

ISSN 2221-3198

# **ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА ЮГА РОССИИ**

**№ 3 / 2017**



**Геофизический институт  
Владикавказского научного центра  
Российской академии наук**

# **ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА ЮГА РОССИИ**

**№ 3 / 2017**

**Владикавказ 2017**

#### **Главный редактор**

д.ф.-м.н., проф. В.Б. Заалишвили (ГФИ ВНЦ РАН)

#### **Заместитель главного редактора**

д.ф.-м.н., проф. И.А. Керимов (КНИИ РАН)

#### **Редакционный совет**

академик РАН В.А. Бабешко (ЮНЦ РАН)

академик РАН А.Д. Гвишиани (ГЦ РАН)

академик РАН М.Ч. Залиханов (ГУ ВГИ)

академик РАН Ю.Г. Леонов (ГИН РАН)

академик РАН С.А. Федотов (ИФЗ РАН)

член-корр. РАН А.В. Николаев (ИФЗ РАН)

член-корр. РАН В.А. Снытко (ИИЕТ РАН)

#### **Редакционная коллегия**

д.г.-м.н., проф. М.Г. Бергер (ГФИ ВНЦ РАН)

к.г.-м.н. М.Г. Даниялов (ДФ ГС РАН)

д.т.н., проф. Х.Н. Мажиев (КНИИ РАН)

д.т.н. П.Е. Марченко (КБНЦ РАН)

д.т.н., проф. И.Д. Музаев (ГФИ ВНЦ РАН)

д.г.-м.н., проф. С.Г. Парада (ЮНЦ РАН)

д.г.-м.н., проф. Н.И. Пруцкий (ОАО «Кавказгеолсьемка»)

д.г.-м.н., проф. Е.А. Рогожин (ИФЗ РАН)

д.ф.-м.н., проф. Ю.К. Чернов (СевКав ГТУ)

д.г.-м.н. В.И. Черкашин (ИГ ДНЦ РАН)

д.г.-м.н. В.А. Широкова (ИИЕТ РАН)

#### **И.о. ответственного секретаря**

М.В. Майсурадзе (ГФИ ВНЦ РАН)

#### **Выпускающий редактор**

Х.О. Чотчаев (ГФИ ВНЦ РАН)

*Высшей аттестационной комиссией (ВАК) журнал включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук*

Журнал издается с 2011 года.

Периодичность издания -

4 номера в год

Учредитель:

**Владикавказский научный центр РАН**

Адрес учредителя:

362027, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркуса 22

тел. 8 (8672) 501841

e-mail: [vnrcran@yandex.ru](mailto:vnrcran@yandex.ru)

<http://www.vnrcran.ru>

**ISSN 2221-3198**

**Подписной индекс в Объединенном каталоге «Пресса России» – 29119**

При перепечатке материалов ссылка на журнал обязательна.

© Геофизический институт ВНЦ РАН, 2017

© Заалишвили В.Б. (ред.), 2017

*Фото на обложке – Взгляд направо по дороге на Даргавс из Верхнего Фиагдона (К.С. Харебов)*

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Беляков А.С., Диденкулов И.Н., Жигалин А.Д., Лавров В.С., Малеханов А.И., Николаев А.В.</b> СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ В ВОРОТИЛОВСКОЙ ГЛУБОКОЙ СКВАЖИНЕ: МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ.....	5
<b>Бергер М.Г.</b> О ГЕНЕТИЧЕСКИХ ТИПАХ КАТАСТРОФИЧЕСКИХ ЛАВИНООБРАЗНЫХ ПОТОКОВ И ДИНАМИЧЕСКИХ ТИПАХ ЛЕДНИКОВ, ОПАСНЫХ ПО ИХ ПРОЯВЛЕНИЮ .....	13
<b>Бериев О.Г., Закс Т.В., Кануков А.С.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОГЕОФИЗИЧЕСКИХ И МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ Г. ВЛАДИКАВКАЗА.....	27
<b>Дзеранов Б.В., Гогичев Р.Р., Джусоева Н.Г.</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД РЕСПУБЛИКИ СЕВЕРНАЯ ОСЕТИЯ-АЛАНИЯ .....	40
<b>Кануков А.С.</b> ИНТЕГРАЦИЯ БАЗЫ ДАННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМУ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ .....	57
<b>Колесникова А.М., Чотчаев Х.О.</b> СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКИЕ И ПЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ СКРЫТОГО КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ОРУДЕНЕНИЯ БУРОНСКОГО ТИПА (ГОРНАЯ ОСЕТИЯ).....	67
<b>Овсюченко А.Н., Корженков А.М., Вакарчук Р.Н., Горбатиков А.В., Ларьков А.С., Рогожин Е.А., Сысолин А.И.</b> СЛЕДЫ СИЛЬНОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ В СРЕДНЕВЕКОВОМ ГОРОДЕ ФАНАГОРИЯ НА ТАМАНСКОМ ПОЛУОСТРОВЕ .....	78
<b>Парада С.Г., Столяров В.В.</b> УСЛОВИЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ И ЗОЛОТОНОСНОСТЬ СКАРНОВ ЗЫГЫРКОЛЬСКОЙ РУДНОЙ ЗОНЫ (КАБАРДИНО-БАЛКАРСКАЯ РЕСПУБЛИКА).....	95
<b>Рогожин Е.А.</b> ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ, СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКИЕ, МАКРОСЕЙСМИЧЕСКИЕ И СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ КУРЧАЛОЙСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 11 ОКТЯБРЯ 2008 Г. В ЧЕЧЕНСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ .....	111
<b>Чернов Ю.К., Чернов А.Ю.</b> МОДЕЛИ ДЛЯ ОПИСАНИЯ СВЯЗИ ПИКОВОГО УСКОРЕНИЯ С МАКРОСЕЙСМИЧЕСКОЙ БАЛЛЬНОСТЬЮ СОТРЯСЕНИЙ ГРУНТА.....	117
<b>НАШИ ГОСТИ</b>	
<b>Гараева Т.Д.</b> МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ И МОРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ КАСПИЙСКОГО МОРЯ И ИХ КОРРЕЛЯЦИЯ .....	125
<b>Етирмишли Г.Д., Маммадли Т.Я., Ибрагимова Л.А.</b> АКТИВНЫЕ РАЗЛОМЫ ТЕРРИТОРИИ АЗЕРБАЙДЖАНА И ИХ ВОЗМОЖНОЕ ВЛИЯНИЕ НА НЕФТЕГАЗОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ НИЖНЕ-КУРИНСКОЙ ДЕПРЕССИИ .....	136
<b>Мкртчян М.А.</b> РАЗРЯДКА СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ОЧАГОВЫХ ЗОНАХ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ БОЛЬШОГО КАВКАЗА .....	147
<b>Игитян А.А., Геворгян М.Р., Саакян Е.Е., Бабаян Г.Е.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ СТРУКТУР В ЗОНЕ АКТИВНЫХ РАЗЛОМОВ ПРИ ПОМОЩИ ГЕОРАДАРНОЙ СЪЁМКИ.....	157

## CONTENS

<b>Belyakov A.S., Didenkulov I.N., Zhigalin A.D., Lavrov V.S., Malekhanov A.I., Nikolaev A.V.</b> SEISMIC AND ACOUSTIC MONITORING IN VOROTILOVSKAYA DEEP WELL: TECHNIQUE AND RESULTS .....	5
<b>Berger M.G.</b> GENETIC TYPES OF CATASTROPHIC AVALANCHE-LIKE FLOW AND DYNAMIC TYPES OF THE GLACIERS, WHICH ARE HAZARDOUS FOR THEIR MANIFESTATION.....	13
<b>Beriev O.G., Zaks T.V., Kanukov A.S.</b> INVESTIGATION OF ECOGEOLOGICAL AND METEOROLOGICAL FACTORS OF THE ENVIRONMENT OF VLADIKAVKAZ.....	27
<b>Dzeranov B.V., Gogichev R.R., Dzhusoeva N.G.</b> USE OF GIS TECHNOLOGIES IN THE ESTIMATION OF THE QUALITY OF UNDERGROUND WATER OF THE REPUBLIC OF NORTH OSSETIA-ALANIA.....	40
<b>Kanukov A.S.</b> INTEGRATION OF THE GEOLOGICAL INFORMATION DATABASE IN THE SYSTEM OF GEOINFORMATION MODELING.....	57
<b>Kolesnikova A.M., Chotchaev H.O.</b> STRUCTURAL-TECTONIC AND PETROLOGICAL SIGNS OF LATENT PYRITE- POLYMETALLIC MINERALIZATION BOLONSKOGO TYPE (MOUNTAINOUS OSSETIA).....	67
<b>Ovsyuchenko A.N., Korjenkov A.M., Vakarchuk R.N., Gorbatikov A.V., Larkov A.S., Rogozhin E.A., Sysolin A.I.</b> TRACES OF THE STRONG EARTHQUAKE IN THE MEDIEVAL SETTLEMENT PHANAGORIA ON TAMAN PENINSULA .....	78
<b>Parada S.G., Stolyarov V.V.</b> LOCALIZATION CONDITIONS AND THE GOLD CONTENT OF THE SCARNS OF ZGYRKOL ORE ZONE (KABARDINO-BALKARSKAYA REPUBLIC).....	95
<b>Rogozhin E.A.</b> TECTONIC POSITION, SEISMOTECTONIC, MAKROSEISMIC AND SEISMIC MANIFESTATIONS OF THE KURCHALOY EARTHQUAKE 11 OCTOBER 2008 IN THE CHECHEN REPUBLIC.....	111
<b>Chernov Yu.K., Chernov A.Yu.</b> MODELS FOR THE DESCRIPTION OF PEAK ACCELERATION RELATIPON ON THE GROUNDSHAKINGMACROSEISMIC INTENSITY.....	117

## OUR GUESTS

<b>Garaeva T.D.</b> MAGNETIC PROPERTIES OF THE CONTINENTAL AND SEA DEPOSITS OF CASPIAN SEA AND THEIR CORRELATION.....	125
<b>Etirmishli G.J., Mammadli T.Ya., Ibragimova L.A.</b> ACTIVE FAULTS IN AZERBAIJAN AND THEIR POTENTIAL IMPACT ON THE OIL AND GAS DEPOSITS OF THE LOWER KURA DEPRESSION.....	136
<b>Mkrtchyan M.A.</b> DISCHARGE OF SEISMOTONTONIC VOLTAGES IN THE FOCAL ZONES OF STRONG EARTHQUAKES OF THE CENTRAL PART OF THE GREAT CAUCASUS.....	147
<b>Igityan H.A., Gevorgyan M.R., Sahakyan E.E., Babayan H.Y.</b> STUDY OF TECTONIC SURFACE AND SUBSURFACE STRUCTURES BY GPR SURVEY IN ACTIVE FAULTS AREA .....	157

УДК 550.348; 534.18; 539.1.05

## СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ В ВОРОТИЛОВСКОЙ ГЛУБОКОЙ СКВАЖИНЕ: МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ

© 2017 А.С. Беляков<sup>1</sup>, к.ф.-м.н., И.Н. Диденкулов<sup>2</sup>, А.Д. Жигалин<sup>1</sup>, к.г.-м.н.,  
В.С. Лавров<sup>1</sup>, А.И. Малеханов<sup>2</sup>, к.ф.-м.н., А.В. Николаев<sup>1</sup>, д.ф.-м.н., проф.

<sup>1</sup>ФГБУН Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Россия, 123995, г. Москва, ул. Б. Грузинская, 10, стр. 1, e-mail: zhigalin.alek@yandex.ru;

<sup>2</sup>ФГБНУ Институт прикладной физики РАН, Россия, 603950, г. Нижний Новгород, БОКС-120, ул. Ульянова, д. 46, e-mail: din@appl.sci-nnov.ru

Наблюдения вариаций сейсмоакустического шума Земли показали эффективность пассивного сейсмического мониторинга при изучении эндогенных геодинамических процессов и связи их с интенсивностью сейсмоакустической эмиссии. В Воротиловской глубокой скважине (Нижегородская обл., Россия) регистрируется «шум Земли» в диапазоне частот от 1 Гц до 5 кГц. Шумы такого рода обычно связываются с особенностями тектоники и петрофизическими свойствами горных пород. В середине августа 2016 г. были зарегистрированы неординарные сейсмоакустические сигналы, которые предположительно связываются с взаимодействием высокоэнергичных частиц, в частности, нейтрино, с горными породами или возможным влиянием неопознанных источников, в том числе техногенных.

**Ключевые слова:** сейсмический мониторинг, Воротиловская скважина, сейсмоакустическая эмиссия, нейтрино.

### Предисловие

Успешное использование сверхчувствительных широкополосных сейсмометров типа МАС-ЗСМ при изучении сейсмоакустических полей Земли, отображающих протекание эндогенных геотектонических процессов, позволяет предположить хорошие возможности этих приборов для обнаружения влияния природных и техногенных геофизических полей на верхние слои литосферы. К таким полям можно отнести естественные и искусственные электромагнитные поля, проникающие излучения, потоки нейтрино и других космических частиц, обладающих высокой энергией. Указанные поля, воздействуя на горные породы в геологическом полупространстве, могут вызывать эффекты, изучение которых позволит раскрыть механизмы влияния космических факторов на процессы, происходящие в земной коре. Для выявления связи регистрируемых геоакустических шумов (сейсмоакустической эмиссии, САЭ) с процессами в недрах Земли и околоземном пространстве было принято решение создать стационарный полигон для организации постоянно действующего сейсмоакустического мониторинга в пределах территории с низкой сейсмической активностью. Выбор пал на Воротиловские скважины в Нижегородской области, пробуренные в 80-х гг. прошлого столетия, на которых эпизодически проводятся измерения уровня сейсмоакустической эмиссии для решения ряда теоретических и прикладных задач.

### Общие сведения

Воротиловский наблюдательный полигон организован силами Института прикладной физики РАН (ИПФ) и Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН

(ИФЗ) в августе 2017 г. Он был создан на базе двух скважин – Воротиловской глубокой скважины (ВГС), пробуренной до глубины 5374 м, и скважины-спутника (ВГС-Сп) глубиной 1498 м.

Воротиловские скважины пробурены в центре Пучеж – Катунской импактной структуры (астроблемы), возникшей около 165-167 млн. лет назад в результате падения крупного метеорита. Авторы придерживаются этой версии, хотя есть и иные мнения по поводу происхождения структуры. Структура, обнаруженная в 1965 г., имеет диаметр 70-80 км и находится к северу от Нижнего Новгорода. Кратер перекрыт 2-х километровой толщей осадочных пород и потому в рельефе не заметен. Главная особенность структуры – локальное куполообразное поднятие пород кристаллического фундамента в её кратере до глубины 400-600 метров под земной поверхностью (Воротиловский выступ), в то время как характерная толщина чехла осадочных пород в этом регионе составляет 1,6-1,7 км. Данные бурения ВГС и ВГС-Сп показывают, что Воротиловский выступ в центре импактной структуры представляет собой брекчию, состоящую из пород, которые были метаморфизованы в результате удара при давлениях 45-50 ГПа в верхней части центрального поднятия и 10-20 ГПа на глубине 5 км и испытали постимпактные гидротермальные преобразования. Обе скважины не вышли за пределы зоны ударных преобразований, которые по некоторым оценкам проявляются до глубины 9-10 км.

По окончании бурения в скважинах эпизодически проводились наблюдения с целью изучения сейсмоакустического поля Земли, сейсмоакустического шума (САШ). Так, в конце прошлого и начале текущего веков было выполнено несколько циклов измерений сейсмоакустической эмиссии в кристаллических породах на глубинах 3200 метров и 553 метра. Были обнаружены краткосрочные интенсивные возмущения уровня эмиссии на фоне относительно спокойных периодов продолжительностью до нескольких дней. Регистрация волновых форм сигналов эмиссии в полосе частот от единиц герц до 5 кГц позволила изучить временную структуру отдельных импульсных возмущений и выделить в них фазы подготовки и развития, аналогичные фазам, характеризующим разрядку сейсмических напряжений. Также было проведено когерентное межскважинное зондирование на частоте 100 Гц. В целом полученные результаты показали возможность использования Воротиловских скважин для геодинамического мониторинга с применением современных методов и аппаратной базы геоакустики (<https://refdb.ru/look/2068005-p7.html>). Как следствие этого возникла идея создания на базе ВГС и ВГС-Сп наблюдательно-го полигона для мониторинга геодинамических процессов в пределах восточной и северо-восточной частей Русской платформы с целью решения фундаментальных и прикладных задач сейсмологии, общей и инженерной геофизики.

### **Организация полигона и методика измерений**

Организации полигона предшествовал довольно длительный период эпизодических измерений САШ в скважинах, которые носили поисковый характер и были направлены на совершенствование измерительной аппаратуры и отработку методики. В частности, в одном из таких эпизодов в кристаллических породах открытого ствола ВГС на глубине 3200 м был установлен широкополосный высокочувствительный геофон МАС-3М (оригинальная разработка ИФЗ РАН), позволяющий измерять вертикальную составляющую вектора скорости ускорения в сейсмической волне на основе магнитоупругого эффекта. Аналогичный геофон был установлен

в открытом стволе скважины-спутника (ВГС-Сп) на глубине 553 м. Это позволило осуществить регистрацию усредненных уровней сейсмоакустической эмиссии (САЭ) в четырех 1/3 октавных полосах (центральные частоты 30, 160, 500 и 1000 Гц при длительности усреднения в 1 мин.) с дистанционной передачей данных. На базе Воротиловских скважин был выполнен эксперимент по межскважинному зондированию пород Воротиловского выступа. В ходе эксперимента в обсадную трубу ВГС на фиксированную глубину от 20 до 80 метров опускался гидроакустический излучатель электродинамического типа (разработка ИПФ РАН). В скважину-спутник опускался перемещаемый по глубине до 500 метров (с шагом 20 метров) трехкоординатный геофизический зонд. С его помощью контролировались уровни вертикальной и среднеквадратичной горизонтальной составляющих зондирующего сигнала. Реализованная методика межскважинного зондирования с использованием когерентного гидроакустического излучателя дает возможность добиться высокого пространственного разрешения [Диденкулов и др., 2008].

В процессе проведения эксперимента было установлено, что сигналы, регистрировавшиеся в обеих скважинах, практически были свободны от техногенных помех и, принципиально, позволяют регистрировать естественный сейсмоакустический фон на горизонтах залегания кристаллических пород. Были обнаружены флюктуации уровня эмиссионного фона импульсного характера в обеих скважинах, а именно, спокойные периоды, характеризующиеся отсутствием заметного уровня эмиссии на протяжении часов и до нескольких дней, сменяющиеся сильными всплесками уровня эмиссии во всех частотных полосах. Это свидетельствует о значительных вариациях в напряженно-деформированном состоянии кристаллических пород в районе Воротиловского выступа. Серия краткосрочных наблюдений полных (без усреднения) волновых форм эмиссии в полосе 5 кГц позволила детально проследить временную структуру отдельных импульсных возмущений, включая фазы подготовки и развития их на различных глубинах. Подобные данные представляют особый интерес в качестве масштабной динамической модели разрядки сейсмических напряжений при землетрясениях (<http://radilov.ru/krayrodnoy/21-vorotilovskaya-vzryvnaya-koltsevaya-struktura-iskopaemaya-astroblema.html>).

### Обсуждение результатов

Успешно проведенные ранее эксперименты с разным положением зондов при проведении измерений в двух скважинах (ВГС и ВГС-Сп) показали возможность получать качественную информацию, характеризующую напряженное состояние горных пород, анализируя уровень сейсмоакустической эмиссии и фонового сейсмоакустического шума, а также изменение этих параметров во времени и пространстве. Это послужило своего рода толчком для появления идеи создать сейсмоакустический градиентометр (фиксированное положение двух сейсмоакустических приемников, разнесенных в пространстве по вертикали и латерали), что позволит улавливать более «тонкие» изменения напряженного состояния в массиве горных пород, т. е. выявлять начало разрушения этого массива на более ранних стадиях, недоступных при традиционных сейсмологических и дефектоскопических наблюдениях. В настоящее время работы по созданию полигона, в основном, завершены. Геофизические каналы и регистрирующая аппаратура проходят технологические испытания.

Проведенные летом 2016 г. сейсмоакустические наблюдения на Воротиловском полигоне показали наличие различных сигналов в широком диапазоне частот –

от единиц герц до 50 кГц. Такая полоса перекрывает все используемые для получения информации частотные диапазоны: низкочастотный, сейсмологический (единицы герц до 50-60 Гц), среднечастотный, разведочный (60-600 Гц), высокочастотный, инженерно-геофизический (600-1500 Гц), высокочастотный (1500-5000 Гц) и ультравысокочастотный, дефектоскопический (5-20 кГц и выше). Наблюдается закономерное уменьшение амплитуды сигнала с повышением частоты, но, тем не менее, различимость сигнала остается достаточной для его идентификации. Регистрограммы в скважине ВГС представляют собой записи трех составляющих – двух горизонтальных X, Y и вертикальной Z. В скважине ВГС-Сп регистрировалась только вертикальная составляющая – Z. Пример «рабочей» записи в виде амплитудно-частотной развертки в диапазоне частот от десятых долей герца до 5 кГц (частотный спектр в 30-минутном интервале записи) приведен на рисунке 1.

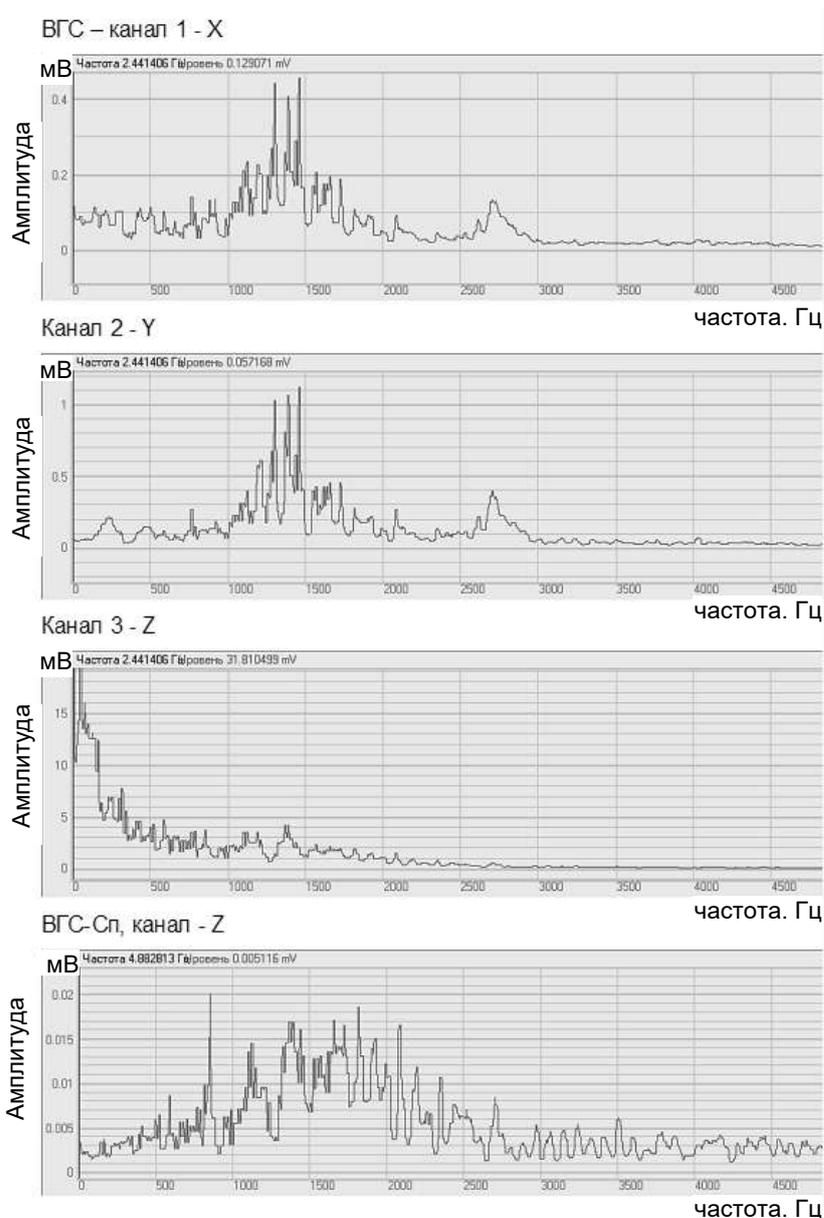


Рис. 1. Запись сейсмоакустических сигналов в Воротиловских скважинах ВГС (верхние три сейсмоакустограммы) и ВГС-Сп (нижняя сейсмоакустограмма) 15.08.2016 г., начало 10:28 МСК,  $H_{ВГС} = 550 м$ ,  $H_{ВГС-Сп} = 550 м$

На регистрограммах при тестовых испытаниях аппаратуры были обнаружены непродолжительные высокочастотные импульсы, которые ранее уже регистрировались в скважине в районе г. Уфы. Однако, если в Уфимской скважине такие импульсы регистрировались довольно редко (несколько импульсов в неделю, 1-2 в день), то в Воротиловской скважине число импульсов достигало нескольких сотен в секунду (рис. 2). Такое различие в счете может быть объяснено неодинаковостью геологических условий в обоих случаях.

Ливень кратковременных высокочастотных импульсных сигналов, зарегистрированных в скважине на Воротиловском полигоне предположительно, может быть инициирован источниками различной природы. Это могут быть внешние по отношению к Земле источники, теллурическое (земное) радиационное воздействие, высокочастотные электромагнитные поля, электрические машины. Не исключена

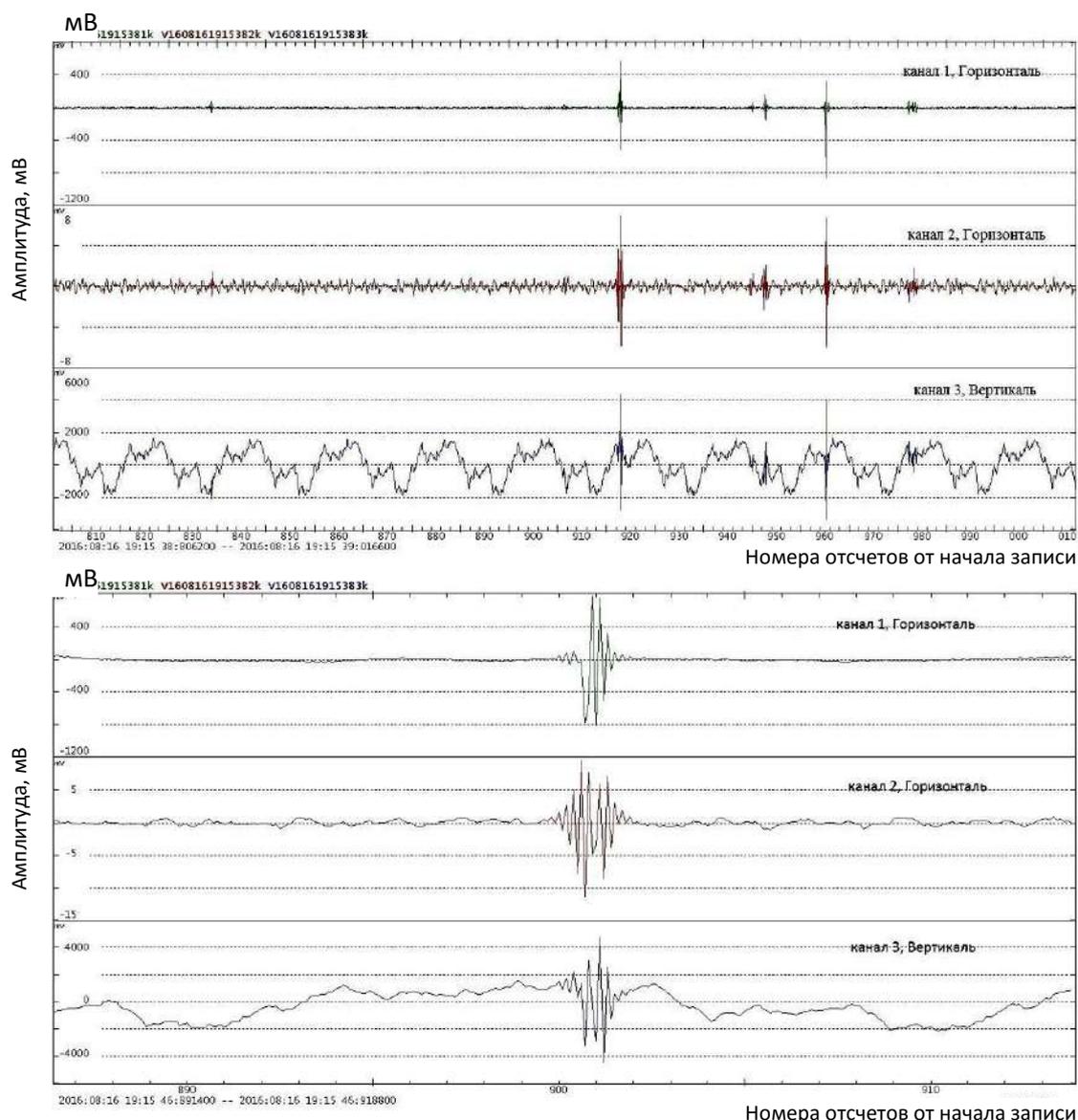


Рис. 2. Кратковременные высокочастотные импульсы, зарегистрированные в Воротиловской глубокой скважине: сверху ливневый цуг импульсов, внизу единственный импульс в увеличенном линейном масштабе

также возможность воздействия некоторых неопознанных техногенных источников («странные» источники). В пользу этого утверждения говорят следующие факты: похожие акустические импульсы (по характерной частоте и длительности) были зарегистрированы гидрофонами при погружении их на глубину более 1000 м. Зарегистрированные в воде и скважинах акустические сигналы идентифицированы как результат радиационного воздействия [Лямшев, 1992].

Высокая плотность потока импульсов, зарегистрированных в Воротиловской скважине, может быть объяснена целым рядом причин. В их числе: энергонасыщенность горных пород в окрестностях ВГС, присутствие воды, контрастность мозаичной иерархической структуры поля напряжений, существование малых концентраторов-трещин и пузырьков газа, их постоянным «дыханием», проявляющимся в сейсмоакустической и электромагнитной эмиссии. При подобных обстоятельствах чувствительность горных пород к внешним радиационным воздействиям оказывается особенно высокой. Следует отметить, что полученные результаты являются первыми в своем роде, именно потому, что наблюдения проводились в скважине, располагающейся в импактной структуре (астроблеме), характеризующейся аномально высокой сейсмоакустической активностью геологического материала, в котором скважина пройдена.

### Заключение

Опыт изучения сейсмоакустических шумов в Воротиловских скважинах демонстрирует случай проведения эксперимента в особо сложных геологических условиях. В этом отношении выбор места для организации наблюдательного полигона имеет как положительные, так и отрицательные стороны. Сложность геологических условий, с которыми пришлось встретиться на Воротиловском выступе, может рассматриваться и как отрицательный фактор, поскольку геофизическая интерпретация в подобных условиях часто бывает неоднозначной. С другой стороны, и это можно считать своего рода плюсом, неоднородность, мозаичность и другие, указанные выше, особенности геологического строения Пучеж – Катунского кратера определяют высокую чувствительность геологической среды в данном месте к внешним и иным воздействиям, приводящим к изменению напряженного состояния горных пород. В этой связи следует сделать акцент и на том, что существует принципиальная возможность использования высокоточной и широкодиапазонной сейсмоакустической измерительной аппаратуры при решении инженерно-геофизических задач при строительстве и эксплуатации промышленных и энергетических объектов особой важности, а также при изучении не только эндогенных, но и экзогенных природных и техногенных геологических процессов.

Проникающее излучение разного происхождения: природное, связанное с ближним и дальним Космосом, электрическими процессами, происходящими в средней и верхней атмосфере, а также теллурическими процессами; техногенное, возникающее при работе радиотехнических систем, электрических агрегатов и др., может оказывать специфическое воздействие на горные породы, вызывая в них отклик в виде различающихся по амплитуде и частотам сейсмоакустических импульсов, что, как показывает опыт, зависит от метастабильного состояния геологической среды.

Результаты, полученные на Воротиловском полигоне, можно распространить на зоны геологических разломов, в пределах которых наблюдается развитая неоднородность, высокая проницаемость, геологическая активность и другие спец-

ифические особенности. Геологические и тектонические процессы в разломных зонах протекают значительно интенсивнее, чем в сравнительно однородных блоках земной коры. Сложность геологической среды, в свою очередь, определяет сложность происходящих в ней геофизических процессов. Поэтому возможно лишь грубое количественное описание геофизических процессов, корректирующее описание качественное. Что касается качественного описания геофизических процессов, происходящих в недрах планеты, а также процессов, определяемых космическим радиационным влиянием, здесь, несмотря на очевидный прогресс, мы находимся едва ли не в самом начале пути. Многие из наших представлений, в том числе касающиеся проникающих излучений и космических частиц, нуждаются в пересмотре и переосмыслении на основе достижений естественных наук в последние десятилетия. Достижения физики и химии, например, подтверждают основное положение физики Н. А. Козырева, свидетельствующее о том, что существует феномен «... дистанционного воздействия внешних необратимых процессов на состояние вещества сложных систем, вплоть до изменений свойств вещества и протекающих в нем явлений». Признание этого в определенной мере снимает многие «запреты» в естественных науках и открывает новые возможности развития фундаментальных и прикладных исследований.

