афтершоков. Глубина залегания очагов афтершоков колеблется в диапазоне глубин h = 3–10 км. Несмотря на небольшое значение магнитуды, она представляет интерес в связи с близостью его эпицентра к эпицентру сильного землетрясения 31 января 1999 г., а также близостью к Чирюртовской ГЭС, а также в связи с охватом большой площади, где люди ощущали сотрясения. Вблизи очага Кизилюртовского–II проходит Срединный глубинный разлом [6].

Форшоки и афтершоки. С землетрясения 27 февраля в 19 ч 26 мин с К_P=6,0 начался форшоковый процесс в очаговой зоне, где зарегистрировано 16 слабых землетрясений с К_P=4,97-9,14 (табл. 5), которые можно отнести к форшокам. Завершился форшоковый поток землетрясений 9 декабря. Афтершоковый процесс начался 22 декабря в 16 ч. 31 мин., зарегистрировано 12 землетрясений с К_P=4,65-7,34 (табл. 5). Облако форшоков и афтершоков сконцентрировалось вокруг основного толчка в виде окружности.

Основные параметры землетрясения 22 декабря в 16 ч. 31 мин.

Таблица 5

	Дата	to	Эпицентр					
N⁰	д.м.	чмс	φ, ° Ν	λ, °E	h,км	Кр		
	Форшоки							
1	27.02	19-26-24,02	43,23	46,95	14	5,99		
2	01.04	13-37-51,04	43,20	46,87	13,5	5,39		
3	14.06	22-44-09,03	43,23	46,87	18,5	7,99		
4	01.07	05-19-04,05	43,17	46,90	12,5	5,36		
5	01.07	13-07-33,04	43,18	46,84	11,5	9,14		
6	01.07	13-40-11,1	43,21	46,89	16,5	6,54		

Асманов О.А., Адилов З.А. СЕЙСМИЧНОСТЬ ЦЕНТРАЛЬНОГО ДАГЕСТАНА В 2016 г.

7	01.07	14-32-35,03	43,17	46,89	10,0	5,08
8	01.07	15-28-57,08	43,16	46,86	13,5	6,34
9	01.07	15-52-21,02	43,18	46,88	13,5	7,26
10	01.07	15-54-59,07	43,21	46,82	18,5	5,74
11	01.07	19-15-17,09	43,20	46,81	11,5	4,97
12	01.07	21-49-22,03	43,20	46,86	13,0	5,53
13	04.08	18-48-27,09	43,26	46,8	21	5,32
14	28.09	04-21-18,03	43,27	46,84	15	6,17
15	09.12	04-50-38,05	43,26	46,97	16	5,58
16	09.12	22-15-26,02	43,20	46,93	17	7,67
			Основной толчок			
17	22.12	16-31-31,09	43,16	46,80	15	10,32
			Афтершоки			
18	22.12	16-36-31,09	43,20	46,92	12	6,85
19	22.12	16-45-38,01	43,19	46,90	15	7,0
20	22.12	17-54-29,06	43,19	46,93	11,5	4,86
21	22.12	18-08-0,05	43,17	46,92	14	6,29
22	22.12	18-33-32,05	43,17	46,85	13,5	7,34
23	22.12	19-04-06,6	43,19	46,87	12	6,98
24	22.12	20-16-56,01	43,16	46,85	10,5	6,2
25	22.12	20-41-40,09	43,22	46,89	12,5	5,35
26	22.12	22-30-06,09	43,17	46,89	12,5	4,63
27	23.12	06-39-17,08	43,16	46,86	12	6,25
28	23.12	07-06-15,01	43,19	46,85	14	6,27
29	24.12	10-54-28	43,24	46,96	13,5	5,34

Макросейсмческие данные. Ниже приводится краткое описание характерных макросейсмических проявлений землетрясения 22 декабря в близлежащих населенных пунктах. Макросейсмческие данные собраны по телефону сотрудниками Дагестанского филиала без выезда в населенные пункты. Максимальная интенсивность сотрясений в эпицентре составила I₀=4–5 баллов по шкале MSK-64.

По сообщениям в населенных пунктах Бавтугай (Δ =3,5 км), Нижний Чирюрт (Δ =4 км), Гелбах (Δ =3 км) землетрясение ощущалось с интенсивностью 4–5 баллов. Жители вышеперечисленных населенных пунктов ощущали вертикальный удар. Повсеместно наблюдалось раскачивание люстр. Землетрясение замечено практически всеми людьми, находившимися в состоянии покоя. При землетрясении слышался гул.

К 4-х балльной зоне можно отнести г. Кизилюрт, с. Инчхе и с. Комсомольске. В этих селениях отмечено дребезжание посуды, оконных стекол, раскачивались подвешенные предметы. Повреждений в штукатурке в кладке печей не было.

В 3-4-х балльной зоне оказались с. Шушановка, пос. Дубки, села Эндирей, Нечаевка, Чонтаул, Дылым. В этих селениях отмеченное землетрясение ощущали многие жители. Они заметили покачивание люстр, дребезжание посуды, некоторые испугались.

В 3-х балльной зоне в Новом Чиркее, Буртунае и Куруше землетрясение ощущали многие жители селений, ощущалось легкое дрожание, раскачивались люстры.

В населенном пункте Новолакское (2–3–х балльная зона) землетрясение замечено отдельными людьми в состоянии покоя в помещениях на вторых этажах. Дрожала и скрипела мебель, легко колебались подвешенные предметы.

На основе опросных данных составлена таблица 6 о макросейсмическом проявлении Кизилюртовского-II землетрясения 22 декабря 2016 г. (рис. 6).



Рис.6. Карта изосейстКизилюртовског–II землетрясения 22 декабря в 16 ч. 31 мин. (К_Р=10,32): 1 – интенсивность сотрясений в баллах по шкале MSK-64; 2 – инструментальный эпицентр; 3- изосейста.

Таблица	6
---------	---

N⁰	Населенные пункты	Δ, км	φ, °N	λ, °E				
4-5 баллов								
1	Гелбах	2	43,14	46,85				
2	Бавтугай	3	43,16	46,83				
3	Ниж. Чирюрт	3	43,16	46,86				
	4 6a	алла						
4	Инчхе	7	43,08	46,76				
5	Кизилюрт	8	43,20	46,86				
6	Комсомольск	8	43,16	46,89				
	3-4 6	балла						
7	Шушановка	12	43,19	46,98				
8	Дубки	13	43,01	46,85				
9	Эндирей	14	43,14	46,65				
10	Нечаевка	15	43,25	46,90				
11	Чонтаул	18	43,29	46,85				
12	Дылым	18	43,07	46,63				
	3 ба	алла						
13	Нов. Чиркей	17	43,14	47,05				
14	Буртунай	24	42,98	46,61				
15	Куруш	25	43,36	46,76				
	2-3 6	балла						
16	Новолакская	29	43,10	46,48				

Макросейсмические сведения о Кизилюртовском-ІІ землетрясении

Четвертая изосейстаКизилюртовского–II землетрясения представлена на рис. 7 в сопоставлении с 7-балльной изосейстойКизилюртовского землетрясения 1999 г. Форма изосейст землетрясения 2016 г. близки к эллипсу, большая ось Кизилюртовского–II землетрясения в плейстосейстовой области имеет северо–восточное простирание с азимутом AZM=30⁰. А большая ось Кизилюртовского–I землетрясения в плейстосейстовой области имеет северозападное простирание с AZM=288⁰. Система изосейст землетрясения 31 января 1999 г. [3] отличается от системы изосейст описанного землетрясения 2016 г. (рис.6). Расстояние между инструментальными эпицентрами землетрясений составляет 17 км, а расстояние межу макросейсмическими эпицентрами равно 12 км. Эпицентры землетрясений 22 декабря 2016 г. и 31 января 1999 г. относятся к Срединному глубинному разлому.



Рис.7. Сопоставление карты изосейст землетрясений 22 декабря 2016 г. и 31 января 1999 г.: 1 – изосейстаКизилюртовского–ІІ землетрясения 22 декабря 2016 г. с интенсивностью 4-5 баллов; 2 - изосейстаКизилюртовского–І землетрясения 31 января 1999 г.; 3, 4 – макросейсмические эпицентры землетрясений 22 декабря 2016 г. и 31 января 1999 г. соответственно; 5 - глубинный разлом Срединный [6].

В заключении отметим, что возникновение в Центральном Дагестане вышерассмотренных землетрясений не противоречит существующим здесь долговременным параметрам сейсмического режима [5]. Эти сейсмические события вполне вписываются в общую сейсмотектоническую ситуацию рассматриваемой территории. Результаты исследований данных землетрясений расширяют представление о подобных событиях, позволяя на более детальном уровне осуществлять сейсмический мониторинг всей территории Дагестана.

Литература

- 1. Адилов З.А., Асекова З.О, Гамидова А.М., Магомедова Д.С., Мусалаева З.А., Павличенко И.Н., Сагателова Е.Ю., Шахмарданова С.Г. Каталог (оригинал) землетрясений Дагестана за 2016 г. //Фонды ДФ ФИЦ ЕГС РАН. Махачкала,2016.
- Асманов О.А., Даниялов М.Г., Магомедов Х.Д., Адилов З.А. Мехельтинское землетрясение 13 мая 2016 года. // Глубинное строение минерагения, современная геодинамика и сейсмичность Восточно-Европейской платформы и сопредельных районов. Материалы XX Всероссийской конференции с международным участием 25-30 сентября. Воронеж: Научная книга, 2016. С. 63–67.
- Асманов О.А., Амиров С.Р., Даниялов М.Г., Левкович Р.А., Мирзалиев М.М., Осокина А.Ш., Габсатарова И.П. Кизилюртовское землетрясение 31 января 1999 года с Ms=5,6, I₀=76. (Дагестан). // Землетрясения в Северной Евразии в 1999 г. Обнинск: ФОП, 2005. С.254–263.
- 4. Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В. Шкала сейсмической активности MSK-64. М.: МГК АН СССР, 1965 г. 11с.
- 5. Общий каталог землетрясений на территории Дагестана. Макросейсмические и инструментальные данные о землетрясениях за период с VII в.н.э. до 2005 г.Махачкала: Эпоха, 2007. 394 с.
- 6. Черкашин В.И., Сабанаев К.А., Гаврилов Ю.О., Панов Д.И. Тектоника Дагестана (объяснительная записка) //Труды ДНЦ РАН. Выпуск 60. Отв. редактор Ю.Г. Леонов. Махачкала, 2012. 86 с.

УДК: 553.061:551.243 (470.67)

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УРОКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КИЗИЛ-ДЕРЕ

Мацапулин В.У., Тулышева Е.В., Исаков С.И., Абдулганиева Т.И. Институт геологии ДНЦ РАН

Разведанное промышленное месторождение медно-пирротиновых руд Кизил-Дере не отрабатывается уже в течение более 30^{ти} лет. Неоднократные попытки ввести его в эксплуатацию были неудачны из-за экологических условий. Экология обуславливает необходимость детального её изучения на начальных этапах научных работ, поисков и разведки экологически опасных видов сырья.

Ключевые слова: месторождение, медно-пирротиновые руды, экология, поиски, разведка, экологически опасные виды сырья, эксплуатация.

ECOLOGICAL LESSONS OF KIZIL-DERE FIELD Matsapulin V.U, Tulysheva E.V., Isakov S.I., Abdulganieva T.I. Institute of Geology of the Russian Academy of Sciences

The reconnoitered industrial deposit of copper-pyrrhotite ore Kizil-Dere has not been developed for more than 30 years. Numerous attempts to put it into operation were unsuccessful because of ecological conditions. The ecology causes need of her detailed studying at the initial stages of scientific works, search and investigations of ecologically dangerous types of raw materials.

Keywords: field, copper-pyrrhotite ores, ecology, search, investigation, ecologically dangerous types of raw materials, operation.

Текущий год посвящен экологии. Это обуславливает необходимость отражения в научной деятельности и публикациях этого вопроса, касающегося всех полезных ископаемых Восточного Кавказа. Настоящее сообщение посвящено медно-пирротиновому месторождению Кизил-Дере, расположенному в долине р. Кизил-Дере (правый приток р. Ахтычай) в Ахтынском районе РД, близ селения Хнов.

Месторождение разведывалось с 1965 по 1985 год - 20 лет. Это довольно длительный срок разведки подобного месторождения. Уже почти треть века как оно разведано, но не отрабатывается. Это законсервированные запасы меди (около 1 млн. т), что оставляет несколько меньше среднего по запасам месторождения этого сырья. По месторождению написан отчет с подсчетом запасов и утвержден в ГКЗ СССР. Месторождение передано на баланс министерства цветной металлургии еще в советское время. Были намечены сроки его отработки. Месторождение рассматривалось совместно с месторождениями Азербайджана, расположенных на южном склоне Большого Кавказа – Филизчай, Кацдаг, Катех, составлявших Восточно-Кавказскую зону полиметаллических руд с суммарными запасами порядка 4-5 млн. т. цинка, меди, свинца. Затем последовали политические события, в результате которых месторождение Кизил-Дере осталось единственным на российской территории Восточного Кавказа. Это уменьшило перспективы отработки месторождения. Хотя до этого тоже существовали факторы понижающие перспективность отработки – это, прежде всего, удаленность объекта отработки от металлургической базы переработки этого сырья (Урал, Казахстан, Иран). Развертывать на месте металлургический комплекс было не целесообразно из-за малых запасов. В геологической литературе того времени в обзоре базы медных месторождений России, сделанного сотрудниками ВИМС(а), месторождению Кизил-Дере отводилось самое последнее место. Судьба его была неопределенна, особенно на фоне такого гиганта как Удоканское месторождение меди (Восточная Сибирь) в 50 раз превышающее Кизил-Дере. Все это усугублялось еще тем, что горнометаллургическое производство России приватизировано.

Конечно, введение месторождения в производство сулило прибыль в бюджет Республики, и находились сторонники отработки месторождения. В 1996-97 гг. пыталась получить лицензию американская компания «Глоб Минерал Интернэшнл». «Но «материалы» экологического обоснования лицензии на разработку месторождения Кизил-Дере в Минприроде РД для проведения экологической экспертизы, несмотря на неоднократные напоминания, не были представлены и лицензия на пользование недрами выдана американской «Глоб Минерал Интернэшнл» без положительного заключения государственной экологической экспертизы [1]». В заключение было указано, что «права населения региона на здоровую окружающую среду обитания не были соблюдены». На этом попытки начать отработку месторождения не закончились. Наиболее шумная компания по введению месторождения в производство была проведена (2007г.) под председательством главы комитета по экологии Госдумы РФ академика Грачева В.А. Представительное совещание было организовано в пос. Ахты. По сравнению с предыдущей попыткой передачи американской компании на месторождении по экологии ничего не было сделано. Лицензию на отработку месторождения хотела получить «Русская медная компания» (Новгород). В выступлениях представителей компании и специалиста института Механобр (С. Петербург) не была обоснована приемлемая экологическая схема отработки. Предлагали разные варианты – вплоть до покрытия долины р. Кизил-Дере защитным полотном, спуска р. Ахтычая в долину р. Самур, открытая отработка месторождения (д. г-м.н. Богуш И.А.) и другие проекты. Но эти варианты не укладывались в требования экологии и финансы. В принципе можно отработать месторождение с соблюдением всех требований, но это потребует финансов больше стоимости самого месторождения. Отчетливо на Ахтынском совещании ни до чего не договорились. Но чувствовалось давление административного ресурса за отработку месторождения. В период после совещания была подача материалов по Кизил-Дере президенту В.В. Путину. И когда решался вопрос о финансировании работ в РД на нефть, поступило предложение от президента выделить на начало отработки месторождения Кизил-Дере порядка 800 млн. долларов, треть из которых составили бы частные инвестиции. Но руководство компании «Русская медь» отказалась от отработки месторождения. На этом попытки вовлечь месторождение в отработку пока закончились. На наш взгляд самым разумным способом отработки месторождения было предложение авторов отчета по месторождению Кизил-Дере в ГКЗ – отработке руды подземным способом выщелачивания, который применяется на своих объектах компании «Русская медь». При серьезности намерений отработки месторождения нужно детально обосновать этот метод. Особенно обратить внимание на пути загрязнения подземных вод.

В обсуждении материалов отработки месторождения почему-то отсутствуют кондиции месторождения. Что происходит с ними? Ведь по сравнению с советским периодом произошли резкие изменения цен на электроэнергию, стройматериалы, железнодорожный и водный транспорт, ГСМ и др. Поэтому, казалось бы, в первую очередь необходимо бы пересчитать кондиции и посмотреть какие запасы меди останутся. Среднее содержание меди на Кизил-Дере составляет 2,5 %, итак не высокое. С удорожанием цен эта величина повысится, а общие запасы снизятся. При пересчете запасов месторождение может перейти в категорию непромышленных, отработка которых нерентабельна. Тогда и разговоры по этой теме отойдут. Пересчет кондиций должен проводиться геологами до передачи месторождения в эксплуатацию, вопреки разговорам о том, что пересчет должны производить эксплуатационщики. Какие следуют уроки из этой истории месторождения Кизил-Дере? Его отработка может привести к загрязнению бассейна р. Самур [2]. Развертывание поисковых работ (которое предлагают некоторые геологи) на участках в верховьях бассейна р. Сулак – проявления Мачхалор, Перевальное и др., могут привести к открытию промышленных руд типа кизил-деринских или еще крупнее. Однако, разведка этих месторождений будет гораздо сложнее и дороже, чем на Кизил-Дере, исходя из более тяжелых горнотехнических условий (бездорожье, высота, необжитость территории).