*Работа была выполнена в рамках программы РФФИ № 16-05-00276 «Исследование проявления теллурических и планетарных процессов в структуре высокочастотных микросейсм для задач мониторинга и прогноза опасных сейсмических событий».*

### Литература

1. Диденкулов И. Н., Малеханов А. И., Марышев А. П., Стромков А. А., Чернов В. В., Беляков А. С., Лавров В. С., Власов Ю. А., Гаврилов В. А. Сейсмоакустический мониторинг в Воротиловской глубокой скважине: Первые результаты и перспективы // Акустика неоднородных сред: Ежегодник РАО. Труды научной школы проф. С. А. Рыбака. Вып. 9. – Троицк: Изд. «Тривант», 2008. – С. 82-91.
2. Лямшев Л. Н. Радиационная акустика. УФН. – 1992. – Вып. 4. Т. 162. – С. 43-94.

## SEISMIC AND ACOUSTIC MONITORING IN VOROTILOVSKAYA DEEP WELL: TECHNIQUE AND RESULTS

© 2017 A.S. Belyakov<sup>1</sup>, Sc. Candidate (Phys.-Math.), I.N. Didenkulov<sup>2</sup>, A.D. Zhigalin<sup>1</sup>, Sc. Candidate (Geol.-Min.), V.S. Lavrov<sup>1</sup>, A.I. Malekhanov<sup>2</sup>, Sc. Candidate (Phys.-Math.), A.V. Nikolaev<sup>1</sup>, Sc. Doctor (Phys.-Math.), prof.

<sup>1</sup>Schmidt Institute of Physics of the Earth of the RAS, Russia, 123995, Moscow, Bolshaya Gruzinskaya Str., 10/1, e-mail: zhigalin.alek@yandex.ru;

<sup>2</sup>Institute of Applied Physics of the RAS, Russia, 603950, Nizhny Novgorod, Ul'yanov Str., 46, e-mail: din@appl.sci-nnov.ru

Observations of variations in seismic and acoustic noise of the Earth has shown the effectiveness of passive seismic monitoring in the study of endogenous geodynamic processes and their connection with the intensity of acoustic emission. In Vorotilovskaya deep well (Nizhny Novgorod region, Russia) recorded the «earth noise» in the frequency range from 1 Hz to 5 kHz. The noise of this kind is usually associated with the features of tectonics and petrophysical properties of rocks. In mid-August, 2017 extraordinary seismoacoustical signals were registered that are presumably associated with the interaction of highly energetic particles, in particular, neutrinos with the rocks or the possible influence of unidentified sources, including technogenic.

**Keywords:** seismic monitoring, Vorotilovskaya well, seismoacoustical emission, neutrino.

### References

1. Didenkulov I.N., Malekhanov A.I., Maryshev A.P., Stromkov A.A., Chernov V.V., Belyakov A.S., Lavrov V.S., Vlasov Yu.A., Gavrilov V.A. Seismoakusticheskij monitoring v Vorotilovskoj glubokoj skvazhine: Pervye rezul'taty i perspektivy [Seismoacoustic monitoring in Vorotilovskaya deep drillhole: first results and perspectives]. *Akustika neodnorodnyh sred: Ezhegodnik Rossiyskogo akusticheskogo obshchestva*, 2008, Issue 9, pp. 82–91. (in Russian).
2. Lyamshev L.N. Radiacionnaya akustika [Radiation acoustics]. *Uspehi fizicheskikh nauk*, 1992, Issue 4, Vol. 162, pp. 43–94. (in Russian).

УДК 551.24 (234.9)

## О ГЕНЕТИЧЕСКИХ ТИПАХ КАТАСТРОФИЧЕСКИХ ЛАВИНООБРАЗНЫХ ПОТОКОВ И ДИНАМИЧЕСКИХ ТИПАХ ЛЕДНИКОВ, ОПАСНЫХ ПО ИХ ПРОЯВЛЕНИЮ

© 2017 М. Г. Бергер, д.г.-м.н., проф.

Геофизический институт – филиал ФГБУН ФНЦ «Владикавказский научный центр Российской академии наук», Россия, 362002, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: berger7@rambler.ru

Согласно современным представлениям, все лавинообразные потоки генетически однотипны и имеют экзогенную склоново-гравитационную природу. Катастрофические события, произошедшие в последнее время на ледниках Центрального Кавказа и в сопредельных с ними районах перигляциальной зоны, показывают, однако, что такой тип лавинообразных потоков не исчерпывает всего разнообразия существующих в природе их типов.

Одним из типов чрезвычайно опасных катастрофических лавинообразных потоков являются газодинамические, генетически связанные с пароксизмальными взрывоподобными направленными газодинамическими выбросами ледников, впервые установленными автором при изучении Колкинской (Геналдонской, Кармадонской) катастрофы 2002 года. К этому же генетическому типу относятся, в частности, Уаскаранские (Перу) катастрофические лавинообразные потоки 1962 и 1970 гг., а также Колкинские (Геналдонские) 1902 и 1752 гг., Девдоракские (Казбекские) 1832 и 1776 гг., Араратские 1840 г. и некоторые другие.

Важнейшей особенностью катастрофических лавинообразных потоков этого типа является чрезвычайно высокоскоростное, нередко субгори-зонтальное (и даже направленное вверх) движение огромных ледово-каменных масс на значительной части пути по воздуху.

**Ключевые слова:** генетические типы катастрофических лавинообразных потоков, динамические типы ледников, газодинамический выброс ледника Колка.

### *Склоново-гравитационные лавинообразные потоки (С-Г-ЛОП)*

Согласно обычным, наиболее распространенным представлениям, все лавинообразные потоки генетически однотипны и имеют экзогенную склоново-гравитационную природу.

Основные особенности этих потоков охарактеризованы Т. Г. Войничем-Сяноженцким и В. Г. Созановым [1997].

Согласно характеристике этих авторов, одной из важнейших особенностей этих потоков является их способность развивать большие скорости на крутых участках горных склонов. Высокие скорости их субгоризонтального движения и тем более движение с набором высоты, против направления действия силы тяжести не предполагаются.

Катастрофические события, произошедшие в последнее время на ледниках Центрального Кавказа и в сопредельных с ними районах перигляциальной зоны, показывают, однако, что этот тип лавинообразных потоков, представляющих исключительно большую опасность, не исчерпывает всего разнообразия существующих в природе их типов.

### *Газодинамические лавинообразные потоки (ГД-ЛОП) и взрывоподобные внезапные газодинамические выбросы как причина возникновения (запуска) этих потоков*

Одним из таких типов катастрофических лавинообразных потоков являются газодинамические (ГД-ЛОП), впервые установленные при изучении Колкинской (Геналдонской, Кармадонской) катастрофы 2002 года [Бергер, 2004, 2006 и др.] с эпицентром на леднике Колка (проявившийся, в основном, на большей части пути,

в Геналдонском ущелье катастрофический лавинообразный поток обычно именуется, соответственно, Геналдонским).

По способу зарождения (запуска) и механизму движения этот поток представляет собой инерциальное движение ледникового материала, выброшенного в результате исключительно мощного взрывоподобного направленного газодинамического выброса ледника Колка, произошедшего примерно в 20 часов 08 минут 20 сентября 2002 года.

В общем случае взрывоподобный внезапный газодинамический выброс представляет собой крайне быстро протекающее высвобождение огромного количества энергии расширяющихся высоконапорных сжатых природных газов в ограниченном пространстве, вызывающее разрушение, отрыв и движение твердофазного материала вмещающей среды.

Считается, что внезапные газодинамические выбросы имеют техногенное (антропогенное) происхождение либо являются природно-техногенными. В связи с этим необходимо подчеркнуть, что внезапные взрывоподобные газодинамические выбросы могут происходить и спонтанно, без какого-либо техногенного воздействия на горный массив. Одним из таких, чисто природных, стихийных явлений был внезапный газодинамический выброс ледника Колка 20 сентября 2002 года.

Если, вслед за Ф. А. Баумом и др. [1959, с. 9] считать, что «работа, совершаемая при взрыве, обусловлена быстрым расширением газов или паров, *независимо от того, существовали ли они до или образовались во время взрыва*» (выделено мной. – М. Б.) (эта формулировка сохранена и во втором, переработанном издании книги [Баум и др., 1975, с. 9]), то техногенные взрывы и внезапные газодинамические выбросы (в том числе чисто природные, стихийные, происходящие без какого бы то ни было, даже косвенного вмешательства человека, как это случилось в 2002 г. на леднике Колка) – абсолютно идентичные, однотипные явления.

Принципиально аналогичными по характеру, но менее масштабными являются, очевидно, Уаскаранские (Перу) катастрофические ЛОП 1962 и 1970 гг., так и оставшиеся генетически нерасшифрованными, несмотря на большую длительность их изучения и большое количество посвященных им публикаций.

Генетически нерасшифрованными остались и другие случаи проявления ЛОП, по всей вероятности (судя по их весьма сходным совершенно экстраординарным особенностям), этого же типа (ледник Колка, июль 1902 г., 1752 г. и более ранние, Девдоракский ледник, 1832 г., 1776 г. и, возможно, некоторые другие, катастрофические события на горе Арарат, 1840 г., очевидно, газодинамические по механизму запуска и особенностям проявления лавинообразные потоки разных лет на склонах вулкана Рейнир в Каскадных горах на северо-западе США (штат Висконсин), в Чугачских горах на Аляске и др.).

Важнейшей особенностью катастрофических лавинообразных потоков этого типа является чрезвычайно высокоскоростное, нередко субгоризонтальное (и даже направленное вверх) движение огромных ледово-каменных масс на значительной (большей) части пути по воздуху (как принято в таких случаях образно говорить, «на воздушной подушке»). Понимаемая в буквальном смысле, эта метафора нередко является источником недоразумений, необоснованных и ошибочных предположений в научных построениях).

Субаэральное прохождение таких потоков может сопровождаться шлейфом осыпания части обломочного материала.

В силу полного, абсолютного незнания и непонимания большинством исследователей исключительно мощного по величине выделившейся энергии взрывоподобного направленного газодинамического выброса ледника Колка и вызванного им гигантского Геналдонского лавинообразного потока, в считанные минуты перебросившего (в основном, безусловно, по воздуху) около 100 млн. тонн ледово-каменного материала из Колкинского цирка на 15 и более километров в Кармадонскую котловину (остановленного лишь непреодолимой механической преградой Скалистого хребта), и вообще взрывоподобных газодинамических и сопровождающих их явлений, ни в какой мере не являющихся экзогенными склоново-гравитационными, и, кроме того, в силу допущенных ошибок при их моделировании, недопустимого игнорирования важнейшего момента их возникновения (запуска), а также при необоснованном, опровергаемом фактами неоднократном приписывании чудодейственных свойств воде в нереально большом ее количестве, газодинамические лавинообразные потоки и механизм их движения различные авторы представляют в виде некоего странного сочетания явлений селевого, лавинного, обвального и оползневого типов [Божинский, Черноморец, 2007] или только селевого и лавинного [Петраков, 2008] или же, наконец, просто в качестве обычного безнапорного движения жидкости под действием силы тяжести [Зарини, Каменецкий, 2010], что ни в малейшей мере не позволяет объяснить эту крупнейшую в истории России ледниковую катастрофу.

\* \* \*

В плане рассмотрения данного круга вопросов отметим, прежде всего, особенности механического действия взрывоподобного направленного газодинамического выброса ледника Колка. Они в значительной мере идентичны многократно описанным [Докучаев и др., 1963; Родионов и др., 1971; Родионов и др., 1986; Покровский, 1980; Ромашов, 1976, 1980; Бейкер и др., 1986; Адушкин, Спивак, 1993; Механическое..., 1994; и мн. др.] особенностям механического действия малозаглубленных подземных взрывов на выброс или на сброс (принципиально такими же являются особенности механического действия внезапных газодинамических выбросов в подземных горных выработках [Петухов, Линьков, 1983; Петросян и др., 1983; Ходот, 1961, 1967; Забигаило и др., 1980; Бирюков, 2011; и мн. др.]).

Основными проявлениями механического действия взрывоподобного газодинамического выброса ледника Колка являются:

1) разрушение ледника, экранировавшего скопление высоконапорных сжатых поствулканических газов, служившего непроницаемым барьером на пути их восходящей миграции; весьма показательным, что разрушенным (и в значительной мере выброшенным) оказался весь ледник до его основания, все части вертикального профиля ледника, а не только его поверхностная и приповерхностная зоны, как это бывает при быстрых гляциодинамических подвижках;

2) чрезвычайно высокоскоростное малоубывающее по скорости с расстоянием неоднотонадное инерциальное движение ледово-каменных продуктов разрушения ледника в поле силы тяжести под действием энергии сжатых газов, запасенной в кусках выбрасываемого материала;

3) образование полости (воронки) выброса на месте уничтоженного выбросом ледника;

4) практически синхронное с этим образование гигантского завала (навала) перемещенного выбросом материала продуктов разрушения ледника Колка в Кармадонской котловине на удалении около 15 км от эпицентра выброса – вне непосредственной пространственной связи с прежним контуром ледника и за пределами площади распространения современных гляциальных отложений.

В связи с наклонным залеганием поверхности ледника Колка выброс носил направленный характер: при центробежном характере разлета выброшенного материала в эпицентре, султан выброса в целом был асимметричным – основное количество выброшенного ледово-каменного материала испытало мощное *направленное* метание, каналированное бортами Колкинского и Геналдонского ущелий. Дальность же его инерциального движения оказалась ограниченной механической преградой Скалистого хребта и была бы, несомненно, большей при отсутствии этой преграды.

Подобно осколкам, образующимся при техногенных взрывах, многочисленные обломки ледово-каменного материала, образовавшиеся при взрывоподобном газодинамическом выбросе ледника Колка, летели по воздуху, с огромной силой ударялись в борта ущелья, иногда вонзались в них, проникали на некоторую глубину и застревали в них. Как пишут по поводу осколочного действия взрыва У. Бейкер с соавторами [1986, с. 86], «первоначальная потенциальная энергия сжатого газа переходит в кинетическую энергию осколков». Проявление осколочного действия газодинамического выброса ледника Колка подчеркивает именно взрывоподобный (а отнюдь не селевой, не склоново-гравитационный – типа обвала, срыва, соскальзывания, оползня, подвижки-обрушения и т. п.) характер этого выброса. Аналогичные явления, судя по имеющимся описаниям [Пагирев, 1902, с. 210; Обвал..., 1904, с. 65], имели место и при катастрофическом выбросе ледника Колка 3 июля 1902 г.

В диагностическом плане весьма характерными и показательными газогеодинимическими эффектами на этапах подготовки, проявления и завершения газодинамического выброса ледника Колка были:

1. Трещинно-обвальный, денудационно-аккумуляционный (эффект резкого снижения прочностных свойств и устойчивости склонового залегания горных пород в области питания ледника).

2. Трещинно-инфильтрационный (эффект резкого возрастания проницаемости и, соответственно, улучшения фильтрационных свойств горных пород в литосферном субстрате ледника и в сопредельной перигляциальной области).

3. Эффект продолжительного интенсивного концентрированного прорыва большого количества высоконапорных глубинных природных газов непосредственно под ледник и связанного с ним постепенного отжатия ледника от его ложа и длительного устойчивого и увеличивающегося куполообразования на леднике, особенно в почти не нагруженной обвалами левой (северной) части его тыльной зоны (эффект газового домкрата).

4. Предкатастрофический эффект поверхностных струйных газовыделений («фумарол») в приледниковой разломной трещинно-разрывной зоне обвалов.

5. Взрывоподобный внезапный газодинамический выброс ледника со всеми сопутствующими ему явлениями, включая разрушение ледника до его основания, отрыв большей части ледника от ледникового ложа и боковых пород, высокоскоростной разлет (метание) ледово-каменных продуктов разрушения ледника, ударную воздушную волну гигантской интенсивности и пр. Это основное пароксизмальное катастрофическое событие в эпицентральной зоне катастрофы, приведшее к крайне

быстрому, почти мгновенному разрушению, уничтожению и исчезновению ледника Колка, обобщенно может быть названо также *газодинамической аннигиляцией ледника* (в зарубежных публикациях в данном случае часто говорят о коллапсе ледника Колка, не указывая, однако, сколько-нибудь определенно и, главное, доказательно причину и механизм этого коллапса).

При характеристике этого пароксизмального взрывоподобного газодинамического выброса (который гляциологи в последнее время часто именуют подвижкой – неожиданной, внеурочной, преждевременной и т. п.) важно обратить внимание, в частности, на то, что выброшенной оказалась бóльшая, основная часть ледника Колка, а не какая-то «избыточная», «сверхнормативная» (в соответствии с представлениями В. Г. Ходакова [1974], К. П. Рототаева и др. [1983], а также Л. В. Десинова и других гляциологов) его часть, считающаяся ими «критической».

6. Посткатастрофический эффект продолжительных поверхностных струйных газовыделений в эпицентральной зоне выброса и вблизи от нее.

\* \* \*

Значительные по масштабам катастрофические природные и природно-техногенные газодинамические процессы в поверхностной и близповерхностной (первые 100-200 м от дневной поверхности) зонах являются довольно редкими.

Причина этого состоит в необходимости выполнения ряда существенных условий (довольно редко в полной мере реализующихся в природе) для возникновения возможности подготовки, запуска и протекания газодинамических явлений. Перечислим важнейшие из этих условий.

1. Наличие источников длительной интенсивной генерации огромного количества природных газов.

Основной источник высоконапорных газов, вызвавших взрывоподобный направленный газодинамический газоледокаменный выброс ледника Колка 20 сентября 2002 г., а затем, после выброса ледника, обусловивших многодневное интенсивное свободное поверхностное газовыделение в эпицентре катастрофы и сопредельной с ним зоне, очевиден – им были глубинные поствулканические газы, постоянно генерирующиеся в глубинных зонах Казбекско-Джимарайского района и всей Казбекской неовулканической области.

2. Наличие путей концентрированной миграции природных газов. Наиболее часто такими путями служат трещинно-разрывные зоны, в пределах которых горные породы обладают высокой проницаемостью (фильтрационной способностью).

3. Наличие в поверхностной или близповерхностной зоне на путях миграции природных газов газонепроницаемого либо слабопроницаемого барьера (экрана, покрышки, флюидоупора) со свободной (открытой, обнаженной) поверхностью либо создание такой поверхности в процессе ведения горных работ.

4. Наличие либо возможность возникновения в ходе миграции газов пород-коллекторов и перекрытых газонепроницаемыми барьерами ловушек (резервуаров, природных емкостей) для поступления и накопления в них значительных количеств природных газов.

5. Небольшая толщина ледника (или иного локального газоупорного барьера со свободной поверхностью), определяющая его гравитационный потенциал и силы его связи (сцепления, сmerzания) с вмещающими породами.

6. Наличие условий для возникновения и быстрого возрастания аномально высокого (сверхвысокого) пластового давления природных газов.

Все перечисленные моменты в полной мере реализуются в подледниковом субстрате ледника Колка.

При подготовке, запуске и протекании взрывоподобного внезапного газодинамического выброса ледника Колка, безусловно, в полной мере проявились и указанные И. М. Петуховым и А. М. Линьковым [1983 и др.] дополнительные условия.

В частности, согласно мнению этих крупнейших специалистов в области механики горных ударов и внезапных газодинамических выбросов, проявление взрывного разрушения зависит от наличия достаточно больших начальных трещин в горных породах и от внешних воздействий, способствующих образованию и распространению трещин. Без выполнения таких дополнительных условий сама по себе «большая энергия не приводит к взрыву. Если же условия роста трещин оказываются выполненными, то происходит катастрофа – громадный избыток энергии, запасенный в газе, вызывает взрыв» [Петухов, Линьков, 1983, с. 246].

В связи с этим необходимо заметить, что взрыв, точнее, взрывоподобный внезапный газодинамический выброс ледника Колка 2002 г., как известно, в течение, по меньшей мере, двух месяцев, интенсивно готовился, в том числе и в отношении возникновения достаточно больших начальных трещин в леднике, и в отношении сильных сотрясательных сейсмоударных и обвальнударных внешних воздействий на ледник, способствовавших образованию и распространению трещин в леднике. Этому же способствовали и интенсивно проявившиеся в тыльной части ледника на заключительном этапе подготовительной стадии выброса процессы куполообразования [Тутубалина и др., 2005; Бергер, 2007; и др.].

В реконструктивно-диагностическом плане важно подчеркнуть и такую аналогию между подземными внезапными газодинамическими выбросами и газодинамическим выбросом ледника Колка. Как отмечает Ю. М. Бирюков [2011, с. 6], «внезапные выбросы угля и газа происходят не мгновенно – процесс выброса длится несколько минут». Тем более не мог быть (и, безусловно, не был) мгновенным гигантский газодинамический выброс ледника Колка. Все это (а также отмечаемый Ю. М. Бирюковым [там же] скачкообразный характер подготовки и развития выбросов с различными по продолжительности интервалами между скачками), естественно, не могло не отразиться на сейсмических записях Колкинской катастрофы [Заалишвили, Невская, 2003; Заалишвили и др., 2004, 2005а, б, 2007 и др.; Заалишвили, Харебов, 2008; Заалишвили, Мельков, 2012; и др.]. Вышеизложенное, кстати, полностью соответствует давно высказанным и экспериментально доказанным положениям механики внезапных газодинамических выбросов [Николин и др., 1967; Петухов, Линьков, 1983; Петросян и др., 1983] и механики разрушения [Николаевский, 1981].

#### *Полигенные (полигенетические) лавинообразные потоки (ПГ-ЛОП)*

Катастрофическое событие 17 мая 2014 года на Девдоракском леднике [Заалишвили, Мельков, Дзеранов и др., 2014; Тавасиев, Галушкин, 2014; Черноморец, 2014] указало на существование в природе еще одного типа весьма опасных лавинообразных потоков – *полигенных* (ПГ-ЛОП), вызываемых совместным действием различных эндогенных и экзогенных факторов.

К этому типу относятся лавинообразные потоки сложного (неоднотипного) генезиса и характера протекания – обвально-газодинамические, обвально-газодинамотермальные, обвально-геотермальные, сейсмогенно-обвальные и др.

Характерной особенностью полигенных (полигенетических) ЛОП, по-видимому, зачастую является участие в их возникновении тех или иных эндогенных флюидодинамических и геотермальных факторов, имеющих обычно поствулканический генезис.

В какой-то мере полигенными (полигенетическими) могут считаться и другие ЛОП, поскольку в их возникновении нередко принимают то или иное, в том числе существенное, участие, наряду с другими, и сейсмические факторы.

Это – грунтовые потоки, без элементов воздушного (субаэрального, «эолового») переноса ледникового материала.

Интересно, что, как отмечают В. Б. Заалишвили, Д. А. Мельков, Б. В. Дзеранов и др. [2014], характер сейсмического сопровождения Девдоракского потока 17 мая 2014 г. сходен с характером сейсмического сопровождения катастрофического Геналдонского ЛОП 20 сентября 2002 г. Этот факт заслуживает детального рассмотрения и обсуждения.

#### *Основные динамические типы ледников*

С учетом процессов энерго- и массообмена, протекающих в газодинамических ледниковых системах (мегасистемах), включающих не только ледники и области их питания, но и их литосферный субстрат (в том числе его глубокие горизонты), существуют ледники 1) *квазиравновесные* (динамически относительно устойчивые, неопасные по ледниковым пульсациям любого типа и, соответственно, по катастрофическим лавинообразным потокам), 2) *неравновесные* (динамически неустойчивые, опасные по гляциодинамическим быстрым подвижкам и склоново-гравитационным лавинообразным потокам) и 3) *сильно неравновесные* (динамически весьма неустойчивые, опасные по кратко охарактеризованным выше газодинамическим и полигенным лавинообразным потокам).

Примерами ледников первого типа, по-видимому, является ледник Майли (с которым ранее иногда ошибочно связывали различные природные катастрофы), второго типа – ледник Колка (взрывоподобные направленные газодинамические выбросы и связанные с ними катастрофические инерциальные газодинамические лавинообразные потоки сентября 2002 г., июля 1902 г. и 1752 г., а также, по-видимому, более ранние, не имеющие сколько-нибудь точной датировки) и Девдоракский ледник (катастрофические лавинообразные потоки 17 мая 2014 г., 1832 г., 1776 г. и, вероятно, некоторые другие).

Важно еще раз подчеркнуть, что сильно неравновесные условия, существующие в ледниках третьего, динамически весьма неустойчивого, типа, и связанная с ними опасность проявления газодинамических и полигенных лавинообразных потоков, обусловлены, прежде всего, действием глубинных, эндогенных факторов, а не проявляющимися на поверхности Земли климатическими, сезонно-гидрометеорологическими, гравитационными, обвально-денудационными и иными экзогенными факторами.

Заключение о существенной роли воздействия эндогенных (прежде всего, флюидных) факторов (в частности, газодинамического) на развитие ледника Колка и, по-видимому, некоторых других пульсирующих ледников существенно меняет сло-

жившиеся представления в данной области, традиционно относящейся к динамической гляциологии, но, безусловно, далеко выходящей за ее рамки и требующей привлечения методических подходов, результатов и понятийно-терминологического аппарата геологии, геомеханики и некоторых других областей науки.

*К методике определения динамических типов ледников и связанных с ними природных опасностей*

Вышеизложенное показывает, что в основе методики определения динамических типов ледников и связанных с ними природных опасностей должны лежать следующие важнейшие моменты.

1. Детальная реконструкция динамических состояний и особенностей развития ледников в течение как можно более длительного периода.

2. Признание возможного существенного участия эндогенных геодинамических и геотермальных факторов в развитии ледников, включая быстрые ледниковые подвижки и катастрофические лавинообразные потоки. Выявление признаков эндогенного воздействия на ледники.

3. Признание существования в природе, наряду со склоново-гравитационными, газодинамическими и полигенными катастрофическими лавинообразными потоками. Выявление случаев их проявления.

Особенно важным является применение такого подхода при изучении ледников Приказбекской и Приэльбрусской областей новейшего вулканизма. В современную геологическую эпоху эти области характеризуются широким проявлением поствулканических процессов, которые могут продолжаться еще многие тысячелетия. Именно эндогенными поствулканическими процессами обусловлены многие катастрофические события на этих ледниках и в их перигляциальной зоне.

Использование (и некоторое развитие) кратко охарактеризованного выше методического подхода в исследовании, например, ледника Колка предполагает:

1) изучение истории ледника в течение как можно более длительного интервала времени его существования, выявление закономерностей в его развитии, установление факторов, определяющих это развитие и его закономерности;

2) изучение Колкинской катастрофы 2002 г. и других событий на леднике, установление их геодинамического типа, механизма протекания и причин (факторов, вызывающих эти события и определяющих их особенности);

3) изучение современного состояния и тенденций развития ледника Колка, процессов, протекающих в ледниковом ложе, в области питания ледника и в подледниковом пространстве (литосферном субстрате ледника);

4) прогнозирование развития ледника на ближайшие десятилетия и более отдаленную перспективу, в частности, оценка возможности повторения катастрофической пульсации ледника Колка и прогноз времени ее возможного проявления.

Некоторые заключения по отмеченному кругу вопросов были сделаны автором в предшествующих публикациях.

В завершение еще раз отметим крайне слабую разработанность, бездоказательность, противоречивость (даже в рамках одной и той же работы) и во многом ошибочность принимаемой в гляциологии трактовки затронутых в статье вопросов, нередко обсуждаемых гляциологами и другими географами, но являющихся по своей сути не географическими, а геологическими.

### Литература

1. Адушкин В. В., Спивак А. А. Геомеханика крупномасштабных взрывов. – М.: Недра, 1993. – 319 с.
2. Баум Ф. А., Станюкович К. П., Шехтер Б. И. Физика взрыва. – М.: Физматгиз, 1959. – 800 с.
3. Баум Ф. А., Орленко Л. П., Станюкович К. П., Чельшев В. П., Шехтер Б. И. Физика взрыва/Под ред. К. П. Станюковича. Изд. 2-е, перераб. – М.: Наука. Главная редакция физ.-мат. лит., 1975. – 704 с.
4. Бейкер У., Кокс П., Уэстайн П., Кулеш Дж., Стрелов Р. Взрывные явления. Оценка и последствия: В 2-х кн. Кн. 2. – М.: Мир, 1986. – 384 с.
5. Бергер М. Г. Газодинамический выброс ледника Колка 20 сентября 2002 г. – новое катастрофическое природное явление // Предупреждение опасных ситуаций в высокогорных районах: Тезисы докладов Международной конференции, г. Владикавказ, 23-26 июня 2004 г. – Владикавказ: РЕМАРКО, 2004. – С. 4-5.
6. Бергер М. Г. Природная катастрофа на леднике Колка 20 сентября 2002 года – внезапный газодинамический выброс ледника // Предупреждение опасных ситуаций в высокогорных районах. Доклады Международной конференции. Владикавказ – Москва, 23-26 июня 2004 г. – Владикавказ: Олимп, 2006. – С. 41-49.
7. Бергер М. Г. О предвестниках внезапного газодинамического выброса ледника Колка 20 сентября 2002 года // Материалы VI Международной конференции «Инновационные технологии для устойчивого развития горных территорий». Владикавказ, 28-30 мая 2007 г. – Владикавказ: Терек, 2007. – С. 194-208.
8. Бирюков Ю. М. Техногенная газодинамика. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2011. – 159 с.
9. Божинский А. Н., Черноморец С. С. Моделирование казбекских ледниковых завалов XVIII-XIX вв. // Материалы гляциологических исследований. – 2007. – Вып. 103. – С. 91-95.
10. Войнич-Сяноженцкий Т. Г., Созанов В. Г. Лавинообразные потоки. Возникновение, динамика и воздействие на окружающую среду. – Владикавказ: Изд-во СОГУ, 1997. – 221 с.
11. Докучаев М. М., Родионов В. Н., Ромашов А. Н. Взрыв на выброс. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 108 с.
12. Заалишвили В. Б., Невская Н. И. Сход ледника Колка 20 сентября 2002 года и задачи информационных технологий изучения природных систем // Информационные технологии и системы: новые информационные технологии в науке, образовании, экономике (НИТНОЭ-2003). Международная научно-техническая конференция. Т. 2. – Владикавказ, 2003. – С. 175-180.
13. Заалишвили В. Б., Невская Н. И., Харебов А. К. Анализ инструментальных записей схода ледника Колка по данным локальной сети сейсмических наблюдений // Вестник Владикавказского научного центра РАН и РСО-А. – 2004. – Т. 4. №3. – С. 58-64.
14. Заалишвили В. Б., Невская Н. И., Макиев В. Д., Мельков Д. А. Интерпретация инструментальных данных процесса схода ледника Колка 20 сентября 2002 года // Вестник Владикавказского научного центра РАН и РСО-А. – 2005а. – Т. 5. №3. – С. 43-54.
15. Заалишвили В. Б., Невская Н. И., Мельков Д. А. К вопросу интерпретации инструментальных данных процессов схода ледника Колка 20 сентября 2002 года:

Докл. [6 Российская национальная конференция по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию (с международным участием). Сочи, 19-24 сент. 2005. Вып. 3] // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2005б. – № 6. – С. 13-17.

16. Заалишвили В. Б., Невская Н. И., Макиев В. Д., Мельков Д. А. Особенности процесса схода ледника Колка 20 сентября 2002 года по инструментальным данным // Геофизика XXI столетия: 2006 год. Сборник трудов Восьмых геофизических чтений им. В. В. Федынского (2-4 марта 2006 г., Москва). – Тверь: ООО «Издательство ГЕРС», 2007. – С. 191-199.

17. Заалишвили В. Б., Харебов К. С. Исследование процесса схода ледника Колка 20 сентября 2002 года по динамическим характеристикам инструментальных записей // Опасные природные и техногенные геологические процессы на горных и предгорных территориях Северного Кавказа: Труды Международной научно-практической конференции. Владикавказ, 20-22 сентября 2007 г. – Владикавказ: ВНИЦ РАН и РСО-А, 2008. – С. 202-221.

18. Заалишвили В. Б., Мельков Д. А. Особенности процесса схода ледника Колка 20 сентября 2002 года и его макросейсмическое проявление по инструментальным данным современных регистрационных систем // Геология и геофизика Юга России. – 2012. – № 3. – С. 29-44.

19. Заалишвили В. Б., Мельков Д. А., Дзеранов Б. В., Кануков А. С., Габарев А. Ф., Шепелев В. Д. Сход каменно-ледовой лавины в районе ледника Девдорак 17 мая 2014 года по инструментальным данным // Геология и геофизика Юга России. – 2014. – № 4. – С. 122-128.

20. Забигаило В. Е., Широков А. З., Кратенко Л. Я., Лукинов В. В., Стовас Г. М. Геологические условия выбросоопасности угольных пластов Донбасса. – Киев: Наукова думка, 1980. – 192 с.

21. Зарини А. Г., Каменецкий Е. С. Оценка скорости движения ледово-каменной массы и селя при катастрофическом сходе ледника Колка // Устойчивое развитие горных территорий. – 2010. – № 1. – С. 27-29.

22. Механическое действие взрыва. Сборник. – М.: ИДГ РАН, 1994.

23. Николаевский В. Н. Динамическая прочность и скорость разрушения // Механика. Новое в зарубежной науке. Вып. 26. Удар, взрыв и разрушение. – М.: Мир, 1981. – С. 166-203.

24. Николин В. И., Меликсетов С. С., Беркович И. М. Выбросы породы и газа. – М.: Недра, 1967. – 81 с.

25. Обвал Геналдонского ледника // Ежегодник Кавказского горного общества в г. Пятигорске. 1902 и 1903 гг. № 1. – Пятигорск, 1904. – С. 61-66.

26. Пагирев Д. Д. Падение ледников с Гимарай-хоха // Известия Кавказского отдела Императорского Русского географического общества. – 1902. – Т. 15. Вып. 3. – С. 205-210.

27. Петраков Д. А. Многостадийные ледниковые катастрофы как особый тип стихийно-разрушительных процессов гляциального генезиса // Материалы гляциологических исследований. – 2008. – Вып. 105. – С. 87-96.

28. Петросян А. Э., Иванов Б. М., Крупеня В. Г. Теория внезапных выбросов. – М.: Наука, 1983. – 152 с.

29. Петухов И. М., Линьков А. М. Механика горных ударов и выбросов. – М.: Недра, 1983. – 280 с.

30. Покровский Г. И. Взрыв. 4-е изд. – М.: Недра, 1980. – 190 с.
31. Родионов В. Н., Адушкин В. В., Костюченко В. Н., Николаевский В. Н., Ромашов А. Н., Цветков В. М. Механический эффект подземного взрыва. – М.: Недра, 1971. – 224 с.
32. Родионов В. Н., Сизов И. А., Цветков В. М. Основы геомеханики. – М.: Недра, 1986. – 301 с.
33. Ромашов А. Н. Особенности развития выброса породы при взрывах на склоне // Разрушение и деформирование твердой среды взрывом. Взрывное дело. Сборник № 76/33. – М.: Недра, 1976. – С. 85-97.
34. Ромашов А. Н. Особенности действия крупных подземных взрывов. – М.: Недра, 1980. – 244 с.
35. Рототаев К. П., Ходаков В. Г., Кренке А. Н. Исследование пульсирующего ледника Колка. – М.: Наука, 1983. – 169 с.
36. Тавасиев Р. А., Галушкин И. В. Каменно-ледовый обвал с горы Казбек 17 мая 2014 года // Вестник Владикавказского научного центра РАН и РСО-А. – 2014. – Т. 14. № 2. – С. 43-45.
37. Тутубалина О. В., Черноморец С. С., Петраков Д. А. Ледник Колка перед катастрофой 2002 года: новые данные // Криосфера Земли. – 2005. – Т. IX. № 4. – С. 62-71.
38. Ходаков В. Г. Особенности формирования баланса льда пульсирующего ледника Колка // Материалы гляциологических исследований. Хроника, обсуждения. – 1974. – Вып. 24. – С. 116-125.
39. Ходот В. В. Внезапные выбросы угля и газа. – М.: Госгортехиздат, 1961. – 363 с.
40. Ходот В. В. Международный конгресс по проблеме внезапных выбросов газов и пород. Отчет о заграничной командировке. – М., 1967. – 37 с.
41. Черноморец С. С. Новый «Казбекский завал» 17 мая 2014 года // Природа. – 2014. – № 7. – С. 67-72.

## GENETIC TYPES OF CATASTROPHIC AVALANCHE-LIKE FLOW AND DYNAMIC TYPES OF THE GLACIERS, WHICH ARE HAZARDOUS FOR THEIR MANIFESTATION

© 2016 M. G. Berger, Sc. Doctor (Geol.-Min.), prof.

Geophysical institute VSC RAS, Russia, 362002, RNO-Alania, Vladikavkaz,  
Markov Str., 93 a, e-mail: berger7@rambler.ru

According to the modern concepts, all of the avalanche flows are genetically similar and have exogenous slope-gravitational nature. Catastrophic events happened in recent years on the glaciers of the Central Caucasus and the adjacent areas of periglacial zone indicate, however, that this type of avalanche flows does not exhaust the diversity of their types existing in nature.

One of the extremely dangerous catastrophic avalanche types is gas-dynamic one genetically associated with paroxysmal explosive directional gas dynamic surge of glaciers, for the first time determined by the author during the study of Kolka (Genaldon, Karmadon) disaster of 2002. In particular, Waskaran (Peru) catastrophic avalanche flows in 1962 and 1970, as well as Kolka (Genaldon) in 1902 and 1752, Devdorak (Kazbek) in 1832 and 1776, Ararat flows in 1840 and some others are referred to the same genetic type.

The most important feature of such type of catastrophic avalanche flows is extremely high speed, often sub-horizontal (and even upward) movement of huge ice-rock masses over the air on a large part of the way.

**Keywords:** genetic types of catastrophic avalanche-like flows, dynamic types of glaciers, gasdynamic ejection of the glacier Kolka.

### References

1. Adushkin V.V., Spivak A.A. Geomehanika krupnomasshtabnyh vzryvov [Geomechanics of large explosions]. Moscow, Nedra Publ., 1993. 319 p. (in Russian).
2. Baum F.A., Stanyukovich K.P., Shehter B.I. Fizika vzryva [Physics of explosion]. Moscow, Fizmatgiz Publ., 1959. 800 p. (in Russian).
3. Baum F.A., Orlenko L.P., Stanyukovich K.P., Chelyshev V.P., Shehter B.I. Fizika vzryva [Physics of explosion]. 2-nd revised edition. Ed by K.P. Stanyukovicha. Moscow, Glav-naya redakcyia fiz.-mat. lit. Nauka Publ. 1975. 704 p. (in Russian).
4. Bejker U., Koks P., Uestajin P., Kulesh Dzh., Strelou R. Vzryvnye yavleniya. Ocenka i posledstviya [Explosive phenomena. Evaluation and consequences]. In 2 books, Book. 2. Moscow, Mir Publ., 1986. 384 p. (in Russian).
5. Berger M.G. Gazodinamicheskij vybros lednika Kolka 20 sentyabrya 2002 g. – novoe katastroficheskoe prirodnoe yavlenie [Gasdynamic ejection of the Kolka glacier on September 20, 2002 - A new catastrophic natural phenomenon]. Tezisy dokladov Mezhdunarodnoj konferencii "Preduprezhdenie opasnyh situacij v vysokogornyh rajonah", g. Vladikavkaz, 23–26 iyunya 2004 g [Abstracts of the international conference "Prevention of dangerous situations in high-altitude areas", Vladikavkaz, June 23–26, 2004]. Vladikavkaz, Remarko Publ., 2004, pp. 4–5. (in Russian).
6. Berger M.G. Prirodnaya katastrofa na lednike Kolka 20 sentyabrya 2002 goda – vnezapnyj gazodinamicheskij vybros lednika [Catastrophe on the Glacier Kolka on September 20, 2002 - sudden gas-dynamic discharge of the glacier]. Doklady Mezhdunarodnoj konferencii "Preduprezhdenie opasnyh situacij v vysokogornyh rajonah", Vladikavkaz – Moskva, 23–26 iyunya 2004 g [Procs. of international conference "Prevention of dangerous situations in high-altitude areas", Vladikavkaz, June 23–26, 2004]. Vladikavkaz, Olimp Publ, 2006, pp. 41–49. (in Russian).
7. Berger M.G. O predvestnikah vnezapnogo gazodinamicheskogo vybrosa lednika Kolka 20 sentyabrya 2002 goda [On the precursors of the sudden gas-dynamic discharge of the Kolka glacier on September 20, 2002]. Materialy VI Mezhdunarodnoj konferencii «Innovacionnye tehnologii dlya ustoychivogo razvitiya gornyh territorij». Vladikavkaz, 28–30 maya 2007 g. [Materials of VI international conference "Information technologies for sustainable development of mountainous regions", Vladikavkaz, May 28–30, 2007]. Vladikavkaz, Terek Publ., 2007, pp. 194–208. (in Russian).

8. Biryukov Yu.M. Tehnogennaya gazodinamika [Technogenic gas dynamics]. Kalinin-grad, FGBOU VPO «KGTU» Publ., 2011. 159 p. (in Russian).
9. Bozhinskij A.N., Chernomorec S.S. Modelirovanie kazbekskih lednikovyh zavalov XVIII-XIX vv [Modeling of the Kazbek glacial debris of the 18th-19th cc]. *Materialy glyacio-logicheskikh issledovanij*, 2007, Issue 103, pp. 91–95. (in Russian).
10. Vojnich-Syanozhenckij T.G., Sozanov V.G. Lavinoobraznye potoki. Vozniknovenie, dinamika i vozdeystvie na okruzhayushchuyu sredu [Avalanche flows. Appearance, dynamics and impact on the environment]. Vladikavkaz, North Ossetian State University, 1997. 221 p. (in Russian).
11. Dokuchaev M.M., Rodionov V.N., Romashov A.N. Vzryv na vybros [Explosion blowout]. Moscow, Academy of Sciences of USSR, 1963. 108 p. (in Russian).
12. Zaalishvili V.B., Nevskaya N.I. Shod lednika Kolka 20 sentyabrya 2002 goda i zadachi informacionnyh tehnologij izucheniya prirodnyh sistem [Kolka glacier fall on September 20, 2002 and the tasks of information technologies for studying natural systems] *Mezhdunarodnaya nauchno-tehnicheskaya konferenciya Informacionnye tehnologii i sistemy: novye informacionnye tehnologii v nauke, obrazovanii, ekonomike* [International scientific-practical conference “Information technologies and systems: new information technologies in science, education and economics”]. 2003, Vol.2. Vladikavkaz, 2003, pp. 175–180. (in Russian).
13. Zaalishvili V.B., Nevskaya N.I., Harebov A.K. Analiz instrumental'nyh zapisej shoda lednika Kolka po dannym lokal'noj seti seismicheskikh nablyudenij [Analysis of instrumental records of the glacier Kolka fall from the local network of seismic observations] *Vestnik Vladikavkazskogo nauchnogo centra RAN i RSO-A*, 2004, Vol. 4, No. 3, pp. 58–64. (in Russian).
14. Zaalishvili V.B., Nevskaya N.I., Makiev V.D., Mel'kov D.A. Interpretaciya instrumental'nyh dannyh processa shoda lednika Kolka 20 sentyabrya 2002 goda [Interpretation of instrumental data of the process of the glacier Kolka fall on September 20, 2002] *Vestnik Vladikavkazskogo nauchnogo centra RAN i RSO-A*, 2005, Vol. 5, No. 3, pp. 43–54. (in Russian).
15. Zaalishvili V.B., Nevskaya N.I., Mel'kov D.A. K voprosu interpretacii instrumental'nyh dannyh processov shoda lednika Kolka 20 sentyabrya 2002 goda [On the interpretation of the instrumental data of the processes of the glacier Kolka fall on September 20, 2002]. *Seis-mostoikoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij*, 2005, No. 6, pp. 13–17. (in Russian).
16. Zaalishvili V.B., Nevskaya N.I., Makiev V.D., Mel'kov D.A. Osobennosti processa shoda lednika Kolka 20 sentyabrya 2002 goda po instrumental'nym dannym [Features of the process of the glacier Kolka fall on September 20, 2002 on instrumental data]. *Geofizika XXI stoletiya: Sbornik trudov Vos'mykh geofizicheskikh chtenij im. V.V. Fedynskogo (2–4 marta 2006 g., Moskva)* [Geophysics of XXI century: Procs. of 8-th geophysical readings]. Tver', OOO «Iz-datel'stvo GERS», 2007. pp. 191–199. (in Russian).
17. Zaalishvili V.B., Harebov K.S. Issledovanie processa shoda lednika Kolka 20 sentyabrya 2002 goda po dinamicheskim karakteristikam instrumental'nyh zapisej [The study of the process of the glacier Kolka fall on September 20, 2002, on the dynamic characteristics of instrumental records] *Opasnye prirodnye i tehnogennye geologicheskie processy na gornyh i predgornyh territoriyah Severnogo Kavkaza: Trudy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. Vladikavkaz, 20–22 sentyabrya 2007 g. – Vladikavkaz, VSC RAS and RNO-Alania, 2008, pp. 202–221. (in Russian).
18. Zaalishvili V.B., Mel'kov D.A. Osobennosti processa shoda lednika Kolka 20 sentyabrya 2002 goda i ego makroseismicheskoe proyavlenie po instrumental'nym dannym sovremennykh registracionnyh sistem [Features of the process of the glacier Kolka fall on September 20, 2002 and its macroseismic manifestation according to the instrumental data of modern registration systems]. *Geologiya i geofizika Yuga Rossii*, 2012, No. 3, pp. 29–44. (in Russian).
19. Zaalishvili V.B., Mel'kov D.A., Dzeranov B.V., Kanukov A.S., Gabaraev A.F., Shepelev V.D. Shod kamennolodovoj laviny v rajone lednika Devdorak 17 maya 2014 goda po instrumental'nym dannym [The descent of the stone-ice avalanche near the Devdorak glacier on May 17, 2014, according to instrumental data]. *Geologiya i geofizika Yuga Rossii*, 2014, No. 4, pp. 122–128. (in Russian).
20. Zabigajlo V.E., Shirokov A.Z., Kratenko L.Ya., Lukinov V.V., Stovas G.M. Geologicheskie usloviya vybrosoopasnosti ugol'nyh plastov Donbassa [Geological conditions of ejection danger of coal seams of Donbass]. Kiev, “Naukova dumka” Publ., 1980. 192 p. (in Russian).
21. Zarini A.G., Kameneckij E.S. Ocenka skorosti dvizheniya ledovo-kamennoj massy i selya pri katastroficheskom shode lednika Kolka [Estimation of the speed of movement of ice-rock mass and mudflow at the catastrophic glacier Kolka fall]. *Ustoichivoe razvitie gornyh territorij*, 2010, No. 1, pp. 27–29. (in Russian).

22. Mehanicheskoe dejstvie vzryva [The mechanical action of the explosion]. Moscow, Institute of Geosphere Dynamics (IDG) RAS, 1994. (in Russian).
23. Nikolaevskij V.N. Dinamicheskaya prochnost' i skorost' razrusheniya [Dynamic strength and rate of failure]. Mekhanika. Novoe v zarubezhnoj nauke, Issue 26 "Udar, vzryv i razrushenie". Moscow, Mir Publ., 1981, pp. 166–203. (in Russian).
24. Nikolin V.I., Meliksetov S.S., Berkovich I.M. Vybrosov porody i gaza [Outburst of rock and gas]. Moscow, Nedra Publ., 1967. 81 p. (in Russian).
25. Obval Genaldonskogo lednika [Genaldon glacier avalanche]. Ezhegodnik Kavkazskogo gornogo obshhestva v g. Pyatigorske, 1902 and 1903, No. 1. Pyatigorsk, 1904, pp. 61–66. (in Russian).
26. Pagirev D.D. Padenie lednikov s Gimara-j-hoha [The fall of glaciers from the Guimarai-Khokh]. Izvestiya Kavkazskogo otdela Imperatorskogo Russkogo geograficheskogo obshhestva, 1902, Vol. 15, Issue 3, pp. 205–210. (in Russian).
27. Petrakov D.A. Mnogostadijnye lednikovye katastrofy kak osobyj tip stihijno-razrushitel'nyh processov glyacial'nogo genezisa [Multistage glacial catastrophes as a special type of spontaneously destructive processes of glacial genesis]. Materialy glyaciologicheskikh issledovanij, 2008, Issue 105, pp. 87–96. (in Russian).
28. Petrosyan A.Je., Ivanov B.M., Krupenya V.G. Teoriya vnezapnyh vybrosov [The theory of sudden outbursts]. Moscow, Nauka Publ., 1983. 152 p. (in Russian).
29. Petuhov I.M., Lin'kov A.M. Mekhanika gornyh udarov i vybrosov [The mechanics of rock bursts and outbreaks]. Moscow, Nedra Publ., 1983. 280 p. (in Russian).
30. Pokrovskij G.I. Vzryv [Explosion]. 4-rd edition. Moscow, Nedra Publ., 1980. 190 p.
31. Rodionov V.N., Adushkin V.V., Kostyuchenko V.N., Nikolaevskij V.N., Romashov A.N., Cvetkov V.M. Mekhanicheskij effekt podzemnogo vzryva [Mechanical effect of under-ground explosion]. Moscow, Nedra Publ., 1971. 224 p. (in Russian).
32. Rodionov V.N., Sizov I.A., Cvetkov V.M. Osnovy geomekhaniki [Fundamentals of geomechanics]. Moscow, Nedra Publ., 1986. 301 p. (in Russian).
33. Romashov A.N. Osobennosti razvitiya vybrosov porody pri vzryvah na sklone [Features of the development of rock outbursts in explosions on the slope]. Razrushenie i deformirovanie tverdoj sredy vzryvom. Vzryvnoe delo, 1976 No. 76/33. Moscow, Nedra Publ., 1976, pp. 85–97. (in Russian).
34. Romashov A.N. Osobennosti dejstviya krupnyh podzemnyh vzryvov [Features of the action of large underground explosions]. Moscow, Nedra Publ., 1980. 244 p. (in Russian).
35. Rototaev K.P., Hodakov V.G., Krenke A.N. Issledovanie pul'siruyushhego lednika Kolka [Study of the pulsating glacier Kolka]. Moscow, Nauka Publ., 1983. 169 p. (in Russian).
36. Tavasiev R.A., Galushkin I.V. Kamlenno-ledovyy obval s gory Kazbek 17 maya 2014 goda [Rock-ice avalanche from Mount Kazbek on May 17, 2014]. Vestnik Vladikavkazskogo nauchnogo centra RAN i RSO-A, 2014, Vol. 14., No. 2, pp. 43–45. (in Russian).
37. Tutubalina O.V., Chernomorec S.S., Petrakov D.A. Lednik Kolka pered katastrofoj 2002 goda: novye dannye [Glacier Kolka before the 2002 catastrophe: new data]. Kriosfera Zemli, 2005, Vol. IX, No. 4, pp. 62–71. (in Russian).
38. Hodakov V.G. Osobennosti formirovaniya balansa l'da pul'siruyushhego lednika Kolka [Features of the formation of the balance of ice of pulsating glacier Kolka]. Materialy glyaciologicheskikh issledovanij. Hronika, obsuzhdeniya, 1974, Issue 24, pp. 116–125. (in Russian).
39. Hodot V.V. Vnezapnye vybrosov uglya i gaza [Sudden emissions of coal and gas]. Moscow, Gosgortehizdat Publ., 1961. 363 p. (in Russian).
40. Hodot V.V. Mezhdunarodnyj kongress po probleme vnezapnyh vybrosov gazov i porod. Otchet o zagranichnoj komandirovke [International Congress on the sudden release of gases and rocks. Report on a abroad business trip]. Moscow, 1967. 37 p. (in Russian).
41. Chernomorec S.S. Novyj «Kazbekskij zaval» 17 maya 2014 goda [The new "Kazbek blockage" of May 17, 2014]. Priroda, 2014, No. 7, pp. 67–72. (in Russian).

УДК 550.83.04+504.75.05

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОГЕОФИЗИЧЕСКИХ И МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ Г. ВЛАДИКАВКАЗА

© 2017 О.Г. Бериев<sup>1</sup>, д.м.н., проф., Т.В. Закс<sup>1</sup>, к.м.н., А.С. Кануков<sup>1,2</sup>, к.т.н.

<sup>1</sup>Геофизический институт – филиал ФГБУН ФНЦ «Владикавказский научный центр Российской академии наук», Россия, 362002, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: cgi\_ras@mail.ru;

<sup>2</sup>Владикавказский филиал ФГБУ ВО Финансового университета при правительстве Российской Федерации, Россия, 362002, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Молодежная, 7

Проведено исследование экогеофизических факторов окружающей среды г. Владикавказа в 126 точках: измерены показатели шумового загрязнения, электрических полей и уровень гамма излучения. Уровень шума был измерен с помощью измерителя шума и вибрации Экогеофизика-110А отечественной фирмы Октава. Установлено, что население города Владикавказа значительный временной отрезок суток подвергается шумовому воздействию, которое превышает допустимый уровень, что может негативно влиять на здоровье горожан. Замеры уровня гамма-излучения были произведены с помощью прибора дозиметр гамма-излучения ДБГА-0ЧА. Согласно полученным данным, население города Владикавказа подвергается воздействию гамма-излучения в пределах 0,05-0,18 мкЗв/час и при средней величине 0,11 мкЗв/час, что ниже предельно допустимого уровня. Для изучения электрических полей измерения проводились измерителем электрического поля ИЭП-05. Напряженность электрического поля достигала до 1400 В/м в отдельных точках измерений, при допустимом уровне 800 В/м, превышает предельно допустимые значения. Изучено воздействие ряда метеорологических параметров (температуры воздуха и почвы, влажность воздуха, облачность, сумма осадков, продолжительность солнечного периода, направление и сила ветра) на здоровье населения города Владикавказа. Проведен анализ числа обращений на станцию Скорой помощи города за 2016 год. Полученные данные сопоставлены со сведениями Северо-Осетинского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды за тот же временной период. Для статистической обработки полученных результатов применялся метод регрессионного анализа. Установлено, что из всех изученных метеовеличин только температура воздуха, являющаяся одним из самых метеопатических факторов, оказывает заметное влияние на частоту вызовов скорой помощи. Оценивая воздействие температуры воздуха на вызовы Скорой помощи, следует отметить вариацию корреляционной зависимости ряда класса заболеваний от её изменения, что, несомненно, требует более детального изучения этой проблемы.

**Ключевые слова:** электрическое поле, гамма-излучение, шумовое загрязнение, метеорологические величины, здоровье населения, регрессионный анализ.

В связи с растущим антропогенным воздействием охрана окружающей среды превратилась в глобальную проблему. Необходимо отметить, что источниками рисков являются практически все виды природных явлений и процессов геологического, гидрогеологического и метеорологического характера [Бурдзиева и др., 2012].

С развитием научно-технического прогресса возникло новое понятие – шумовое загрязнение окружающей среды [Бериев и др., 2015]. Возникновение данного понятия обусловлено деятельностью человека, т.к. в природе редко возникают громкие звуки. Повышенный уровень шума мешает нормальному отдыху, вызывает заболевания органов слуха, способствует увеличению числа других заболеваний, угнетающе действует на психику человека. Ситуация еще более обостряется в ус-

ловиях гористого рельефа, где возможно возникновение сейсмического события высокой интенсивности. Изменение психического состояния человека при воздействии на него спектра колебаний от землетрясения – одно из ряда аномальных медико-биологических явлений, возникающих при сильных и разрушительных землетрясениях [Закс, 2009].

Единица измерения уровня шума – децибел (дБ). Уровень шума в 20-30 дБ практически безвреден для человека, это естественный шумовой фон. Что же касается более громких звуков, то здесь допустимая граница находится примерно на уровне 80 дБ. Звук в 130 дБ уже вызывает у человека болевое ощущение, а 150 дБ становится для него непереносимым, при интенсивности звука в 160 дБ лопаются барабанные перепонки. [Атаманюк, 1996]. Звук в 180 децибел вызывает усталость металла, а при 190 заклепки вырываются из конструкций [Борчук, 1998].

Для проведения мониторинга экогеофизических факторов окружающей среды г. Владикавказа нами были измерены показатели шумового загрязнения, уровень гамма и электромагнитного излучения в 126 точках города [Закс и др., 2016]. Уровень шума измерялся с помощью измерителя шума и вибрации Экогеофизика-110А отечественной фирмы Октава. Замеры производились с занесением в таблицу минимальных и максимальных показателей с 10.00 до 15.00 часов. Более высокие показатели шума были отмечены на магистральных улицах и местах их пересечения. Разброс показателей составил от 53 до 108 дБ (рис. 1-2).

В целом, население города Владикавказа значительный временной отрезок продолжает подвергаться шумовому воздействию [Заалишвили и др., 2010], которое превышает допустимый уровень, что может негативно влиять на здоровье горожан.

Замеры уровня гамма-излучения также были произведены в 126 точках города с помощью прибора дозиметр гамма-излучения ДБГА-ОЧА. Показатели колебались в интервале 0,05-0,18 мкЗв/час при допустимых значениях 0,33 мкЗв/час (рис. 3).

Таким образом, население города Владикавказа подвергается воздействию гамма-излучения в пределах 0,05-0,18 мкЗв/час и при средней величине 0,11 мкЗв/час, что ниже предельно допустимого уровня.

Для изучения электрических полей измерения проводились измерителем электрического поля ИЭП-05. Показатели параметров электрических полей составляли до 1400 В/м в отдельных точках измерений при допустимом уровне 800 В/м (рис. 4), что говорит о превышении предельно допустимых значений по данному показателю.

При этом необходимо отметить, что ранее проведенные исследования электрических полей показали, что их показатели не превышают предельно допустимых уровней [Заалишвили и др., 2013], что говорит о возрастании электрического поля в пределах города.

С незапамятных времен наши предки знали о зависимости самочувствия от погодных факторов. Гиппократ за 400 лет до нашей эры выявил зависимость здоровья человека от климата и погоды.

Великий врач XVI века Парацельс утверждал: «Тому, кто изучал ветры, молнию и погоду, известно происхождение болезней». Тибетская медицина до сих пор связывает болезни с определенными сочетаниями метеорологических факторов.

Несмотря на развитие цивилизации и современные научно-технические достижения, здоровье человека в значительной степени зависит от погоды и климата и сейчас. Погодные и климатические факторы оказывают заметное воздействие на

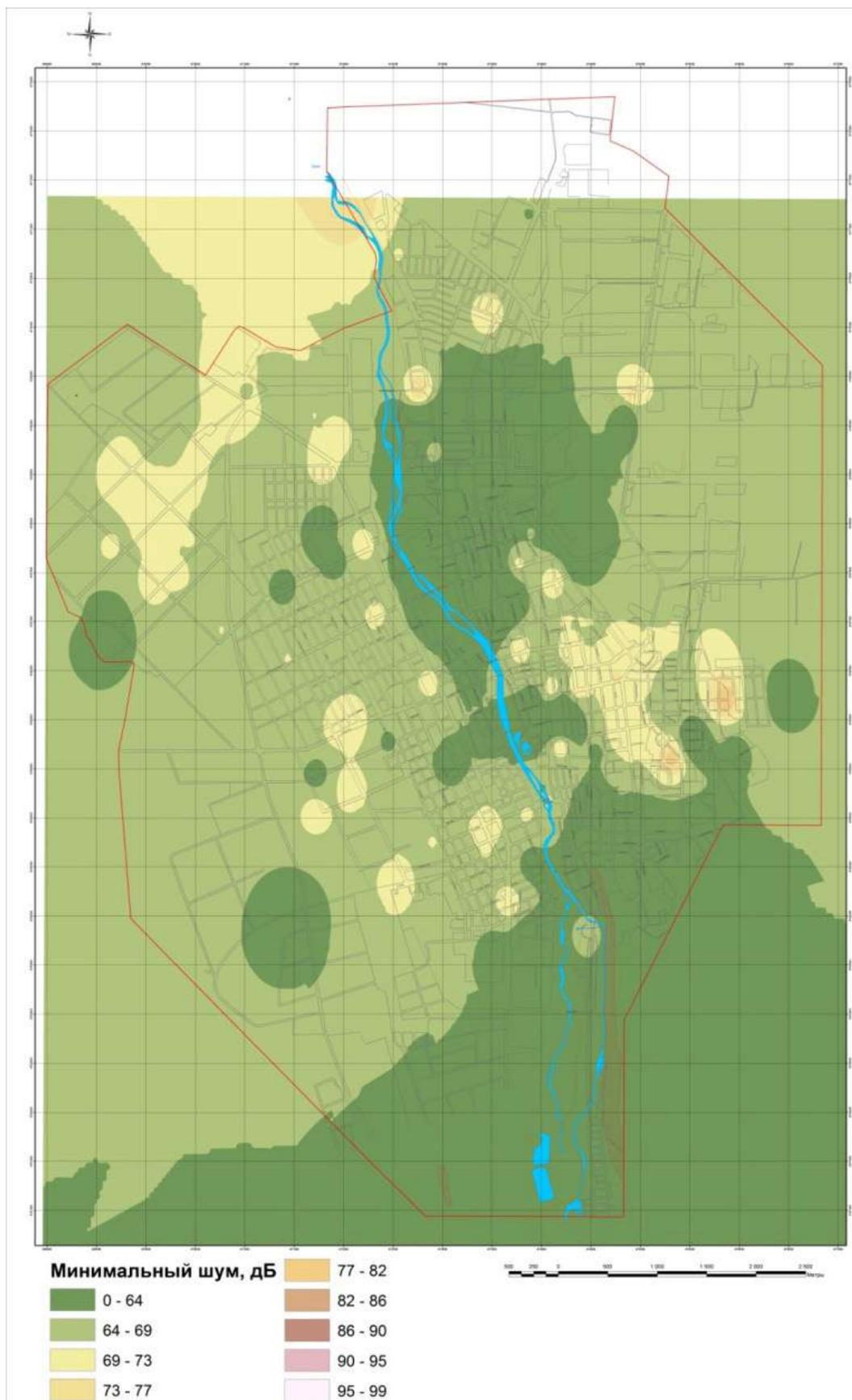


Рис. 1. Распределение минимального зарегистрированного уровня шума (дБА) на территории г. Владикавказа

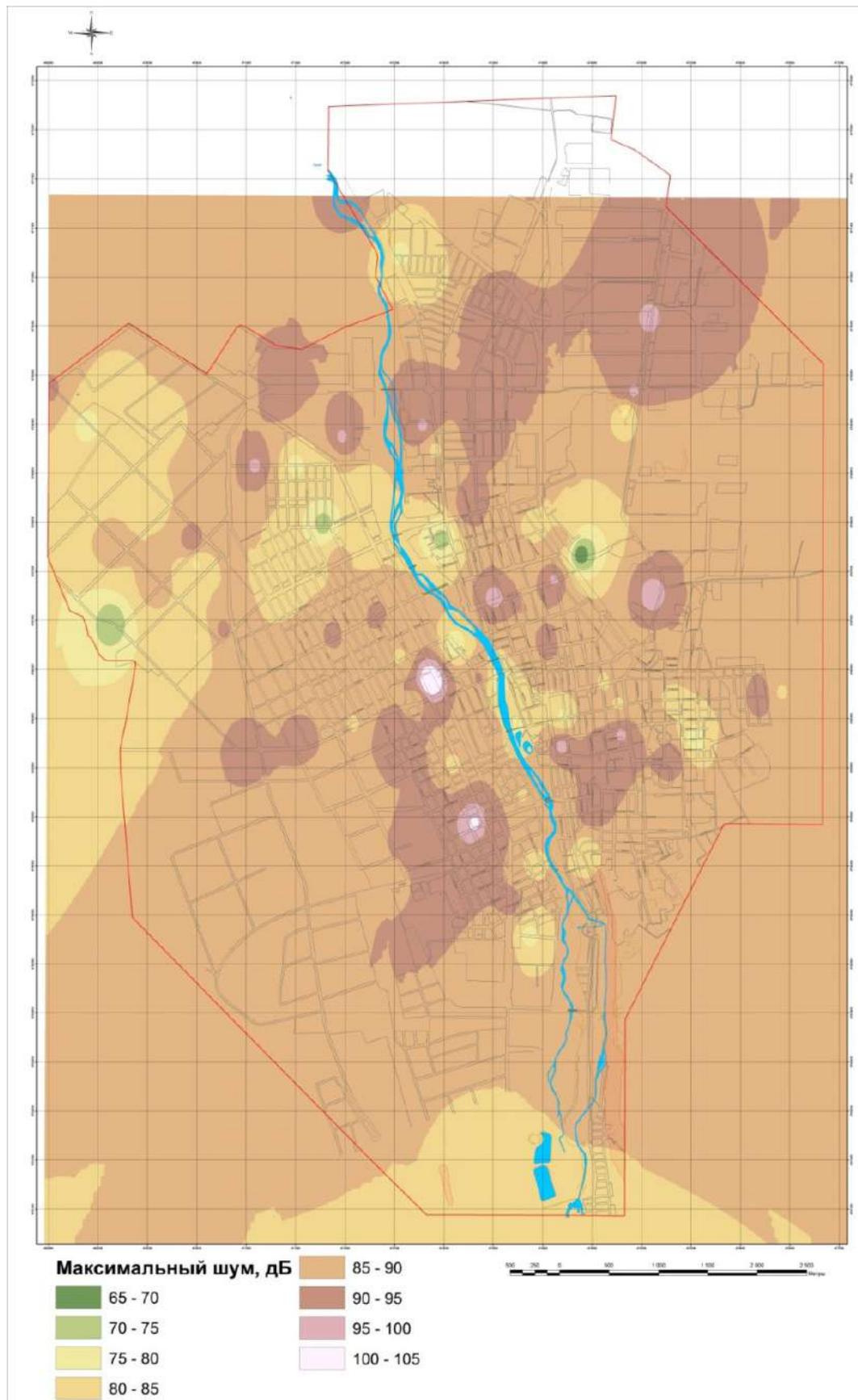


Рис. 2. Распределение максимального зарегистрированного уровня шума (дБА) на территории г. Владикавказа