Необходимое материально-техническое снабжение при поисках и разведке здесь проводилось вертолетами. Допустим, что мы разведали на территории предполагаемое крупное месторождение сульфидных руд. Далее мы придем к нынешней ситуации с Кизил-Дере – перспективы загрязнения бассейна р. Аварское Койсу и р. Сулак, обеспечивающие питьевой водой г. Махачкалу и села, через территории которых проходят водоводы. Начаты работы по коренному золоту на Курушском рудном поле – верховье долины реки Усух-чай. По данным предприятия ГУП «РЦ Дагестангеомониторинг» здесь выявлено месторождение тонкопрожилковых кварцевых руд с промышленными и непромышленными запасами золота порядка 60 т. – это среднее по размерам месторождение золота по существующей классификации. Отработка его и обогащение руд будет связана с применением цианистых реагентов, т.е. бассейн р. Усух-чай в Докузпаринском районе, р. Самур ниже впадения Усух-чая могут быть заражены цианидами. (Подобный случай произошел с американскими отработками золота в Киргизии). Уже на данной стадии поисков и разведки золоторудных месторождений специалистам и научным работникам стоит задуматься над вопросами экологии этих месторождений. Поэтому прежде чем проводить работы на рудное сырье (сульфидное, золотое и др., связанные с экологическими рисками) нужно хорошо продумать, проработать экологию этого сырья. Ведь взять Азербайджан, там промышленные месторождения Филизчай, Кацдаг, Катех, как и в Дагестане Кизил-Дере, не отрабатываются. Хотя они по запасам больше чем в Дагестане в 3-4 раза. К месторождению Филизчай даже проведена железнодорожная ветка от станции Евлах. С чем связано такое осторожничание, помимо прочего, не последнюю роль в этом, видимо, играет и экология.

Из рассмотренного следует, что научные и производственные работы по перспективам выявления колчеданно-полиметаллических руд на территории Горного Дагестана будут не эффективны. Представляется, что более приемлемо проводить работы на экологически безопасные виды сырья – нерудное сырье – известняки, доломиты, гипс и др. В республике функционирует крупный завод по производству листового стекла (выпускающей продукцию 700 т в сутки), а сырьё – песок, доломит завозятся из других республик. Имеются перспективные наработки ИГ ДНЦ РАН по среднемиоценовым (чокрак-караган) россыпям на благородные металлы, которые при отработки экологически безопасны [3,4,5]. По данным изучения минералогии песчаников возможны находки терригенных алмазов. В последнее время в Дагестане установлены масштабные эксплозивные структуры [6], с которым также возможна связь алмазов. С подобными эксплозивными брекчиями связаны и рудные процессы – Садонская группа полиметаллических месторождений (Центральный Кавказ) [7]. Таким образом, в Республике есть экологические безопасные области геологии, по которым можно проводить работы с учетом экологии.

Литература

- 1. Алиев Н-К.К. О разработке месторождения Кизил-Дере. Экологический вестник №4. Махачкала, 1997. С. 73-75.
- 2. Самедов Ш.Г., Ибрагимова Т.И. Оценка качества водных ресурсов бассейна р. Самур // Водное хозяйство России. 2014. № 4. С. 4-16.
- 3. Мацапулин В.У., Юсупов А.Р., Черкашин В.И. Первые находки терригенного золота, платины в миоценовых отложениях Восточного Кавказа (Дагестан) // Доклады РАН. Т. 424. №6. 2009. С. 792-795.
- 4. Черкашин В.И., Мацапулин В.У., Юсупов А.Р., Тулышева Е.В., Хлопкова М.В. Условия формирования и закономерности локализации повышенных концентраций драгоценных металлов в мезокайнозойских отложениях Восточного Кавказа и перспективы их промышленного освоения // Проблемы минерагении России. Издание ГЦ РАН, Москва. 2012г. с. 127-141.
- 5. Черкашин В.И., Мацапулин В.У., Юсупов А.Р. Золотоносность среднемиоценовой россыпной подпровинции Восточного Кавказа (Дагестанское обрамление) // Вестник Дагестанского научного центра РАН, Махачкала, 2013, №50. С. 19-25.
- 6. Исаков С.И., Мацапулин В.У., Тулышева Е.В., Юсупов А.Р. Проявления вулканических пеплов в долине речки Истисув в аридной зоне Дагестана (Восточный Кавказ) // «Аридные экосистемы». М., Т. 19, М., № 3, 2013. С. 99-106.
- 7. Трофимов Н.Н., Побыванец В.С., Долганев В.П., Трушин С.М. Роль брекчий в локализации оруденения на Садонском свинцово-цинковом месторождении // Известия АН СССР. Серия геологическая. №12. 1982. С. 94-100.

УДК УДК 550.3

МЕТОДЫ ИНЖЕНЕРНО-СЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ЦЕЛОСТНОСТИ КОНСТРУКЦИИ СООРУЖЕНИЙ

Громыко¹ П.В., Селезнев¹ В.С., Лисейкин¹ А.В., Бах² А.А., Красников² А.А. ¹Единая геофизическая служба Российской академии наук (СЕФ ФИЦ ЕГС РАН) ²Единая геофизическая служба Российской академии наук (АСФ ФИЦ ЕГС РАН)

Работа посвящена разработке и развитию методов неразрушающего инженерно-сейсмологического обследования физического состояния объекта, и созданию системы своевременного фиксирования изменений динамических характеристик конструкций зданий или сооружений, и направлена на обеспечение безопасности целостности конструкции

Ключевые слова: метод мониторинга, конструкции, инженерные сооружения, сейсмические наблюдения.

METHODS OF ENGINEERING-SEISMIC MONITORING OF INTEGRITY OF CONSTRUCTION OF FACILITIES

Gromyko¹ P.V., Seleznev¹ V.S., Liseikin¹ A.V., Bach² A.A., Krasnikov² A.A. ¹Edinary Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences (SEF FITS EGS RAS) ²Edinary geophysical service of the Russian Academy of Sciences (ASF FICs EGS RAS)

The work is devoted to the development and development of methods for non-destructive engineering seismological survey of the physical state of the facility, and the creation of a system for timely recording changes in the dynamic characteristics of structures of buildings or structures, and is aimed at ensuring the integrity of the structure

Key words: monitoring method, constructions, engineering structures, seismic observations.

Любые высотные здания и сооружения являются объектами повышенной ответственности. Такие высотные сооружения наиболее подвержены влиянию ветровых нагрузок и резонансному вихревому возбуждению. Кроме этого, при определенных условиях основания зданий и сооружений подвержены негативным воздействиям, вызванных влиянием на них различных естественных (активация разломов, землетрясения, размытие, промерзание и т.п.) и техногенных факторов. Ввиду этого, при эксплуатации необходим как контроль технического состояния объекта, так и действующих динамических воздействий, возможно несущих опасность, как для конструкции в целом, так и для ее частей. Данная работа посвящена разработке и развитию методов неразрушающего инженерно-сейсмологического обследования физического состояния объекта, и созданию системы своевременного фиксирования изменений динамических характеристик конструкций зданий или сооружений, и направлена на обеспечение безопасности целостности конструкции.

Основной для развития метода являются результаты исследований собственных колебаний сооружений. Важным свойством стоячих волн является то, что частоты и формы собственных колебаний зависят только от строения инженерного сооружения и от физических свойств материалов, из которых оно изготовлено. Изменение форм и частот собственных колебаний, может свидетельствовать как о деформационных процессах в основании, так и в конструкции сооружения.

В ФИЦ ЕГС РАН был разработан и запатентован метод [1], который позволяет по данным поля микросейсмических колебаний, зарегистрированных в инженерном сооружении, выделить поле стоячих волн. Он основан на свойстве когерентности во времени колебаний стоячих волн: для любой пары точек наблюдения на исследуемом объекте, связь между колебаниями описывается линейной системой, не зависящей от времени. Используя данное свойство и алгоритм на основе фильтра Винера, можно преобразовать записанный сигнал сети наблюдения, состоящей из стационарной (опорной) точки t₀ и точек, меняющих свое положение t_n, в единовременную запись стоячих волн. Это позволяет покрыть густой сетью наблюдений объект даже при помощи небольшого количества малоканальной аппаратуры, и получить качественную картину волнового поля стоячих волн без использования промышленных виброисточников

(что исключает вредное воздействие резонансных эффектов на объект), пользуясь лишь данными регистрации микросейсмического фона естественного и техногенного происхождения. Апробация данного метода при детальных измерениях в объеме реальных инженерных сооружений показала возможность определения не только основных динамических характеристик сооружения (значения частот, периодов и форм собственных колебаний конструкционных элементов здания и коэффициенты их затухания), но и существующих скрытых структурных дефектов и их локализацию. Кроме этого, данный метод позволяет выделить собственные формы колебаний объекта исследований и исключить шумовое воздействие сторонних источников.

На рис.1 показан результат обследования гребня Саяно-Шушенской гидроэлектростанции (далее СШ ГЭС) методом стоячих волн после аварии в 2009г. Представлено спектральное изображение поля стоячих волн (ускорения колебаний) плотины СШ ГЭС в направлении "по течению". Оно имеет ярко выраженные спектральные пучности, центральные частоты которых соответствуют собственным частотам поперечных колебаний плотины. По цветным картам амплитудных и фазовых спектров можно произвести идентификацию номера формы, а также определить характер деформаций (изгибные, сдвиговые, изгибно-сдвиговые). В представленном примере наиболее интенсивно прослеживаются первые 7 форм собственных колебаний, а симметричная картина и отсутствие аномальных зон в поле стоячих волн свидетельствует о целостности конструкции, т.е. отсутствии каких-либо дефектов или ослабленных зон в теле плотины.



Рис. 1. Результат обследования СШ ГЭС методом стоячих волн: (а) – схема сейсмических наблюдений; (б) – спектральное изображение поля собственных колебаний плотины СШ ГЭС на уровне 542м, направленных "по течению".

В практике применения метода стоячих волн имеются результаты обследования объектов с различными дефектами. На рис. 2 показан пример обследования кровли элеватора. Из-за обводнения грунтов образовался крен здания, визуальным подтверждением этого являются обнаруженные дефекты строительных конструкции (рис. 2в, г). В свою очередь, в полученной волновой картине собственных колебаний, данная деформация проявляется в виде аномальной зоны – вертикальных колебаний, смещенных относительно центра сооружения.

Следует заметить, что изменения собственных частот могут быть связаны не только с появлением каких-то дефектов. Они меняются при изменении внешней нагрузки (к примеру присоединённых масс воды, снега и т.д.), не приводящей к возникновению дефектов конструкции. Есть работы, посвященные теоретическим расчетам собственных колебаний плотины без воды и с водой. Так, в работе [2] показано, что при наполнении водохранилища Саяно-Шушенской ГЭС, значения собственных частот должны уменьшаться.



Рис. 2. Результат обследования элеватора методом стоячих волн: (a) – спектр вертикальных колебаний кровли; (б-г) – внешний вид сооружения и видимые дефекты.

При исследовании динамических воздействий от работы гидроагрегата на собственные колебания тела плотины, здания и агрегатного блока СШ ГЭС [3,4], в спектрах сейсмических записей удаленной сейсмостанции «Черемушки» (4 км от электростанции), наблюдались колебания, источником которых являются собственные колебания тела плотины. Данные сигналы очень слабы (на несколько порядков ниже) по сравнению с микросейсмическим фоном. Для выделения этих сигналов применялась следующая процедура. Сейсмическая запись, длительностью до 5 суток, разбивалась на фрагменты длительностью 300 с, для каждого из них вычислялся амплитудный спектр, затем полученные спектры усреднялись. Из дополнительных процедур цифровой обработки, применялось обнуление высокоамплитудных кратковременных помех, вызванных, например, близкими землетрясениями (район с повышенной сейсмической активностью), или техногенными источниками, которые существенно искажают результаты вычисления спектров. На заключительном этапе, по построенным спектрам выделялись частоты собственных колебаний плотины. На рис. 3 показан результат определения описанным собственных собственных частот плотины Саяно-Шушенской ГЭС за 15-лений период с 2001 по 2015 год.



Рис. 3. Изменения значений уровня водохранилища (УВБ) и собственных частот плотины Саяно-Шушенской ГЭС (Ф.х. - обозначение формы собственных колебаний, К – коэффициент корреляции между рядами изменений УВБ).

Видно, что в течение каждого года частоты собственных колебаний плотины СШ ГЭС меняются и эти изменения коррелируют с изменениями уровня водохранилища: с увеличением уровня верхнего бьефа (УВБ), значения частот уменьшаются и наоборот. В целом, результаты проведенных исследований показали, что за 15-летний период зависимости частот от изменений УВБ не поменялись, что свидетельствует об отсутствии необратимых изменений в техническом состоянии плотины за этот период.

Также в работах [3-6], по уже определенным методом стоячих волн собственным колебаниям плотины, была дана оценка влияния работы гидроагрегатов на возбуждение колебаний тела плотины, то есть дана оценка реакции сооружения на динамические воздействия. На рис. 4 изображен пример анализа собственных колебаний плотины СШ ГЭС, зарегистрированных в верхних точках плотины при тестовых испытаниях гидроагрегата №8 (ГА-8).

Использовались способы обработки сейсмических данных, представленные в работе [7]. Показано, что при нагрузках гидроагрегата от 80 МВт до 460 МВт наблюдается увеличение амплитуд собственных колебаний плотины СШ ГЭС, преимущественно в диапазоне частот от 1 Гц до 5 Гц, соответствующих 1-8 формам, причем колебания с частотами 3.15 Гц, 3.75 Гц (6-7 формы собственных колебаний плотины СШ ГЭС) в большей мере возрастают при нагрузках 80-260 МВт, а колебания с частотами 1.20 Гц, 1.60 Гц, 2.05 Гц и 2.55 Гц, (1-5 формы колебаний). в большей мере возрастают при нагрузках 300-460 МВт. При нагрузках ГА от 540 МВт и выше амплитуды собственных колебаний снижаются до значений, соответствующих значениям, когда ГА был не нагружен. Максимальные значения амплитуд колебаний при нагрузках 80-260 МВт и 300-460 МВт, в 10-20 раз выше амплитуд колебаний, когда ГА был остановлен.

В итоге, на основании вышесказанного, можно сделать вывод, что для любого типа сооружения, возможно создание технологии своевременного фиксирования изменений динамических характеристик конструкций, посредством неразрушающего инженерносейсмологического мониторинга сооружения. Для этого на первоначальном этапе необходимо провести детальное исследование сооружения методом стоячих волн, в результате которого будут получены значения частот, периодов и форм собственных колебаний конструкционных элементов здания и декременты их затухания, а также существующие структурные дефекты и их локализация.



Рис. 4. Связь между изменениями режимов работы ГА-8, показаниями одного из датчиков системы виброконтроля и показаниями сейсмической аппаратуры, установленной в верхней части плотины Саяно-Шушенской ГЭС.

После этого в точках, соответствующих пучностям собственных форм колебаний конструкции сооружения [8], должна быть установлена сеть сейсмических пунктов наблюдений, на основании анализа результатов регистрации которой, будут получены:

• Оценка реакции конструкции сооружения на динамические воздействия, образующиеся вследствие влияния на них различных источников (работа гидроагрегатов, машин, вибро-источников и т.п.);

• Локализация и фиксация образования или развития структурных дефектов, вызванных влиянием на них процессов, вызванных различными естественными (активация разломов, землетрясения, размытие, промерзание и т.п.) и техногенными факторами, по изменению значений частот и декрементов затухания собственных колебаний сооружения.

Литература

- 1. Еманов А.Ф., Селезнёв В.С., Бах А.А., Гриценко С.А., Данилов И.А., Кузьменко А.П., Сабуров В.С., Татьков Г.И. Пересчёт стоячих волн при детальных инженерно-сейсмологических исследованиях // Геология и геофизика. №2. 2002. С. 192 - 207.
- 2. Козинец Г.Л. Определение динамических характеристик сооружений, контактирующих с водой, на примере арочной бетонной плотины Саяно-Шушенской ГЭС // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 5 (23). С. 43-48.
- Лисейкин А.В., Селезнев В.С., Громыко П.В., Кречетов Д.В. О мониторинге состояния крупных промышленных объектов на основе данных сейсмологических наблюдений (на примере Саяно-Шушенской ГЭС) // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Пятой научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский. 27 сентября — 3 октября 2015 г. с.226-230.
- 4. Громыко П.В., Селезнев В.С., Лисейкин А.В. Оценка временной эксплуатационной характеристики гидроагрегатов Саяно-Шушенской ГЭС с помощью анализа динамических воздействий, возникающих в гидротехнических сооружениях Саяно-Шушенской ГЭС на время тестовых испытаний гидроагрегата №10 // Тезисы докладов Всероссийской конференции с международным участием «50 лет сейсмологического мониторинга Сибири» (21-25 октября 2013г., г. Новосибирск). Новосибирск: Изд-во: Полиграфика. 2013. с. 137-140.
- 5. Громыко П.В., Лисейкин А.В., Селезнев В.С., Курзин В.Б. Изменения собственных колебаний плотины Саяно-Шушенской ГЭС при работе старых и новых гидроагрегатов // Материалы Всероссийской конференции, посвященной 100-летию со дня рождения академика Н.Н. Пузырева «Геофизические методы исследования земной коры». – Новосибирск: Изд-во ИНГГ СО РАН, 2014. – С. 125-128.
- 6. Громыко П.В., Селезнев В.С., Лисейкин А.В. Влияние подачи воздуха в проточную часть гидроагрегата на динамические колебания элементов конструкции саяно-шушенской гидроэлектростанции //Гидроэлектростанции в XXI веке Сборник материалов III Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, специалистов, аспирантов и студентов. 2016. С. 31-36.
- 7. Селезнев В.С., Лисейкин А.В., Брыксин А.А. Способ непрерывного мониторинга физического состояния зданий и/или сооружений и устройство для его осуществления // Патент на изобретение РФ. №2461847. Бюл. №26. 20.09.2012г.
- 8. Селезнев В.С., Лисейкин А.В., Альжанов Р.Ш., Громыко П.В. Способ организации непрерывного сейсмического мониторинга инженерных сооружений и устройство для его осуществления // Патент на изобретение РФ, №2546056, Бюл. №10, 10.04.2015г.

УДК 550.348.098.64

МОНИТОРИНГ СОСТАВА ПРИРОДНЫХ ГАЗОВ В СВЯЗИ С СЕЙСМИЧЕСКИМИ СОБЫТИЯМИ НА ВОСТОЧНОМ КАВКАЗЕ И НА СОПРЕДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Саидов О.А.

Единая геофизическая служба РАН

Показано, что подавляющее большинство сейсмических событий происходят после соответствующего повышения дисперсии, на его спаде или соответствуют минимальным значениям дисперсии водорода в приземной атмосфере, гелия и метана в природных газах подземных водно-газовых систем. При этом наиболее вероятным представляется появление возбуждающих колебаний в земной коре за определенный период до сейсмического толчка, которые воздействуют на амплитуду и длительность аномалий в вариациях природных газов и обусловлены завершающим этапом разрушения горных пород.

Ключевые слова: водород, гелий, метан, вариации, дисперсия, землетрясение.

MONITORING OF THE NATURAL GAS COMPOSITION IN CONNECTION WITH SEISMIC EVENTS IN THE EASTERN CAUCASUS AND ON THE COUNTRY TERRITORIES

Saidov O.A.

Unified Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences

It is shown that the overwhelming majority of seismic events occur after a corresponding increase in dispersion, at its decrease or correspond to the minimum values of hydrogen dispersion in the surface atmosphere, helium and methane in natural gases of underground water-gas systems. In this case, the most likely appearance of exciting oscillations in the earth's crust for a certain period before the seismic shock, which affect the amplitude and duration of anomalies in variations of natural gases and are due to the final stage of rock destruction.

Keywords: hydrogen, helium, methane, variations, dispersion, earthquake.

Введение

Вопросы изучения газового режима Земли, в частности, вариаций природных газов во времени являются частью общей проблемы дегазации Земли, которая имеет большое научное и практическое значение для геологической науки в целом. В то же время, этот вопрос приобретаети другое весомое значение в связи с изучением геохимических критериев оценки сейсмической активности.

Как известно, Восточный Кавказ и, в частности, Республика Дагестан является одним из регионов Юга России, где отмечается повышенная сейсмическая активность. Как в прошлом, так и в настоящее время здесь отмечаются крупные землетрясения, а в соответствии с картой ВОЗ возможно возникновение землетрясений с магнитудой М=6 и более с интенсивностью в эпицентре 8-9 баллов. В дополнение к существующей естественной сейсмической активности отмечается и техногенная сейсмичность, связанная со строительством и эксплуатацией крупных гидротехнических сооружений с большими объемами водохранилищ на реке Сулак (Чиркейская, Ирганайская ГЭС и др.). В то же время, наложение на естественный сейсмический фон дополнительного геодинамического фактора, как динамика уровненного режима Каспийского моря, может привести периодическим изменениям сейсмического режима прилегающей территории.

В связи с этим, проведение мониторинга параметров природных газов подземных водногазовых систем с целью выявления статистически надежных предвестников землетрясений не потеряло свою актуальность. С другой стороны эти исследования углубляют наши представления о природе физических и физико-химических процессов в очаге землетрясения.

Современные представления об очаге землетрясения

Традиционная модель очага землетрясения описывается моделью сплошной линейно-упругой среды. При этом очаг землетрясения сводится к тому, что разрушение массива горных пород происходит трещиной. Для изучения геодинамических процессов эта модель оказалась неэффективной в связи с тем, что она не учитывала основное свойство горной породы – дискретность.

Согласно модели Садовского М.А.[1], сейсмическая энергия заключена в некотором объеме горной породы, в одном из блоков иерархической структуры, теряющем устойчивость при энергомассообмене с окружающей средой. Как открытая термодинамическая система такой блок постоянно питается энергией из окружающегося пространства, тем самым поддерживает свою внутреннюю упорядоченность, структурные связи, локально уменьшая энтропию, способствуя при этом увеличению энтропии окружающегося пространства. Такие структуры в неравновесной термодинамике известны, как диссипативные структуры (структуры далекие от равновесия), и возникают в разных средах (в океанах, атмосфере, биосфере и др.). Они динамичны, меняют свое состояние во времени, тем не менее, могут существовать долго, пока существуют энергетические потоки, которые поддерживают их структуру. При прекращении питающих их энергетических потоков, или при изменении внешних по отношению к структуре термодинамических параметров (температура, давление и др. параметры) они теряют устойчивость и разрушаются с выделением соответствующей энергии, т.е. чувствительны внешним воздействиям, и в то же время вновь могут восстанавливаться при возобновлении энергетических потоков (повторяемость землетрясений).

Таким образом, возникновение или зарождение диссипативной структуры ее эволюция и последующее разрушение, (по-видимому, дискретное, что и подтверждает афтершоки), по всей вероятности, определяет механизм очага землетрясения и соответственно гидродинамические, гидрогазогеохимические и геофизические предвестники перед сейсмическими событиями.

В земной коре диссипативные геологические структуры могут иметь место в горном массиве, где отмечаются высокие градиенты тепломассопереноса (кольцевые структуры, или структуры центрального типа) и, в частности, тектоническая структура Дагестанский клин или его некоторые зоны, по-видимому, соответствуют таким условиям. Такое предположение подтвердилось усилением сейсмической активности в окрестностях Чиркейского водохранилища и вдали от него в период его заполнения и эксплуатации [2], что свидетельствует о разрушении блоков разного ранга (диссипативных структур) под воздействием внешних по отношению к структуре возмущающего фактора.

На заключительном стадии активизации сейсмичности, который составляет примерно 10% периода[3] повторения для сильных землетрясений, очаг землетрясения, по мнению Барсукова В.Л., Беляева А.А. и др. [4] представляет собой генератор механических импульсов возрастающей периодичности и частоты. Время распространения их зависит от плотности среды и по сравнению со временем диффузии растворов и газов в земной коре можно считать мгновенной. При этом регистрирующая гидрогазогеохимическая система представляет с собой резонатор с ограниченным набором собственных частот. Появление предвестника отражает эффект резонанса на одной из собственных или кратных ей частотах регистрирующей геохимической системы подземной гидросферы.

Объекты исследований Геохимическая станция «Караман»

Станция расположена в 32 км севернее Махачкалы на побережье Каспийского моря. Географические координаты -43.20 и -47.45, гипсометрический уровень минус - 25м. Станция «Караман» оборудована газовым хроматографом ЛХМ-80. Геохимические наблюдения ведутся на базе природного газа воды скважины «Караман», эксплуатационная глубина которого составляет 643 м. Дегазированный газ состоит, в основном, из CH₄, N₂ и CO₂, присутствует также гелий.

Геохимическая станция «Манас»

Располагается в районе Манасской тектонической структуры в 37 км к юго-востоку от Махачкалы на побережье Каспийского моря. Географические координаты: 42.67 и 47.70, гипсометрический уровень минус – 25м. Геохимические наблюдения ведутся на базе природного газа термоминеральной воды скважины 9Т, эксплуатационная глубина которого составляет 1510-1528 метров. Минерализация воды – 74 г/л, а температура на выходе – 51°C. Дегазированный природный газ состоит из CH₄ (55-60 об%), N₂ (25-30 об%), CO₂ (5-10 об%), присутствуют также гелий, аргон, следы сероводорода H₂S и водорода.

Наблюдательный пункт «Дубки»

Расположен пункт в сейсмоактивной области Дагестанский клин на сейсмостанции «Дубки». Пункт оборудован высокочувствительным сенсором водорода ВСГ – 02. Чувствительность равен 10⁻⁶об%. Аппарат работает в непрерывном режиме.

Наблюдательный пункт «Семендер»

Расположен пункт на северо-западе г. Махачкалы и оборудован высокочувствительным(10⁻⁶ – 10⁻³ об.%) датчиком водорода ВГ-3А. Датчик находится в специально пробуренной скважине, на глубине два метра от земной поверхности. Датчик работает в непрерывном режиме.

Наблюдательный пункт «Учхоз»

Расположен пункт на северо-западе г. Махачкалы и оборудован высокочувствительным(10⁻⁶ – 10⁻³ об.%) датчиком водорода ВГ-ЗА. Датчик находится на глубине 1,5 метра от земной поверхности и работает в непрерывном режиме.

Методика обработки геохимических данных

Исходили из предположения, что не абсолютные значения, а приращения значений величины исследуемого параметра, его дисперсия, могут иметь определенную физическую сущность при исследовании предвестников землетрясений. Как известно, по физическому смыслу дисперсия отражает энергетическое воздействие на систему, в данном случае, на физикохимическую систему подземных водно-газовых образований, а также на дегазацию массива горных пород. В связи с этим данные геохимических временных рядов подвергнуты статистической обработке, суть которой изложена [5]

1.Вычисляются средние значения геохимических временных рядов с определенной статистически значимой шириной окна (10 суток) и соответствующей величиной сдвига ширины окна. В данном случае величина сдвига составляет 1 сутки, что усиливает тесноту взаимосвязи между соседними измерениями и относится ко дню, следующему за рассчитываемым интервалом (физически реализуемый фильтр) т.е. каждое выходное значение ряда является результатом обработки только предыдущих входных сигналов. Переходя последовательно от интервала к интервалу таких наблюдений, можно оценить динамику изменения их статистических свойств, в том числе дисперсии в смежных временных интервалах.

2.Сопоставляются полученные данные с сейсмическими событиями региона. Соответствующие сейсмические события, с указанием класса землетрясений получены по данным региональной сети сейсмических станций Дагестанского филиала ГС РАН.

Обсуждение результатов анализа геохимических временных рядов

В статье рассматриваются вариации состава природных газов в области Дагестанского клина в связи с сейсмическими событиями на Восточном Кавказе и на сопредельных территориях в 2005 - 2006, 2012 и 2014 годах.

На рисунках 1 и 2 представлены вариации непрерывных временных рядов водорода по станции «Дубки» за 2004-2015 годы и аналогичные ряды измерений гелия по станции «Караман» за 2006-2011 годы.

Как видно на рисунках, отмечается годичные периоды в вариациях водорода и гелия. Они, по всей вероятности, имеют космическую природу и обусловлены периодическими деформационными процессами в земной коре при орбитальном вращении Земли вокруг Солнца. На общем фоне кривой аппроксимации заметны весьма значительные флуктуации водорода и гелия. Как нами показано[6], прохождение приливных волн, как лунных, так и солнечных вызывает периодическую деформацию расширения и раскрытия трещин в земной коре, способствуя при этом повышению общей проницаемости среды.



Рис.1. Вариации водорода и аппроксимирующая кривая(ст.Дубки,2004-2015г.)



Рис.2. Вариации гелия и аппроксимирующая кривая(ст.Караман,2006-2011г.)

Наибольшие изменения в газовом составе вызывает полусуточная приливная волна Луны M₂, а легкие компоненты подземной водно-газовой системы, в частности, водород, гелий, метан и другие, обладающие минимумом свободной энергии, доминируют в дегазированных газах земных недр. Гармонический анализ дебита метана показал, что минимум дисперсии соответствует аппроксимирующей функции с периодами 7, 14, 182 сутки. Поэтому период, который отмечается в вариациях водорода и гелия, может быть обусловлен периодом 182 сутки. В то же время, как видно на рис.1 и 2 максимумы аппроксимации водорода и гелия смещены на полгода, что требует соответствующих исследований.

Следует отметить, что длительные многолетние данные водорода, гелия и других компонентов природного газа получены впервые. Изучение воздействия сейсмических событий на вариации этих газов за этот длительный период изложить в одной статье практически невозможно. В связи с этим в дальнейшем материал будет изложен фрагментарно и основное внимание будет уделено величине дисперсии вариаций состава природных газов.

О значимости величины дисперсии и его прогнозной информативности, связанные с изменением во времени локальных характеристик распределения, в том числе в геохимических временных рядах, отмечается в работе [4]. Предлагаемый авторами метод основан на статистической оценке изменчивости дисперсии в смежных временных интервалах. Показано, что дисперсия при переходе от фоновых значений временного ряда к аномальным, его величина изменяется закономерным образом. В промежуточной зоне между аномалией и фоновым значением, среднее значение компонента может оставаться фоновым, в то время как, дисперсия принимает аномальное значение. Примером такого поведения может служит дисперсия вариаций водорода на ст. «Учхоз» (Рис. 3) при землетрясениях энергетического класса K= 13,5 и K=13 с координатами $\lambda = 46.73$, $\varphi = 41.63$ и $\lambda = 49.05$ и $\varphi = 42.73$ соответственно 29 июня и 31 июля 2014 года. Как видно на рисунке сейсмические события происходят после соответствующего повышения величины дисперсии, на его спаде (в первом случае) или соответствует ее минимальным значениям (во втором случае). При этом среднее значение остается практически фоновым.



Рис.3. Дисперсия вариаций водорода в приземной атмосфере (ст. Учхоз, 2014 год)

Таким образом, дисперсия временного ряда связана с энергией процесса, то есть ее динамика может отражать изменение энергетического воздействия на систему, что согласуется с общим положением теории случайных процессов.

На рис. 4 представлены дисперсии вариаций водорода в приземной атмосфере по ст. «Дубки» за 2012 г. Здесь же отмечены сейсмические события K=12 класс и выше, за исследуемый период, имевшее место на разном удалении от пункта наблюдений по данным ССД ГС РАН. Координаты сейсмических событий и их деформационный радиус, вычисленный, по эмпирической формуле $R = 10^{0,43} \frac{2K-9.6}{3}$, представлены в таблице 1.

Тоблино 1

						Гаолица Г
Дата	λ	φ	К	R	R_{ϕ}	Регион
11.03. 2012	46,98	41,47	12	115	150	Восточный Кавказ
07 .05. 2012	46,88	41,56	14,0	440	170	Восточный Кавказ
02 .06. 2012	46,44	43,35	12	115	50	Восточный Кавказ
11.08. 2012	46,85	38,37	15,5	1150	480	Арм-Азерб-Иран погр. обл
07.10.2012	48,58	40,79	13,0	224	270	Восточный Кавказ
14 .10. 2012	46,36	41,71	13,3	280	180	Восточный Кавказ
07.11.2012	46,72	38,65	13,5	309	480	Арм-Азерб-Иран погр.обл
23.12.2012	42,51	40,97	13,5	309	490	Черное море

Как видно на рис.4, сейсмические события происходят после повышения величины дисперсии, на его спаде или спустя некоторый промежуток времени и соответствуют, как правило, минимальным значениям дисперсий водорода, что является прогнозным признаком





На рисунках 5, 6, 7, 8 представлены дисперсия вариаций водорода и гелия при крупных землетрясениях в Турции, Иране, Азербайджане и в Каспийском море за 2005 – 2006 годы. Как видно, крупные сейсмические события также происходят после соответствующего повышения значений дисперсии, на его спаде или соответствуют минимальным значениям дисперсии. Кроме того форма проявления дисперсии для крупных землетрясений одинакова, имеет два «горба», но иногда один из них выполаживается (рис. 6 и 8). На подобные моменты изме-

нения дисперсии гелия отмечают и авторы[4] при геохимических исследованиях на газирующих минеральных источниках Таджикистана.

Следует отметить, что прогнозные аномалии для Иранского землетрясения K= 15 от 29 марта 2006 года продолжались в течение 19 суток, а для землетрясения K=13 от 11 сентября 2006 года на расстоянии 140 км (Каспийское море) от пункта наблюдений «Дубки» составляют 20 суток. Таким образом, прогнозные сигналы различно удаленных очагов, появляются в пункте наблюдений без существенного сдвига во времени. Такое явление можно объяснить только появлением в земной коре возбуждающих колебаний с высокими скоростями из зоны очага землетрясения, на заключительной стадии его разрушения.



Рис.5. Дисперсия вариаций водорода при крупных землетрясениях (ст.Дубки,2005 г.)



Рис.6. Дисперсия вариаций гелия при крупных землетрясениях(ст.Манас,2005 г.)



Рис. 7. Дисперсия вариаций водорода при крупном землетрясении в Иране (ст.Дубки, 2006 год)



Рис. 8. Дисперсия вариаций водорода при крупном землетрясении (ст. Дубки, 2006 год)

На рис 9.представлены данные по дисперсии вариаций водорода на наблюдательном пункте «Семендер» за сентябрь- ноябрь 2012 года (открыт в сентябре 2012 года).


Рис. 9. Дисперсия вариаций водорода приземной атмосфере (ст. «Семендер», 2012 г.)

Как видно на рисунке, сейсмические события октября-ноября 2012 года (таблица 1) также отразились на дисперсии водорода на ст. «Семендер» и происходят после повышения величины дисперсии и соответствуют минимальным значениям дисперсии.



Рис. 10. Дисперсия вариаций отношений метана к азоту-стандарту (ст. Караман, 2012 г.)

На рис.10 представлены данные дисперсии вариаций отношений метана к азоту – стандарту на геохимической станции «Караман». Как видно на рисунке, как и в случае водорода и гелия, сейсмические события происходят после повышения величины дисперсии отношений метана к азоту – стандарту на его спаде или соответствуют минимальным значениям дисперсии отношений метана к азоту-стандарту. В ряде случаев перед землетрясениями отмечается также образование двух «горбов», что свидетельствует, во-первых, о подобии в вариациях водорода, гелия и отношений метана к азоту, во- вторых, о воздействии единого физического фактора на параметры подземных водно-газовых систем и на дегазацию водорода в массиве горных пород.

Таким образом, мониторинг геохимических полей в области Дагестанского клина показывает о воздействии единого физического фактора на параметры горных пород и подземных водно-газовых систем при подготовке сейсмического очага. При этом наиболее вероятным представляется появление возбуждающих колебаний в земной коре за определенный период до сейсмического толчка, которые воздействуют на амплитуду и длительность аномалий в вариациях природных газов и связаны с завершающим этапом разрушения горных пород. Подавляющее большинство сейсмических событий происходят после соответствующего повышения дисперсии, на его спаде или соответствуют минимальным значениям дисперсии водорода в приземной атмосфере, гелия и метана в природных газах подземных водно-газовых систем.

Следует подчеркнуть, что минимум дисперсии в параметрах подземных водно-газовых систем предполагает и минимум энтропии в возбуждающей термодинамической системе, т.е. в очаге землетрясения. В результате релаксации упругой энергии происходит консолидация горных пород, термодинамическая система переходит в наиболее вероятное, устойчивое состояние.