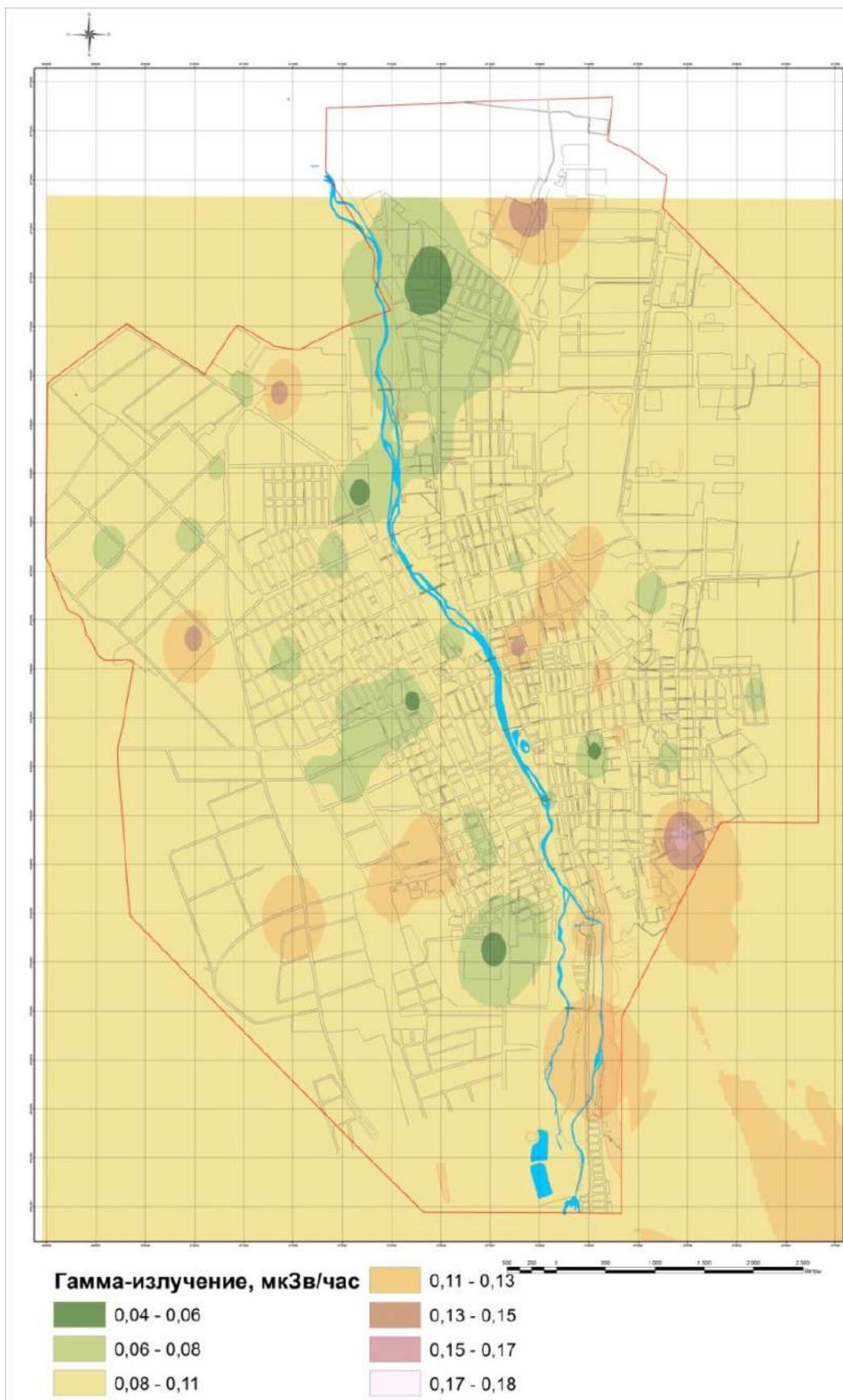


Рис. 3. Распределение уровня гамма излучения (мкЗв/час) зарегистрированного на территории г. Владикавказа

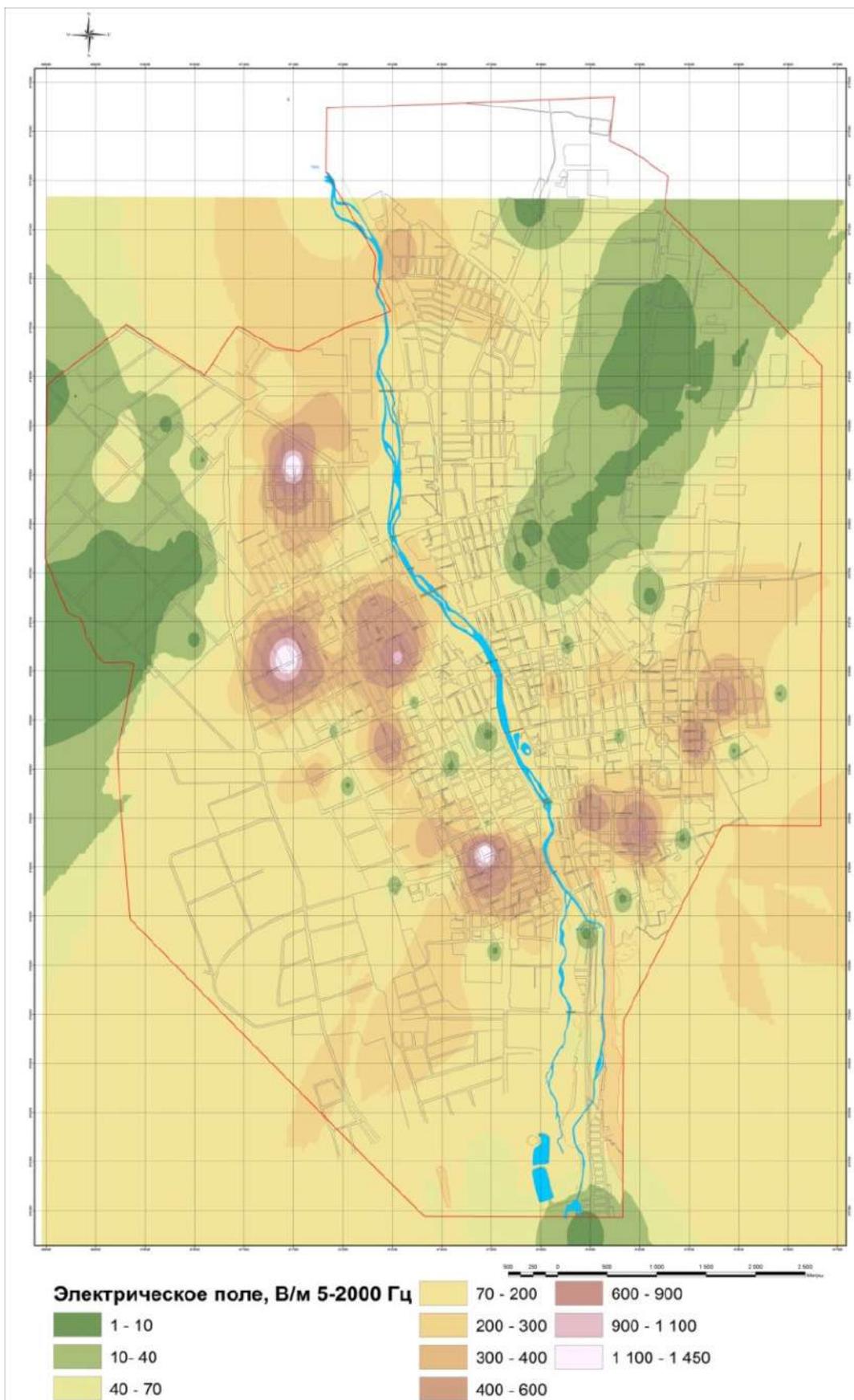


Рис. 4. Распределение уровня электрического поля (В/м) зарегистрированного на территории г. Владикавказа

психо-эмоциональное и физиологическое состояние человека [Бериев, 2009]. От них во многом зависит общее состояние здоровья.

Наиболее ощутимы для человека резкая смена погоды или возникновение необычных для данной местности или сезона погодных условий. На резкие изменения погоды реагируют не только больные или ослабленные люди, но и здоровые.

По данным различных авторов, метеочувствительность наблюдается у значительной части населения – от 25 до 70%. Также известно, что среди женщин таких людей в три раза больше, чем среди мужчин. Следует отметить, что около 60 лет назад, явление метеочувствительности проявлялось лишь у 10-20% населения [Franke, 1986].

Нередко люди даже не осознают свою метеозависимость, потому что ухудшение самочувствия иногда предшествует изменению погоды. К примеру, электромагнитные предвестники прихода нового погодного фронта, опережая, собственно, видимые изменения метеорологических элементов, довольно часто сами по себе уже вызывают ухудшения в текущем состоянии человека.

Обследования значительного количества людей показали, что у 64% самочувствие ухудшалось именно в день выраженного изменения погодных процессов, а у 36% – за один-два дня до смены погоды [Лапина, 1980; Мандрыкин и др., 1999].

Метеорологические факторы по-разному воздействуют на организм человека в условиях равнинной и горной территориях.

Целью нашего исследования было выявление воздействия ряда метеорологических параметров (температуры воздуха и почвы, влажность воздуха, облачность, сумма осадков, продолжительность солнечного сияния, направление и сила ветра) на здоровье населения города Владикавказа. Для этого нами был проведен анализ числа обращений на станцию скорой помощи города за 2016 год по следующим поводам для вызова: новообразования, психические расстройства, болезни нервной системы и органов чувств, болезни системы кровообращения, болезни органов дыхания, болезни органов пищеварения, болезни мочеполовых органов, несчастные случаи, осложнения беременности и родов, отравление алкоголем и наркотиками и др. Полученные данные были сопоставлены со сведениями Северо-Осетинского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды за тот же временной период. Для статистической обработки полученных результатов применялся метод регрессионного анализа.

Установлено, что из всех изученных метеопараметров только температура воздуха, являющаяся одним из самых метеопатических факторов, оказывает заметное влияние на частоту вызовов скорой помощи (рис. 5-7).

При этом влияние проявляется по убывающей – минимальные значения, средние значения и максимальные значения. Наиболее выражен этот эффект для классов инфекционные и паразитарные заболевания, болезни системы кровообращения, болезни органов дыхания.

В то же время здесь также необходимо отметить, что ежедневные температурные данные не дают отчетливо выраженных результатов, поэтому мы брали средние показатели подекадно. 36 декад за год и по 9 декад по временам года.

С целью определения наиболее «чувствительного» времени года, на которое приходится наиболее большее количество вызовов по вышеуказанным классам заболеваний, нами были проанализированы изучаемые показатели по временам года (рис. 8-10)

Анализ графиков корреляционных зависимостей отчетливо показывает, что наиболее выраженная зависимость частоты вызовов скорой помощи наблюдается в

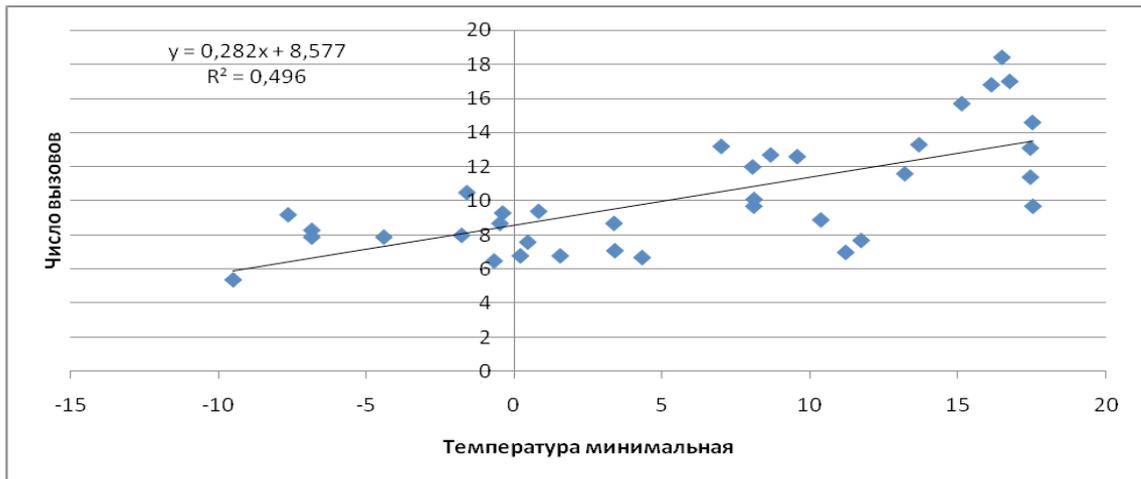


Рис. 5. Взаимосвязь числа вызовов Скорой помощи с инфекционными и паразитарными заболеваниями

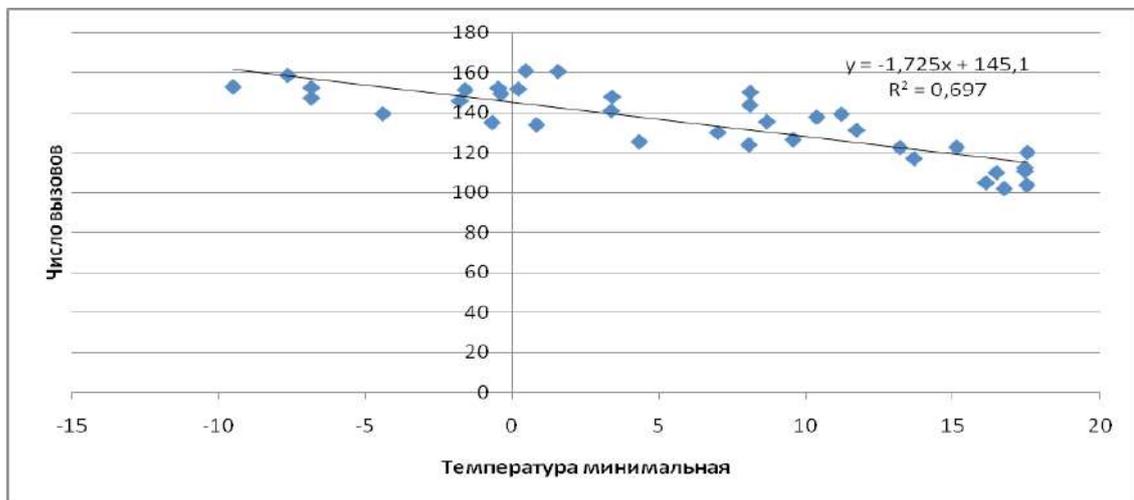


Рис. 6. Взаимосвязь числа вызовов Скорой помощи с болезнями системы кровообращения

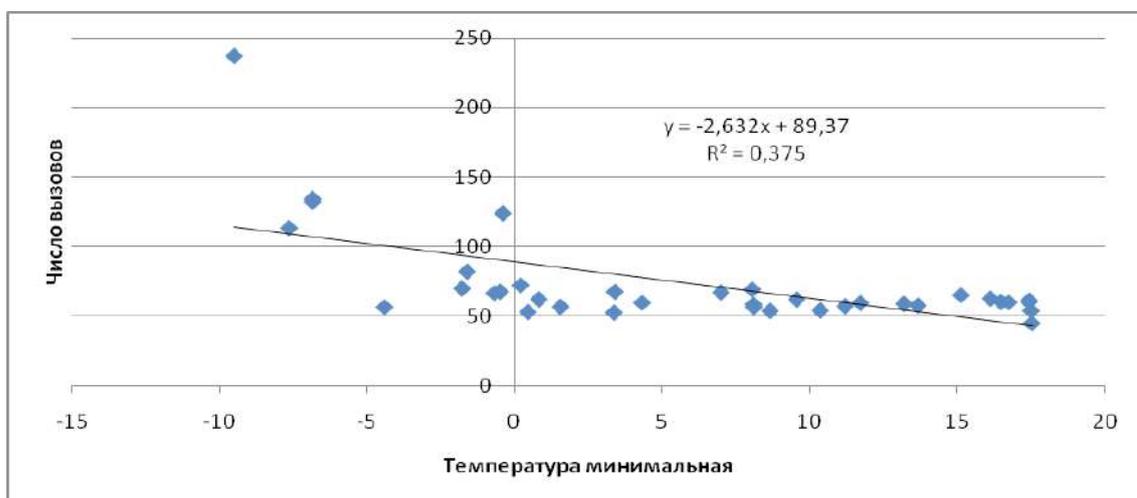


Рис. 7. Взаимосвязь числа вызовов Скорой помощи с болезнями органов дыхания

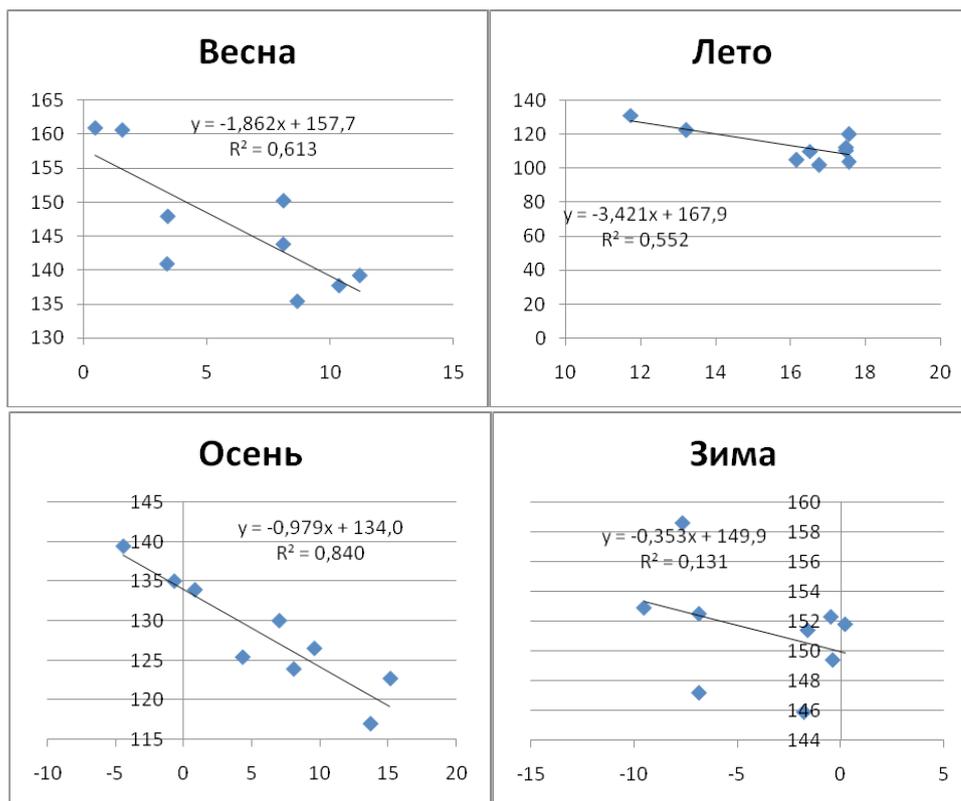


Рис. 8. Взаимосвязь числа вызовов Скорой помощи с болезнями системы кровообращения по временам года

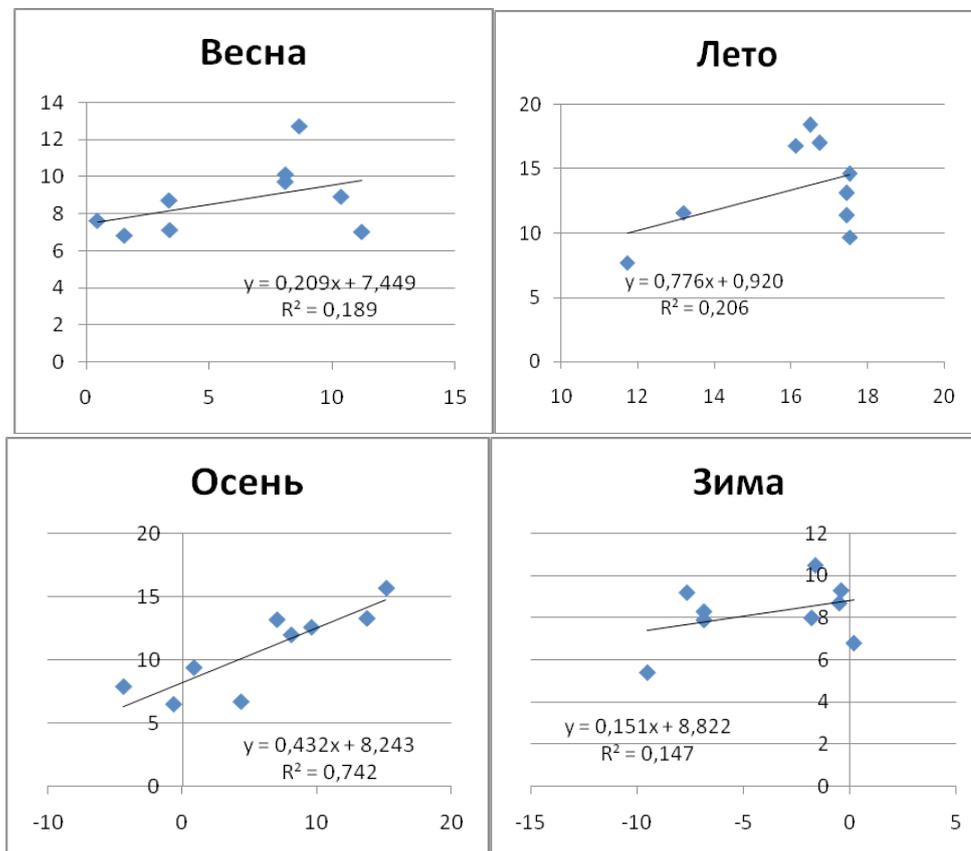


Рис. 9. Взаимосвязь числа вызовов Скорой помощи с инфекционными и паразитарными заболеваниями по временам года

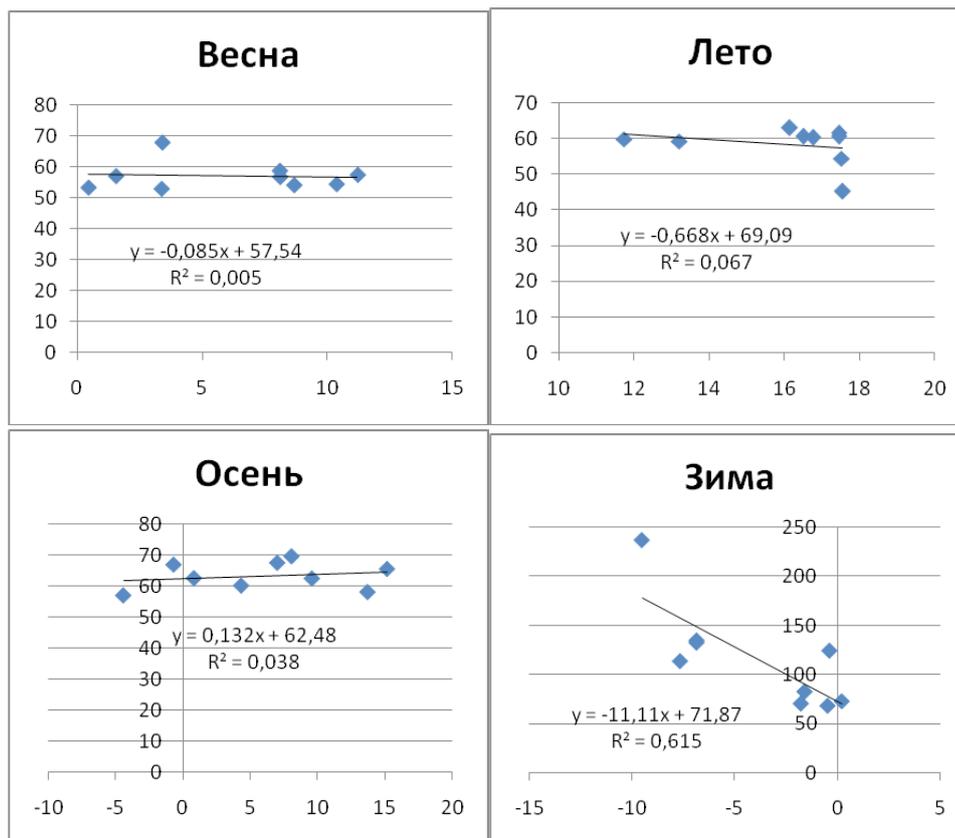


Рис. 10. Взаимосвязь числа вызовов Скорой помощи с болезнями органов дыхания по временам года

осенний период, за исключением болезней органов дыхания, для которых наиболее выражена регрессионная зависимость в зимнее время. На наш взгляд, это связано с сезонным ростом заболеваемости.

Таким образом, оценивая воздействие температуры воздуха на вызовы Скорой помощи, следует отметить вариацию корреляционной зависимости ряда класса заболеваний от её изменения, что, несомненно, требует более детального изучения этой проблемы.

Полученные результаты можно использовать при разработке медицинского метеопрогноза и рекомендаций для практического здравоохранения.

### Выводы

1. Проведен мониторинг экогеофизических факторов окружающей среды г. Владикавказа: измерены показатели шумового загрязнения, электрических полей и уровень гамма излучения.

2. Население города Владикавказа значительный временной отрезок суток подвергается шумовому воздействию, превышающего допустимый уровень от 1 до 38 дБА.

3. Величины гамма излучения на территории города Владикавказа колеблются в интервале 0,05-0,18 мкЗв/час, что ниже допустимого значения 0,33 мкЗв/час.

4. Показатели параметров электрических полей составляли до 1400 В/м в отдельных точках измерений при допустимом уровне 800 В/м, что говорит о превышении предельно допустимых значений по данному показателю.

5. Было изучено воздействие ряда метеорологических параметров (температуры воздуха и почвы, влажность воздуха, облачность, сумма осадков, продолжительность солнечного сияния, направление и сила ветра) на здоровье населения города Владикавказа. Для этого проведен анализ числа обращений на станцию скорой помощи города за 2016 год.

6. Установлено, что из всех изученных метеопараметров только температура воздуха, являющаяся одним из самых метеопатических факторов, оказывает заметное влияние на частоту вызовов скорой помощи.

7. Оценивая зависимость вызовов скорой помощи от температуры воздуха, следует отметить вариацию корреляционной зависимости ряда класса заболеваний от её изменения, что, несомненно, требует более детального изучения этой проблемы.

### Литература

1. Атаманюк В. Г. Гражданская оборона. – М.: Высшая школа, 1996.
2. Бериев О. Г. Влияние климатических факторов на состояние здоровья человека. Сейсмическая опасность и управление сейсмическим риском на Кавказе // Отв. ред. А. В. Николаев, В. Б. Заалишвили. – Владикавказ: ЦГИ ВНЦ РАН и РСО-А, 2009. – С. 449-453.
3. Бериев О. Г., Заалишвили В. Б., Закс Т. В. Роль шума в загрязнении городской среды // Материалы научно-практической конференции «Экологическая безопасность горных территорий и здоровье населения» // Сборник статей научно-практической конференции. – 2015. – С. 34-37.
4. Борчук Н. И. Медицина экстремальных ситуаций. – Минск. – 1998.
5. Бурдзиева О. Г., Заалишвили В. Б., Бериев О. Г., Закс Т. В., Кануков А. С. Об экологических аспектах современной урбанизированной территории при сильных землетрясениях // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2012. – № 3. – С. 62-67.
6. Заалишвили В. Б., Бериев О. Г., Закс Т. В. Медико-экогеофизический мониторинг урбанизированной горной территории // В сборнике: Устойчивое развитие горных территорий в условиях глобальных изменений Материалы VII Международной научной конференции (Электронный ресурс, CD-ROM-диск). – Владикавказ. – 2010.
7. Заалишвили В. Б., Бурдзиева О. Г., Закс Т. В., Кануков А. С. Информационный мониторинг распределённых физических полей в пределах урбанизированной территории. // Геология и геофизика Юга России. – 2013. – № 4. – С. 8-16.
8. Закс Т. В. Воздействие землетрясения на психологическое состояние человека // В сборнике: Сейсмическая опасность и управление сейсмическим риском на Кавказе Труды III Кавказской международной школы-семинара молодых ученых. Центр геофизических исследований ВНЦ РАН и РСО-А; редакторы: Николаев А. В., Заалишвили В. Б. – 2009. – С. 457-460.
9. Закс Т. В., Кануков А. С., Малиев И. Н., Мельков Д. А., Туаев Г. Э., Тучашвили Д. Б. Мониторинг экогеофизических факторов окружающей среды г. Владикавказ // Геология и геофизика Юга России. – 2016. – № 4. – С. 68-74.
10. Лапина С. Н. Влияние метеорологических факторов на здоровье человека. – Саратов: Изд-во Саратовского университета. – 1980. – 16 с.
11. Мандрыкин Ю. В., Замотаев Ю. Н., Уяпаева А. И. Подходы к объективизации метеочувствительности у больных с заболеваниями органов кровообращения // Во-

просы курортологи, физиотерапии и лечебной физической культуры. – М: 1999. – №3. – С. 16-19.

12. Franke K. – AuArztzeitschrift fur Naturheilverfahren, 1986, 7, 451.

## INVESTIGATION OF ECOGEOLOGICAL AND METEOROLOGICAL FACTORS OF THE ENVIRONMENT OF VLADIKAVKAZ

© 2017 O.G. Beriev<sup>1</sup>, Sc. Doctor (Med.), prof., T.V. Zaks<sup>1</sup>, Sc. Candidate (Med.),  
A.S. Kanukov<sup>1,2</sup>, Sc. Candidate (Tech.)

<sup>1</sup>Geophysical institute VSC RAS, Russia, 362002, RNO-Alania, Vladikavkaz, Markov  
Str., 93 a, e-mail: cgi\_ras@mail.ru;

<sup>2</sup>Vladikavkaz branch of the Financial University Under the Government of the Russian  
Federation, Russia, 362002, RNO-Alania, Vladikavkaz, Molodezhnaya str., 7

A study was made of ecogeophysical environmental factors in Vladikavkaz at 126 points: noise pollution, electric fields and gamma radiation were measured. The noise level was measured with the help of a noise meter and vibration Ekogeofizika-110A of the domestic firm Octave. It is established that the population of the city of Vladikavkaz has a significant time period exposed to noise, which exceeds the permissible level, which can adversely affect the health of citizens. Measurements of the gamma radiation level were made with the help of the device a dosimeter of gamma radiation DBGA-OCHA. According to the received data, the population of the city of Vladikavkaz is exposed to gamma radiation within the range of 0,05-0,18  $\mu\text{Sv/h}$  and at an average value of 0,11  $\mu\text{Sv/h}$ , which is below the maximum permissible level. For the study of electric fields, the measurements were carried out by the IEP-05 electric field measurer. The parameters of the electric field parameters were up to 1400 V/m at individual measurement points with an allowable level of 800 V/m, indicating that the maximum permissible values for this indicator were exceeded. The effects of a number of meteorological variables (air and soil temperatures, air humidity, cloudiness, sum of precipitation, duration of sunshine, direction and strength of the wind) on the health of the population of the city of Vladikavkaz have been studied. The analysis of the number of calls to the city's First Aid Station for 2016 was conducted. The obtained data are compared with the data of the North Ossetian Center for Hydrometeorology and Environmental Monitoring for the same time period. For statistical processing of the results obtained, the regression analysis method was used. It is established that of all the meteorological variables studied, only air temperature, which is one of the most meteorological factors, has a noticeable effect on the frequency of ambulance calls. Estimating the effect of air temperature on the calls of the First Aid, it is necessary to note the variation of the correlation dependence of a number of diseases on its changes, which undoubtedly requires a more detailed study of this problem.

**Keywords:** electric field, gamma radiation, noise pollution, meteorological values, population health, regression analysis.

### References

1. Atamanyuk V.G. Grazhdanskaya oborona [Civil defense]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1996. (in Russian).
2. Beriev O.G. Vliyaniye klimaticheskikh faktorov na sostoyaniye zdorov'ya cheloveka [The influence of climatic factors on the state of human health]. Seismicheskaya opasnost' i upravleniye seismicheskim riskom na Kavkaze. Ed. by. A.V. Nikolaev, V.B. Zaalishvili. Vladikavkaz, CGI VSC RAS and RNO-Alania, 2009.pp. 449–453. (in Russian).

3. Beriev O.G., Zaalishvili V.B., Zaks T.V. Rol' shuma v zagryaznenii gorodskoj sredy [The role of noise in urban pollution]. *Materialy nauchno-prakticheskoy konferencii «Ekologicheskaya bezopasnost' gornyh territorij i zdorov'e naseleniya»* [Materials of scientific-practical conference “Ecological Safety of mountainous territory and human health”]. 2015. pp. 34–37. (in Russian).
4. Borchuk N.I. *Medicina ekstremal'nyh situacij* [Medicine of extreme situations]. – Minsk. – 1998.
5. Burdzieva O.G., Zaalishvili V.B., Beriev O.G., Zaks T.V., Kanukov A.S. Ob ekologicheskikh aspektah sovremennoj urbanizirovannoy territorii pri sil'nyh zemletryaseniyah [About ecological aspects of modern urbanized territory at strong earthquakes]. *Seismostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij*, 2012, No. 3, pp. 62–67. (in Russian).
6. Zaalishvili V.B., Beriev O.G., Zaks T.V. Mediko-ekogeofizicheskij monitoring urbanizirovannoy gornoj territorii [Medico-ecogeophysical monitoring of urban mountain territory]. *Materialy VII Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii “Ustojchivoe razvitie gornyh territorij v usloviyah global'nyh izmenenij”* [Materials of VII international Scientific conference “Sustainable development of mountainous territories in conditions of global changes”]. Vladikavkaz, 2010. (in Russian).
7. Zaalishvili V.B., Burdzieva O.G., Zaks T.V., Kanukov A.S. Informacionnyj monitoring raspredelyonnyh fizicheskikh polej v predelakh urbanizirovannoy territorii [Information monitoring of distributed physical fields within an urbanized area]. *Geologiya i geofizika Yuga Rossii*, 2013, No. 4, pp. 8–16. (in Russian).
8. Zaks T.V. Vozdejstvie zemletrjaseniya na psihologicheskoe sostoyanie cheloveka [The impact of an earthquake on a person's psychological state] *Trudy III Kavkazskoj mezhdunarodnoj shkoly-seminara molodyh uchenykh “Seismicheskaya opasnost' i upravlenie seismicheskim riskom na Kavkaze”* [Procs. of III Caucasus international school-seminar of young scientists “Seismic Hazard and Seismic Risk Management in Caucasus”]. Ed by Nikolaev A.V., Zaalishvili V.B. Vladikavkaz, CGI VSC RAS and RNO-Alania, 2009, pp. 457–460. (in Russian).
9. Zaks T.V., Kanukov A.S., Maliev I.N., Mel'kov D.A., Tuaev G.Je., Tuchashvili D.B. Monitoring ekogeofizicheskikh faktorov okruzhayushhej sredy g. Vladikavkaz [Monitoring of ecogeophysical environmental factors in Vladikavkaz city]. *Geologiya i geofizika Yuga Rossii*, 2016, No. 4, pp. 68–74. (in Russian).
10. Lapina S.N. Vliyanie meteorologicheskikh faktorov na zdorov'e cheloveka [The influence of meteorological factors on human health]. Saratov, Saratov University, 1980. 16 p. (in Russian).
11. Mandrykin Ju.V., Zamotaev Ju.N., Uyapaeva A.I. Podhody k ob'ektivizacii meteochuvstvitel'nosti u bol'nykh s zabolevaniyami organov krovoobrashheniya [Approaches to the objectification of meteosensitivity in patients with diseases of the circulatory system]. *Voprosy kurortologii, fizioterapii i lechebnoj fizicheskoy kul'tury*, 1999, No. 3, pp. 16–19. (in Russian).
12. Franke K. *AuArztzeitschrift fur Naturheilverfahren*, 1986, 7, 451.

УДК 550.34.091+556.3+556.5+504.4.062.2

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИС – ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД РЕСПУБЛИКИ СЕВЕРНАЯ ОСЕТИЯ-АЛАНИЯ

© 2017 Б. В. Дзеранов, к.г.-м.н., Р. Р. Гогичев, Н. Г. Джусоева

Геофизический институт – филиал ФГБУН ФНЦ «Владикавказский научный центр Российской академии наук», Россия, 362002, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: dzboris@gmail.ru

Статья посвящается созданию ГИС проекта, включающего данные мониторинга подземных вод на территории Республики Северная Осетия-Алания. Геоинформационные системы характеризуются большим потенциалом для построения пространственных моделей, а также возможностями пространственного анализа данных, с помощью которых устанавливаются те или иные важные закономерности, присущие данному объекту мониторинга. На основании выявленных закономерностей определяются показатели, характеризующие динамику изменений процесса или явления во времени и пространстве.

Использование ГИС подземных вод позволит решать задачи оценки состояния того или иного эксплуатируемого объекта и соответствие этого состояния требованиям нормативов, стандартов и условий лицензий, разработки рекомендаций по рациональной эксплуатации подземных вод и предотвращению или ослаблению негативных последствий отбора подземных вод, а также техногенного воздействия на них, оценки эффективности мероприятий по рациональному использованию подземных вод и их охране от истощения и загрязнения и т. д., что ускорит принятие решений и повысит их эффективность.

**Ключевые слова:** ГИС, подземные воды, скважина, мониторинг подземных вод, база данных, загрязняющие вещества, речная сеть.

Северная Осетия характеризуется весьма сложными гидрогеологическими условиями. Они тесно связаны с геологическим и тектоническим строением территории, а также особенностями климата. Единый водный ресурс Северной Осетии формируется совокупностью поверхностного водного бассейна и подземными водами. При этом, исходя из потребностей населения и качества воды, особое значение для нужд республики представляют подземные воды региона, их дебет и пространственное распределение по территории.

Подземные воды различаются по химическому составу, температуре, характеру источников, их минерализации и мощностям водоносных горизонтов. По условиям формирования и их режиму подземные воды Северной Осетии относятся к двум бассейнам: Большекавказскому – трещинно-жильных вод и Восточно-Предкавказскому – пластово-напорных вод. В пределах Восточно-Предкавказского бассейна подземные воды развиты в аллювиально-пролювиальных отложениях Осетинской наклонной равнины, а напорно-субнапорные залегают в пределах Терско-Кумской равнины. При этом подземные воды различных гидрогеологических структур отличаются по химическому составу, минерализации и глубине залегания.

На территории Северной Осетии разведано 22 месторождения пресных подземных вод с эксплуатационными и подготовленными к промышленному освоению запасами 1624,66 тыс. м<sup>3</sup>/сут. и 1147,5 тыс. м<sup>3</sup> [Грунина, Теделури, 2015; Джгамадзе, Заалишвили, 2006]. Отличающиеся большим разнообразием химического состава,

подземные воды, вполне соответствуют существующим гигиеническим требованиям, широко используются для водоснабжения городов, населенных пунктов, предприятий, а также для орошения. В пределах Осетинской наклонной равнины располагаются крупные месторождения пресных подземных вод: Дигорское, Брутское, Даргкохское, Ардонское, Бесланское, обеспечивающие населенные пункты водой хорошего качества с минерализацией 0,2-0,5 г/дм<sup>3</sup> [Джгамадзе, 2008, 2014; Джгамадзе, Заалишвили, 2009].

Целью данной работы было, создание ГИС проекта, включающего данные мониторинга подземных вод по территории Республики Северная Осетия-Алания. Геоинформационные системы характеризуются мощным потенциалом для построения пространственных моделей, а также возможностями инструментальности пространственного и непространственного анализа данных, с помощью которых выявляются те или иные важные закономерности, присущие данному объекту мониторинга. На основании выявленных закономерностей определяются показатели, характеризующие динамику изменений процесса или явления во времени и пространстве. Совмещение динамических характеристик и интерпретирование на основе выявленных закономерностей позволяет переходить к прогнозированию процесса эволюции объекта мониторинга с большей или меньшей степенью достоверности, поэтому ГИС является наиболее эффективным программным комплексом для осуществления мониторинга подземных вод.

В основу геоинформационной системы была положена компьютерная программа ArcGIS – семейство геоинформационных программных продуктов компании ESRI. Программа ArcGIS используется для улучшения рабочих процессов организации и решения разнообразных задач.

Преимущества ArcGIS являются:

- быстрое и эффективное преобразование растров в векторные данные;
- упрощение процесса управления картографическим производством;
- возможность распространять карты и данные среди широкого круга пользователей бесплатно;
- автоматизация, упрощение и улучшение контроля качества данных;
- использование и распространение пространственных данных любых форматов и стандартов;
- расширенный пространственный анализ данных.

В ArcGIS удобно работать над совместными проектами и имеется возможность быстро создавать данные, карты и модели в настольных программных продуктах, затем публиковать их и использовать в настольных приложениях, в веб-браузерах и в поле, через мобильные устройства.

ГИС проект подземных вод Республики Северная Осетия-Алания был создан на основе базы данных мониторинга подземных вод по РСО-Алания, где приводятся детальные данные необходимые для управления эксплуатацией подземных вод, их охраны от загрязнения и истощения, предотвращения негативных последствий влияния водоотбора на окружающую среду, а также для контроля за соблюдением требований условий лицензий.

Основные функции созданной геоинформационной системы:

- сбор, обработка и ввод первичных данных по подземным водам (скважины, родники и т. д.);

– формирование базы данных по основным показателям, характеризующих подземные воды;

– поиск и выборка данных по запросам пользователя;

– обмен данных с другими системами (программами).

С помощью созданной ГИС будут решаться следующие задачи:

– оценка состояния эксплуатируемого объекта и соответствие этого состояния требованиям нормативов, стандартов и условий лицензий;

– разработки рекомендаций по рациональной эксплуатации подземных вод и предотвращению или ослаблению негативных последствий отбора подземных вод, а также техногенного воздействия на них;

– определение эффективности мероприятий по рациональному использованию подземных вод и их охране от истощения и загрязнения.

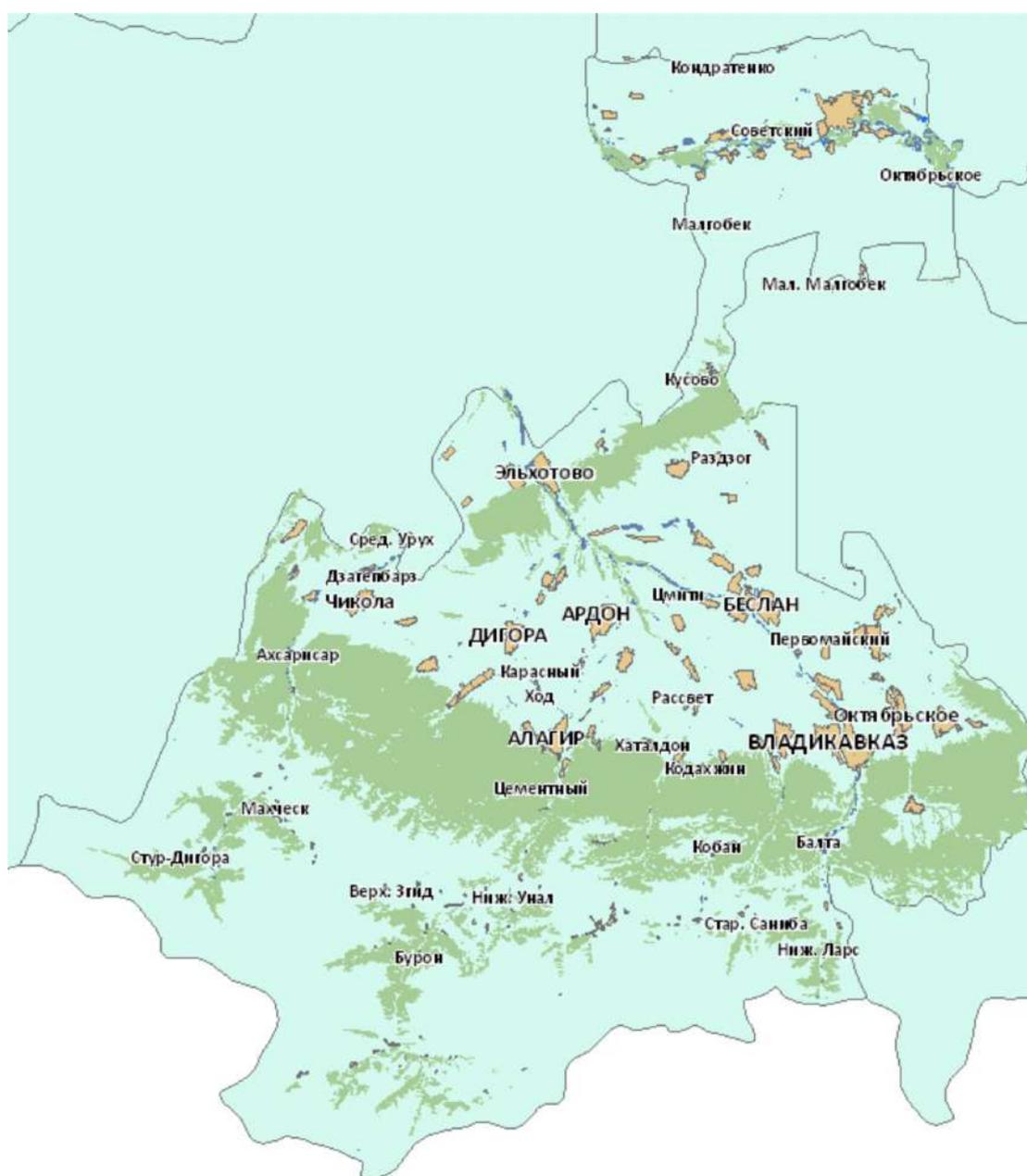


Рис. 1. Цифровая картографическая основа ГИС проекта (М 1:1000000)

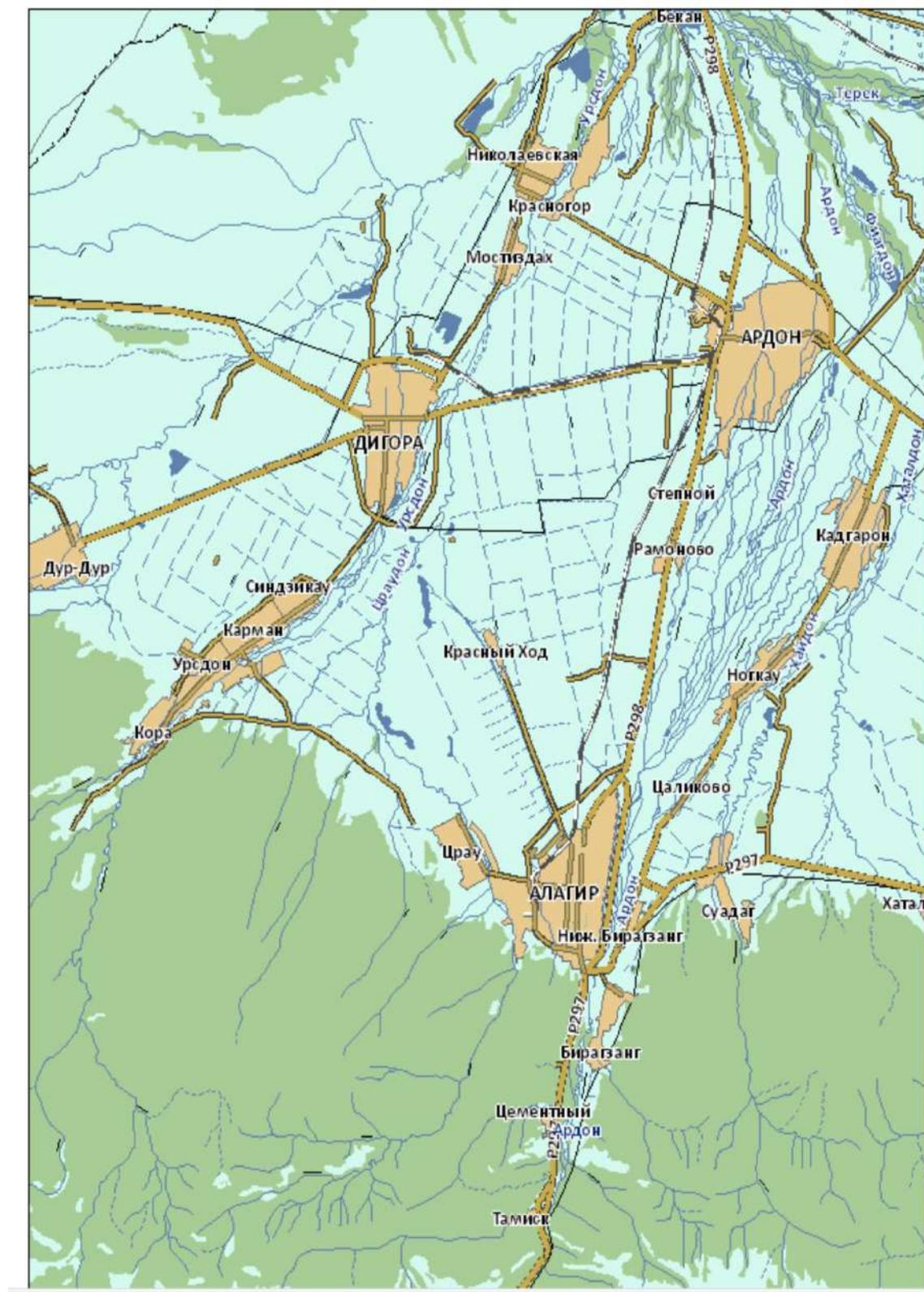


Рис. 2. Часть цифровой картографической основы ГИС проекта (М 1:200000)



Рис. 3. Часть цифровой картографической основы ГИС проекта (М 1:25 000)

Картографической основой ГИС проекта подземных вод РСО-Алания послужила цифровая картографическая основа (масштаб 1:1000000-1:25000), которая в соответствии с масштабом отображается на экране компьютера (рис. 1-3).

Составление ГИС проекта подземных вод РСО-Алания включало три этапа.

В первый этап входил сбор, обработка и ввод первичных данных по подземным водам (скважины, родники) по материалам мониторинга подземных вод по РСО-Алания (АО «Севосетингеоэкомониторинг») и составление банка данных по районам республики, а так же создание базы данных по основным показателям, характеризующим подземные воды (атрибутивная информация) (рис. 4, 5).

На втором этапе на картографической основе масштаба 1:1000000-1:25000 была создана ГИС карта по подземным водам.

На следующем, третьем этапе – предусматривается ежегодное пополнение информацией базы данных, а так же корректировка уже введенных данных, т. е. уточнение уже введенной информации по результатам геологического изучения недр и других источников.

Также планируется включить в проект базу данных, созданную в ГФИ ВНИЦ РАН при поддержке отдела охраны водных ресурсов и мониторинга ФГУ «Центрводресурсы» РСО-Алания. Исходные данные были представлены в табличной форме в формате Excel (рис. 1). Несмотря на то, что понятие базы данных не подразумевает использование конкретных программ для работы с ними, в специализированном программном обеспечении реализовано большое количество функций, не предусмотренных в остальных программах. В данном случае, для каждой реки использовался отдельный лист, что делает невозможным сравнительный анализ по различным загрязнителям для всех рек в общей таблице, а также усложняет большинство операций.

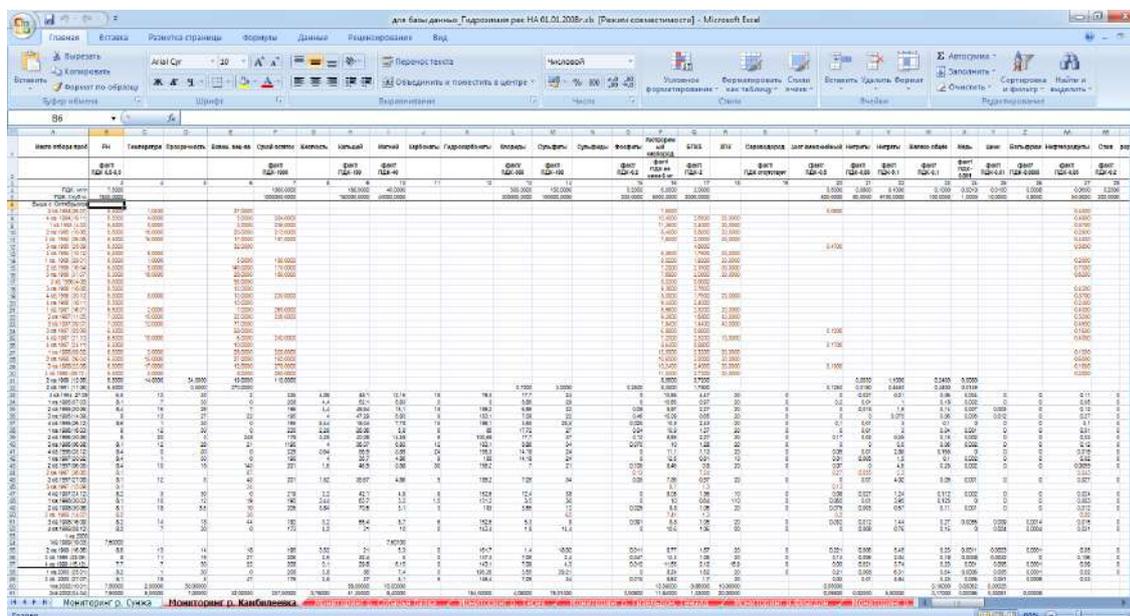


Рис. 1. Внешний вид исходного файла в формате Excel

В связи с этим, после переработки исходного материала, была создана база данных в формате Access (рис. 2). Была сформирована общая таблица, включающая информацию о загрязнениях по всем рекам в единой таблице. Для отображения

Рис. 2. Внешний вид созданной базы данных в формате Access

Рис. 3. Окончательная таблица с разбиением по рекам

данных был выбран табличный режим, в связи с большим количеством параметров, что, в случае создания формы для работы с таблицей, привело бы к излишней перегруженности интерфейса. Также была создана таблица по всем имеющимся рекам, в которой к каждой реке была привязана выпадающая таблица со всеми исходными данными (рис. 3).

Таким образом, используя созданную базу данных, можно проводить фильтрацию данных по любому из параметров. Все фильтры могут использоваться совместно, что позволяет наиболее гибким образом получать любую интересующую информацию. Кроме того, можно выполнять гибкие запросы и выводить информацию на сводных диаграммах, что было невозможно выполнить в программе Excel.

Проект ориентирован на последовательное пополнение как картографической, так и атрибутивной информацией. Предусмотрена также дальнейшая актуализация БД по мере поступления новых материалов в виде результатов аналитического контроля, цифрового фотографического материала которые будут интегрированы в существующий проект. Существующая база позволяет осуществлять:

- 1) сравнительную оценку изменения среднегодовых концентраций ингредиентов за текущий год по сравнению с предыдущими годами,
- 2) оценку изменения среднегодовых концентраций ингредиентов в заданном створе водотока по сравнению с вышерасположенными створами,
- 3) оценку степени нагрузки загрязняющими веществами водотоков в заданном бассейне реки,
- 4) оценку нагрузки загрязняющими веществами участков водотоков бассейна реки,
- 5) оценку динамики концентраций ингредиентов в контрольном створе за весь период наблюдений,
- 6) оценку динамики концентраций загрязняющих веществ вдоль заданного участка водотока,
- 7) комплексную оценку качества воды в контрольных створах водотоков.

Проект ориентирован на последовательное пополнение как картографической, так и атрибутивной информацией. Предусмотрена также дальнейшая актуализация БД по мере поступления новых материалов в виде результатов аналитического контроля, цифрового фотографического материала которые будут интегрированы в существующий проект. ГИС проект совместим с используемым в органах управления водного хозяйства Агентства водных ресурсов программным комплексом «Система поддержки принятия решений» (СППР), с подсистемами «Гидрохимия», «Подготовка ПДС вредных веществ».

Развитие указанного ГИС – проекта позволит применить заложенные в нем решения для последующего его расширения на всю речную сеть в пределах РСО-Алания, в том числе для использования в текущей работе природоохранных органов и организаций управления водохозяйственным комплексом РСО-Алания [Залишвили и др., 2011].

Далее приведены основные показатели, которые вошли в атрибутивную информацию ГИС проекта подземных вод по РСО-Алания на первом этапе:

- номер скважины (родника);
- год бурения;
- координаты скважин (как в географической системе, так и в метровой);
- глубина скважин, м;
- наименование водопотребителя;
- местоположение скважины;
- техническое состояние скважины (родника);
- дебит,  $\text{дм}^3/\text{сек}$ ;
- понижение, м;
- удельный дебит,  $\text{дм}^3/\text{сек}$ ;
- уровень подземных вод, м;
- абсолютная отметка устья скважины, м;
- абсолютная отметка уровня воды, м;

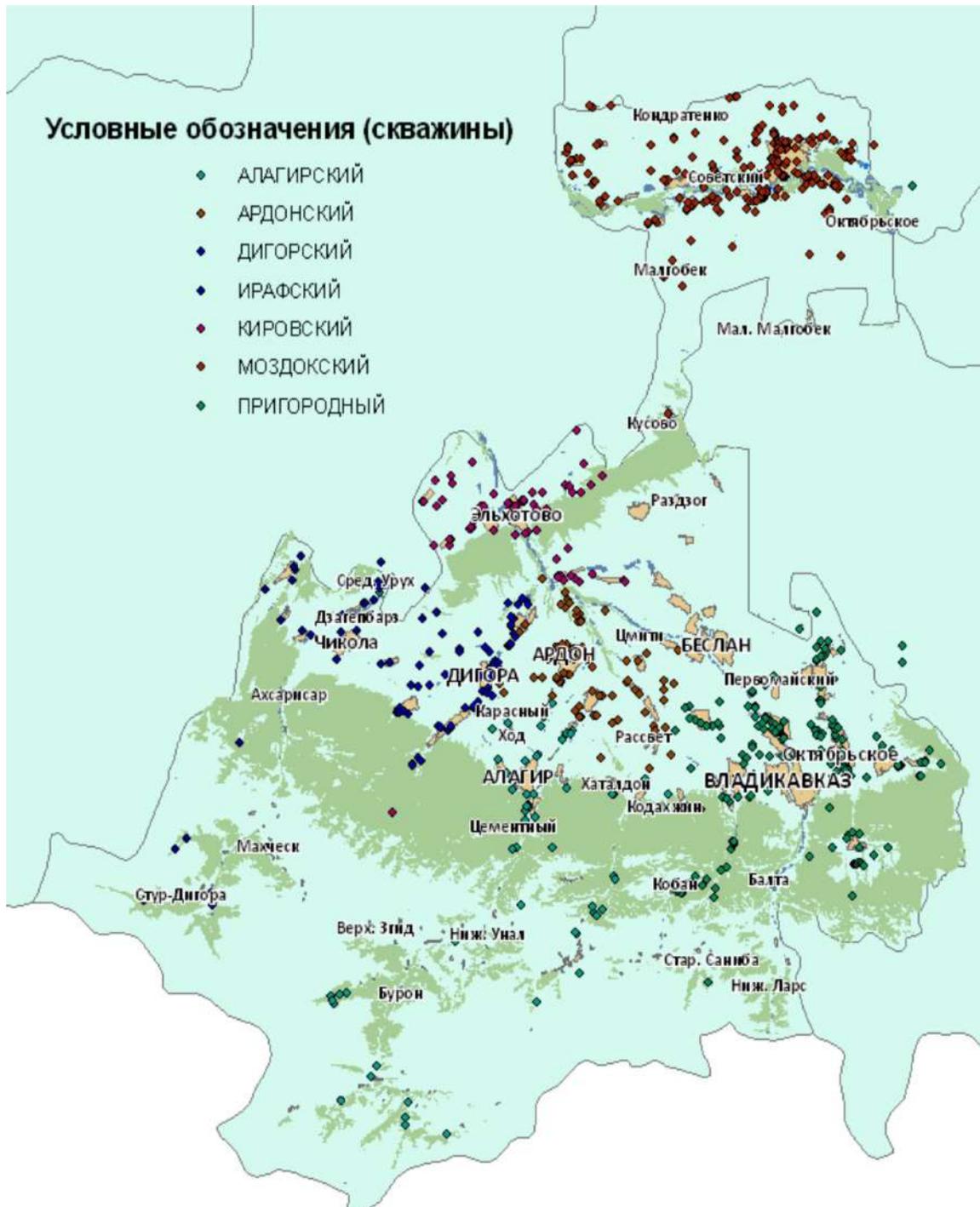


Рис. 4. ГИС карта подземные воды РСО-Алания (М 1:1000000)

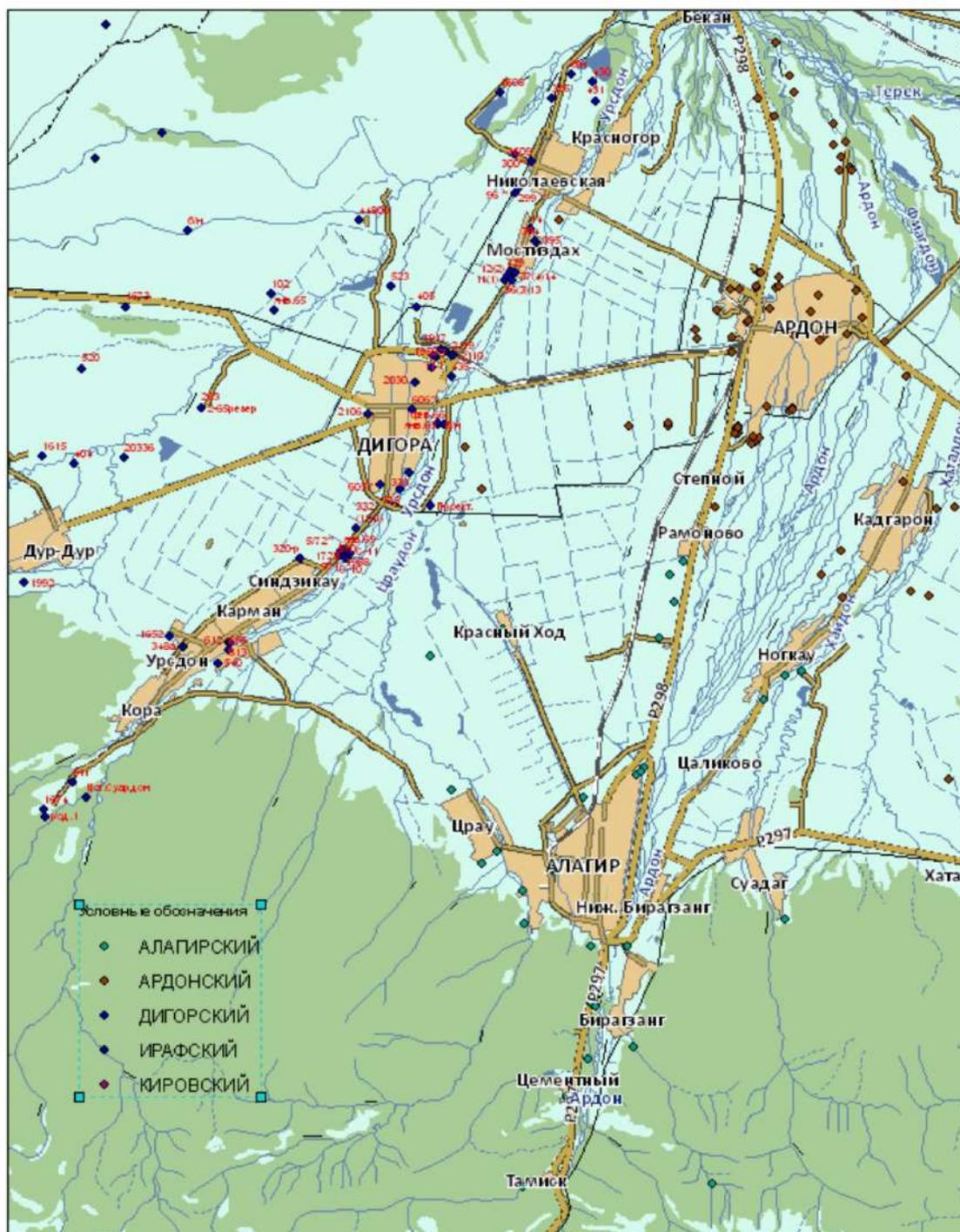


Рис. 5. Часть ГИС карты подземные воды РСО-Алания (М 1:200000)



Рис. 6. Часть ГИС карты подземные воды РСО-Алания (М 1:25000)