Литература

- 1. Садовский М.А., Писаренко В.Ф. Подобие в геофизике //Изд. «Наука», Природа, 1991, №1, с.13-23.
- 2. Левкович Р.А., Дейнега Г.И., Каспаров С.А., и др. Геодинамический эффект, создания крупных водохранилищ в сейсмоактивных областях. М., Наука, 1982.
- 3. Э.Федотов С.А. О сейсмическом цикле //Сейсмическое районирование СССР. М: Наука, 1968. С. 314-326.
- 4. 4.Барсуков В.Л., Беляев А.А. Геохимические методы прогноза землетрясений. М., Наука, 1992, 213 с.
- 5. Саидов О.А., Даниялов М.Г. О методике обработки и интерпретации временных геохимических рядов, как предвестника землетрясений. Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. /Материалы второй международной сейсмологической школы (13-17 августа), Пермь,2007, с. 184-189.
- 6. 6.Саидов О.А. Деформации прогибания и газогеохимические вариации при возбужденных землетрясениях // Изв.АНСССР, Геохимия,1991,№1, с.27-38.

УДК 550.3

МЕТОДИКА НЕПРЕРЫВНОГО КОНТРОЛЯ ЗА ЦЕЛОСТНОСТЬЮ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ ДИАФРАГМЫ ГРАВИТАЦИОННОЙ ПЛОТИНЫ

Идармачев Ш.Г.

Институт геологии ДНЦ РАН

На основе результатов электрического зондирования на плотине Гоцатлинской ГЭС до и после наполнения водохранилища в 2015 г. делается вывод о том, что метод электрического зондирования позволяет осуществлять дистанционный контроль целостности асфальтобетонныой диафрагмы, расположенной между верхней и нижней призмами плотины. Разработана установка непрерывного электрического зондирования.

Ключевые слова: грунтовая плотина, вертикальное электрическое зондирование, геоэлектрический разрез, удельное электрическое сопротивление грунта.

METHOD OF CONTINUOUS CONTROL OF THE INTEGRITY OF THE ASPHALT-CONCRETE DIAPHRAGMA OF THE GRAVITATIONAL WEATHER

Idarmachev Sh.G.

Institute of Geology of the Russian Academy of Sciences

Based on the results of electrical sounding at the Gotcatlinskaya dam dam before and after filling the reservoir in 2015, it is concluded that the electric sounding method allows remote monitoring of the integrity of the asphalt-concrete diaphragm located between the upper and lower prisms of the dam. The installation of continuous electrical sounding was developed.

Keywords: ground dam, vertical electric sounding, geoelectric section, specific ground electrical resistance.

Грунтовая плотина состоит из верхней и нижней призм, разделенных асфатобетонной диафрагмой. Диафрагма обеспечивает противофильтрационную завесу для воды из верхней призмы в нижнюю. Для контроля целостности диафрагмы применяются пьезометрические скважины, заложенные в теле плотины.

В настоящей работе предлагается использовать метод непрерывного электрического зондирования нижней призмы для контроля целостности асфальтобетонной диафрагмы. Данный метод позволяет осуществлять дистанционный контроль. Основанием для применения данного метода наблюдения является сильная зависимость удельного электрического сопротивления грунта (р) от влажности (W). Из данных представленных в табл. 1 видно, что удельное электрическое сопротивление грунта для слабоувлажненных и насыщенных водой может отличаться в 40 раз.

Таблица 1.

									12
W,%	2,5	5	7,5	10	15	20	25	30	
ρ, Ом·м	2500	1650	1000	530	190	120	85	64	

Для испытания данного метода были проведены полевые измерения на грунтовой плотине Гоцатлинской ГЭС, расположенной на Кавказе, введенной в эксплуатацию 2015 г. в России.

Технические данные плотины:

высота 66 м;

– длина по гребню 157 м;

– ширина гребня 12 м.

-плотина насыпная, с противофильтрационным элементом в виде асфальтобетонной диафрагмы толщиной 0,9 м. Плотина построена из гравийно-галечниковых грунтов руслового отложения, путем отсева фракции крупнее 80 мм. Заполнение водохранилища началось весной 2015 г.



Рис. 1. Геоэлектрический разрез призмы до наполнения водохранилища:
 ρ – удельное сопротивление;
 h – мощность слоя.

Электрическое зондирование нижней призмы проводилось до и через месяц после заполнения. Для зондирования применялся метод вертикального электрического зондирования с расположением измерительных электродов вдоль гребня плотины.

Размеры разносов питающих электродов менялись от 6 до 120 м, при этом глубина зондирования менялась от 1 до 50 м. Результаты зондирования представлены в виде вертикальных электрических разрезов призмы.

В результате зондирования получен 3-х слойный разрез плотины:

1) удельное сопротивление верхнего слоя высокоомный, характерный для слабонасыщенных галечниковых грунтов;

2) второй слой мощностью 12 м также соответствует слабонасыщенным породам;

3) удельное сопротивление третьего слоя выше, чем сопротивления первого и второго слоев. Третий слой имеет самое низкое содержание влаги.



Рис. 2. Геоэлектрический разрез призмы через месяц после наполнения водохранилища: р – удельное сопротивление; h – мощность слоя.

Результаты зондирования после заполнения водохранилища (рис. 2) практически не отличаются от данных, полученных до заполнения, т. е. находятся в пределах погрешности измерений.

Таким образом, сравнение результатов электрического зондирования призмы до и после заполнения водохранилища показывают, что асфальтобетонная диафрагма плотины полностью обеспечивает противофильтрационную завесу между верхним и нижним призмами.

Выводы

- 1. Предложен метод электрического зондирования грунтовой плотины для дистанционного контроля целостности асфальтобетонной диафрагмы.
- 2. Разработана установка для высокоточного непрерывного электрического зондирования тела грунтовой плотины.
- 3. Выполнено полевое испытание метода электрического зондирования на грунтовой плотине Гоцатлинской ГЭС

УДК 626/627.03.042 ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛОТИНЫ

Музаев^{1,2} И.Д., Харебов¹ К.С., Музаев¹ Н.И. ¹ГФИ ВНЦ РАН РСО-А ²Владикавказский филиал Финансового университета при Правительстве РФ

Составлена математическая модель совместных сейсмических колебаний высоконапорной плотины, водохранилища и двух слоев массива грунта под основаниями плотины и водохранилища. Модель представляет контактную краевую задачу математической физики в которой учтены взаимозависимости колебательных процессов в грунтовой толще, в плотине и в водохранилище при распространении гармонической сейсмической волны в рассматриваемой системе. В результате решения поставленной задачи получены расчетные формулы для вычисления относительных амплитуд сейсмических колебаний гребня и основания плотины.

Ключевые слова: плотина, водохранилище, контактная краевая задача, сейсмические колебания, математическая модель.

THE HYDRODYNAMIC COMPUTATION OF THE DAM AMPLITUDE-FREQUENCY CHARACTERISTICS

Muzaev^{1,2} I.D., Kharebov¹ C.S., Muzaev¹ N.I.

¹Geophysical Institute – the Affiliate of Vladikavkaz Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Chief Scientist. Vladikavkaz branch of Federal state educational budgetary institution of higher education "Financial Unive

²Vladikavkaz branch of Federal state educational budgetary institution of higher education "Financial University under the Government of the Russian Federation"

The mathematical model of the co-seismic vibrations of high-pressure dams, reservoirs and two layers of soil under the foundations of the dam and reservoir is created. The model represents the contact boundary value problem of mathematical physics which takes into account the interdependence of oscillatory processes in soil, in the dam and in the reservoir during the propagation of harmonic seismic waves in the system under consideration. As a result of solving the tasks the formulae are derived to calculate the relative amplitudes of the oscillations of the top and the base of the dam

Keywords: dam, reservoir, the contact boundary value problem, seismic vibrations, mathematical model

В горных регионах на сейсмоактивных территориях построены высоконапорные плотины и обширные водохранилища. В некоторых гидротехнических сооружениях глубины воды превосходят 250 м. На Сарезском озере (в горах Памира) глубина воды у завальной плотины превышает 500 м. при сейсмическом воздействии плотина и вода в водохранилище совершаю колебательные движения, где частота собственных колебаний системы на некоторых объектах и при определенных условиях может достичь околорезонансного значения. Это может привести к аварии гидротехнического сооружения с трудно предсказуемыми опасными последствиями.

В связи с вышесказанным научные исследования по такому направлению представляются весьма актуальными и имеют существенное значение в деле проектирования, строительства и безаварийной эксплуатации гидротехнических сооружений.

На рис. 1 представлен схематический чертеж гидротехнического сооружения, состоящего из высоконапорной плотины, воды в водохранилище, фундаментного блока и слоев грунта под их основанием.

Грунты под основанием сооружения представляют систему из нескольких слоев пород с различными физико-механическими и мощностными характеристиками. С точки зрения оценки сейсмического воздействия всегда возникает весьма важный вопрос: как влияют мощность и физико-механические характеристики слоев, габаритные размеры и жесткость сооружения, а также глубина воды в водохранилище на уровень колебания сооружения, происходит усиление колебаний или же их ослабление. [Хачиян Э.Е., 2009; Шульман С.Г, 1976] В дальнейшем везде считается, что поверхность раздела двух слоев грунта представляет горизонтальную плоскость, а грунты совершают поперечные сдвиговые колебания. Известно, что такие колебания системы с точки зрения сейсмики являются наиболее опасными [Kramer, 1996].

При составлении математической модели задачи считается, что в прямоугольной системе координат *охуz* часть пространства ограниченная условиями $0 \le x \le \infty$, $-B/2 \le y \le B/2$, $0 \le z \le L$, представляет водохранилище, схематизированное в виде полуограниченного прямоугольного параллелограмма. В створе *x*=0 помещена плотина, совершающая горизонтальные сейсмические гармонические колебания. Математическую модель сейсмических колебаний системы изображенной на рис. 1 представляет следующая контактная краевая задача математической физики.



Рис.1. Схематический чертеж гидротехнического сооружения

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = 0, \ 0 < x < \infty, \ 0 < z < L$$
(1)

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(EJ \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} \right) + \rho Bh \frac{\partial^2 V}{\partial t^2} = -BP(0, z, t), \ x = 0, \ 0 < z < L$$
(2)

$$\frac{\partial^2 U_1}{\partial t^2} - a_1^2 \frac{\partial^2 U_1}{\partial z^2} = 0, \ L < z < L + H$$
(3)

$$\frac{\partial^2 U_2}{\partial t^2} - a_2^2 \frac{\partial^2 U_2}{\partial z^2} = 0, \ L + H < z < \infty$$
(4)

$$\left. \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right|_{x=0} = \frac{\partial V}{\partial t}, \ \varphi \to 0 \text{ при } x \to \infty$$
(5)

$$\left. \frac{\partial \varphi}{\partial t} \right|_{z=0} = 0, \left. \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right|_{z=L} = 0 \tag{6}$$

$$U_1\Big|_{z=L} = V\Big|_{z=L}, \left. \frac{\partial V}{\partial z} \right|_{z=L} = 0, \left. G_1 B h \frac{\partial U_1}{\partial z} \right|_{z=L} = -EJ \left. \frac{\partial^3 V}{\partial z^3} \right|_{z=L}$$
(7)

$$\frac{\partial^2 V}{\partial z^2}\Big|_{z=L} = 0, \ \frac{\partial^3 V}{\partial z^3}\Big|_{z=L} = 0$$
(8)

$$U_1\Big|_{z=L+H} = U_2\Big|_{z=L+H}, \ G_1\frac{\partial U_1}{\partial z}\Big|_{z=L+H} = G_2\frac{\partial U_2}{\partial z}\Big|_{z=L+H}$$
(9)

$$U_2$$
 и $\frac{\partial U_2}{\partial z}$ ограничены при $z \to \infty$ (10)

$$P = -\rho \frac{\partial \varphi}{\partial t},\tag{11}$$

где приняты следующие обозначения, соответствующие рис. 1:

 $\varphi(x,z,t)$ – потенциал скорости колебательного движения воды в водохранилище, V(z,t) – поперечные перемещения центральной оси плотины – балки (балочная модель плотины), $U_1(z,t)$ и $U_2(z,t)$ - поперечные сдвиговые перемещения верхнего и нижнего слоя грунтового массива, L - глубина и высота плотины, H – мощность верхнего слоя грунтового массива, E – модуль упругости материала плотины, $J=Bh^3/12$ – момент инерции поперечного сечения плотины, G_1 и G_2 – модули сдвига верхнего и нижнего слоев грунта, a_1 и a_2 – скорости распространения поперечных (сдвиговых) волн в верхнем и нижнем слоях соответственно, ρ_0 – плотность воды, x и z – горизонтальная и вертикальная координаты, t – время, ρ_1 и ρ_2 – плотности верхнего и нижнего слоя грунта,

$$a_1 = \sqrt{\frac{G_1}{\rho_1}}, a_2 = \sqrt{\frac{G_2}{\rho_2}}.$$

Комментарии относительно контактной краевой задачи (1)-(11): (1) - дифференциальное уравнение безвихревого (потенциального) движения воды в водохранилище; (2) - дифференциальное уравнение поперечных колебаний центральной оси плотины; (3)-(4) – дифференциальные уравнения поперечных сдвиговых колебаний верхнего и нижнего слоя грунта; (5) – равенство горизонтальных скоростей воды и плотины на напорной грани; (6) – равенство нулю гидродинамического давления на свободной поверхности воды и равенство нулю вертикальной скорости воды на дне водоема; (7) – равенство перемещений и усилий на месте контакта основания плотины и верхнего слоя грунта; (8) – равенство нулю поперечной силы и изгибающего момента на гребне плотины; (9) – равенство перемещений и усилий (касательных напряжений) на месте контакта слоев грунта; (10) – ограниченность перемещений и напряжений в нижнем слое грунта в бесконечности; (11) – связь между гидродинамическим давлением и потенциалом скорости воды в водохранилище. Грунт под основанием водохранилища и плотины схематизирован в виде двухслойного массива где верхний слой имеет мощность H и нижний слой простирается до бесконечности. Физико-механические свойства слоев: ρ_1 , G_1 , a_1 и ρ_2 , G_2 , a_2 , соответственно.

Полагается, что на нижний слой грунта падает сейсмическая гармоническая волна

$$U_2(z,t) = A_2 e^{i\omega\left(t + \frac{z}{a_2}\right)} + B_2 e^{i\omega\left(t - \frac{z}{a_2}\right)},$$
(12)

где A_2 – амплитуда падающей сейсмической волны, B_2 – амплитуда отраженной от верхнего слоя сейсмической волны уходящей в бесконечность. В дальнейшем считается, что вся система совершает вынужденные гармонические колебания с круговой частотой ω .

При таких предположениях поставленная контактная краевая задача (1)-(12) поддается аналитическому решению, в результате которого получены следующие расчетные формулы для относительных амплитуд колебания гребня и основания плотины

$$y_1 = \frac{A(0)}{A_2} = 2G_1 h \frac{\omega}{a_1} \frac{|Z_1|}{\sqrt{k^2 \varphi_1^2 + \varphi_2^2}},$$
(13)

$$y_2 = \frac{A(L)}{A_2} = 2G_1 h \frac{\omega}{a_1} \frac{|Z_2|}{\sqrt{k^2 \varphi_1^2 + \varphi_2^2}},$$
(14)

где: *A*(0), *A*(*L*) – амплитуды колебания гребня и основания плотины;

$$Z_1 = (1 + \psi)(ch\lambda L + \cos\lambda L) - d(sh\lambda L + \sin\lambda L) \quad ; \quad Z_2 = 1 + ch\lambda L \cdot \cos\lambda L \quad ; \quad k = \frac{\rho_1 a_1}{\rho_2 a_2} \quad ;$$

$$\gamma = -\frac{24\rho_0\omega^2}{Eh^3L} ; \quad \lambda = \sqrt[4]{\frac{12\rho\omega^2}{Eh^2}} ; \quad a_n = -\frac{(2n-1)\pi}{2L} ; \quad S_1 = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin a_n L}{a_n^2 \left(a_n^4 - \lambda^4\right)} ; \quad S_2 = -\sum_{n=1}^{\infty} \frac{a_n}{a_n^4 - \lambda^4} ; \quad I = \frac{h^3}{12} ;$$

$$\varphi_1 = \left[EJ\gamma S_2 \cos \lambda L (1 + ch\lambda L \cdot \cos \lambda L) + EJ\lambda^3 R \right] \cos \frac{\omega H}{a_1} + G_1 h \frac{\omega}{a_1} (1 + ch\lambda L \cdot \cos \lambda L) \sin \frac{\omega H}{a_1};$$

$$\varphi_2 = \left[EJ\gamma S_2 \cos \lambda L (1 + ch\lambda L \cdot \cos \lambda L) + EJ\lambda^3 R \right] \sin \frac{\omega H}{a_1} - G_1 h \frac{\omega}{a_1} (1 + ch\lambda L \cdot \cos \lambda L) \cos n \frac{\omega H}{a_1}.$$

Рассмотрим частные случаи.

1. Сооружение и вода отсутствуют. В этом случае *L*=0, ρ_0 =0, $y_1 = y_2 = 2A_2 \frac{1}{\sqrt{L^2 \sin^2 \omega H} + \cos^2 \omega H}$.

$$\sqrt{k^2 \sin^2 \frac{\omega H}{a_1} + \cos^2 \frac{\omega H}{a_1}}$$

Получена формула для амплитуды поперечных колебаний дневной (свободной) поверхности верхнего слоя грунта. Она точно совпадает с формулой полученной Э.Е. Хачияном [Хачиян Э.Е., 2009].

2. Вода в водохранилище отсутствует. *L*≠0, ρ_0 =0. Высота сооружения не равна нулю.