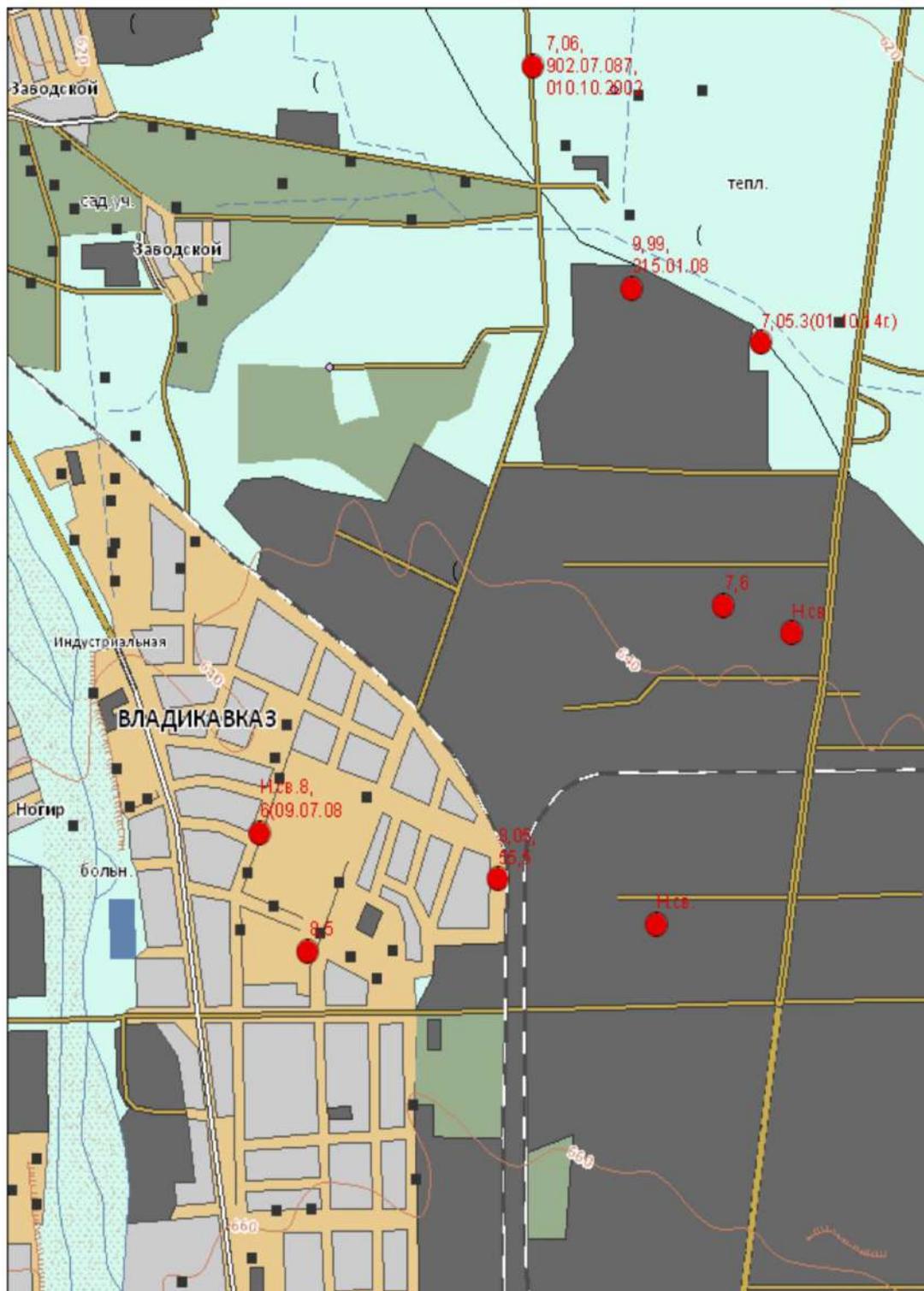


Рис. 8. Выборка скважин с жесткостью воды больше 7 мг/экв. в Промышленной части г. Владикавказа

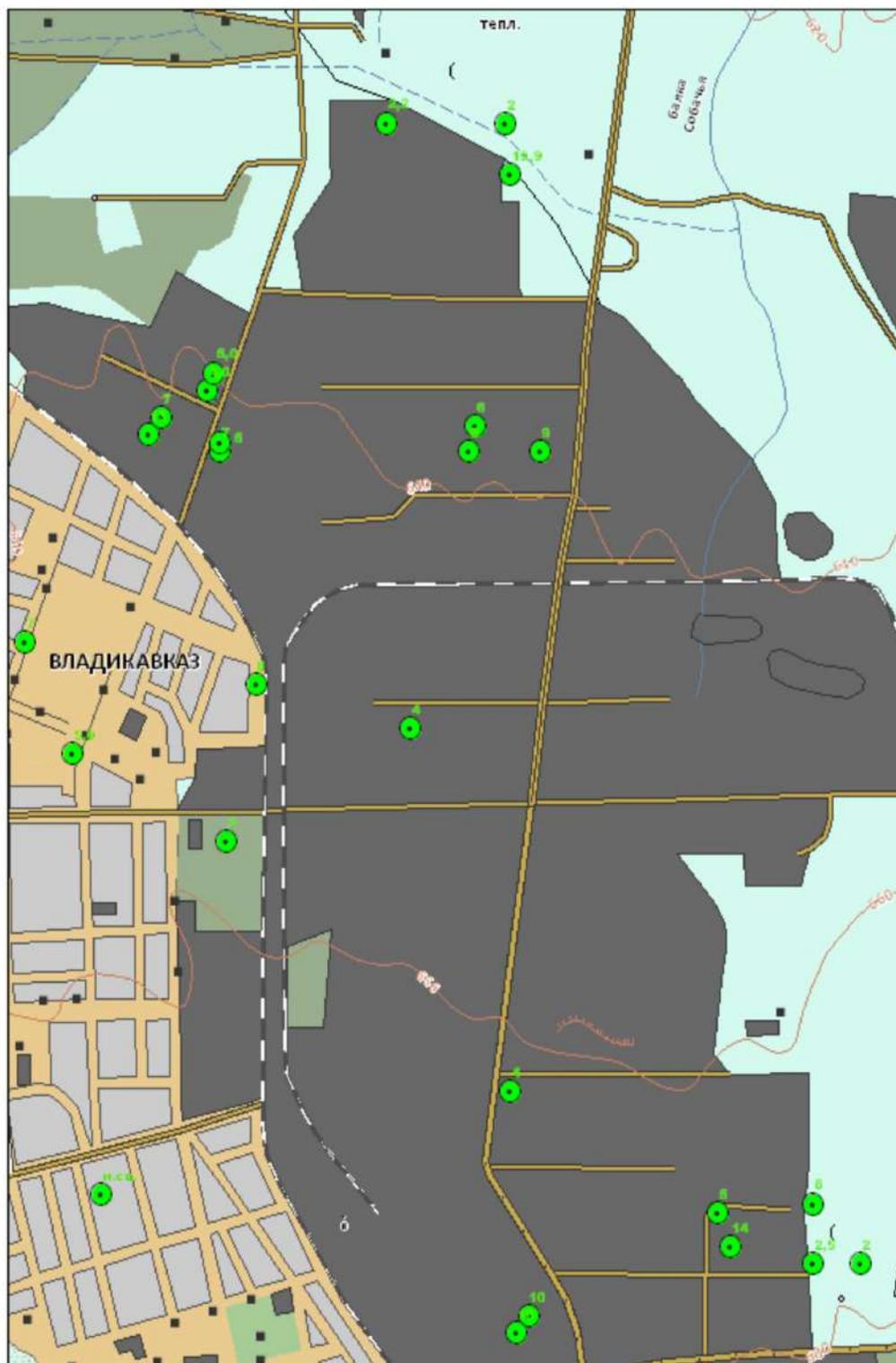


Рис. 9. Данные понижений в скважинах

- уровень добычи, тыс. м<sup>3</sup>/год;
- эксплуатационные запасы, м<sup>3</sup>/сутки;
- контуры месторождений подземных вод.

Пользователями созданной нами ГИС подземных вод РСО-Алания могут быть государственные структуры недропользования – органы Роснедр на территории субъекта; МООС и ПР РСО-Алания (территориальные органы недропользования и охраны окружающей среды) и органы контроля (Росприроднадзора), а так же технические специалисты, разрабатывающие и поддерживающие систему и обычные сотрудники (конечные пользователи), которые с помощью ГИС ускоряют и повышают эффективность процедуры принятия решений текущих проблем (рис. 8, 9).

### Выводы

1. Впервые на основе использования компьютерной программы ArcGIS, представляющей семейство геоинформационных программных продуктов компании ESRI, создан ГИС проект, включающий базу данных мониторинга подземных вод по территории Республики Северная Осетия-Алания.

2. В ГИС-проекте приведены данные по скважинам (родникам) Алагирского (224); Ардонского (107); Дигорского (76); Ирафского (30), Кировского (72), Моздокского (240), Правобережного (168), Пригородного (224) районов и территории г. Владикавказа (92).

3. Использование ГИС подземных вод позволит решать задачи оценки состояния того или иного эксплуатируемого объекта и соответствие этого состояния требованиям нормативов, стандартов и условий лицензий, разработки рекомендаций по рациональной эксплуатации подземных вод и предотвращению или ослаблению негативных последствий отбора подземных вод, а также техногенного воздействия на них, оценки эффективности мероприятий по рациональному использованию подземных вод и их охране от истощения и загрязнения и т. д., что ускоряет и повышает эффективность процедуры принятия решений текущих проблем властными структурами.

### Литература

1. Грунина Т.В., Теделури О. Отчет о результатах работ по объекту: Мониторинг подземных вод РСО-Алания в 2015 году // Акционерное общество «Севосетингеоэкомониторинг» (АО «СОГЭМ»). – 2015.
2. Джгмадзе А. К., Заалишвили В. Б. Мониторинг влияния интенсивной добычи грунтовых вод Бесланского месторождения на экологическую характеристику территории. Сейсмостойкое строительство // Безопасность сооружений. – 2006. – № 6. – С. 41-46.
3. Джгмадзе А.К. Особенности оценки запасов пресных подземных вод по источнику Кауридон (РСО-Алания) // Геология и геофизика Юга России. – 2014. – № 4. – С. 9-14.
4. Джгмадзе А.К. Экологические аспекты эксплуатации Бесланского месторождения подземных вод // В сборнике: Опасные природные и техногенные геологические процессы на горных и предгорных территориях Северного Кавказа Центр геофизических исследований ВНЦ РАН и РСО-А, Заалишвили В.Б. (редактор), Владикавказский научный центр РАН и РСО-А. – 2008. – С. 354-358.

5. Джгамадзе А. К., Заалишвили В. Б. Экологические аспекты ухудшения качества питьевых подземных вод в юго-восточной части Северо-Осетинского артезианского бассейна // Вестник МАНЭБ. – 2009. – Т. 14. № 5. – С. 26-28.

6. Заалишвили В. Б., Бурдзиева О. Г., Бекаури Н. Г. Геоэкологические проблемы горных территорий в условиях высокой сейсмической опасности // Сборник научных трудов конференции, посвященной 50-летию основания Института геофизики и инженерной сейсмологии им. академика А. Назарова НАН РА (4-7 октября, 2011 г., г. Гюмри). – Гюмри: изд-во «Гитутюн» НАН РА, 2011. – С. 224-249.

## USE OF GIS TECHNOLOGIES IN THE ESTIMATION OF THE QUALITY OF UNDERGROUND WATER OF THE REPUBLIC OF NORTH OSSETIA-ALANIA

© 2017 B. V. Dzeranov, Sc. Candidate (Geol.-Min.), R. R. Gogichev,  
N. G. Dzhusoeva

Geophysical institute VSC RAS, Russia, 362002, RNO-Alania, Vladikavkaz,  
Markov Str., 93 a, e-mail: dzboris@gmail.ru

The aim of this work was to create a GIS project that includes groundwater monitoring data through the territory of the Republic of North Ossetia-Alania. Geoinformation systems are characterized by a powerful potential for constructing spatial models, as well as the possibilities of spatial and non-spatial analysis of the data, with the help of which one or other important regularities inherent in this monitoring object are revealed. On the basis of the revealed regularities, the indicators describing the dynamics of changes in the process or phenomenon in time and space are determined.

The use of GIS for groundwater will enable us to solve the problems of assessing the state of a given object in operation and the compliance of this state with the requirements of norms, standards and license conditions, developing recommendations for the rational exploitation of groundwater and preventing or mitigating the negative consequences of groundwater abstraction, as well as technogenic impact on them, assessing the effectiveness of measures for the rational use of groundwater and their protection from depletion and pollution, etc., which accelerates and increases the efficiency. The effectiveness of the procedure for making decisions of current problems by power structures.

**Keywords:** GIS, groundwater, well, groundwater monitoring, database, pollutants, river network.

### References

1. Grunina T.V., Tedeluri O. Otchet o rezul'tatah rabot po ob'ektu: Monitoring podzemnyh vod RSO-Alaniya v 2015 godu [Report on the results of work on the facility: Monitoring of groundwater in North Ossetia-Alania in 2015]. Vladikavkaz, Akcionernoe obshchestvo «Sevosetingeoekomonitoring» (AO «SOGEM»), 2015. (in Russian).
2. Dzhgamadze A.K., Zaalishvili V.B. Monitoring vliyaniya intensivnoj dobychi gruntovyh vod Beslanskogo mestorozhdeniya na ekologicheskuyu harakteristiku territorii [Monitoring of the impact of intensive extraction of groundwater from the Beslan field on the ecological characteristics of the territory]. Seismostoitkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij, 2006, No. 6, pp. 41–46. (in Russian).

3. Dzhgamadze A.K. Osobennosti ocenki zapasov presnyh podzemnyh vod po istochniku Kauridon (RSO-Alaniya) [Features of the assessment of fresh groundwater resources by the source Kauridon (RNO-Alania)]. *Geologiya i geofizika Yuga Rossii*, 2014, No. 4, pp. 9–14. (in Russian).

4. Dzhgamadze A.K. Ekologicheskie aspekty ekspluatsii Beslanskogo mestorozhdeniya podzemnyh vod [Ecological aspects of operation of the Beslan groundwater deposit]. *Opasnye prirodnye i tehnogennye geologicheskie processy na gornyh i predgornyh territoriyah Severnogo Kavkaza*. ed. by Zaalishvili V.B. Vladikavkaz, CGI VSC RAS and RNO-Alania, 2008, pp. 354–358. (in Russian).

5. Dzhgamadze A.K., Zaalishvili V.B. Ekologicheskie aspekty uhudsheniya kachestva pit'evykh podzemnyh vod v yugo-vostochnoj chasti Severo-Osetinskogo artezianskogo bassejna [Ecological aspects of the deterioration of the quality of drinking groundwater in the southeastern part of the North Ossetian artesian basin]. *Vestnik MANEB*, 2009, Vol. 14, No. 5, pp. 26–28. (in Russian).

6. Zaalishvili V.B., Burdzieva O.G., Bekauri N.G. Geoekologicheskie problemy gornyh territorij v usloviyah vysokoj seismicheskoy opasnosti [Geoenvironmental problems of mountain territories under conditions of high seismic hazard]. *Sbornik nauchnykh trudov konferencii, posvyashhennoj 50-letiyu osnovaniya Instituta geofiziki i inzhenernoj seismologii im. akademika A. Nazarova NAN RA (4–7 oktyabrya, 2011 g., g. Gyumri)* [Procs. of Conference dedicated to 50-th anniversary of Nazarov Institute of Geophysics and Engineering seismology NAS RA, October 4–7, 2011, Gyumri]. Gyumri, «Gitutyun» Publ. of NAN RA, 2011, pp. 224–249. (in Russian).

УДК 550.34:004.4

## ИНТЕГРАЦИЯ БАЗЫ ДАННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМУ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

© 2017 А. С. Кануков, к.т.н.

Геофизический институт – филиал ФГБУН ФНЦ «Владикавказский научный центр Российской академии наук», Россия, 362002, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: cgi\_ras@mail.ru;

Владикавказский филиал ФГБУ ВО Финансового университета при правительстве Российской Федерации, Россия, 362002, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Молодежная, 7

Статья посвящена вопросу интеграции базы данных геологической информации г. Владикавказа в специально разрабатываемую систему геоинформационного моделирования. С развитием высоких технологий большое распространение получили различные геоинформационные системы, предназначенные для сбора, хранения, анализа и графической визуализации пространственных данных и связанной с ними информации о представленных в ГИС-объектах. В Геофизическом институте создана карта инженерно-геологического районирования территории города Владикавказа, освещающая вопросы геологического строения, гидрогеологических условий, литологии, морфологии, тектоники, распространения различных типов грунтов на рассматриваемой территории. На территории выделены участки, характеризующиеся различной глубиной залегания галечников или мощности глинистого и суглинистого покрова на галечниках, что является основным параметром, определяющим категорию сейсмичности по СНиП-II-7-81\*. На основе анализа физико-механических свойств, проведена надежная дифференциация групп грунтов с различными определяющими показателями, характеризующими категорию грунтов по их сейсмическим свойствам. Данная информация собрана в базу данных геологической информации, сформированной в виде шейп-файла с пространственной привязкой каждой скважины. Разработанная база данных используется в качестве основы в задаче геоинформационного моделирования. На основе программного обеспечения с открытым исходным кодом выполнена интеграция базы данных геологической информации г. Владикавказа в систему геоинформационного моделирования.

**Ключевые слова:** сейсмическая опасность, сейсмический риск, грунтовые условия, геоинформационное моделирование, базы данных, ГИС.

Оценка сейсмической опасности урбанизированной территории, на основе современных научных подходов и методов, является важнейшей составляющей при определении ожидаемого уровня сейсмического риска при реализации сценарного для данного региона сейсмического воздействия и разработке конкретных мероприятий по управлению риском, с целью снижения уязвимости территории, обеспечения безопасности ее населения и дальнейшего развития.

Проявление сильного и разрушительного землетрясения, в свою очередь, во многом определяется грунтовыми условиями территории [Заалишвили, Кануков, 2009]. В связи с этим, созданию соответствующих схем распределения грунтов различных видов на той или иной урбанизированной территории уделяется особое внимание [Заалишвили и др., 2009а; Заалишвили, Джгамадзе, 2010, 2011а, б, 2012а]. Детальные схемы геологического районирования территорий населённых пунктов Республики Северная Осетия-Алания, явились основой сейсмического ми-

крорайонирования [Заалишвили, Джгамадзе, 2012б, Заалишвили и др., 2013а, б]. При этом детальное геологическое районирование грунтов для инженерно-геологических изысканий на урбанизированной территории осуществляется с помощью современных геофизических методов [Голик, Заалишвили, 2013; Заалишвили и др., 2009б]. Особое место при изучении и последующей дифференциации грунтов с выделением их особенностей и характеристик занимают данные геоинформационного моделирования [Заалишвили и др., 2012].

Геоинформационное моделирование в настоящее время является всё ещё сравнительно молодой областью научных исследований, которая охватывает обширный круг вопросов по созданию и использованию геоинформационных систем (ГИС-систем) об объектах и их характеристиках, а также о применении математических методов и алгоритмов в данных системах. ГИС-системы включают в себя СУБД (системы управления базами данных), редакторы графики, представленной в векторном или растровом формате, различные аналитические средства, что позволяет использовать их в картографии, геологии, геофизике, экологии и множестве других областей.

В результате проведения ряда исследований Геофизическим институтом создана карта инженерно-геологического районирования города Владикавказа [Заалишвили и др., 2009а], освещающая вопросы геологического строения, гидрогеологических условий, литологии, морфологии, тектоники, распространения различных типов грунтов на рассматриваемой территории. На территории выделены участки различной глубины залегания галечников и различной мощности глинистого и суглинистого покрова на галечниках, что является основными показателями, определяющими категорию сейсмичности по СНиП-II-7-81\* [Строительные нормы..., 2000].

На основе анализа физико-механических свойств грунтов были дифференцированы группы по их сейсмическим свойствам (СНиП-7-II-81\*).

Целью работ было составление карты сейсмического микрорайонирования на основе схем детального геологического районирования.

Был создан ГИС-проект «База данных геологической информации территории г. Владикавказа».

Ситуационная основа в виде контуров кварталов, улиц, положения реки Терек и техногенной нагрузки получена из существующих специализированных основ.

Созданы тематические карты трех видов:

- карта фактического материала;
- карта изогипс и глубин кровли галечников;
- карта инженерно-геологического районирования.

Тематические карты созданы с сопутствующими базами данных.

На карте фактического материала представлен только один слой «горные выработки» с полями:

- тип выработки (скважина, траншея, шурф, колодец);
- индекс (номер выработки и индекс типа), поле вынесено для подписи на карту;
- номер выработки.

Карта инженерно-геологического районирования также несет информацию о выработках. Кроме того приведена информация:

- о склонах крутизной более 15 градусов (полигональный слой, без атрибутивных данных);
- о категориях грунтов по сейсмическим свойствам в соответствии с существующими требованиями СНиП II-7-81\*.

Последующие перспективы разработки, созданных геокодированных баз данных, сводятся к пространственному анализу атрибутивной информации. На его основе возможно:

- создание непрерывных полей с функциями уточнения и актуализации информации на основе вновь поступающих данных (т. е. детализации);
- создание дежурной карты;
- наложение с информацией об опасных техногенных объектах;
- наложение информации о глубинах кровли водных горизонтов и линз;
- решение других пространственных задач.

По всем скважинам в ГИС-проекте приведено описание грунтов (табл. 1). Данная информация собрана в базу данных геологической информации, сформированной в виде шейп-файла с пространственной привязкой каждой скважины.

Таблица 1.

### Описание грунтов горных выработок (пример содержания базы данных)

№ п/п	Номера скважин	Глубина, м		Описание грунтов	Абсолютная отметка устья, м	Глубина залегания галечников, м
		от	до			
1	2	3	4	5	6	7
1	4E2	0	0,1	Насыпной слой	669	2,4
		0,1	0,3	Почвенный слой с включением гальки		
		0,3	2,4	Суглинки буровато-коричневого цвета тугопластичные гумусированные с примесью гравия и гальки до 10%		
		2,4	12,0	Галечники		

В связи с тем, что разработанная база данных используется в качестве основы в задаче геоинформационного моделирования, ее предварительно необходимо было подготовить для возможности работы в геоинформационной системе. В этой связи необходимо отметить, что материалы в геоинформационной системе должны быть оформлены в виде баз данных [Мамышева, Загоруйко, 2010]. При этом любой объект, наносимый на карту, должен увязываться с относящимися к нему материалами. Таким образом, необходимо объединение баз данных и картографических материалов пространственными связями. В связи с этим, система управления базами данных должна обеспечивать поддержку как текстовых и графических баз данных, так и пространственных. Такой подсистемой, к примеру, может послужить PostGIS.

PostGIS является расширением свободной объектной реляционной системой управления базами данных, которое предназначено для хранения в базе данных дополнительных географических атрибутов – геометрии. PostGIS поддерживает стандарт OGS (OpenGeospatial Consortium) и выпускается с 2001 года компанией Refrations Research, составляя конкуренцию многим коммерческим проектам, при этом оставаясь свободно распространяемым программным продуктом, с открытыми исходными кодами. К основному достоинству PostGIS можно отнести возможность использования языка SQL вместе с пространственными функциями и опе-

раторами. При этом наблюдается довольно активное развитие программы PostGis по мере развития PostgreSQL и проекта OpenSourceGeospatialFoundation, собирая в себе самое лучшее из них. К примеру, благодаря развитию PostgreSQL в PostGis появилась возможность использования таких нововведений, как битмаповые и Gist индексы.

Благодаря союзу с OpenSourceGeospatialFoundation [TheOGC'sRole...] в PostGis появилась возможность поддержки таких программ, как GEOS, Proj4 и JTS. В 2001 году лишь одно приложение – MapServer было способно отображать данные, хранящиеся в PostGis. К настоящему моменту работать с этими данными позволяют практически все приложения для работы с картографическими данными, как платные, так и распространяемые на некоммерческой основе. Среди последнего программного обеспечения можно выделить GRASS, QGIS, MapServer, uDig, GeoServer, GDAL/OGR, SharpMap, gvSIG, FeatureServer.

В PostGIS предоставлен полный функционал пространственных операций (соответственно к OGC), которые позволяют реализовать любые пространственные операции с геоданными. Выбор PostgreSQL+PostGIS позволяет получить максимально полнофункциональную систему, которая будет поддерживать операции с пространственными данными, являясь очень мощной системой при работе с БД.

Благодаря данному сервису, который хранит геоданные в базе данных и позволяет фильтровать и выбирать необходимые данные с помощью стандартных запросов языка SQL, можно искать необходимые объекты, как по координатам, так и с помощью другой информации, хранящейся в атрибутах каждой записи.

Использование подобных блоков позволяет хранить уже созданные ГИС-объекты, создавать новые, а также проводить с ними любые пространственные операции.

Для визуализации содержимого пространственной базы данных использовался GeoServer. GeoServer представляет из себя веб-сервер, который обеспечивает стандартных клиентов, таких как веб-браузеры и различные ГИС, доступом к различным картам и данным, которые могут храниться практически в любом формате, при этом от пользователя не требуется специальных знаний о географических данных. В самом простом случае, всё, что требуется – это веб-браузер, который позволит отобразить карты именно в том виде, который и требовался.

GeoServer представляет собой эталонную реализацию стандартов OGC: WFS (WebFeatureService), WCS (WebCoverageService) и является главным компонентом GeospatialWeb.

Необходимо также отметить, что отличающей особенностью его от ряда других (MapServer или FeatureServer) является наличие графической системы для управления настройками и описанием данных для проектов, реализуемых в GeoServer. Данная система реализуется как веб-сервис, с интерактивным созданием и изменением картографических материалов в системе (рис. 1).

Кроме того, для задания стилей оформления в GeoServer используется язык описания StyledLayerDescriptor (SLD). Изначально, он создавался для работы с сервисами WMS [StyledLayerDescriptor...]. Можно подготовить собственный файл стилей на языке SLD и передать их чужому серверу WMS и, при этом получить карту, оформленную в соответствии с предъявляемыми пользователем требованиями.

При решении подобных задач также необходимо учитывать тот немаловажный факт, что база данных должна быть защищена от несанкционированного доступа. Для этого в геоинформационной системе должны иметься средства для аутентификации пользователей. Базовая авторизация реализована в Geoserver, но уязвима



Рис. 1. Веб-интерфейс GeoServer

к атакам перехвата авторизационных данных, позволяющих просматривать карты без регистрации на web-сервисе. Выходом из данного положения является использование так называемой https-обвязки, при которой все данные между клиентом и сервером шифруются.

С помощью данного метода может быть введена поддержка протокола https, даже если исходное программное обеспечение его не поддерживает, что может иметь место в случае уже готовой системы. Для этих целей подходит программа round, которая «слушает» определённый порт, работает через него по безопасному протоколу https. Данные, поступающие на этот порт, расшифровываются и перенаправляются на внутренний порт, который «слушает» программа, и в которую мы вводим поддержку протокола https.

Для работы сервиса round необходимо получить и установить в систему сертификат [IntroductiontoSSL...]. Сертификат состоит из двух ключей – открытый и закрытый. Открытый ключ используется для шифрования трафика от клиента к серверу в защищённом соединении, закрытый ключ – для расшифровывания полученного от клиента зашифрованного трафика на сервере. После генерации открытого и закрытого ключей, на основе открытого ключа формируется запрос на сертификат в Центр сертификации (ЦС), в ответ на который ЦС высылает подписанный сертификат. ЦС, при подписывании проверяет клиента, что позволяет ему гарантировать, что держатель сертификата является тем, за кого себя выдаёт. Каждый подписанный сертификат имеет срок действия и за создание/продление подписи обычно взимается плата.

Однако существует возможность создать подобный сертификат, не обращаясь в Центр сертификации. Они могут быть созданы для станций, которые работают под Unix/Linux, что также говорит в пользу выбора данной системы. Подписываются такие сертификаты сами собой и потому называются самоподписанными (self-signed). Если не проверить данный сертификат каким-либо другим способом, то использование данного протокола может быть подвергнуто атаке «man-in-the-middle», то есть «человек-в-середине». Суть её в том, что нарушители могут подключаться к каналу, по которому устанавливается защищённое соединение, и перехватывать все запросы, идущие между сервером и клиентом. При этом нарушитель представ-

ляется клиенту как сервер, а серверу как клиент. Так как подтвердить тот факт, что сервер является тем, за кого себя выдаёт можно только с помощью сертификата выданного ЦС, подобные атаки легко осуществимы для самоподписанных сертификатов. В то же время, непосредственная передача самоподписанного сертификата по закрытому каналу и установка его в систему, как доверительного, позволяет избегать подобных атак.

Для отображения карт в информационной системе необходима система визуализации пространственных данных. Главным требованием к данной системе является поддержка слоёв, предоставляемых WMS (и WFS) серверами, такими как Mapserver, ArcIMS или Geoserver, и данных картографических сервисов Google.

В качестве примера готового продукта можно рассмотреть библиотеку OpenLayers, как наиболее функциональную и открытую из всех существующих систем.

Использование библиотеки OpenLayers позволяет в короткие сроки создать web-сервис для просмотра картографических материалов, которые могут быть представлены в различных форматах и могут быть расположены на разных серверах. Именно благодаря OpenLayers у разработчика появляется возможность создания собственной карты, исходные материалы для которой могут храниться на таких серверах, как Mapserver, ArcIMS или Geoserver, а также данные, предоставляемые сервисами Google.

Необходимо отметить, что OpenLayers является свободно распространяемым программным продуктом, с открытыми исходными кодами.

В системе OpenLayers реализованы следующие возможности:

- Добавление на карту панели для навигации, на которой присутствуют такие элементы управления, как кнопки перемещения по карте, а также изменения масштаба.

- Перемещение карты с помощью «мышки»;
- Изменение масштаба карты путём прокрутки колёсика «мышки»;
- Получение координат под указателем «мышки»;
- Вывод переключателей видимости отдельных слоёв на панель управления;
- Выбор объекта на карте и получение всей связанной с ним информации;
- Изменение прозрачности любого из слоев, представленных на карте;
- Редактирование элементов на карте самим пользователем.

Таким образом, использование программного обеспечения с открытым исходным кодом позволило интегрировать базу данных геолого-геофизической (инженерно-геологической, гидрогеологической, геоморфологической) информации на территории г. Владикавказа в специальную геоинформационную систему, обладающую значительными функциональными возможностями.

## Выводы

- В результате проведения ряда исследований создана карта инженерно-геологического районирования территории города Владикавказа, освещающая вопросы геологического строения, гидрогеологических условий, литологии, морфологии, тектоники, распространения различных типов грунтов на рассматриваемой территории.

- На территории г. Владикавказа выделены участки с различной глубиной залегания галечников и мощностью глинистого и суглинистого покрова на галечниках, что являются основными показателями, определяющими категорию сейсмичности грунтов по СНиП-II-7-81\* [Строительные нормы..., 2000].

- На основе анализа физико-механических свойств, в том числе (при необходимости), с помощью их дополнительного изучения геофизическими методами проведено дифференцирование групп грунтов по сейсмическим свойствам.
- Создан ГИС-проект «База данных геологической информации территории г. Владикавказа», включающий информацию о пробуренных на территории города скважинах с подробным описанием грунтов.
- На основе программного обеспечения с открытым исходным кодом выполнена интеграция базы данных геологической информации на территории г. Владикавказа в систему геоинформационного моделирования.

### Литература

1. Голик В. И., Заалишвили В. Б. Геофизические методы исследования сейсмичности природных и техногенных массивов // Монография. – Владикавказ: ЦГИ ВНИЦ РАН и РСО-А, 2013. – 274 с.
2. Заалишвили В. Б., Кануков А. С. Влияние грунтовых условий на проявление землетрясений // Труды III Кавказской международной школы семинара молодых ученых «Сейсмическая опасность и управление сейсмическим риском на Кавказе», Владикавказ, 24-26 сентября, 2009. – Владикавказ, 2009. – С. 137-141.
3. Заалишвили В. Б., Джгмадзе А. К., Колесникова А. М., Гогичев Р. Р., Бекаури Н. Г. Создание инженерно-геологической основы карты сейсмического микро-районирования г. Владикавказа в масштабе 1:10000 // Отчет о научно-исследовательской работе по теме: том 1. Труды ЦГИ ВНИЦ РАН и РСО-А. – Владикавказ. – 2009а. – 117 с.
4. Заалишвили В. Б., Чотчаев Х. О., Мельков Д. А., Дзеранов Б. В. Современные геофизические методы и геотехнологии при инженерно-геологических изысканиях на урбанизированной территории // Труды IV международной научной конференции «Информационные технологии и системы. Наука и практика». Владикавказ, 30 июня – 3 июля 2009 года. – 2009б. – С. 250-253.
5. Заалишвили В. Б., Джгмадзе А. К. Грунтовые условия застройки г. Владикавказа и сейсмическая опасность территории // Вестник МАНЭБ. – Санкт Петербург. – 2010. – Том 15. №4 (доп. выпуск). – С. 186-190.
6. Заалишвили В. Б., Джгмадзе А. К. Инженерно-геологическое районирование города Беслан РСО-Алания // Труды IV Кавказской международной школы-семинара молодых ученых «Сейсмическая опасность и управление сейсмическим риском на Кавказе», Владикавказ, 24-26 октября 2011 г. – 2011а. – С. 98-102.
7. Заалишвили В. Б., Джгмадзе А. К. Инженерно-геологическое районирование города Ардон РСО-Алания // Труды IV Кавказской международной школы-семинара молодых ученых «Сейсмическая опасность и управление сейсмическим риском на Кавказе», Владикавказ, 24-26 октября 2011 г. – Владикавказ. – 2011б. – С. 102-106.
8. Заалишвили В. Б., Джгмадзе А. К. Инженерно-геологическое районирование города Алагир (РСО-Алания) // Труды III международной конференции «Опасные природные и техногенные геологические процессы на горных и предгорных территориях Северного Кавказа», Владикавказ, 19-22 сентября 2012 г. – Владикавказ. – 2012а. – С. 230-234.
9. Заалишвили В. Б., Джгмадзе А. К. О создании карт инженерно-геологического районирования территорий населённых пунктов Республики Северная

Осетия-Алания, как основы сейсмического микрорайонирования // Материалы II Всероссийской научно-технической конференции «Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа», 8-12 ноября 2012 г. – Грозный. – 2012б. – С. 442-446.

10. Заалишвили В. Б., Джгмадзе А. К., Гогичев Р. Р. Инженерно-геологическое районирование территории города Дигора (РСО-Алания) // Труды V Кавказской международной школы-семинара молодых ученых «Сейсмическая опасность и управление сейсмическим риском на Кавказе», Владикавказ, 16-18 октября 2013 г. – 2013а. – С. 121-126.

11. Заалишвили В. Б., Джгмадзе А. К., Гогичев Р. Р. О создании карт инженерно-геологического районирования населенных пунктов Республики Северная Осетия-Алания, как основы сейсмического микрорайонирования // Геология и геофизика Юга России. – Владикавказ: ЦГИ ВНИЦ РАН и РСО-А. – 2013б. – № 3. – С. 20-28.

12. Заалишвили В. Б., Джгмадзе А. К., Мельков Д. А., Дзеранов Б. В., Габараев А. Ф., Габеева И. Л., Дзедобоев Б. А., Кануков А. С., Шепелев В. Д. Уточнение инженерно-геологических условий территории с помощью микросейсм (на примере населенных пунктов республики Северная Осетия-Алания) // Геология и геофизика Юга России. – 2015. – № 1. – С. 5-20.

13. Заалишвили В. Б., Кануков А. С., Архиреева И. Г., Габараев А. Ф. Разработка модуля расчета социальных и экономических потерь от землетрясения в информационной системе обеспечения градостроительной деятельности РСО-Алания // Труды III международной конференции «Опасные природные и техногенные геологические процессы на горных и предгорных территориях Северного Кавказа», Владикавказ, 19-22 сентября 2012. – Владикавказ. – 2012. – С. 241-246.

14. Мамышева Е. Г., Загоруйко А. Е. Обзор технологических платформ для формирования ИСОГД Управление развитием территории. №3\_2010. URL: <http://www.gisa.ru/69931.html> (дата обращения: 8.08.17 г.).

15. Строительные нормы и правила. Строительство в сейсмических районах. СНиП II-7-81\*. – М.: Минстрой России, 2000.

16. Introduction to SSL. URL: [https://developer.mozilla.org/en/Introduction\\_to\\_SSL](https://developer.mozilla.org/en/Introduction_to_SSL) (дата обращения: 18.10.16 г.).

17. Styled Layer Descriptor profile of the Web Map Service Implementation Specification. Version: 1.1.0 (revision 4). OGC® Implementation Specification OGC 05-078r4. Ed. Dr. Markus Lupp. Date: 2007-06-29. 2007. 53 p. URL: [http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact\\_id=22364](http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=22364) (дата обращения: 8.08.17 г.).

18. The OGC's Role in Government & Spatial Data Infrastructure URL: [http://www.opengeospatial.org/domain/gov\\_and\\_sdi](http://www.opengeospatial.org/domain/gov_and_sdi) (дата обращения: 8.08.17 г.).

## INTEGRATION OF THE GEOLOGICAL INFORMATION DATABASE IN THE SYSTEM OF GEOINFORMATION MODELING

© 2017 A. S. Kanukov, Sc. Candidate (Tech.)

Geophysical institute VSC RAS, Russia, 362002, RNO-Alania, Vladikavkaz, Markov  
Str., 93 a, e-mail: cgi\_ras@mail.ru;

Vladikavkaz branch of the Financial University Under the Government of the Russian  
Federation, Russia, 362002, RNO-Alania, Vladikavkaz, Molodezhnaya str., 7

The article is devoted to the integration of the geological information database of Vladikavkaz into a specially developed system of geoinformation modeling. With the development of high technologies, various geoinformation systems are widely used to collect, store, analyze and graphically visualize spatial data and associated information about the objects represented in GIS objects. The engineering geological zoning map of the Vladikavkaz city territory, covering geological structure, hydrogeological conditions, lithology, morphology, tectonics, distribution of various soil types in the considered territory, was created at the Geophysical Institute. There are areas on the territory that are characterized by the different depths of pebbles or the thickness of clayey and loamy cover on pebbles, which is the main parameter determining the category of seismicity according to construction rules and regulations «SNIP-II-7-81\*». On the basis of the analysis of physical and mechanical properties, a reliable differentiation of soil groups with various determining parameters characterizing the category of soils according to their seismic properties was carried out. This information is collected in a database of geological information, formed as a shapefile with spatial reference of each well. The developed database is used as a basis in the problem of geoinformation modeling. The geodetic information database of Vladikavkaz was integrated into the system of geoinformation modeling on the basis of open source software.

**Keywords:** seismic hazard, seismic risk, ground conditions, geoinformation modeling, databases, GIS.

### References

1. Golik V.I., Zaalishvili V.B. Geofizicheskie metody issledovaniya seismiki prirodnyh i tehnogennyh massivov [Geophysical methods of seismic survey of natural and technogenic massifs]. Vladikavkaz, CGI VSC RAS and RNO-Alania, 2013. 274 p. (in Russian).
2. Zaalishvili V.B., Kanukov A.S. Vliyaniye gruntovykh uslovij na proyavleniye zemletryasenij [The influence of ground conditions on the manifestation of earthquakes]. Trudy III Kavkazskoj mezhdunarodnoj shkoly seminara molodyh uchenykh «Seismicheskaya opasnost' i upravleniye seismicheskim riskom na Kavkaze», Vladikavkaz, 24–26 sentyabrya, 2009 [Procs. of III Caucasus international school-seminar of young scientists “Seismic hazard and seismic risk management in Caucasus”, September, 24–26, 2009]. Vladikavkaz, 2009, pp. 137–141. (in Russian).
3. Zaalishvili V.B., Dzhgamadze A.K., Kolesnikova A.M., Gogichev R.R., Bekauri N.G. Sozdanie inzhenerno-geologicheskoy osnovy karty seismicheskogo mikroraiionirovaniya g. Vladikavkaza v mashtabe 1:10 000 (Otchet) [Creation of the engineering-geological basis of the map of seismic microzoning of the city of Vladikavkaz on a scale of 1:10 000 (Report)]. Vol 1. Procs. of CGI VSC RAS and RNO-Alania, Vladikavkaz, 2009a. 117 p. (in Russian).
4. Zaalishvili V.B., Chotchaev H.O., Mel'kov D.A., Dzeranov B.V. Sovremennyye geofizicheskie metody i geotekhnologii pri inzhenerno-geologicheskikh izyskaniyakh na urbanizirovannoy territorii [Modern geophysical methods and geotechnologies for engineering and geological surveys in an urbanized area]. Trudy IV mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii «Informacionnyye tekhnologii i sistemy. Nauka i praktika». Vladikavkaz, 30 iyunya – 3 iyulya 2009 goda [Procs. of IV International scientific conference “Information technologies and systems. Science and Practice”, Vladikavkaz, June 30 – July 3, 2009]. 2009b, pp. 250–253. (in Russian).
5. Zaalishvili V.B., Dzhgamadze A.K. Gruntovyye usloviya zastrojki g. Vladikavkaza i seismicheskaya opasnost' territorii [Soil conditions of Vladikavkaz buildingstock and seismic hazard of the territory]. Vestnik MANJeB, 2010, Vol. 15, No. 4, pp. 186–190. (in Russian).
6. Zaalishvili V.B., Dzhgamadze A.K. Inzhenerno-geologicheskoe raionirovaniye goroda Beslan RSO-Alaniya [Engineering-geological zoning of the city of Beslan RSO-Alania]. Trudy IV Kavkazskoj mezhdunarodnoj shkoly-seminara molodyh uchenykh «Seismicheskaya opasnost' i upravleniye seismicheskim riskom na Kavkaze», Vladikavkaz, 24–26 oktyabrya 2011 g. [Procs. of IV Caucasus international school-seminar of young scientists

"Seismic hazard and Seismic Risk Management in Caucasus", Vladikavkaz, October, 24–26, 2011]. Vladikavkaz, 2011, pp. 98–102. (in Russian).

7. Zaalishvili V.B., Dzhgamadze A.K. Inzhenerno-geologicheskoe raionirovanie goroda Ardon RSO-Alaniya [Engineering-geological zoning of the city of Ardon North Ossetia-Alania]. Trudy IV Kavkazskoj mezhdunarodnoj shkoly-seminara molodyh uchenyh «Seismicheskaya opasnost' i upravlenie seismicheskim riskom na Kavkaze», Vladikavkaz, 24–26 oktyabrya 2011 g. [Procs. of IV Caucasus international school-seminar of young scientists "Seismic hazard and Seismic Risk Management in Caucasus", Vladikavkaz, October, 24–26, 2011]. Vladikavkaz, 2011, pp. 102–106. (in Russian).

8. Zaalishvili V.B., Dzhgamadze A.K. Inzhenerno-geologicheskoe raionirovanie goroda Alagir (RSO-Alaniya) [Engineering-geological zoning of the city of Alagir (RNO-Alania)]. Trudy III mezhdunarodnoj konferencii «Opasnye prirodnye i tehnogennye geologicheskie processy na gornyh i predgornyh territoriyah Severnogo Kavkaza», Vladikavkaz, 19–22 sentyabrya 2012 g. [Procs. of III International conference "Dangerous natural and Technogenic Processes on mountainous and piedmont territories of Caucasus, Vladikavkaz, September, 19–22, 2012]. Vladikavkaz, 2012a, pp. 230–234. (in Russian).

9. Zaalishvili V.B., Dzhgamadze A.K. O sozdanii kart inzhenerno-geologicheskogo raionirovaniya territorij naselyonnyh punktov Respubliki Severnaya Osetiya-Alaniya, kak osnovy seismicheskogo mikroraiionirovaniya [On the creation of maps of engineering-geological zoning of the territories of populated areas of the Republic of North Ossetia-Alania, as the basis for seismic microzoning]. Materialy II Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoy konferencii «Sovremennye problemy geologii, geofiziki i geoekologii Severnogo Kavkaza», 8–12 noyabrya 2012 g. – Grozny, 2012b, pp. 442–446. (in Russian).

10. Zaalishvili V.B., Dzhgamadze A.K., Gogichev R.R. Inzhenerno-geologicheskoe raionirovanie territorii goroda Digora (RSO-Alaniya) [Engineering-geological zoning of the territory of the city of Digora (RNO-Alania)]. Trudy V Kavkazskoj mezhdunarodnoj shkoly-seminara molodyh uchenyh «Seismicheskaya opasnost' i upravlenie seismicheskim riskom na Kavkaze», Vladikavkaz, 16–18 oktyabrya 2013 g. [Procs. of V Caucasus international school-seminar of young scientists "Seismic hazard and Seismic Risk Management in Caucasus", Vladikavkaz, October, 16–18, 2013]. Vladikavkaz, 2013a, pp. 121–126. (in Russian).

11. Zaalishvili V.B., Dzhgamadze A.K., Gogichev R.R. O sozdanii kart inzhenerno-geologicheskogo raionirovaniya naselennyh punktov Respubliki Severnaya Osetiya-Alaniya, kak osnovy seismicheskogo mikroraiionirovaniya [On the creation of maps of engineering-geological zoning of settlements of the Republic of North Ossetia-Alania, as the basis for seismic microzoning]. Geologiya i geofizika Yuga Rossii, 2013, No. 3, pp. 20–28. (in Russian).

12. Zaalishvili V.B., Dzhgamadze A.K., Mel'kov D.A., Dzeranov B.V., Gabaraev A.F., Gabeeva I.L., Dzeboev B.A., Kanukov A.S., Shepelev V.D. Utochnenie inzhenerno-geologicheskikh uslovij territorii s pomoshh'yu mikrozeism (na primere naselennyh punktov Respubliki Severnaya Osetiya-Alaniya) [Clarification of engineering and geological conditions of the territory with the help of microseisms (on the example of settlements of the Republic of North Ossetia-Alania)]. Geologiya i geofizika Yuga Rossii, 2015, No. 1, pp. 5–20. (in Russian).

13. Zaalishvili V.B., Kanukov A.S., Arhireeva I.G., Gabaraev A.F. Razrabotka modulya rascheta social'nyh i ekonomicheskikh poter' ot zemletryaseniya v informacionnoj sisteme obespecheniya gradostroitel'noj deyatel'nosti RSO-Alaniya [Development of a module for calculating social and economic losses from an earthquake in the information system for the provision of urban development activities in the Republic of North Ossetia-Alania]. Trudy III mezhdunarodnoj konferencii «Opasnye prirodnye i tehnogennye geologicheskie processy na gornyh i predgornyh territoriyah Severnogo Kavkaza», Vladikavkaz, 19–22 sentyabrya 2012 [[Procs. of III International conference "Dangerous natural and Technogenic Processes on mountainous and piedmont territories of Caucasus, Vladikavkaz, September, 19–22, 2012]]. Vladikavkaz, 2012 pp. 241–246. (in Russian).

14. Mamysheva E.G., Zagorujko A.E. Obzor tehnologicheskikh platform dlya formirovaniya ISOGD [Overview of technological platforms for the formation of ISOGD (information system for urban development)] Upravlenie razvitiem territorii, 2010, No. 3. (in Russian). Available at: <http://www.gisa.ru/69931.html> (accessed 8.08.2017).

15. SNIIP II-7-81\*. Stroitel'nye normy i pravila. Stroitel'stvo v seismicheskikh raionah [SNIIP II-7-81\*. Building codes and regulations. Construction in seismic regions]. Moscow, Minstroj Rossii, 2000. (in Russian).

16. Introduction to SSL. Available at: [https://developer.mozilla.org/en/Introduction\\_to\\_SSL](https://developer.mozilla.org/en/Introduction_to_SSL) (accessed 18.10.2016). (in Russian).

17. Styled Layer Descriptor profile of the Web Map Service Implementation Specification. Version: 1.1.0 (revision 4). OGC Implementation Specification OGC 05-078r4. Ed. Dr. Markus Lupp. Date: 2007-06-29. 2007. 53 p. Available at: [http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact\\_id=22364](http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=22364) (accessed 08.08.2017).

18. The OGC's Role in Government & Spatial Data Infrastructure Available at: [http://www.opengeospatial.org/domain/gov\\_and\\_sdi](http://www.opengeospatial.org/domain/gov_and_sdi) (accessed 08.08.17 g.).

УДК 551.311.313

## СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКИЕ И ПЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ СКРЫТОГО КОЛЧЕДАННО- ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ОРУДЕНЕНИЯ БУРОНСКОГО ТИПА (ГОРНАЯ ОСЕТИЯ)

© 2017 А. М. Колесникова, к.г.-м.н., Х. О. Чотчаев

Геофизический институт – филиал ФГБУН ФНЦ «Владикавказский научный центр Российской академии наук», Россия, 362002, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: cgi\_ras@mail.ru

Детальные полевые наблюдения и петрохимические исследования позволили выделить вблизи Буронского колчеданно-полиметаллического месторождения среди глубоко полиметаморфизованных пород буронской толщи реликтовые эффузивные породы, превращенные во вторичные кварциты (зоны выщелачивания) и сменяющиеся рассланцованными зеленокаменно измененными порфиритоидами, переслаивающимися с обеленными кварцево-серицитовыми и кварцево-хлоритовыми сланцами и гидротермально измененными кварцитами-фельзитами.

В кварцитах, представляющих почти мономинеральную кварцевую породу (содержание кварца в них составляет 75-80%), удалось выявить реликтовую порфириковую структуру – таблитчатые вкрапленники плагиоклаза полностью замещены кварцем, при четком сохранении их первоначальной таблитчатой формы. Также удалось выявить бластопорфириковую структуру порфиритоидов с реликтовой микролитовой структурой основной массы. Ниже дается подробная характеристика стратиграфического положения этих древних эффузивных пород в составе буронской толщи, их петрологических и петрохимических особенностей.

Пространственная связь Буронского колчеданно-полиметаллического месторождения с обеленными кварцево-серицитовыми сланцами, с зонами вторичных кварцитов и зонами рассланцованных зеленокаменно измененных порфиритоидов очевидна, и может служить признаком при поисках и разведке колчеданно-полиметаллического оруденения буронского типа и поставить его в один ряд с колчеданными месторождениями восточного склона Урала и северо-западного Кавказа типа Урупа.

**Ключевые слова:** буронский тип скрытого колчеданно-полиметаллического оруденения, структурно-тектонические, петрологические признаки дифференцирования, полиметаморфизованные породы буронской свиты, реликтовые эффузивные породы, вторичные кварциты.

Буронское рудное поле приурочено к Северной подзоне Бокового хребта Большого Кавказа; сложено породами, относящимися к различным формациям, составляющим в совокупности буронскую толщу, состоящую из кристаллических сланцев, гнейсов, кварцитов, амфиболитов, порфиритоидов.

С севера и с юга эти породы прорываются гранитоидами кассарского типа – с юга это Кассарский гранитный массив, с севера – Нузальский гранитный массив; на западе свита контактирует с гранитоидами г. Саухох, на востоке – с Баддонскими гранитами.

По мнению многих исследователей, породы буронской толщи находятся в мульде не вскрытого эрозией батолита [Варданянц, 1935; Баклаков, 1957; Афанасьев, 1970], простираются в широтном направлении на протяжении 12 км с севера на юг. В разрезе р. Ардон их мощность составляет 3 км.

Буронское месторождение расположено в пределах Бурон-Бадской антиклинали, являющейся по отношению к Главному хребту структурой второго порядка.

Бурон-Бадская антиклиналь с юга ограничена глубинным долгоживущим Кассаро-Дарьяльским (Цейдонским) разломом, с севера – Нузальским надвигом субширотного простирания, по которому породы рудного поля имеют тектонический контакт с развитыми севернее нижнеюрскими отложениями Штулу-Харесской депрессии. Нижний этаж Бурон-Бадской антиклинали сложен гранитоидами и породами буронской толщи, верхний – нижнеюрскими вулканогенными породами.

Антиклиналь осложнена Пашаевским разломом, Бурон-Бадскими сбросом и взбросом, Бадаштинским взбросом и другими тектоническими нарушениями. Азимут простирания шарнира антиклинали  $110^\circ$ , погружается – на восток под углом  $40^\circ$ .

Породы буронской толщи интенсивно дислоцированы, собраны в изоклинальные складки с флексуобразными перегибами, часто – пloyчатые. Простирание пород буронской толщи широтное. Породы претерпели многократный полиметаморфизм. Сохранилось очень мало признаков, позволяющих определить первоначальную природу этих пород.

По вопросу о возрасте пород буронской толщи нет единого мнения. По мнению Г. Д. Афанасьева, породы буронской свиты и южной (кассарской) метаморфической толщи в совокупности с гранитоидами характеризуют герцинский этап развития Главного хребта, захватывающий период 360-240 млн. лет – от нижнего девона до перми.

Породы «полиметаморфизованные»; они претерпели на разных этапах метаморфизирующее воздействие различных факторов – это и многократные проявления интрузивного вулканизма, прежде всего плагиогранитов уруштенского комплекса (средний девон – карбон 370-360 млн. лет) и последующих этапов гранитизации и метаморфизирующее воздействие в осевой зоне различных тектонических циклов, сформировавших Кавказскую складчатую область и др.

При анализе и выделении ступеней метаморфизма мы исходили из положения, что метаморфизм происходит в подвижной среде перемещающихся горных масс, магматических и газовых потоков при складкообразовании, обуславливающих перепады и неравные давления, температуры в разных зонах [Семененко, 1966; Соколов, 1970].

Многие исследователи отмечают постепенные взаимные переходы между породами, входящими в состав буронской толщи, метаморфизованными в различной степени.

Считаем, что только степень метаморфизма пород, не может служить определяющим критерием их возраста.

Спорным является также вопрос о первичной природе пород буронской свиты, ввиду их глубокого метаморфизма.

Многие исследователи считают, что первичные породы буронской свиты были терригенно-осадочными [Варданянц, 1935; Баклаков, 1956; Давыдов, 1980; Ольховский, Тибилев, 1998].

Нами пересчитаны химические анализы различных типов пород буронской свиты на химические коэффициенты и изохимические ряды по методам Нигли и акад. А. П. Семененко, что вместе с петрографическими исследованиями позволило подразделить породы буронской свиты по происхождению на пара- и орторыды.

К породам параряда относятся слюдистые сланцы, составляющие большую часть пород буронской свиты – это кварц-альбит-хлоритовые, кварц-спессартит-хлоритовые и другие разновидности сланцев; парагнейсы и др.; к породам орторяда относятся гнейсы, амфиболиты, порфиритоиды, кварциты.

Чрезвычайно интересными породами буронской свиты являются кварциты, изучению которых уделялось недостаточное внимание. В наиболее полном описании их отмечалось лишь, что пласты и линзы кварцитов переслаиваются с другими породами буронской свиты; что они имеют существенно кварцевый состав; в небольшом количестве в них присутствуют мусковит, хлорит, альбит, альмандин; имеют гранобластовую структуру [Тибилев, 1998].

Кварциты отмечаются в северной части буронского рудного поля, в 200 м севернее месторождения, где они образуют отвесные труднодоступные скалы, обрывающиеся к р. Ардон, описания их лаконичны (рис. 1).

Они издавна выделялись в составе буронской толщи как кварциты, гнейско-кварциты. Нам впервые удалось выявить их принадлежность к вторичным кварцитам, представляющим гидротермально-метасоматически переработанные кислые эффузивные породы, обнаруживающие под микроскопом реликтовую порфириковую структуру (рис. 5, 6).

Макроскопически это скрытокристаллические породы белого цвета, массивной текстуры, представляющие, по-видимому, зоны выщелачивания и состоящие преимущественно из кварца (75-80%), серицита, хлорита, эпидота.

Под микроскопом они обнаруживают гетеробластовую, гломеробластовую, роговиковую, реликтовую порфириковую структуры.

Края зерен кварца зазубренные, величина зерен различная – размеры их на небольшом участке изменяются от 0,2-0,6 до 1-2 мм.

Более крупнозернистый кварц замещает вкрапленники плагиоклаза, сохраняя, при замещении, их первоначальную таблитчатую форму (рис. 2, 6), что является определяющим фактором их первичной эффузивной природы. В большинстве случаев переходы между крупно- и мелкозернистыми агрегатами кварца постепенные.

Замещение кварцем происходит также в виде пятен и прожилков с нечеткими границами. Структура при замещении кварцем основной массы пород диабластовая, обусловленная проникновением зерен кварца друг в друга.

Выявлено, что к северо-востоку и вверх по гребню к вершине Бурон-вцек кварциты сменяются рассланцованными зеленокаменно измененными порфиритоидами, перемежающимися со слюдисто-хлоритовыми сланцами и гнейсами буронской свиты, при общем согласном залегании их.

На высоте около 1800 м, выдерживая согласное залегание, эти породы буронской толщи, сменяются массивными кварцитовидными породами – кварцитами-фельзитами. Последние в апикальной части Бурон-Бадской антиклинали над Буронским месторождением образуют скальные выходы высотой более десятка метров. Макроскопически это массивные скрытокристаллические породы белого цвета. Под микроскопом наблюдается, что они на больших площадях гидротермально-метасоматически изменены; в них интенсивно проявлен альбито-кварцевый метасоматоз, с сохранением реликтовых структур эффузивных пород – фельзитов. Простираение этих пород широтное, падение на север под углом 25°; участками в них наблюдается микроплойчатость (рис. 3, 4).

«Широкое региональное окварцевание, захватившее целые горизонты с превращением их в породы типа яшмо-кварцитов, генезис которых пока не ясен» отмечает [Лебедев, 1950].

Нами выявлен нижний контакт фельзитов, осложненный надвигом и крупно глыбовыми осыпями фельзитов; – наблюдается согласное переслаивание фельзитов с кварцево-хлоритовыми сланцами. Также выявлено, что верхний контакт фельзитов с нижнеюрскими  $J^1$  конгломератами несогласный; полимиктовые песчаники, находящиеся в основании нижнеюрских конгломератов, несогласно отлагались на древней линейной коре выветривания фельзитов, несогласно перекрывая последние.

Подробно фельзиты – кварциты Буруна рассматриваются в статье «Стратиграфическое положение петрографические и петрохимические особенности фельзитов Буруна (Горная Осетия)» [Колесникова, 2013].



Рис. 1. Отвесные скалы кварцитов внизу гребня, в 200 метрах севернее Бурунского месторождения

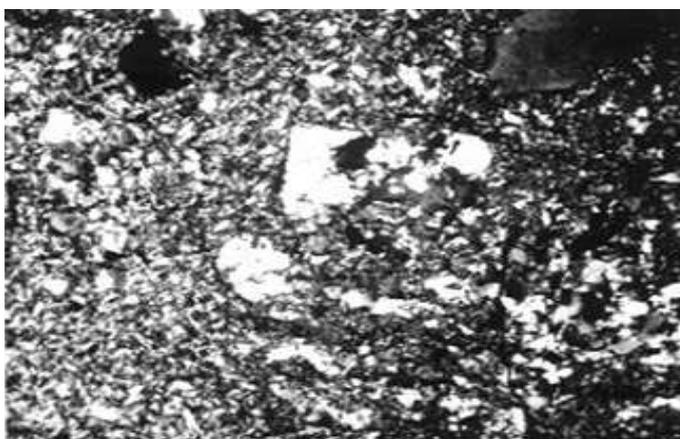


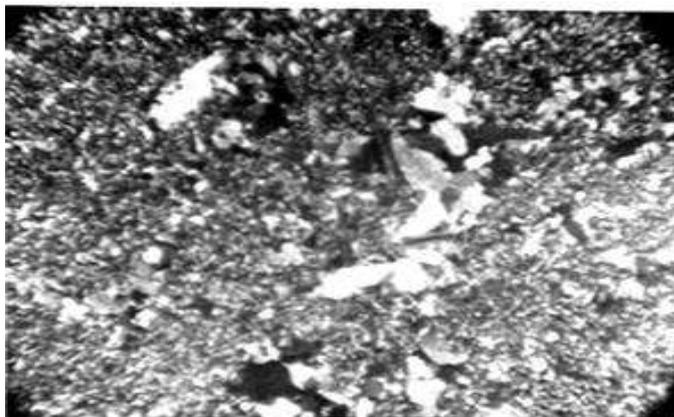
Рис. 2. Кварциты Буруна (внизу). Структура бластопорфировая

В центре псевдоморфное замещение кварцем вкрапленника плагиоклаза. Николи скрещены, х80.

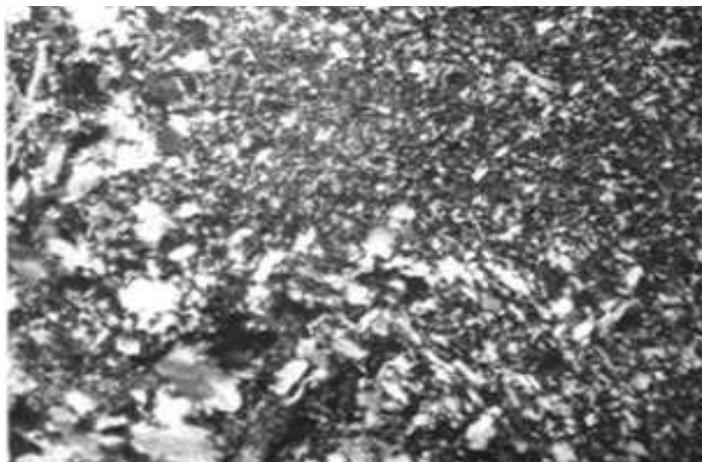


*Рис. 3. Гидротермально-метасоматически изменённые фельзиты*

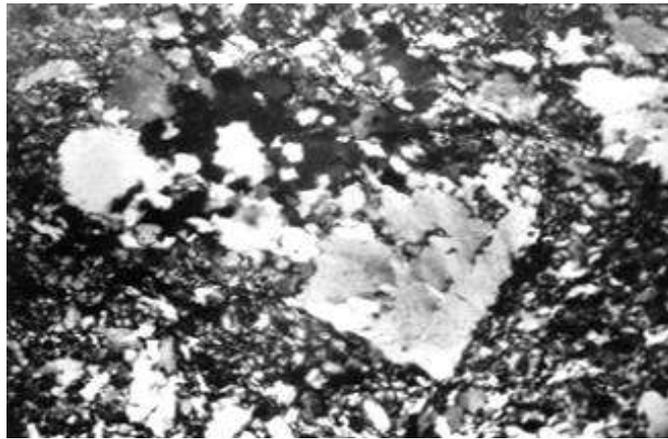
Относительно крупнозернистый альбито-кварцевый материал образует постепенные переходы к тонкозернистым метасоматически переработанным участкам существенно кварцевого состава. Структура гломобластовая. Николи скрещены, x100.



*Рис. 4. Гидротермально-метасоматически изменённый фельзит. Характер метасоматоза – альбито-кварцевый. Николи скрещены, x100*



*Рис. 5. Кварциты Буруна (в нижней части гребня). Структура гетеробластовая. Николи скрещены, x80*



*Рис. 6. Кварциты Бурана (в нижней части гребня). Структура порфиробластовая, в центре таблитчатый вкрапленник плагиоклаза, замещённый кварцем. Николи скрещены,  $\times 100$*

Как отмечалось выше, по направлению к северо-востоку от скал кварцитов, обрывающихся к р. Ардон, вверх по гребню к вершине г. Бурон-взек, эти кварциты перемежаются с кварцево-хлоритовыми сланцами и пропицитизированными порфиритоидами, при согласном их залегании. Порфиритоиды рассланцованы согласно с общим направлением расслацевания пород буронской свиты. Макроскопически – это породы зеленовато-серого цвета, трудно отличимые от вмещающих их кварц-хлоритовых сланцев. Участками они обеленные и заохренные. Под микроскопом они обнаруживают реликтовую порфировую структуру – реликты вкрапленников ориентированы по направлению расслацевания пород, основная масса перекристаллизована, имеет лепидобластовую, гранобластовую, реликтовую микролитовую структуры. Часть вкрапленников сохранили свою первоначально таблитчатую кристаллографически правильную форму, размеры их колеблются в пределах 1,2 x 0,5-1,2 x 1,0 мм; в них наблюдается полисинтетическое двойникование. Кроме таблитчатых кристаллов плагиоклаза, наблюдаются и более мелкие брусковидные лейсты их, имеющие размеры по удлинению 0,2 x 0,1 мм, в поперечных срезах дающие квадратные сечения. По составу крупные вкрапленники плагиоклаза соответствуют андезину № 33-40. Имеют следующую ориентировку оптической индикатрисы  $P - Ng = 24^\circ$ ,  $P - Np = 70^\circ$ ,  $P - Np = 78^\circ$ ;  $D - 68^\circ$ ,  $D - Nm = 23^\circ$ ,  $D - Np = 83^\circ$ ; закон двойникования  $[100]/(010)$  альбит-эстерельский,  $2V = +89^\circ$  – андезин № 40.

Ближайшие результаты получены и при измерении плагиоклазов на 5-тиосном Федоровском столике –  $C: Np; I = Ng; H = Nm; \lambda m = 74^\circ \varphi = 4^\circ$  – андезин № 33, закон двойникования альбитовый.

Более мелкие лейсты плагиоклаза основной массы по составу соответствуют плагиоклазу № 30, имеют  $Np^1: (010) = +15^\circ$ .

Вкрапленники плагиоклаза в значительной мере замещены вторичными минералами – альбитом, хлоритом, серицитом, эпидотом, соссюритом.

Основная масса полностью серицитизирована и рассланцована, приобрела лепидобластовую структуру. В виде обособлений, имеющих неправильную форму, прерывистых прожилков, в основной массе встречаются скопления карбонат-хлорит-эпидотового состава – процесс среднетемпературной пропицитизации.

Первичные породы их по составу соответствовали андезитовому или дацитовому порфириту (рис. 7, 8).

Характерна пространственная связь почти мономинеральных кварцитов (с реликтовой порфировой структурой) и пропилитизированных порфиритоидов. Первые, возможно, являются монокварцевой формацией вторичных кварцитов и возникли за счет постмагматических процессов выщелачивания; впоследствии они претерпели интенсивный метаморфизм. Кислые растворы, которые выщелачивали и создавали зоны монокварцитов, просачивались по направлению к внешней зоне, нейтрализовывались и приобретали щелочной характер; под действием этих растворов дацитовые порфириты были пропилитизированы, что выразилось в альбитизации, эпидотизации и хлоритизации вкрапленников и основной массы, и выделении вторичного кварца и рудных минералов – сульфидов.