В этом случае: $\gamma=0$, $\psi=0$, d=0, $R=R_1$.

$$\varphi_1 = EJ\lambda^3 R_1 \cos\frac{\omega H}{a_1} + G_1 h \frac{\omega}{a_1} (1 + ch\lambda L \cdot \cos\lambda L) \sin\frac{\omega H}{a_1};$$

$$\varphi_2 = EJ\lambda^3 R_1 \sin\frac{\omega H}{a_1} - G_1 h \frac{\omega}{a_1} (1 + ch\lambda L \cdot \cos\lambda L) \cos\frac{\omega H}{a_1}.$$

3. $L \neq 0, H=0, \rho_0=0.$

$$\varphi_{1} = EJ\lambda^{3}R_{1}; \quad \varphi_{2} = -G_{1}h\frac{\omega}{a_{1}}\left(1 + ch\lambda L \cdot \cos\lambda L\right);$$

$$y_{1} = 2G_{1}h\frac{\omega}{a_{1}}\frac{|ch\lambda L + \cos\lambda L|}{\sqrt{k^{2}\left(EJ\lambda^{3}R_{1}\right)^{2} + \left(G_{1}h\frac{\omega}{a_{1}}\right)^{2}\left(1 + ch\lambda L\cos\lambda L\right)^{2}}};$$

$$y_{2} = 2G_{1}h\frac{\omega}{a_{1}}\frac{|1 + ch\lambda L\cos\lambda L|}{\sqrt{k^{2}\left(EJ\lambda^{3}R_{1}\right)^{2} + \left(G_{1}h\frac{\omega}{a_{1}}\right)^{2}\left(1 + ch\lambda L\cos\lambda L\right)^{2}}}.$$

4. $L=0, H=0, \rho_0=0.$

 $y_1 = y_2 = 2.$

При выходе сейсмической волны из однородного грунта на свободной дневной поверхности амплитуда колебаний увеличивается в два раза по сравнению с амплитудой падающей волны.

На рис. 2 представлены графики зависимостей относительных амплитуд y₁, y₂ от высоты сооружения для частоты 2 Гц.

На рис. 3 представлены амплитудно-частотные характеристики сейсмических колебаний гребня и основания плотины при мощности верхнего слоя H=30 м, толщина плотины h=10 м, модуль упругости материала плотины $E=2\cdot10^{10}$ н/м², скорости поперечных волн в слоях грунта равны $a_1=600$ м/с, $a_2=1000$ м/с. Как показывают представленные графики, влияние водной среды на колебательный процесс системы является весьма существенным фактором и в проектных разработках этот фактор необходимо учесть.



Рис. 3. Зависимость относительной амплитуды колебания гребня плотины от высоты плотины с учетом и без учета воды. Частота 2 Гц



Рис. 3. Зависимость относительной амплитуды колебания подошвы плотины от частоты сейсмических колебаний с учетом и без учета воды.

Заключение

Составлена математическая модель сейсмических колебаний системы, состоящей из плотины, водохранилища и двухслойного массива грунта под основанием плотины и водохранилища. Модель представляет контактную краевую задачу в которой учтены взаимозависимости колебательных процессов в слоях грунта, плотине и водохранилище.

В результате решения поставленной краевой задачи получены расчетные формулы, которые на стадии изыскания площадки строительства и проектирования плотины подобрать оптимальные варианты, место строительства и габаритные размеры плотины и водохранилища, обеспечивающие максимальную сейсмостойкость системы

Литература

- 1. Музаев И.Д., Харебов К.С., Музаев Н.И. Математическое моделирование процесса усиления или ослабления эффекта сейсмического воздействия на высотное сооружение //Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2013, т.3. №1, с. 24-27.
- 2. Хачиян Э.Е. Задача усиления или ослабления эффекта сейсмического воздействия на поверхности земли //Вестник ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко «Исследования по теории сооружений», №1 (XXVI). М.: 2009. с. 67-80.
- 3. Шульман С.Г Расчеты сейсмостойкости гидросооружений с учетом влияния водной среды. М.: Энергия, 1976. 335 с.
- 4. Steven L. Kramer. Geotechnical Earthquake Engineering. Ptentice Hall, New Jersey, 1996, 673p.

УДК 550.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЭПИЦЕНТРАЛЬНЫХ ЗОН КОРОВЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Морозов В.Н., Маневич А.И., Татаринов В.Н. Геофизический центр РАН, v.morozov@gcras.ru

Для моделирования напряженно-деформированного состояния реализован программный комплекс, основанный на конечно-элементной модели упругого блочно-гетерогенного массива, нарушенного системой тектонических разломов. Полученные результаты могут быть полезны при детерминированном подходе к оценке и прогнозировании сейсмической опасности, а также при постановке геофизических наблюдений, ориентированных на прогноз сильных коровых землетрясений.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние горных пород, моделирование, тектонические напряжения, сейсмичность, прогноз.

MODELING OF THE STRESSED-DEFORMED CONDITION OF THE EPICENTRAL CROSS EARTHQUAKE ZONES

Morozov V.N., Manevich A.I., Tatarinov V.N. Geophysical Center of RAS, v.morozov@gcras.ru

To simulate the stress-strain state, a software complex based on the finite element model of an elastic blockheterogeneous massif, disturbed by a system of tectonic faults, is implemented. The results obtained can be useful in the deterministic approach to the assessment and prediction of seismic hazard, as well as in the formulation of geophysical observations oriented to the forecast of strong crustal earthquakes.

Key words: stress-strain state of rocks, modeling, tectonic stresses, seismicity, forecast.

Авария на Саяно-Шушенской ГЭС активизироваланаучную дискуссию о том, смогут ли плотины, расположенные в сейсмически опасных районах выдержать 7- и более бальные землетрясения. Континентальные коровые землетрясения за всю историю человечества не раз приводили к гибели целых городови разрушению опасных объектов. Важнейшими в формировании очагов сильных землетрясений являются процессы кинематического взаимодействия структурно-тектонических блоков в верхней части земной коры. При этом очевидна связь сильных коровых землетрясений с разломной тектоникой континентальных частей.

Строение очага и его пространственное расположение выявляется на основании положения облака афтершоков. Можно предположить, что области высоких напряжений и максимальных значений напряжений сдвига соответствуют зонам высокой плотности последующих афтершоков. При этом известно, что положение гипоцентров повторных толчков, зарегистрированных в первый месяц после главного толчка, фактически отражают форму очага землетрясения [1].Сброс напряжений стимулирует разрядку накопленных тектонических напряжений в последующем афтершоков процессе. Наиболее сильные афтершоки локализованы в области максимально сброшенной интенсивности напряжений после образования сейсмического разрыва.

Правомерна гипотеза о «нелинейной упругости» геологической среды, где модель напряженно-деформированного состояния (НДС) эпицентральной зоны предполагает «мгновенный» сброс напряжений в изначально упругой среде, а реальный процесс идет с определенной задержкой во временном интервалеафтершоковой активности. В этой связи, практическое значение приобретает возможность прогноза области сильного тектонического землетрясения в сейсмоопасных районах, включая районы расположения ГЭС, по результатам моделирования НДС геологической среды, нарушенной системами тектонических разрывов.

Для моделирования НДС реализован программный комплекс, основанный на конечноэлементной модели упругого блочно-гетерогенного массива, нарушенного системой тектонических разломов. Полученные результаты могут быть полезны при детерминированном подходе к оценке и прогнозировании сейсмической опасности, а также при постановке геофизических наблюдений, ориентированных на прогноз сильных коровых землетрясений.

В первую очередь необходимо сформулировать для моделирования НДС упругой блочной гетерогенной среды с разломами адекватное представление о тектоническом разломе, имея в виду, в первую очередь, активные разломы кайнозойского возраста. Мы под разломом понимаем физико-механическую неоднородность в земной коре, протяженность которой по длине существенно превосходит ширину [2-3], и упругий модуль существенно ниже упругого модуля окружающей среды [4]. Метод расчета НДС блочных гетерогенных массивов, нарушенных тектоническими разломами изложен в работах [5-8]. Среда внутри блока принимается изотропно-упругой, внешнее поле тектонических напряжений задается исходя из геологогеофизических предпосылок. Тектонический разлом моделируется упруго-изотропной средой с модулем упругости существенно ниже пород окружающего массива.

Соотношения между напряжениями и деформациями принимаются осредненными по толщине слоя (согласно модели обобщенного плоского напряженного состояния в форме закона Гука):

$$\begin{cases} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \sigma_{xy} \end{cases} = \left[D\left(E^{(m)}, v^{(m)} \right) \right] \times \begin{cases} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \varepsilon_{xy} \end{cases},$$
(1)

где σ_{xx} , σ_{yy} , σ_{xy} – компоненты осредненных интегральных напряжений; \mathcal{E}_{xx} , \mathcal{E}_{yy} , \mathcal{E}_{xy} – соответствующие им компоненты тензора деформации; $\mathcal{E}^{(m)}$ – модуль Юнга; $\mathcal{V}^{(m)}$ – коэффициент Пуассона отдельного конечного элемента, с помощью которой вводится материальная неоднородность (разлом) в упруго-изотропную модель слоя в виде:

$$\left[D(E^{(m)}, v^{(m)})\right] = E^{(m)} \times \left[1 - (v^{(m)})^2\right] \times \begin{bmatrix} 1 & v^{(m)} & 0\\ v^{(m)} & 1 & 0\\ 0 & 0 & (1 - v^{(m)})^2 \end{bmatrix},$$
 (2)

При моделировании НДС в системе координат *y*, *x* (совпадающие с направлением NS и EW) задается внешнее поле тектонических напряжений (исходя из имеющихся геологогеофизических данных по району исследования). Предметом анализа являются карты распределения величин σ_{xx} , σ_{yy} , σ_{xy} и интенсивности напряжений σ_i :

$$\sigma_{i} = \left(\sigma_{xx}^{2} + \sigma_{yy}^{2} - \sigma_{xx} \times \sigma_{yy} + 3 \times \sigma_{xy}^{2}\right)^{\frac{1}{2}},$$
(3)

Интенсивность напряжений является показателем энергонасыщенности элемента объема фрагмента геологической среды, так как потенциальная энергия формоизменения:

$$U_{\phi} = \frac{1 + \overline{v}}{3 \times \overline{E}} \times \sigma_{i}^{2} \Delta V, \tag{4}$$

где \overline{E} и \overline{v} – средние модули упругости, ΔV – объем.

Изменение НДС эпицентральной зоны землетрясения представлено в виде разности интенсивности напряжений до и после образования тектонического разрыва:

$$\Delta \sigma_i = (|\sigma_i|_I - |\sigma_i|_{II}), \tag{5}$$

где $|\sigma_i|_I u |\sigma_i|_{II}$ - интенсивность напряжений в произвольной точке до и после образования разлрыва, соответственно.

В приложении к сейсмическому процессу, - при формировании разлома происходит сброс энергии (в упругой постановке задачи):

$$\Delta U = \frac{(1+\overline{M})\Delta h}{3\times\overline{E}} \times \left(\iint_{s_0} \langle \sigma_i \rangle_I^2 dx dy - \iint_{s_0} \langle \sigma_i \rangle_{II}^2 dx dy \right),$$
(5)

где Δh - мощность сейсмогенерирующего слоя, s_{σ} – площадь области сброшенной энергии деформации.

Проиллюстрируем возможности метода на примере моделирования НДСв районе землетрясения, произошедшего 13 марта 1992 г.в районе Северо-Анатолийского разлома с глубиной гипоцентра \sim 10 км и магнитудой 6,8. Всего в эпицентральной зоне зарегистрировано более 3000 афтершоков. Область афтершоков с высокой плотностью локализована в зоне стыка фрагментов Северо-Анатолийского и примыкающих тектонических разломов. *В* работе [9] моделируется напряженно-деформированное состояние эпицентральной зоны после образования разрыва в предположении, что поле тектонических напряжений в этом районе соответствует максимальному сжатию вдоль меридиана. Область локализации афтершоков связывают с триггер-эффектом, предположительно вызванным напряжениями (порядка 0.1 – 0.2 МПа) за счет подвижек вдоль разлома.

На рис. 1 показаны механизмы очагов землетрясения 13 марта 1992 года и последующего сильного афтершока. Оси напряжений сжатия имеют субмеридиальную ориентацию. Организованная локальная сейсмическая сеть после землетрясения в течение трех месяцев зарегистрировала более 3000 афтершоков с М> 2. Область локализации афтершоков на севере ограничена фрагментами Северо-Анатолийского разлома. Максимальная плотность афтершоков зарегистрирована севернее и юго-восточнее разветвленного окончания тектонического разлома юго-западного простирания (Ovacikfault, рис. 1).



Рис. 1 Структурно-тектоническая схема эпицентральной зоны Эрзинканского землетрясения 13 марта 1992 года M_s 6.8 и его афтершоков (черные пунктирные линии – тектонические разломы, выделенная область – район моделирования НДС).

По результатам GPS-наблюдений скорость смещений берегов Северо-Анатолийского разлома составляет 26±3 мм/год. Доминирующими тектоническими напряжениями являются напряжения сжатия, с осью сжатия, ориентированной в направлении С.Ю. Скорость деформационного процесса по данным GPS-наблюдений в меридиональном и широтном направлениях $1,54 \times 10^{-7}$ и0,356 $\times 10^{-7}$ 1/год соответственно [9].

При моделировании НДС эпицентральной зоны, под разрывом понимается протяженная зона длиной 30 км и шириной 0.5 км диспергированного материала, с более низким модулем упругости, по сравнению с окружающей средой. В работе [10] приведены результаты анализа механизма последующих афтершоков и их пространственного положения. Проблема реконструкции реальной структуры разломной зоны по-прежнему остается, как и много лет назад. Уточняющие элементы не вносят существенных изменений в приведенные результаты полученные далее, но вместе с тем, могут быть учтены в последующих исследованиях. Для расчетов НДС эпицентральной зоны Эзринканского землетрясения использована упрощенная схема разломной тектоники [8]. Падение плоскостей разломов принято вертикальным. Упругий модуль диспергированной среды тектонических разломов принимается существенно ниже упругого модуля окружающей упругой изотропной геосреды.

Внешнее поле тектонических напряжений задано со следующими параметрами:

$$\sigma_{yy} = -30 M\Pi a$$
, $\sigma_{xx} = -10 M\Pi a$,

в предположении, что величина отпора главного тектонического напряжения создает напряжение (по А.Н. Диннику):

$$\sigma_{xx} = \frac{1 - \nu}{\nu} \sigma_{yy} \tag{6}$$

Разумеется, тот же результат будет получен и при относительных значениях тектонических напряжений. Положительные направления осей ОУ и ОХ соответствуют направлениям СЮ и ЗВ соответственно.

Породы кристаллического фундамента, воспринимающие внешнее давление тектонических сил, принимаются идеально упругими, изотропными с упругими модулями (модуль Юнга, коэффициент Пуассона):

$$E = 8 \times 10^3 M\Pi a$$
, $\mu = 0.25$

Мощность зон разломов с вертикальными падением в модели НДС составляет 0.5 км (вне зависимости от протяженности) с упругими параметрами:

 $E = 8 \times 10^3 M\Pi a$, $\mu = 0.25$

На рис. 2 приведена карта интенсивности напряжений σ_i до землетрясения. В центральной области сочленения фрагментов Северо-Анатолийского разлома и примыкающего Ovacik-fault уверенно выделяется область повышенной интенсивности напряжений, в центральной части в 2 – 3 раза превышающей фоновые значения. Максимальные значения интенсивности напряжений соответствуют зонам окончания разломов. От эпицентра землетрясения аномальная зона интенсивности напряжений вытянута в юго-восточным направлении длиной ~ 40 км.



Рис. 2. Карта интенсивности напряжений эпицентральной зоны до Эрзинканского землетрясения 13 марта 1992 года (черные линии – тектонические разломы).

На рис. 3 приведена карта напряжений сдвига в этом районе, предшествующая образованию разрыва. Область аномально высоких напряжений сдвига в целом совпадает с областью высокой интенсивности (но имеется и некоторое отличие).



Рис. 3. Карта напряжений сдвига до Эрзинкансокго землетрясения 13 марта 1992 года.

На приведенных картах [8] большой звездой обозначается положение эпицентра Эрзинканского землетрясения, и малой - положение сильногоафтершока, последовавшего спустя двое суток с М 5.8 после основного толчка. Эпицентр главного толчка, как проекция старта разлома на древнюю поверхность, попадает в область аномально высокой интенсивности напряжений (учитывая реальную неопределенность положения окончания разломов, скрытых под слоем осадков).

Полагая, что образовавшийся разрыв ориентирован в направлении сильного афтершока с M = 5.8 (спустя двое суток, вызывая последний), можно видеть, что он в своей центральной части пересекает область как высокой интенсивности напряжений, так и максимальных напряжений сдвига.

После организации локальной сейсмической сети эпицентры первых афтершоков с M > 2, зарегистрированные с 21 марта по 2 апреля 1992 г. локализованы в вытянутой зоне в направлении от эпицентра сильного афтершока к эпицентру главного толчка (рис. 4а). Эпицентры большинства последующих афтершоков (более 3000), зарегистрированных спустя три месяца, расположены в области высокой интенсивности напряжений и напряжений сдвига до образования разрыва.

Если ограничиться только этим результатом, как наиболее достоверным, поскольку НДС эпицентральной зоны моделируется на основании данных до возникновения разрыва, (так как модель разрыва далеко не однозначная) то можно утверждать, что области высокой интенсивности напряжений и напряжений сдвига ответственны как за образование главного разрыва, так и последующую локализацию афтершоков. В области максимального вклада напряжений сдвига в интенсивность напряжений (т.е. в энергонасыщенность) элемента объема геологической среды формируется очаг землетрясения и последующий процесс афтершоковой активности.

Понимая под вновь образовавшеимся разрывом протяженную зону (между гипоцентрами главного толчка последующего афтершока) диспергированного материала протяженностью 30 км и шириной 0.5 км смоделировано НДС эпицентральной зоны при сохранении граничных условий.



Рис. 4. Последовательность афтершоков за период времени: a) с 21 по 22 марта; b) с 21 марта по 2 апреля; c) с 21 марта по 6 июня; d) с 21 марта по 16 июня 1992 года [10].

На рис. 5 представлена карта напряжений сдвига после образования разрыва. Как видно из сравнения карт до и после образования разрыва НДС состояния эпицентральной зоны существенно меняется.Северо-западнее эпицентра главного толчка напряжения сдвига существенно возрастают, одновременно зона высоких напряжений сдвига распространяется на юго-восток, примыкая к эпицентру сильного афтершока. За период с 21 марта по 2 апреля в этих локальных областях зарегистрированы новые афтершоки, число которых возросло до 16 июня 1992 года (рис. 4d). Можно предположить, что образовавшийся разрыв и новое поле напряжений вносят свой вклад в афтершоковую активность.



Рис. 5. Карта напряжений сдвига после землетрясения 13 марта 1992 года (черная пунктирная линия – положение разрыва).

На рис. 6 приведена карта разности интенсивности напряжений до и после землетрясения, т.е. до и после образования разрыва.В центральной части сброшенные "статические" напряжения ($\sigma_i \approx 7.5 M\Pi a$) совпадают с областью высокой плотности афтершоков. В зонах окончания нового разлома интенсивность напряжений возрастает, но площадь распространения значительно меньше объема сброшенных напряжений.

На карту сброшенной интенсивности напряжений (рис. 6) вынесены эпицентры самых сильных афтершоков с М > 3.7. Восемь афтершоков локализованы в области максимально сброшенной интенсивности напряжений, два ассоциируются с зонами возросшей интенсивности напряжений, возникших после образования тектонического разлома.



Рис. 6. Разность интенсивности напряжений до и после землетрясения 13 марта 1992 года и эпицентры афтершоков (красные точки на рисунке) с М > 3.7.

Принимая среднюю мощность сейсмогенерирующего слоя равную 5 км, и, зная площадь сброшенной интенсивности напряжений, можно определить величину сброшенной энергии деформации, в результате вновь образовавшегося тектонического разрыва. Для площади, обозначенной прямоугольником ABCD (рис. 6) и мощности сейсмогенерирующего слоя 5 км при средней величине $\Delta \sigma_i = 5 M\Pi a$, величина сброшенной энергии деформации:

$$\Delta U \approx 1.9 \times 10^{17} \, \text{Дж}$$

В эту величину входит «мгновенно» сброшенная энергия при распространении тектонического разрыва и энергия «статических» (нелинейно упругих) напряжений, сбрасываемая в процессе развития афтершокового процесса. Длительность затухающего афтершокового процесса для Эзринканского землетрясения 1992 года составляет около трех месяцев. Следует ожидать, что диспергация геологической среды (в виде криппа) должна приводить к изменению физико-механических характеристик сейсмогенерирующего слоя, по крайней мере - в области высокой плотности афтершоков.

Литература

- 1. Шебалин Н.В. Сильные землетрясения. Избранные труды. М.: Изд-во Академии горных наук, 1997. 542 с.
- 2. Шерман С.И., Семинский С.А., Борняков С.А., Буддо В.Ю., Лобацкая Р.М., Адамович А.Н., Трусков В.А., Бабичев А.А. Разломообразование в литосфере: зоны сдвига. Новосибирск: Наука, 1992. 258 с.
- 3. Рогожин Е.А. Тектоника очагов сильных землетрясений Северной Евразии XX столетия. Российский журнал наук о земле. Т.2, №1, 2000.

- Качарян Г.Г. Масштабный эффект в сейсмотектонике, Геодинамика, тектонофизика, т.5, 2014, с. 353-385.
- 5. Морозов В.Н., Колесников И.Ю., Белов С.В., Татаринов В.Н. Напряженно-деформированное состояние Нижнеканского массива района возможного захоронения радиоактивных отходов //Геоэкология. 2008. №3. С. 232-243.
- 6. Морозов В.Н., Колесников И.Ю., Татаринов В.Н. Моделирование уровней опасности напряженнодеформированного состояния в структурных блоках Нижнеканского гранитоидного массива (к выбору участков захоронения радиоактивных отходов) // Геоэкология. №6. 2011. С. 524-542.
- Morozov V. N., Kolesnikov I. Yu., and Tatarinov V. N.Modeling the Hazard Levels of Stress-Strain State in Structural Blocks in NizhnekanskiiGranitoid Massif for Selecting Nuclear Waste Disposal Sites //Water Resources, 2012, Vol. 39, Issue 7, pp. 756–769. DOI:10.1134/S009780781207007X.
- 8. Морозов В.Н., Маневич А.И., Моделирование напряженно-деформированного состояния эпицентрального района землетрясения 26.01.2001 г., М = 6.9 (Индия) // Геофизические исследования. 2016. Том 17, № 4. С. 23-36, DOI: 10.21455/gr2016.4-2.
- 9. Süleyman S. Nalbant, A. AykutBarka, Ömer, Alptekin Failure stress change caused by the 1992 Erzincan Earthquake (M_s=6.8) //Annali di geofisica. 1997. №3. P. 587–610.
- 10.Grosser H. et al. The Erzincan (Turkey) earthquake (Ms 6.8) of March 13, 1992 and its aftershock sequence //pure and applied geophysics. 1998. T. 152. №. 3. C. 465-505.

УДК 550.3

ВАРИАЦИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В РАЙОНЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПУНКТОВ ИЗБЕРБАШ И ЧИРКЕЙ ЗА 2012 – 2016 гг. Алиев И.А., Мусаев М.А.

Институт геологии Дагестанского научного центра РАН

В статье рассматриваются результаты наблюдений вариаций кажущегося сопротивления горных пород, полученных на измерительных пунктах Избербаш и Чиркей. Показано, что в наблюдаемых вариациях отмечаются и эндогенные и экзогенные причины. Из эндогенных причин отмечено, что в вариации наблюдаемых геофизических параметров значительный вклад вносят тектонические напряжения и деформации от сейсмических событий. Из экзогенных причин: основной вклад идет от Солнечно-Земных связей – изменений геомагнитной активности и гравитационных явлений, связанных с движениями Земли в Солнечной системе и Галактике.

Ключевые слова: геофизические параметры, кажущееся сопротивление горных пород, тектонические напряжения и деформации от сейсмических событий, геомагнитная активность, гравитационные явления.

VARIATIONS OF GEOPHYSICAL PARAMETERS AND SEISMIC ACTIVITY IN THE AREA OF MEASURING POINTS OF IZBERBASH AND CHIRKEY FOR 2012-2016 Aliev I.A., Musaev M.A.

Institute of Geology Dagestan scientific center of RAS

The article reviews the results of observations of variations in the apparent resistance of rocks obtained at the measuring stations of Izberbash and Chirkey. It is shown that the observed variations are observed endogenous and exogenous causes. From endogenous causes observed that the variation of observed geophysical parameters, a significant contribution to tectonic stress and strain from seismic events. From exogenous causes: the main contribution comes from Solar-Terrestrial relations – changes of geomagnetic activity and gravitational phenomena associated with the movements of the Earth in the Solar system and the Galaxy.

Keywords: geophysical parameters, apparent resistivity of rocks, tectonic stresses and deformation from seismic events, geomagnetic activity, gravitational phenomena.

Введение

Начиная с 60 годов XX столетия в ряде стран, с целью поиска «причин или запускающего элемента» сопутствующего увеличению сейсмической активности в сейсмоактивных районах регионов, были начаты комплексные наблюдения за вариациями геофизических, геохимических и других полей земной коры. Многочисленные наблюдения в сейсмоактивных регионах показали, что увеличения сейсмической активности сопровождались возмущением различных геофизических полей: наклонов и деформации земной поверхности, уровня и химического состава подземных вод, проводимости, электромагнитных и магнитах полей и т.д. В настоящее время число зафиксированных «причин или так называемых предвестников» увеличения сейсмической активности перевалило за 1000. В то же время, часто эти возмущения с трудом выделяются на фоне «шумов», хаотично расположены на поверхности Земли, имеют разную морфологию и динамику развития в различных регионах и перед конкретными сейсмическими событиями. Причем основным критерием связи этих возмущений с актом резкого увеличения сейсмической активности было примерное совпадение их во времени, а место наблюдения должно было находиться на «разумном» расстоянии от эпицентров сейсмических событий. Именно такие возмущения геофизических полей были отожествлены с «причинами или предвестниками». Однако статистика отсутствия каких-либо возмущений различных геофизических полей перед многими сейсмическими событиями значительных магнитуд не приводится вообще.

Все это свидетельствует о том, что проблема прогноза резких изменений сейсмической активности находится еще на научно-исследовательской стадии. Основная задача при исследовании: изучение пространственно – временных параметров окружающей среды в сейсмоактивных регионах и выделение зон с возмущенными параметрами на основе достоверных данных наблюдательной сети. И здесь остается не разрешенный вопрос, какие процессы вызывают вариации геофизических, геохимических и других полей земной коры и сейсмической актив-

ности. А также, почему из такого огромного числа зафиксированных «причин или предвестников» увеличения сейсмической активности часто не срабатывает ни один. И возможно все эти обнаруженные «так называемые предвестники» просто совпадения. Ответ на этот вопрос даст анализ эндогенных и экзогенных воздействий на вариации: геофизических, геохимических и других полей земной коры и сейсмической активности. И область, выбранная для анализа вариаций сейсмической активности, направления её смещения и выбранные магнитуды сейсмических событий, должны быть оптимальными для исследования.

Длительные наблюдения за вариациями кажущегося сопротивления (КС) горных пород на сети станций ИГ ДНЦ РАН и анализ сейсмической активности в выбранной нами области позволили частично ответить на поднимаемые вопросы в ряде наших публикаций [2-5, 10]. Данные, полученные на измерительных станциях Избербаш и Чиркей почти всегда хорошо коррелируют между собой [1], хотя расстояние между ними около 100 км, поэтому при анализе полученных результатов мы приводим их вместе.

Анализ и обсуждение полученных результатов: 1 Наблюдательный пункт *Чиркей*

Пункт наблюдений располагается на правом берегу водохранилища Чиркейской ГЭС (42,95 С.Ш., 46,82 В.Д.). Измерения КС горных пород проводятся в открытой необсаженной скважине пробуренной ранее в скальных породах глубиной 120 м от дневной поверхности. Горные породы, где расположена скважина, состоят из плотных известняков верхнего мела мощностью 200 м, ниже залегают юрские отложения мощностью 600-700 м. Величина КС пород в области расположения измерительного зонда составляет ρ_{κ} =200 Ом · м. Для измерений КС используется установка «Георезистор», разработанная в ИГ ДНЦ РАН. [9].

Уровень воды в скважине, где размещены измерительные электроды, меняется синхронно с уровнем воды в водохранилище, при этом отставание по амплитуде составляет 25 м. При максимальном уровне воды в водохранилище уровень ее в скважине устанавливается на отметке 35 м от устья скважины. Минимальный уровень воды в скважине не превышает 75 м, так как максимальная амплитуда сезонного хода уровня воды водохранилища составляет 40 м. Из этого следует, что область расположения измерительного зонда имеет гидродинамическую связь с водохранилищем, а сам зонд (т.е. его верхний электрод) все время находится на 15 м ниже минимального уровня в воды в скважине [12]. На рис. 1 приведен график среднесуточных значений КС горных пород за период 2012-2016 гг. Как упоминалось и в [13] возможные причины вариаций геофизических параметров можно разделить на 2 основных вида: это эндогенные и экзогенные причины. В качестве основных эндогенных причин рассматриваем тектонические напряжения и деформации от сейсмических событий. И из экзогенных причин: основной вклад идет от Солнечно-Земных связей – изменений геомагнитной активности и гравитационных явлений, отражающихся в геологических процессах, происходящих в Земле и проявляющихся в основном в изменениях деформаций. На рис. 1 вариации КС горных пород могут быть связаны и с изменением уровня воды в водохранилище, т.к. данный наблюдательный пункт, в отличие от остальных из сети станций ИГ ДНЦ РАН, находится на его берегу. Представленные на рис.1 вариации среднесуточных значений КС за анализируемый период 2012 - 2016 гг., где наблюдаются и медленные и импульсные изменения КС горных пород сравним с эксплуатационным режимом Чиркейского водохранилища показанном на рис.2. На этом рисунке значения уровня воды в Чиркейском водохранилище приведены по данным имеющиеся в распоряжении за 1990 - 2000 гг., т.к. эксплуатационный режим водохранилища из года в год практически не меняется.

ТРУДЫ ИНСТИТУТА ГЕОЛОГИИ ДАГЕСТАНСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН № 3(70), 2017











Алиев И.А., Мусаев М.А. вариации геофизических параметров и сейсмической активности в районе измерительных ...







Г



Рис. 1. Вариации значений КС горных пород на станции *Чиркей* за период 2012 – 2016 гг., где (разделенные по полугодиям): а – данные за 2012 г., б – 2013 г., в – 2014 г., г – 2015 г., и д – 2016 г.

Из графика изменения уровня воды в водохранилище видно, что он имеет сезонный ход, связанный с весенним паводком горных рек, при этом амплитуда колебаний составляет 30-40 м. Сравнение уровня воды с изменением КС показывает отсутствие ежегодной связи между ними. В 2012 г. максимальные значения КС в апреле, а минимальные в марте. В 2013 г. максимальные значения КС в июне, а минимальные в августе, сентябре. В 2014 г. максимальные значения КС в июне, а минимальные 03, 07, 08, 09, 10 месяцах. В 2015 г. максимальные значения КС в мае, а минимальные в декабре. И в 2016 г. максимальные значения КС в марте, а минимальные в июле, октябре. Уровень воды в водохранилище минимален в марте апреле, а максимален в сентябре-октябре.

Анализ вариаций КС горных пород за анализируемый период с количеством атмосферных осадков и изменениями атмосферного давления показал на отсутствие однозначной связи между ними.

Вариации КС могут быть также обусловлены деформацией массива горных пород, которые находятся в поле меняющихся во времени тектонических напряжений района исследований. Известно, что электрическое сопротивление пород является чувствительным индикатором их напряженно-деформированного состояния. Эти свойства были изучены различными исследователями [14, 15, 16].

Таким образом, можно заключить, что вариации КС могут быть обусловлены изменением напряженно-деформированного состояния массива пород в области расположения измерительного зонда. На рис.3(а) представлены деформации, вызываемые сейсмическими событиями $M \ge 4$, а рис.3(б) сейсмическими событиями $M \ge 5$ на измерительном пункте *Чиркей*. В периоды, которые мы анализируем с $M \ge 5$, наблюдаются значительные деформации, а менее значительные деформации этого периода с $M \ge 4$ (табл.1). Сравнивая деформации и вариации КС за 2012 г. на рис.1(а) можно отметить, что именно в периоды максимальных магнитуд отмечаются

и резкие скачки КС. Отсюда можно сделать вывод, что в наблюдаемые вариации КС горных пород значительный вклад вносят и деформации от сейсмических событий.



Рис. 2. Изменение уровня (эксплутационный режим) Чиркейского водохранилища в 1990 - 2000 гг.

Сравнивая деформации (из таблицы 2, рис.4) и вариации КС за 2014 г. на рис.1. можно отметить, что и в этом году также именно в периоды максимальных магнитуд отмечаются резкие скачки КС. Отсюда также можно сделать вывод, как и для станции *Махачкала* [7], что в наблюдаемые вариации КС горных пород на измерительном пункте *Чиркей* значительный вклад вносят и деформации от сейсмических событий.

Как мы упоминали выше возможные причины вариаций геофизических параметров можно разделить на 2 основных вида: это эндогенные и экзогенные причины. Также отмечали, что в вариации наблюдаемых геофизических параметров значительный вклад вносят деформации от сейсмических событий [5]. Поэтому в качестве основных эндогенных причин рассмотрели тектонические напряжения и деформации от сейсмических событий. Из экзогенных причин: основной вклад идет от Солнечно-Земных связей – изменений геомагнитной активности [11] и гравитационных явлений, связанных с движениями Земли в Солнечной системе и Галактике. Эти движения и их вариации отражаются в геологических процессах, происходящих в Земле, и коррелируют с её геофизическими полями. Существует связь между геодинамическими процессами и гравитационными явлениями [18].

Как видно из рис.5 и 6, фоновым значением AE – индекса можно считать его нахождение в пределах 500 γ (или 500 nT) [6]. Если максимальное значение AE – индекса приблизительно +3000 γ , то для оказания минимального воздействия (искажения) на проводимые нами измерения должно быть 50 % от него, т.е. приблизительно +1500 γ . Можем считать, что 1000 γ - это уровень обнаруженного или обнаруживаемого воздействия, а 1500 γ - уровень обязательного воздействия на измеряемые параметры или измерительные линии.

Таких случаев (по месяцам) обязательного воздействия на рис. 5 и 6 всего: в 2012 г. восемь: 1-4, 6, 7 8, и 10 месяцы, а в 2014 г. шесть: 2,6,8,9,10 и 11 месяцы. Сравнив рис.5, 6 и рис.1.можно отметить, что на станции *Чиркей* между вариациями *AE* - индексов и вариациями КС по месяцам в периоды обязательного воздействия на измеряемые параметры или измерительные линии (1-4, 6-8, и 10 месяцы 2012 г., и 2,6,8,9,10 и 11 месяцы 2014 г.) наблюдаются резкие изменения значений КС. Отсюда можно сделать вывод о том, что магнитные вариации (или вариации *AE* – индексов) оказывают влияние на измерительные линии или измеряемые параметры - вариации КС горных пород, подтверждая результаты, полученные на наблюдательном пункте *Махачкала* [7].



б





Рис.4 Деформации, вызываемые сейсмическими событиями на измерительном пункте *Чиркей* в 2014 г., (а) с М ≥ 4 и (б) с М ≥ 5.

Алиев И.А., Мусаев М.А. Вариации геофизических параметров и сейсмической активности в районе измерительных ...



Рис.5. Вариации АЕ – индекса геомагнитной активности за 2012 г.



Рис.6. Вариации АЕ – индекса геомагнитной активности за 2014 г.

Таблица 1. Сейсмические события происшедшие в исследуемом районе в 2012 г.

				Леформация		1			Den-		Леформация	
№	Date	Depth (km)	Mag	Избер-баш	Чирк-ей		№	Date	th (km)	Mag	Дефор Избер- баш	Чирк-ей
1	06.01.12	2	4,6	3,1E-11	3,3E-11	1	51	04.04.12	2	4,5	2,3E-11	2,5E-11
2	06.01.12	5	4,3	6,1E-12	6,7E-12		52	04.04.12	14	4,4	8,5E-12	1,1E-11
3	07.01.12	2	4,0	9,1E-13	6,8E-13		53	12.04.12	2	4,0	3,2E-12	3,6E-12
4	10.01.12	10	4,0	3,8E-12	4,2E-12		54	12.04.12	2	4,2	2,6E-12	1,9E-12
5	10.01.12	10	3,9	8,9E-13	6,4E-13		55	13.04.12	10	4,4	2,1E-11	2,3E-11
6	11.01.12	2	4,0	3,6E-12	3,9E-12		56	13.04.12	21	4,5	1,9E-11	2,1E-11
7	11.01.12	24	4,0	1,2E-12	9,1E-13		57	18.04.12	5	4,3	1,1E-11	1,3E-11
8	13.01.12	2	4,2	3,0E-12	2,4E-12		58	22.04.12	6	4,1	1,4E-12	1,1E-12
9	16.01.12	2	4,0	3,5E-12	3,4E-12		59	23.04.12	2	4,1	8,7E-11	2,8E-10
10	18.01.12	5	3,9	5,7E-13	4,7E-13		60	28.04.12	22	4,7	1,7E-11	2,1E-11
11	19.01.12	5	3,9	2,3E-12	2,6E-12		61	30.04.12	8	4,2	1,7E-12	1,3E-12
12	20.01.12	21	4,7	4,1E-11	4,5E-11		62	02.05.12	2	4,1	5,2E-12	9,1E-12
13	21.01.12	22	4,0	3,1E-12	4,1E-12		63	02.05.12	10	4,2	1,6E-12	1,2E-12
14	22.01.12	2	3,9	5,8E-13	4,8E-13		64	03.05.12	2	3,9	3,2E-12	3,5E-12
15	22.01.12	2	3,9	3,0E-12	3,1E-12		65	05.05.12	15	4,4	3,7E-12	3,6E-12
16	27.01.12	7	4,3	2,2E-12	1,8E-12		66	05.05.12	2	4,0	1,1E-12	8,5E-13
17	28.01.12	2	3,9	2,9E-12	3,2E-12		67	07.05.12	10	5,6	4,5E-08	3,9E-08
18	29.01.12	5	4,4	1,6E-11	1,7E-11		68	07.05.12	10	4,0	1,9E-10	1,6E-10
19	29.01.12	5	3,9	3,2E-12	3,5E-12		69	07.05.12	8	4,7	2,0E-09	1,8E-09
20	30.01.12	9	3,9	5,7E-13	4,7E-13		70	07.05.12	4	4,4	5,0E-10	4,7E-10
21	31.01.12	17	3,9	2,3E-12	2,5E-12		71	07.05.12	2	4,1	3,1E-10	2,4E-10
22	02.02.12	2	3,9	7,7E-13	5,8E-13		72	07.05.12	10	5,5	4,3E-08	3,6E-08
23	04.02.12	13	3,9	2,3E-12	2,5E-12		73	07.05.12	8	4,0	1,8E-10	1,6E-10
24	04.02.12	30	4,5	3,9E-11	2,7E-11		74	07.05.12	10	4,4	8,2E-10	6,4E-10
25	04.02.12	54	4,9	8,1E-11	5,7E-11		75	07.05.12	10	3,9	1,5E-10	1,1E-10
26	08.02.12	2	4,0	4,3E-12	4,5E-12		76	14.05.12	20	4,1	1,1E-11	7,4E-12
27	10.02.12	12	4,7	1,1E-11	8,6E-12		77	14.05.12	2	4,2	3,0E-10	1,7E-10
28	12.02.12	70	4,0	7,2E-12	4,2E-12		78	15.05.12	5	4,2	4,4E-10	3,4E-10
29	13.02.12	20	3,9	6,9E-13	5,1E-13		79	18.05.12	10	4,8	5,1E-09	3,8E-09
30	17.02.12	7	4,6	2,7E-11	3,0E-11		80	19.05.12	5	3,9	2,4E-12	2,7E-12
31	20.02.12	1	4,4	1,4E-11	1,5E-11		81	02.06.12	60	4,6	1,3E-09	1,9E-08
32	24.02.12	10	4,5	2,2E-11	2,4E-11		82	05.06.12	20	4,0	1,8E-10	1,4E-10
33	29.02.12	10	4,3	3,1E-12	2,3E-12		83	14.06.12	2	4,0	1,5E-12	1,6E-12
34	29.02.12	7	4,0	3,4E-12	3,9E-12		84	14.06.12	10	5,3	1,4E-10	1,5E-10
35	03.03.12	7	4,0	3,8E-12	4,2E-12		85	14.06.12	4	4,2	4,2E-12	4,6E-12
36	05.03.12	2	4,7	1,0E-11	9,8E-12		86	15.06.12	2	4,2	3,1E-12	3,3E-12
37	07.03.12	4	4,0	3,1E-12	3,5E-12		87	16.06.12	2	3,9	1,1E-12	1,2E-12
38	11.03.12	20	4,4	1,0E-09	8,3E-10		88	16.06.12	2	3,9	1,1E-12	1,2E-12
39	11.03.12	2	4,2	8,1E-12	8,5E-12		89	24.06.12	16	4,9	8,6E-11	9,4E-11
40	13.03.12	2	4,0	3,3E-12	3,5E-12		90	25.06.12	5	4,0	1,6E-10	8,8E-11
41	16.03.12	2	4,0	4,3E-12	4,8E-12		91	27.06.12	2	4,5	4,5E-12	3,8E-12
42	18.03.12	2	4,5	1,3E-11	9,9E-12]	92	27.06.12	2	4,0	4,4E-12	4,9E-12
43	20.03.12	5	4,0	4,0E-12	4,4E-12]	93	28.06.12	7	4,1	5,0E-12	5,6E-12
44	20.03.12	2	4,1	1,3E-12	1,3E-12]	94	05.07.12	5	4,2	1,6E-10	1,1E-09
45	20.03.12	7	3,9	2,2E-12	2,5E-12]	95	10.07.12	10	3,9	8,6E-11	2,9E-10
46	23.03.12	6	4,4	1,6E-11	1,8E-11]	96	14.07.12	10	4,8	1,5E-11	1,3E-11
47	24.03.12	2	4,4	1,7E-11	1,8E-11]	97	18.07.12	2	4,1	5,3E-12	3,3E-12
48	25.03.12	7	3,9	3,7E-12	4,7E-12]	98	20.07.12	2	4,2	4,4E-11	1,1E-10
49	26.03.12	7	5,1	1,4E-10	1,7E-10]	99	20.07.12	8	4,3	9,9E-12	1,1E-11
50	31.03.12	2	4,1	6,6E-12	7,3E-12]	100	24.07.12	2	4,4	1,5E-11	1,6E-11

Алиев И.А., Мусаев М.А. Вариации геофизических параметров и сейсмической активности в районе измерительных ...

Таблица 1. (продолжение)

		Dep-		Деформация				Dep-		Деформация	
№	Date	th (km)	Mag	Избер-баш	Чирк-ей	№	Date	th (km)	Mag	Избер- баш	Чирк-ей
101	27.07.12	2	4,3	5,0E-12	3,7E-12	151	08.09.12	2	3,9	4,5E-12	3,6E-12
102	27.07.12	2	4,3	5,2E-12	3,8E-12	152	09.09.12	18	4,0	1,3E-12	9,5E-13
103	31.07.12	19	4,3	9,0E-12	1,0E-11	153	12.09.12	2	4,2	3,8E-12	3,9E-12
104	05.08.12	10	5,1	8,3E-11	8,8E-11	154	13.09.12	2	4,2	3,6E-12	3,6E-12
105	06.08.12	7	4,2	2,0E-12	1,5E-12	155	17.09.12	2	4,3	2,2E-11	1,8E-11
106	11.08.12	10	6,4	2,5E-08	2,0E-08	156	22.09.12	10	4,2	1,7E-11	1,4E-11
107	11.08.12	4	4,9	1,4E-10	1,2E-10	157	23.09.12	2	4,3	1,9E-11	1,5E-11
108	11.08.12	10	6,3	1,9E-08	1,5E-08	158	23.09.12	21	4,3	8,9E-12	1,0E-11
109	11.08.12	2	4,1	9,3E-12	7,6E-12	159	23.09.12	20	4,6	2,9E-11	1,8E-11
110	11.08.12	5	4,7	6,8E-11	5,5E-11	160	24.09.12	2	4,0	3,6E-12	3,8E-12
111	11.08.12	5	4,3	2,0E-11	1,6E-11	161	27.09.12	15	4,5	3,4E-11	2,8E-11
112	11.08.12	20	4,6	5,3E-11	4,3E-11	162	01.10.12	2	4,7	1,5E-11	1,1E-11
113	11.08.12	5	4,1	8,3E-12	6,9E-12	163	01.10.12	2	4,1	1,9E-12	1,4E-12
114	11.08.12	5	4,5	3,6E-11	2,9E-11	164	01.10.12	2	4,2	1,9E-12	1,4E-12
115	11.08.12	5	4,1	8,4E-12	6,9E-12	165	07.10.12	40	5,1	3,1E-09	1,3E-09
116	11.08.12	2	4,7	7,4E-11	5,9E-11	166	08.10.12	10	4,4	2,5E-11	2,1E-11
117	11.08.12	30	4,9	1,5E-10	1,2E-10	167	13.10.12	10	4,6	1,5E-09	2,3E-09
118	11.08.12	2	4,1	8,7E-12	7,1E-12	168	14.10.12	2	4,0	1,5E-10	2,1E-10
119	11.08.12	5	4,0	6,2E-12	5,0E-12	169	14.10.12	2	4,2	3,4E-10	5,2E-10
120	11.08.12	5	4,4	2,2E-11	1,8E-11	170	14.10.12	10	5,4	3.0E-08	4,5E-08
121	11.08.12	10	4,3	1.5E-11	1.2E-11	171	16.10.12	10	4,2	1.3E-11	1.0E-11
122	11.08.12	10	4,7	7.2E-11	5.8E-11	172	21.10.12	18	4,0	8.9E-13	6.6E-13
123	11.08.12	10	5,1	3.1E-10	2.5E-10	173	23.10.12	10	4,1	6.8E-09	5.7E-10
124	11.08.12	10	4,0	6.4E-12	5.1E-12	174	26.10.12	20	4,5	3.6E-11	2.9E-11
125	12.08.12	2	3,9	4.4E-12	3.6E-12	175	27.10.12	2	4,3	1.7E-11	1.4E-11
126	12.08.12	10	4,2	1.3E-11	1.0E-11	176	07.11.12	5	5,5	1.2E-09	9.5E-10
127	12.08.12	10	4,3	1,8E-11	1,5E-11	177	07.11.12	2	4,4	2,2E-11	1,8E-11
128	13.08.12	5	4,6	5,0E-11	4,1E-11	178	07.11.12	2	3,9	4,4E-12	3,5E-12
129	13.08.12	2	4,1	9,0E-12	7,2E-12	179	08.11.12	2	4,2	1,3E-11	1,0E-11
130	13.08.12	2	4,4	2,4E-11	1,9E-11	180	10.11.12	20	3,9	2,3E-12	2,6E-12
131	13.08.12	2	3,9	4,3E-12	3,5E-12	181	10.11.12	15	4,0	6,5E-12	5,4E-12
132	14.08.12	10	5,1	2,9E-10	2,3E-10	182	15.11.12	2	3,9	4,1E-12	3,5E-12
133	14.08.12	2	3,9	4,2E-12	3,4E-12	183	16.11.12	2	4,7	7,8E-11	6,4E-11
134	15.08.12	10	5,1	3,0E-10	2,5E-10	184	24.11.12	2	4,5	2,2E-11	2,5E-11
135	16.08.12	20	4,6	5,3E-11	4,3E-11	185	25.11.12	17	3,9	9,7E-13	7,7E-13
136	17.08.12	2	3,9	4,5E-12	3,7E-12	186	26.11.12	2	3,9	1,3E-12	1,4E-12
137	17.08.12	10	3,9	4,2E-12	3,5E-12	187	26.11.12	20	4,1	1,2E-11	7,9E-12
138	18.08.12	4	3,9	4,6E-12	3,8E-12	188	01.12.12	10	4,0	9,1E-13	6,8E-13
139	19.08.12	10	4,3	1,9E-11	1,5E-11	189	06.12.12	7	4,1	5,7E-12	6,3E-12
140	19.08.12	10	4,2	1,1E-11	9.3E-12	190	06.12.12	10	4,6	2,5E-11	1,6E-11
141	19.08.12	6	4,1	8,6E-12	1,0E-11	191	12.12.12	11	4,0	2,1E-12	2,6E-12
142	19.08.12	4	4,4	2,4E-11	2,9E-11	192	12.12.12	10	3,9	2,7E-12	4,8E-12
143	22.08.12	10	4,3	1.7E-11	1.4E-11	193	15.12.12	2	4,0	6.1E-12	1.2E-11
144	24.08.12	10	3,9	1.5E-11	4.6E-11	194	19.12.12	40	4,2	2.4E-12	1.8E-12
145	30.08.12	20	4,3	3,0E-11	1,8E-11	195	23.12.12	5	4,9	1,1E-10	1,1E-10
146	31.08.12	11	4,0	6,2E-12	5,1E-12	196	23.12.12	10	4,2	9,1E-12	8,9E-12
147	31.08.12	5	4,2	3,2E-12	4,1E-12	197	23.12.12	10	5,7	1.3E-09	2,1E-09
148	02.09.12	10	4,4	3,2E-11	2,5E-11	198	23.12.12	2	3,9	2,5E-12	4,0E-12
149	05.09.12	2	4,1	9,4E-12	7.5E-12	199	25.12.12	2	5,4	4.5E-10	7,4E-10
150	08.09.12	2	4,6	1,0E-11	7,2E-12	200	25.12.12	10	4,2	7,1E-12	1,1E-11

	тиолици 2. Сенемические сообщил проистедние в исследуемом раноне в 20141.											
		Denth		Деформация				_	Depth		Деформация	
№	Date	(km)	Mag	Избер-баш	Чирк-ей		Nº	Date	(km)	Mag	Избер- баш	Чирк- ей
1	02.01.14	40	4,2	3,0E-11	1,5E-11		39	11.06.14	5	4,3	8,9E-12	9,9E-12
2	10.01.14	80	4,8	3,1E-09	7,1E-10		40	12.06.14	2	3,9	2,7E-12	2,9E-12
3	10.01.14	10	4,0	1,4E-12	1,0E-12		41	13.06.14	2	4,4	3,8E-12	2,8E-12
4	14.01.14	48	5,2	3,5E-10	2,1E-10		42	13.06.14	3	4,0	3,3E-12	3,7E-12
5	20.01.14	2	4,0	9,9E-13	7,4E-13		43	18.06.14	2	4,6	6,1E-12	5,4E-12
6	25.01.14	2	4,1	1,2E-12	9,3E-13		44	29.06.14	10	4,1	1,1E-12	9,3E-13
7	30.01.14	10	4,0	1,0E-12	7,6E-13		45	29.06.14	20	5,1	9,8E-09	9,0E-09
8	08.02.14	10	4,7	3,1E-11	2,0E-11		46	06.07.14	2	4,0	1,5E-11	2,1E-11
9	10.02.14	55	5,4	4,3E-09	2,2E-09		47	12.07.14	2	4,2	2,2E-12	1,9E-12
10	18.02.14	40	4,6	3,0E-11	3,3E-11		48	15.07.14	2	3,9	7,2E-13	5,3E-13
11	27.02.14	30	4,1	1,1E-11	7,3E-12		49	19.07.14	13	4,1	4,4E-12	4,9E-12
12	02.03.14	16	4,0	7,7E-13	6,1E-13		50	19.07.14	2	4,2	1,1E-11	1,8E-11
13	05.03.14	7	4,2	6,5E-12	7,3E-12		51	31.07.14	20	4,6	7,9E-09	1,0E-09
14	07.03.14	2	4,2	1,8E-11	3,9E-11		52	16.08.14	8	4,3	3,3E-12	2,5E-12
15	15.03.14	1	4,3	1,1E-11	1,7E-11		53	18.08.14	250	4,2	2,5E-12	2,5E-12
16	15.03.14	20	4,5	1,5E-09	3,1E-10		54	21.08.14	10	4,0	4,9E-12	2,9E-12
17	15.03.14	20	4,2	1,9E-11	1,2E-11		55	27.08.14	10	4,3	2,0E-12	2,2E-12
18	18.03.14	2	4,2	7,8E-12	8,6E-12		56	30.08.14	36	4,0	4,2E-11	2,5E-11
19	18.03.14	8	3,9	2,8E-12	3,1E-12		57	06.09.14	10	4,6	7,0E-12	5,2E-12
20	19.03.14	10	3,9	6,2E-13	4,6E-13		58	07.09.14	10	4,4	3,8E-12	2,8E-12
21	30.03.14	2	4,1	8,0E-12	6,6E-12		59	16.09.14	10	4,1	1,4E-12	1,1E-12
22	31.03.14	2	4,4	5,1E-12	3,7E-12		60	18.09.14	52	4,6	6,7E-11	4,5E-11
23	03.04.14	3	4,5	1,2E-11	1,3E-11		61	28.09.14	5	4,0	1,8E-12	2,2E-12
24	10.04.14	2	4,5	7,5E-12	5,3E-12		62	29.09.14	12	5,4	2,0E-08	7,5E-09
25	14.04.14	5	4,0	2,0E-11	5,6E-11		63	03.10.14	2	4,1	6,7E-11	9,6E-11
26	16.04.14	10	4,3	3,5E-12	3,2E-12		64	04.10.14	6	5,0	4,9E-09	1,9E-09
27	27.04.14	2	4,6	1,0E-09	1,0E-08		65	08.10.14	2	4,0	1,1E-11	2,1E-11
28	27.04.14	22	3,9	2,3E-12	3,0E-12		66	10.10.14	2	3,9	2,8E-12	3,1E-12
29	03.05.14	10	4,0	4,6E-12	8,3E-12		67	30.10.14	13	4,6	1,9E-11	2,3E-11
30	08.05.14	2	3,9	4,6E-12	3,7E-12		68	30.10.14	7	3,9	1,7E-12	2,0E-12
31	10.05.14	9	4,2	2,5E-12	1,9E-12		69	06.11.14	10	4,0	9,1E-13	6,8E-13
32	21.05.14	10	3,9	2,1E-12	1,4E-12		70	23.11.14	190	3,9	1,7E-12	1,3E-12
33	26.05.14	13	4,0	1,5E-11	2,3E-11		71	24.11.14	10	4,6	9,3E-10	9,3E-09
34	27.05.14	2	4,4	1,6E-11	1,8E-11		72	01.12.14	10	3,9	4,7E-12	2,7E-12
35	28.05.14	2	4,3	1,3E-11	1,9E-11		73	05.12.14	10	4,1	1,7E-12	1,2E-12
36	02.06.14	2	4,5	3,7E-10	2,1E-09		74	15.12.14	10	4,4	2,4E-11	2,3E-11
37	06.06.14	2	3,9	7,3E-13	5,4E-13		75	23.12.14	2	4,1	1,8E-12	1,9E-12
38	07.06.14	44	5.4	1.3E-09	7.0E-10		76	30.12.14	8	4,0	9.2E-13	6.8E-13

Таблица 2. Сейсмические события происшедшие в исследуемом районе в 2014 г.

Таких случаев (по месяцам) обязательного воздействия на рис. 5 и 6 всего: в 2012 г. восемь: 1-4, 6, 7 8, и 10 месяцы, а в 2014 г. шесть: 2,6,8,9,10 и 11 месяцы. Сравнив рис.5, 6 и рис.1.можно отметить, что на станции *Чиркей* между вариациями *AE* - индексов и вариациями КС по месяцам в периоды обязательного воздействия на измеряемые параметры или измерительные линии (1-4, 6-8, и 10 месяцы 2012 г., и 2,6,8,9,10 и 11 месяцы 2014 г.) наблюдаются резкие изменения значений КС. Отсюда можно сделать вывод о том, что магнитные вариации (или вариации *AE* – индексов) оказывают влияние на измерительные линии или измеряемые параметры - вариации КС горных пород, подтверждая результаты, полученные на наблюдательном пункте *Махачкала* [7]. Аналогичные результаты получены и за другие года рассматриваемого периода.

2 Наблюдательный пункт Избербаш

Пункт наблюдений располагается в городской черте г. Избербаш на расстоянии 1,5 км от берега Каспийского моря (42,52 С.Ш., 47,80 В.Д.). Измерения КС проводятся в закрытой необсаженной скважине пробуренной коренных породах глубиной 50 м от дневной поверхности. Горные породы, где расположена скважина, состоят из верхне - сарматских отложений ($N_1{}^3S_3$). Величина КС пород в области расположения измерительного зонда составляет $\rho_{\kappa}=2$ Ом · м.. Особенностью района является то, что он расположен в зоне крупного сейсмоактивного разлома Кавказа (Срединный), простирающего вдоль западного берега Каспийского моря, который генетически связан с областью активного сочленения Кавказ-Копетдагской альпийской геологической структурой, а также схождения разломов: Владикавказский, Дербентский, Гимри-Озеньский и др. [17] (рис.7, (а)).

Измерения осуществляются установкой «Георезистор». Питающие электроды измерительного зонда располагаются на глубинах 41 м и 50 м от поверхности. Приемный диполь длиной 3 м располагается в середине между питающими электродами. На рис. 8 приведен график среднесуточных значений КС за период 2012-2016 гг. Для анализа наличия связи между вариациями КС и метеофакторами были вычислены коэффициенты корреляции, абсолютные значения которых для атмосферного давления, осадков и температуры оказались k < 0,1. Из этих данных видно отсутствие значимой корреляционной связи за период наблюдений 2012-2016 гг. Однако, в отдельные периоды, когда выпало аномальное количество осадков более 180 мм, наблюдается совпадение ходов графиков КС и осадков.



Рис.7. Тектонические разломы Восточного Кавказа (a) [17] и фрагмент 3D модели Республики Дагестан с векторами смещения блоков (б) [8].

Скачкообразное изменение КС может быть вызвано двумя причинами: либо сжатием или растяжением пород, либо изменением минерализации поровой воды. В частности разбавление ее дождевой водой приведет к уменьшению минерализации и как следствие увеличению удельного электрического сопротивления породы. Таким образом, анализ показал, что изменения температуры и атмосферного давления не оказывают влияния на электрическое сопротивленых в ограниченном объеме вокруг измерительного зонда электрического зондирования. Наблюдаемые на рис. 8 длительные изменения КС в течение всего периода, а также вариации продолжительностью несколько месяцев вполне могут быть обусловлены изменением минерализации поровой воды, как под влиянием экзогенных (атмосферные осадки), так и эндогенных факторов, связанных деформацией горных пород под действием поля меняющихся тектонических напряжений [12]. Также и движениями блоков, которые в

районе г.Избербаш смещаются по разным направлениям (рис.7,(б)) [8]. Как известно сейсмический режим в определенной степени позволяет судить об уровне тектонических напряжений в земной коре, в частности об изменении ее напряженно-деформированного состояния, так как сейсмические события способствуют разрядке накопленных за длительное время напряжений в отдельных зонах земной коры.



Алиев И.А., Мусаев М.А. Вариации геофизических параметров и сейсмической активности в районе измерительных ...











Рис. 8. Вариации значений КС горных пород на станции *Избербаш* за период 2012 -2016 гг., где (разделенные по полугодиям): а – данные за 2012 г., б – 2013 г., в – 2014 г., г – 2015 г., и д – 2016 г.



Рис.9 Деформации, вызываемые сейсмическими событиями на измерительном пункте *Избербаш* в 2012 г., (а) с М ≥ 4 и (б) с М ≥ 5.



Рис.10 Деформации, вызываемые сейсмическими событиями на измерительном пункте Избербаш в 20 14 г., (а) с М ≥ 4 и (б) с М ≥ 5.

ВАРИАЦИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В РАЙОНЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ...

На рис.9 и рис.10 представлены деформации, вызываемые сейсмическими событиями M≥4 рис.9(а), 10(а), и сейсмическими событиями М≥5 рис.9(б), 10 (б), за 2012 г. (табл.1) и 2014 г. (табл.2), соответственно. Сравнивая деформации и вариации КС за 2012 г. на рис.8 можно отметить, что в периоды максимальных магнитуд сейсмических событий отмечаются и изменения КС. В 2014 г. также в периоды максимальных магнитуд сейсмических событий отмечаются и значительные изменения КС (рис.8). Отсюда можно сделать вывод, как и для станций Махачкала и Чиркей, что в наблюдаемые вариации КС горных пород на станции Избербаш свой вклад вносят и деформации от сейсмических событий. На станции Избербаш между вариациями AE – индексов (рис.5, 6) и вариациями КС, по месяцам в периоды обязательного воздействия на измеряемые параметры или измерительные линии (1-4, 6-8, и 10 месяцы 2012 г. и 2,6,8,9,10 и 11 месяцы 2014 г.), также наблюдаются резкие изменения значений КС (3 - 5, 7, 9 и 11 месяцы 2012 г. и 2,4, 5 и 6 месяцы 2014 г., во 2 полугодии нет данных т.к. шли профилактические работы). Что подтверждает вывод, как и для станций Махачкала и Чиркей о том, что магнитные вариации (или вариации AE – индексов) оказывают влияние на измерительные линии или измеряемые параметры - вариации КС горных пород на измерительном пункте Избербаш.

Аналогичные результаты получены и за другие года рассматриваемого периода. Гравитационные явления, связанные с движениями Земли в Солнечной системе и Галактике, как отмечали и ранее [7], отражаются в геологических процессах, происходящих в Земле, вызывают дополнительное движение или торможение Аравийской и Африканской плит. Давление, которых ответственно за перераспределение тектонических напряжений, изменение деформаций в исследуемой области, проявляется в вариациях наблюдаемых параметров на сети станций ИГ ДНЦ РАН.

Литература

- 1. Алиев И.А. и др. Синхронные наблюдения вариаций кажущегося сопротивления горных пород на сети пунктов в сейсмоактивной области // Труды Института геологии Дагестанского НЦ РАН, вып.56, Махачкала, 2010. С.171-175.
- 2. Алиев И. А., Черкашин В.И., Мусаев М.А., и др. Вариации геофизических полей в сейсмоактивной области Дагестана и современные геодинамические движения // Тр. Института геологии Дагестанского научного центра РАН. г. Махачкала. 2013. Вып. 62. С.10–216.
- 3. Алиев И.А., Черкашин В.И., Мусаев М.А. Некоторые закономерности распределения эпицентров сейсмических событий в черноморско-кавказско-каспийском регионе // материалы 11 международной научно-практической конференции «Природные опасности: связь науки и практики» Саранск, 23-25 апреля 2015 г. С. 7-14.
- 4. Алиев И.А., Черкашин В.И., Мусаев М.А. Сейсмичность Сулакского каскада ГЭС и ее техногенные аспекты // Геофизика, 2. 2016. С.77-82.
- 5. Алиев И.А., Магомедов А.Г., Мусаев М.А. Анализ вариаций сейсмичности Восточного Кавказа и её проявление в наблюдаемых параметрах на сети пунктов наблюдений Дагестана в 2014 г. // Тр. Института геологии ДНЦ РАН. Махачкала. 2016. Вып. 66. С. 129-135.
- 6. Алиев И.А., Черкашин В.И., Магомедов А.Г., Мусаев М.А. Анализ вариаций геофизических и геохимических параметров на сети пунктов наблюдений в сейсмоактивной области Дагестана // Тр. Института геологии ДНЦ РАН. Махачкала. 2016. Вып. 66. С. 136-143.
- 7. Алиев И.А., Мусаев М.А., Магомедов А.Г. Анализ вариаций кажущегося сопротивления горных пород на измерительном пункте Махачкала за 2012 2016 гг. // Тр. Института геологии ДНЦ РАН. Махачкала. 2017. Вып. 1 (66). С. 84-94.
- 8. Булаева Н.М., Галаганов О.Н. Спутниковый мониторинг современных геодинамических движений на территории Дагестана // НТЖ Мониторинг. Наука и Технологии. № 1(2). 2010, С.27-35.
- 9. Идармачев Ш.Г. и др. Станция для электрического зондирования «Георезистор» // Современная геодинамика, глубинное строение и сейсмичность платформенных территорий и сопредельных регионов. Воронеж. 2001. С. 86-87.
- 10.Идармачев Ш.Г., Черкашин В.И., Алиев И.А. и др. «Вариации геофизических полей в районе Чиркейской ГЭС». Изд. АЛЕФ. 2012. 104 с.

- 11. Заболотная Н.А. Индексы геомагнитной активности: Справочное пособие. Изд. 2-е, перераб. М.: Издательство ЛКИ, 2007. 88 с.
- Отчет по теме: Динамика сейсмичности и вариации геофизических полей Восточного Кавказа под воздействием природных и техногенных землетрясений. //Институт геологии ДНЦ РАН. Махачкала, 2012 г. 181 с.
- 13.13. Отчет по теме: Изучение пространственно временных закономерностей распределения геополей Восточного Кавказа под воздействием природных и техногенных факторов //Институт геологии ДНЦ РАН. Махачкала, 2016 г. 114 с.
- 14. Пархоменко Э.И. Электрические свойства горных пород. М.Наука, 1970. 165 с.
- 15.Пономарев А.В. и др. Вариации электрического сопротивления предвестники разрушения образцов в опытах на управляемом прессе. ВИНИТИ. 1989. №4835-89. 24 с.
- 16.Соболев Г.А. Основы прогноза землетрясений. М.Наука, 1993. 308 с.
- 17. Черкашин В.И. и др. Тектоническая карта Дагестана (под редакцией Ю.Г.Леонова)// Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. Вып. 60. Махачкала. 2012. 130 с.
- 18. Vikulin A.V., Dolgaya A.A., Vikulina S.A. Geodynamics waves and gravity. Geodynamics & Tectonophysics 2014. 5(1), 291 – 303. doi: 10.5800/GT – 2014-5-1-0128
Информация для авторов

Материалы для опубликования в журнале направлять по адресу: 367030, г. Махачкала, ул. М.Ярагского 75. Институт геологии ДНЦ РАН.

Статьи необходимо направлять в редакцию в двух бумажных экземплярах, подписанных всеми авторами, а также в электронном виде (CD-диск или др. накопитель, либо отправка электронной версии статьи по e-mail на: dangeogis@mail.ru).

К рукописи необходимо приложить разрешение на публикацию от учреждений, в которых выполнены исследования.

Правила оформления рукописи в журнале

Название журнала: "**Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН.** Геология и ресурсы Кавказа".

1. В журнале публикуются оригинальные статьи теоретического и методического характера по вопросам геологии, геофизики, географии, геохимии, результаты изучения состава и строения коры и мантии Земли, процессов формирования и закономерностей размещения полезных ископаемых, исследования по разработке и применению новых методов геологических исследований. Для работ регионального характера предпочтение отдается статьям по различным вопросам сравнительной геологии Кавказа и сопредельных регионов.

2. Статьи, соответствующие профилю журнала, принимаются к опубликованию после рецензирования. Автор представляет два внешних отзыва, подготовленных докторами наук из сторонней организации. Отзывы также могут быть подготовлены специалистами, отобранными редакцией Журнала, за дополнительную плату.

3. Авторы представляют статьи на русском или английском языках. Необходимо указать официальное название организации, в которой выполнена работа, в том числе на английском языке, а также места работы авторов их должности и адреса электронной почты.

3. Название статьи должно строго соответствовать ее содержанию. Текст статьи, как правило, разбивается на разделы: а) введение и постановка проблемы, б) методика исследования, в) результаты исследований, г) обсуждение результатов, д) заключение, е) список литературы.

4. Аннотация объемом до 100 слов, ключевые слова (3-7), индекс УДК.

5. Название, данные об авторах, аннотация, ключевые слова и список литературы дублируются на английском языке.

6. Тексты статей будут проверяться на плагиат на специальных сайтах.

7. Рукопись должна быть окончательно проверена, датирована, подписана всеми авторами. Допускается отправка по электронной почте отсканированных листов публикации с подписями авторов.

Технические требования:

1. Статьи, в том числе приложения, примечания, список литературы, подписи к рисункам, таблицы, представляются в электронном виде по адресу dangeogis@mail.ru.

2. Формат текста: полуторный интервал, шрифт 14. Сжатие текста не допускается. Значимые слова выделяются жирным шрифтом или курсивом. Поля сверху 2см, снизу 2см, слева 3см, справа 2см. Объем статьи не должен превышать одного авторского листа (40000 знаков с пробелами), включая таблицы и список литературы. Исключение составляют заказные и обзорные статьи. Текст статьи должен быть также представлен в электронном виде. Текст представляется в файле с любым из расширений doc, docx, rtf.

3. В текстах статей можно размещать рисунки, таблицы, графики и схемы. Эти элементы статьи печатаются на отдельных листах. На рисунках должен быть минимум буквенных и цифровых обозначений, при масштабировании рисунков эти надписи будут не видны. Название рисунков и информация по ним должны приводиться в подрисуночных подписях.

При необходимости рекомендуется представлять рисунки в цветном варианте. Печать цветной графики является платной. Если автор не согласен оплачивать цветную печать, представляемая графика должна быть переработана в системе градаций серого таким образом, чтобы обеспечить ясность изображения и избежать необходимости допечатной коррекции. При этом рекомендуется присылать оба варианта рисунка с пометкой, что для печати автор просит использовать черно-белый вариант графики.

Разрешение растровых иллюстраций должно быть не менее 300 dpi.

4. При использовании в тексте сокращенных названий следует давать их расшифровку при первом применении или ограничиваться общепринятыми сокращениями.

5. Список используемой литературы дается в конце статьи в алфавитнохронологическом (по первому автору) порядке: вначале на русском, а затем на английском и других иностранных языках. Авторский коллектив приводится полностью. В списке литературы даются только опубликованные работы. Ссылка в тексте дается в квадратных скобках и номер ссылки.

Список литературы оформляется с абзацем. Для книг: фамилии и инициалы авторов, полное название источника, город, издательство, год издания, число страниц. Статья из сборника: фамилии и инициалы авторов, полные названия как статьи, так и сборника в целом, место и год издания источника и номера страниц статьи. Статья из журнала: фамилии и инициалы авторов, название статьи и журнала, год издания, том, номер, страницы.

6. Упомянутые в статьях единицы измерения должны соответствовать Международной системе единиц СИ.

7. Занумерованные формулы обязательно выделяются красной строкой, номер формулы ставится у правого края. Желательно нумеровать лишь те формулы, на которые имеются ссылки.

Рукописи, оформленные с нарушением правил, возвращаются без рассмотрения.

Адрес редакции: Россия, 367030, Махачкала, ул. М.Ярагского 75 © Институт геологии ДНЦ РАН © Коллектив авторов

ISSN:2541-9684

Научное издание

Зарегистрирован в федеральной службе по надзору в сфере связи и массовых коммуникаций Российской Федерации (Роскомнадзор). ПИ № ФС77-67725 от 10 ноября 2016 года

Ежеквартальный научный журнал **Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН** Выпуск № 3 (70) 2017

Издаются по решению ученого совета ИГ ДНЦ РАН

Сборник набран, сверстан и отредактирован на компьютерной базе Гис-центра Института геологии ДНЦ РАН.

Дизайн – Черкашин В.И. Верстка – Мамаев С.А., Магомедов Р.А., Ибаев Ж.Г., Идрисов И.А. Набор – Гусейнова А.Ш., Мамаев А.С.

Подписано в печать 1.10.2017 г. Формат 60х84¹/₁₆. Печать ризографная. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс». Усл. п. л. 7. Тираж 500 экз.



Отпечатано в типографии АЛЕФ, ИП Овчинников М.А. 367002, РД, г. Махачкала, ул. С.Стальского 50, 3 этаж Тел.: +7 (8722) 935-690, 599-690, +7 (988) 2000-164 www.alefgraf.ru, e-mail: alefgraf@mail.ru

> ПЕЧАТНЫХ ЛИСТОВ 7 204921 ЗНАКОВ БЕЗ ПРОБЕЛОВ 234394.../.... С ПРОБЕЛАМИ