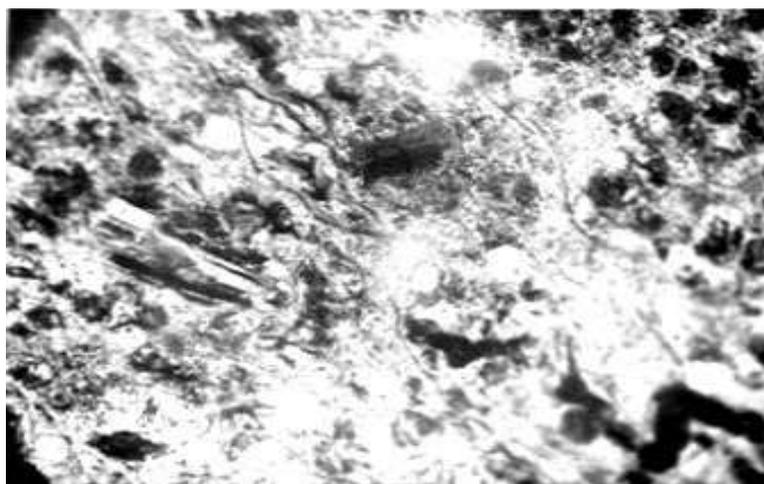


Рис. 7. Рассланцованные порфиритоиды буронской свиты Николи скрещены. Увел. 70

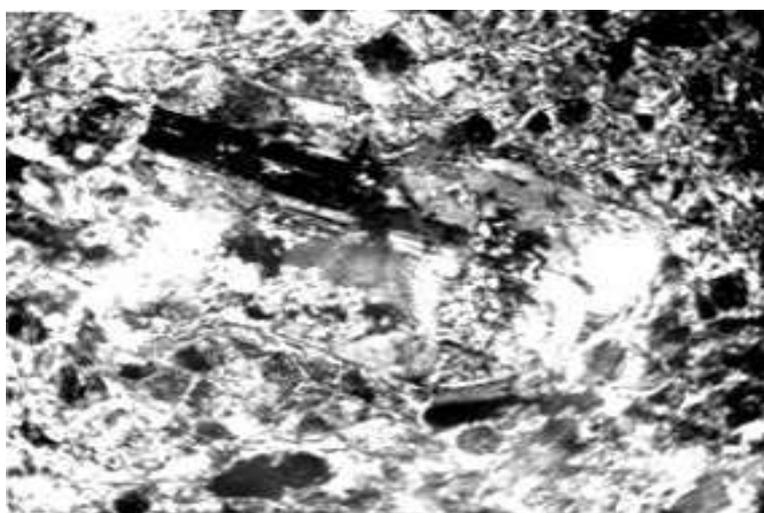


Рис. 8. Рассланцованные пропилитизированные порфиритоиды буронской свиты с новообразованиями альбита по вкрапленнику плагиоклаза. Николи скрещены. Увел. 70

Выявленные эффузивные породы являются, по-видимому, эффузивными аналогами, выделенных Г. Д. Афанасьевым, прагиогранитов Уруштенского комплекса, которые с рудами буронского типа проявляют комагматичность – в них выше кларковых содержатся олово, кобальт, висмут и др.

Руды Буронского месторождения являются редкометалльным полиметаллическим сырьем. В них содержатся олово – 0,186%, кобальт – 0,03%, индий – 0,013%,

галлий – 0,0007%, молибден – 0,003%, ванадий – 0,005%, висмут – 0,014%, сурьма – 0,011%, платина – до 2 г/т, золото – 1,23 г/т, серебро – 30-40 г/т.

В тяжелой фракции протолок валовой технологической пробы фельзитов обнаружены знаки пирротина, галенита, сфалерита, ильменита, халькопирита, арсенипирита, флюорита, самородного свинца.

Колчеданно-полиметаллические месторождения буронского рудного поля образовались в несколько этапов.

К первому этапу относится серно-колчеданная формация руд, с признаками, типичными для колчеданных месторождений. Основным минералом является пирит. Характерно, что при структурном травлении в порфириобластах пирита выявляются колломорфная и глобулярная структуры. Этот этап оруденения проявляет генетическую и пространственную связь с выявленными в составе буронской толщи древними эффузивными породами.

Второй этап оруденения, связанный с контактовым воздействием кассарских гранитов, представлен высокотемпературной минералогической ассоциацией – магнетит-касситерит-арсенипирит, наложенной на серно-колчеданные руды.

Завершающим был третий этап, в котором происходило отложение полиметаллов – сульфидов железа, цинка, меди и свинца.

Выявленные древние эффузивные породы в составе буронской толщи, их петрологические особенности в совокупности с отличительными признаками руд Буронского месторождения – линзообразной формой рудных тел, интенсивным метаморфизмом руд и вмещающих пород при согласном их залегании, существенно колчеданный состав руд и другие текстурно-структурные особенности руд и вмещающих пород, позволили нам оруденение буронского типа поставить в один ряд с колчеданными месторождениями северо-западного Кавказа типа Урупа и восточного склона Урала.

Главное рудное тело Урупского месторождения, залегающее в толще вулканогенно-осадочных пород, также представляет собой пластообразную залежь или несколько сближенных пластов, разделенных прослоями туфов и кремнистых сланцев. Оруденение на месторождении приурочено к толще палеозойских пород, представленных дислоцированными метаморфизованными вулканогенными породами нижнего и среднего девона.

Колчеданные месторождения Урала пространственно и генетически связаны с подводно-морскими вулканогенными образованиями, и представляют собой продукты сложного взаимодействия трёх основных компонентов: гидротермальных растворов, морской воды и вмещающих пород. Формирование колчеданных месторождений происходило с раннего архея непрерывно в течение геологической истории.

Перспективными на обнаружение оруденения буронского типа являются лишь породы нижнего структурного этажа, также и тектонические структуры, сформировавшиеся в результате проявления герцинского орогенического цикла.

Пространственное выявление и детальное изучение гидротермально-метасоматически измененных до вторичных кварцитов, фельзитов и пропилитов, представляющих древние эффузивные породы нижнего структурного этажа, имеет большой практический интерес. Эти породы являются околорудными метасоматитами, с ними не только пространственно, но генетически связано колчеданно-полиметаллическое оруденение буронского типа и они могут быть использованы как поиско-

вый признак при поисках и разведке колчеданно-полиметаллического оруденения буронского типа.

Пространственная и генетическая связь описанных мономинеральных кварцитов и пропилилизированных порфиритоидов с оруденением очевидна.

Заслуживают первостепенного внимания эффузивные породы буронской свиты, развитые к северо-востоку от Буронского месторождения, где среди пропилилизированных порфиритоидов отмечаются обеленные, измененные до кварцево-серицитовых сланцев, рассланцеванные, заохренные зоны. В совокупности эти породы идентичны породам, вмещающим рудные залежи Буронского месторождения, и могут являться поисковым признаком при поисках и разведке колчеданно-полиметаллического оруденения буронского типа.

Выявленные эффузивные породы являются, по-видимому, аналогами выделенных Г. Д. Афанасьевым, плагиогранитов Уруштенского комплекса, которые с рудами буронского типа проявляют комагматичность – в них выше кларковых содержатся олово, кобальт, висмут и др.

### Выводы

Пространственное выявление и детальное изучение древних эффузивных пород, гидротермально-метасоматически измененных до вторичных кварцитов, фельзитов и пропилитов, представляющих эффузивные породы нижнего структурного этажа, имеет большой практический интерес. Эти породы являются околорудными метасоматитами, с ними не только пространственно, но и генетически связано оруденение буронского типа и они могут быть использованы как поисковый признак выявления оруденения Буронского типа.

### Литература

1. Афанасьев Г. Д. Основные итоги изучения магматизма Большого Кавказа // Сб. «Проблемы металлогении и магматизма Большого Кавказа». – М.: Наука, 1970.
2. Баклаков М. С. Геологическое строение и перспективная оценка касситерито-колчеданных месторождений буронского типа и их положение в структуре Центрального Кавказа // Тр. Северо-Кавказского горно-металлургического института. – 1957. – № 15. – С. 1215.
3. Варданыц Л. А. Горная Осетия в системе Центрального Кавказа // Тр. ЦНИГРИ, вып. 25, ОНТИ – 1935.
4. Давыдов К. В. Отчет по теме: «Составление крупномасштабных карт рудных полей Горной Осетии» // Отчет СОГРЭ. – Орджоникидзе. – 1980.
5. Колесникова А. М. «Стратиграфическое положение, петрографические и петрохимические особенности фельзитов Бурона (Горная Осетия)» // Труды СКГМИ. – Владикавказ. – 2013. – С. 15-26.
6. Колесникова А. М. О гидротермальных кварцитах Буронского рудного поля (Северная Осетия) // Изв. АН СССР, сер. геол. – 1968. – № 7.
7. Лебедев А. П. Юрская вулканогенная формация Центрального Кавказа // Труды Института геологических наук. – М.: Издательство Академии наук СССР, 1950. – 183 с.
8. Ольховский Г. П., Тибилев С. М. Отчет по теме: «Составление специализированной геологической основы масштаба 1:50000 для прогнозно-металлогенической карты Горной Осетии» // Фонды «Севосгеологоразведка». – Владикавказ. – 1998.

9. Семенов Н. П. Кн. *Метаморфизм подвижных зон.* – Киев: Наукова думка, 1966.

10. Соболев В. С. *Учение о метаморфических фациях* // Сб. «Фации метаморфизма», М.: Недра, 1980.

## STRUCTURAL-TECTONIC AND PETROLOGICAL SIGNS OF LATENT PYRITE-POLYMETALLIC MINERALIZATION BOLONSKOGO TYPE (MOUNTAINOUS OSSETIA)

© 2017 A. M. Kolesnikova, Sc. Candidate (Geol.-Min.), H. O. Chotchaev

Geophysical institute VSC RAS, Russia, 362002, RNO-Alania, Vladikavkaz, Markov Str., 93 a, e-mail: cgi\_ras@mail.ru

Detailed field observations and petrochemical studies allowed to identify close Bolonskogo pyrite-polymetallic deposits among deep polymetamorphic rocks boronski strata relic effusive rocks, converted into secondary quartzites (zone of leaching) and changing russiantvonline Greenstone changed porpitidae, whitewashing interstratified with quartz-sericite and quartz-chlorite schists and hydrothermally altered quartzite-felsite.

In quartzite, representing a monomineralic quartz rock (silica content is 75-80%), it was possible to identify relict porphyritic structure – tabular phenocrysts of plagioclase are completely replaced by quartz, with strict preservation of its original tablet form. Also able to identify blastoporphyratic structure porphyroids microlites with relict structure of the main mass. Below is a detailed description of the stratigraphic position of these ancient effusive rocks within boronski strata, and petrological and petrochemical peculiarities.

Spatial relationship Bolonskogo pyrite-polymetallic deposits with whitewash quartz-sericite schists, with zones of secondary quartzite and Greenstone areas RussianTown modified porphyroids obvious, and can serve as a basis in prospecting for pyrite-polymetallic mineralization Bolonskogo type and put it on a par with the pyrite deposits of the Eastern slope of the Urals and North-Western Caucasus the type of Urup.

**Keywords:** boronski type hidden pyrite-polymetallic mineralization, structural-tectonic, petrologic signs of differentiation, polymetamorphism breed boronski Suite, relict volcanic rocks, secondary quartzite.

### References

1. Afanas'ev G.D. *Osnovnye itogi izucheniya magmatizma Bol'shogo Kavkaza* [The main results of the study of magmatism in the Greater Caucasus]. *Problemy metallogenii i magmatizma Bol'shogo Kavkaza*. Moscow, Nauka Publ., 1970. (in Russian).

2. Baklakov M.S. *Geologicheskoe stroenie i perspektivnaya ocenka kassiterito-kolchedannyh mestorozhdenij buronskogo tipa i ih polozhenie v strukture Central'nogo Kavkaza* [Geological structure and perspective evaluation of cassiterite-pyrite deposits of the Buron type and their position in the structure of the Central Caucasus] *Trudy Severo-Kavkazskogo gorno-metallurgicheskogo instituta*, 1957, No. 15, pp. 1215. (in Russian).

3. Vardanjan L.A. *Gornaya Osetiya v sisteme Central'nogo Kavkaza* [Mountainous Ossetia in the system of Central Caucasus]. *Trudy CNIGRI*, 1935, Issue 25. (in Russian).

4. Davydov K.V. *Otchet po teme: «Sostavlenie krupnomasshtabnykh kart rudnykh polej Gornoj Osetii»* [Report on the topic: "Drawing up large-scale maps of ore fields of Mountainous Ossetia"]. *Ordzhonikidze*, 1980. (in Russian).

5. Kolesnikova A.M. Stratigraficheskoe polozhenie, petrograficheskie i petrohimicheskie osobennosti fel'zitov Burona (Gornaya Osetiya) [Stratigraphic position, petrographic and petrochemical features of Burzon felzites (Mountainous Ossetia)]. Trudy SKGMI, 2013, pp. 15–26. (in Russian).

6.. Kolesnikova A.M. O gidrotermal'nyh kvarcitah Buronskogo rudnogo polya (Severnaya Osetiya) [On the hydrothermal quartzites of the Buronsky ore field (North Ossetia)]. Izvestiya AN SSSR, ser. geol., 1968, No. 7. (in Russian).

7. Lebedev A.P. Yurskaya vulkanogennaya formaciya Central'nogo Kavkaza [Jurassic volcanogenic formation of the Central Caucasus]. Trudy Instituta geologicheskikh nauk. Moscow, Izdatel'stvo Akademii nauk SSSR, 1950. 183 p. (in Russian).

8. Ol'hovskij G.P., Tibilov S.M. Otchet po teme: «Sostavlenie specializirovannoj geologicheskoy osnovy masshtaba 1:50000 dlya prognozno-metallogenicheskoy karty Gornoj Osetii» [Report on the topic: "Creation of a specialized geological basis of scale 1: 50000 for the forecast-metallogenic map of Mountainous Ossetia"] Vladikavkaz, archive «Sevosgeologorazvedka», 1998. (in Russian).

9. Semenenko N.P. Metamorfizm podvizhnyh zon [Metamorphism of mobile zones]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1966. (in Russian).

10. Sobolev V.S. Uchenie o metamorficheskikh faciayah [The doctrine of metamorphic facies]. «Ficii metamorfizma». Moscow, Nedra Publ., 1980. (in Russian).

УДК 551

## СЛЕДЫ СИЛЬНОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ В СРЕДНЕВЕКОВОМ ГОРОДЕ ФАНАГОРИЯ НА ТАМАНСКОМ ПОЛУОСТРОВЕ

© 2017 А. Н. Овсяченко<sup>1</sup>, к.г.-м.н., А. М. Корженков<sup>1</sup>, д.г.-м.н., Р. Н. Вакарчук<sup>1</sup>,  
А. В. Горбатиков<sup>1</sup>, к.ф.-м.н., А. С. Ларьков<sup>1</sup>, Е. А. Рогожин<sup>1, 2</sup>, д.г.-м.н.,  
А. И. Сысолин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, Россия, 123995, г. Москва, ул. Б. Грузинская, д. 10, стр. 1, e-mail: ovs@ifz.ru;

<sup>2</sup>Геофизический институт – филиал ФГБУН ФНЦ «Владикавказский научный центр Российской академии наук», Россия, 362002, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а

Руины хорошо изученного древнего города Фанагория предоставили уникальную возможность для восстановления неизвестной ранее страницы сейсмической истории Таманского полуострова. На основе собранных геологических, геофизических и археосейсмологических данных выдвинута гипотеза о гибели средневекового города Фанагория в результате катастрофического землетрясения в X веке. Город оказался прямо в месте выхода очага сильнейшего (9-10 баллов по шкале MSK-64) землетрясения на поверхность, связанного с Фанагорийской флексурно-разрывной зоной.

**Ключевые слова:** Керченско-Таманский регион, оценка сейсмической опасности, активные разломы, палеосейсмология, археосейсмология, историческая сейсмология.

### Введение

Несмотря на современное сейсмическое затишье, Керченско-Таманский регион отличается высокой тектонической активностью. Она находит выражение, прежде всего, в разнообразных деформациях молодых отложений и форм рельефа, часто со следами сильных землетрясений относительно недалёкого прошлого. Для выявления, датирования и параметризации следов сильных землетрясений нами были использованы методы палеосейсмологии. Богатейшая материальная история и часто удивительная сохранность памятников древности самых различных эпох, дала возможность для широкого использования в рассматриваемом регионе методов архео- и исторической сейсмологии. Применение перечисленных методов позволяет последовательно восстанавливать страницы сейсмической истории региона, что является фундаментальной основой для оценки реальной сейсмической опасности.

### Методы исследований

Палеосейсмологический подход основан на том, что сильнейшие землетрясения далёкого, часто доисторического прошлого оставляют на поверхности геологические следы – палеосейсмодислокации [Флоренсов, 1960; Солоненко, 1962]. Это положение имеет фундаментальное значение, т.к. по следам древних землетрясений возможно выявление потенциальных сейсмических очагов будущего. Основная задача исследований сводится к выявлению и изучению всех возможных следов сейсмогенной активизации в молодых отложениях и формах рельефа – первичных сеймотектонических разрывов, отражающих выход очага сильного землетрясения на поверхность, оползней, обвалов и др. [Палеосейсмология, 2011; Рогожин, 2012].

В настоящее время, помимо палеосейсмологических, активно развиваются методы архео- и исторической сейсмологии, направленные на выявление и параметризацию сейсмических событий путём анализа архитектурных и литературных памятников древности. Распознавание сейсмической природы повреждений архитектурных памятников наиболее достоверно при выявлении преимущественно ориентированного обрушения и деформирования строительных элементов. Систематические наклоны, выдвигания, обрушения, повороты элементов древних строительных конструкций, характерные для стен определенных простираний, представляют собой кинематические индикаторы характера деформаций [Korzhnikov, Mazor, 1999; Корженков, Мазор, 2001 и др.].

Перечисленные методы направлены на выявление сейсмоактивных структур в рельефе, молодых отложениях и памятниках древности. Кроме них используются разнообразные геофизические методы, которые нацелены на изучение активных структур на разной глубине. Поверхность Керченского и Таманского полуостровов за последние несколько тысяч лет оказалась почти полностью изменена сельскохозяйственной и строительной деятельностью человека. Кроме этого, наряду с плохой обнаженностью, широким развитием оползней, мощным покровом плохо стратифицированных лёссовидных суглинков, регион отличается весьма активным моделированием рельефа абразионными и эрозионно-склоновыми процессами. Строение глубоких горизонтов осадочного чехла Керченско-Таманского региона сильно замаскировано мощной толщей пластичных глинистых отложений. В таких условиях особую важность приобретает комплексирование геологических и геофизических методов, что позволяет оценивать поведение приповерхностных структур на глубине и повышает надёжность получаемых результатов.

Глубинное строение Керченско-Таманского региона было изучено методом микросейсмического зондирования (ММЗ) [Рогожин и др., 2015]. ММЗ – разработанный и запатентованный в Институте физики Земли РАН метод пассивной сейсморазведки [Горбатиков и др., 2008]. В качестве зондирующего сигнала метод использует фоновые колебания поверхности Земли и искажение амплитудного поля при взаимодействии со скоростными неоднородностями земной коры. Распределения амплитудной реакции неоднородностей на облучение микросейсмическими волнами позволяют выявлять конфигурацию как субвертикальных, так и субгоризонтальных скоростных границ на глубину до 60 км. На полученных разрезах отрицательные значения вариаций амплитуд отвечают уменьшению скоростей поперечных сейсмических волн по сравнению со средней скоростной моделью региона, и наоборот. Уменьшения скоростей сейсмических волн связываются в первую очередь с пониженной прочностью и тектонической нарушенностью среды, и, во вторую очередь, с изменением состава пород. О тектонических смещениях также свидетельствуют резкие изменения гипсометрии скоростных границ в верхней части слоистого осадочного чехла.

Приповерхностное строение предполагаемых молодых тектонических деформаций изучено методом MASW (сейсморазведочный метод многоканального анализа поверхностных волн). Метод используется для изучения строения разреза на малых глубинах. Использование методики MASW совместно с геологическим изучением разреза в канавах и шурфах уже показало свою эффективность в исследованиях тектонических деформаций молодых отложений для решения задач по выявлению активных разломов и оценке сейсмической опасности [Овсяченко и др.,

2013]. Её основное преимущество заключается в относительной дешевизне, простоте и оперативности при проведении полевых измерений и возможности получения информации об упругих параметрах разреза до глубины 12-15 м (в зависимости от расстановки сейсмоприемников).

### Результаты исследований

За последние годы нами были собраны многочисленные свидетельства сейсмических разрушений древности на археологических памятниках самых разных эпох [Винокуров и др., 2015; Белик и др., 2016; Корженков и др., 2014, 2016а, б; 2017; Соколова и др., 2017]. По мере детализации полевых палеосейсмологических, геофизических и неотектонических исследований [Овсюченко и др., 2015; 2017а, б; Рогожин и др., 2015], всё более явно выступает основная особенность региона, которая заключается в обусловленности морфологии современных побережий зонами крупных активных разломов или складчато-разрывных зон (рис. 1).

Не представляет исключения и побережье Таманского залива. К востоку от залива на глубинном геофизическом разрезе ММЗ «Вышестеблиевская – Кучугуры» чётко выделяются близвертикальные зоны пониженной прочности, отвечающие разломам, обрамляющим опущенный блок Таманского залива с севера и юга (рис. 2). В приповерхностной части разреза наиболее отчетливо проявлена южная разломная граница, в четвертичных отложениях представленная Фанагорийской флек-

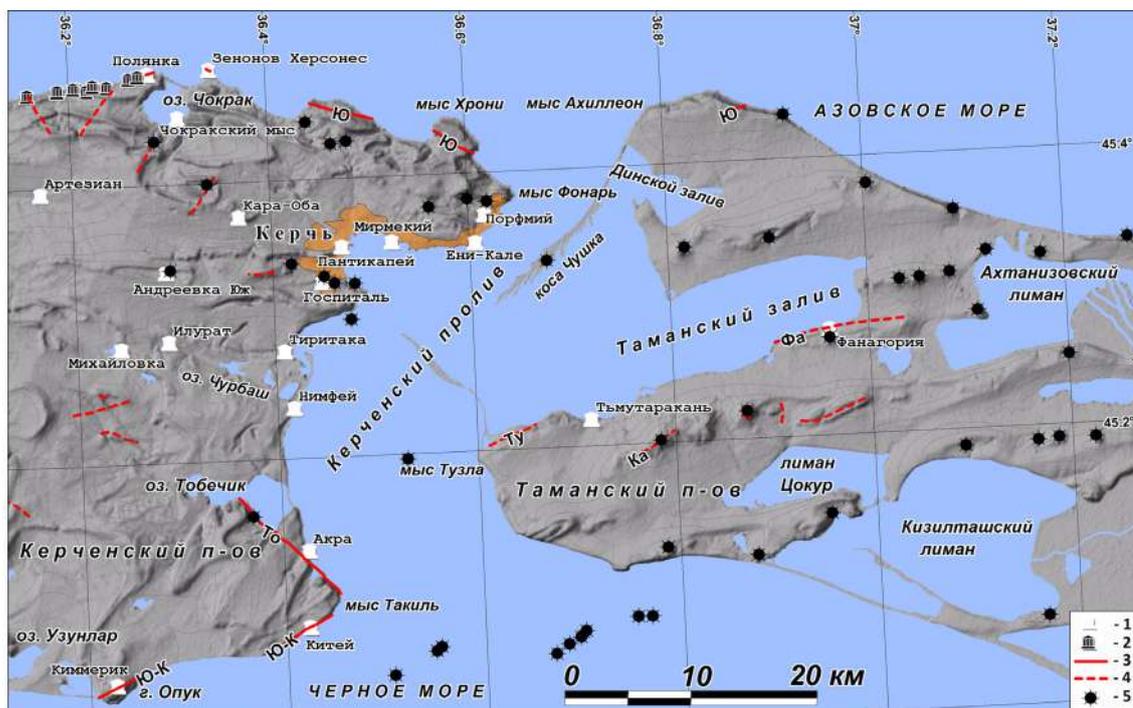


Рис. 1. Древние городища и активные разломы Керченско-Таманского региона.

1, 2 – памятники древности со следами землетрясений: 1 – изученные авторами с археосейсмологическим подходом; 2 – исследование которых планируется; 3 – активные разломы с изученными следами сеймотектонических подвижек прошлого (Ю – сегменты Южно-Азовского разлома; То – Тобечикский; Ю-К – сегменты Южно-Керченского разлома); 4 – активные разломы по структурно-геоморфологическим данным, связанные с грязевулканической деятельностью (Ка – Карабетовский) и флексуно-разрывные изгибы четвертичных отложений (Ту – Тузлинская, Фа – Фанагорийская); 5 – грязевые вулканы

сурно-разрывной зоной. Схожая структура, пока не изученная в приповерхностном разрезе, наблюдается в северной части профиля ММЗ. Фанагорийская зона вытянута вдоль южного берега Таманского залива и продолжается восточнее, в пределах полуострова. Западнее, в районе Тамани, она продолжается Тузлинской флексурно-разрывной зоной. В наблюдаемых разрезах четвертичных отложений эти структуры выражены изгибами слоёв, тогда как неогеновые осадки смяты в узкие антиклинальные складки, разорванные соскладчатыми взбросо-надвигами.

Фанагорийская флексурно-разрывная зона прослеживается в восточной части южного берега Таманского залива, где расположен известный древний город Фанагория. Здесь, в прибрежном обрыве можно наблюдать отмеченные ранее [Трифонов, Караханян, 2004] флексурные изгибы неогеновых и четвертичных слоёв и их погружение в сторону моря, т. е. опущенного блока Таманского залива. Западнее Фанагории, флексура выражена в песчано-глинистых и железорудных отложениях плиоценового возраста и покровных позднеплейстоцен-голоценовых суглинках (рис. 3). К востоку от Фанагории можно наблюдать изгиб позднеплейстоценовых лёссов, маркируемый прослоями ископаемых почв (рис. 4).

Наблюдаемые изгибы слоёв свидетельствуют о молодом (позднеплейстоцен-голоценовом) возрасте тектонических деформаций вдоль южного берега Таманского залива. Вопрос о тектонических движениях в позднем голоцене, в виду сильной пе-

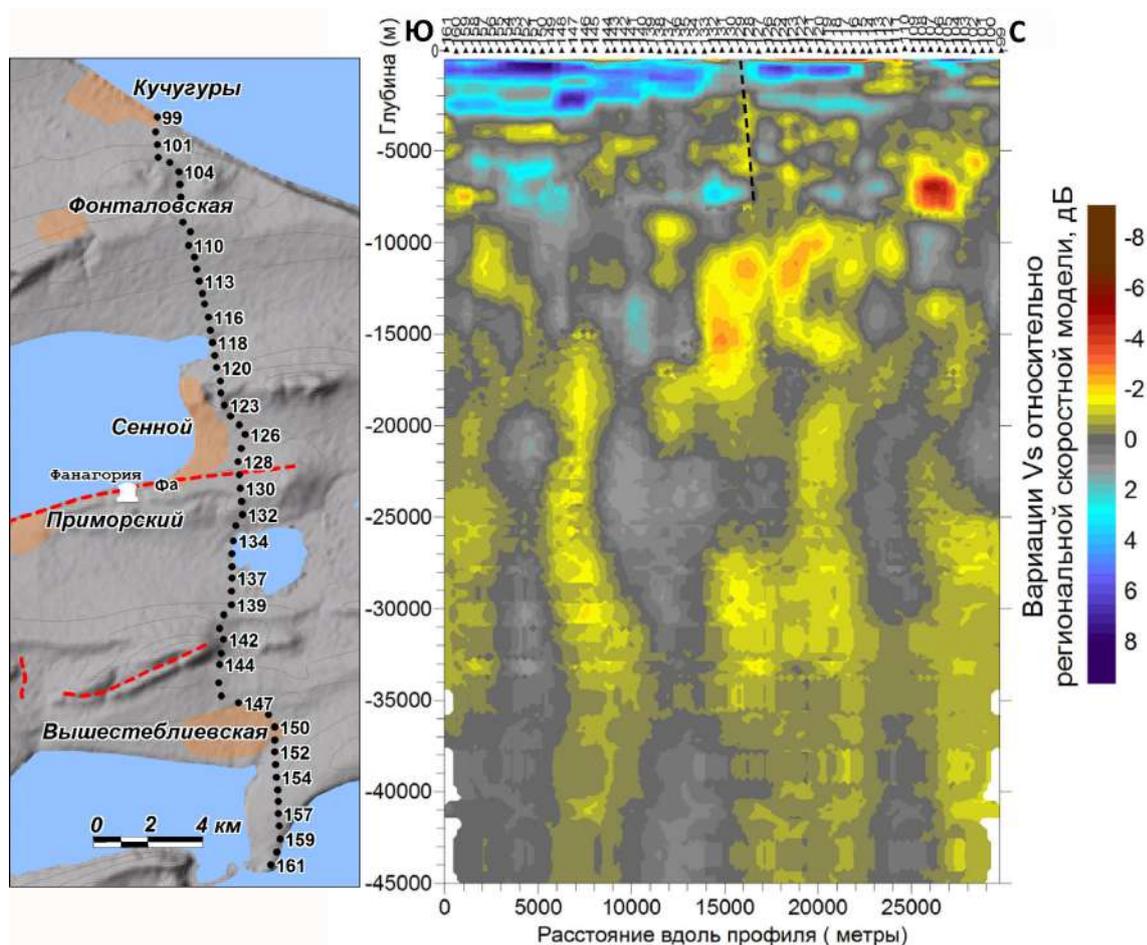


Рис. 2. Геофизический разрез ММЗ и положение точек измерений по профилю «Вышестеблиевская – Кучугуры». Штриховой линией на разрезе показана Фанагорийская флексурно-разрывная зона в недрах земной коры. На карте: Фа – Фанагорийская флексурно-разрывная зона.

реработки рельефа абразионной и человеческой деятельностью, на основании наблюдений только в покровных и морских четвертичных отложениях пока остается открытым. Однако, начало археологических раскопок на нижнем плато Фанагории в 2015 г. позволяет попробовать внести ясность в этот вопрос. Верхний слой средневекового города датируется IX-X вв. [Фанагория, 2015]. В это время Фанагория входила в состав Хазарского каганата.



*Рис. 3. Изгиб плиоценовых песчано-глинистых отложений и покровных суглинков к западу от Фанагории.*



*Рис. 4. Изгиб позднелейстоценовых лёссов к востоку от Фанагории.*

Нижнее плато городища представляет собой площадку позднеплейстоценовой морской террасы, почти целиком сложенной культурными слоями античности и средневековья. На происхождение площадки указывают древние абразионные уступы, обрамляющие плато с юга. Изгибы слоёв, наблюдаемые на западной и восточной окраинах плато, трассируются в его центральную часть.

На раскопе позднего средневекового города в пределах нижнего плато нами были выявлены следы значительных сейсмических разрушений. Прежде всего, нами был установлен излом материка – поверхности, на которой строились древние здания на нижней площадке (рис. 5). Хотя от древних каменных кладок времени Хазарского каганата остались лишь фундаменты и (в редких случаях) 1-2 слоя надфундаментной каменной кладки, отчетливо виден наклон остатков стен меридионального простирания в обе стороны от оси Фанагорийской флексуры (разлома?). Северная часть археологического раскопа вместе с остатками строений наклонилась на север, что как-бы естественно – по уклону рельефа и в соответствии с силами гравитации. В то же время, южная часть площадки – археологического материка наклонилась на юг. Этот наклон никак нельзя объяснить гравитацией, он произошел против уклона рельефа. В данном случае деформации всего археологического памятника имели место тектонические причины. Можно полагать, что здесь, на локальном участке произошло «вздутие» земной поверхности (образование вала сжатия) в пределах более протяженной линейной системы сейсмотектонических деформаций вытянутых вдоль берега Таманского залива.



Рис. 5. Излом древней площадки – археологического материка, на котором были построены древние постройки хазарского времени в Фанагории. По обе стороны от флексуры стены каменной кладки (в ёлочку) меридионального простирания систематически наклонилась на север и на юг. «+» – висячее крыло Фанагорийской флексурно-разрывной зоны (разлома?), «-» – лежащее (опущенное) крыло. Вид на восток.

Для изучения излома материка позднего средневекового городища на глубину, вдоль восточной окраины нижнего раскопа Фанагории были выполнены профильные геофизические исследования по методике MASW (сейсморазведочный метод многоканального анализа поверхностных волн) (рис. 6, 7).

В средней части полученного скоростного разреза (рис. 7) вдоль всего профиля прослеживается высокоскоростной слой, вещественная идентификация которого затруднена в силу низкой изученности геологического строения плато. В то же время, полученный скоростной разрез даёт представление об общих структурных чертах геологического разреза в восточной части раскопа до глубины 9-10 м. В районе 23-25 м профиля основной высокоскоростной слой разреза резко прерывается отчётливой низкоскоростной близвертикальной зоной, что говорит о потере прочностных свойств и тектоническом нарушении в этом интервале. Севернее тектонического

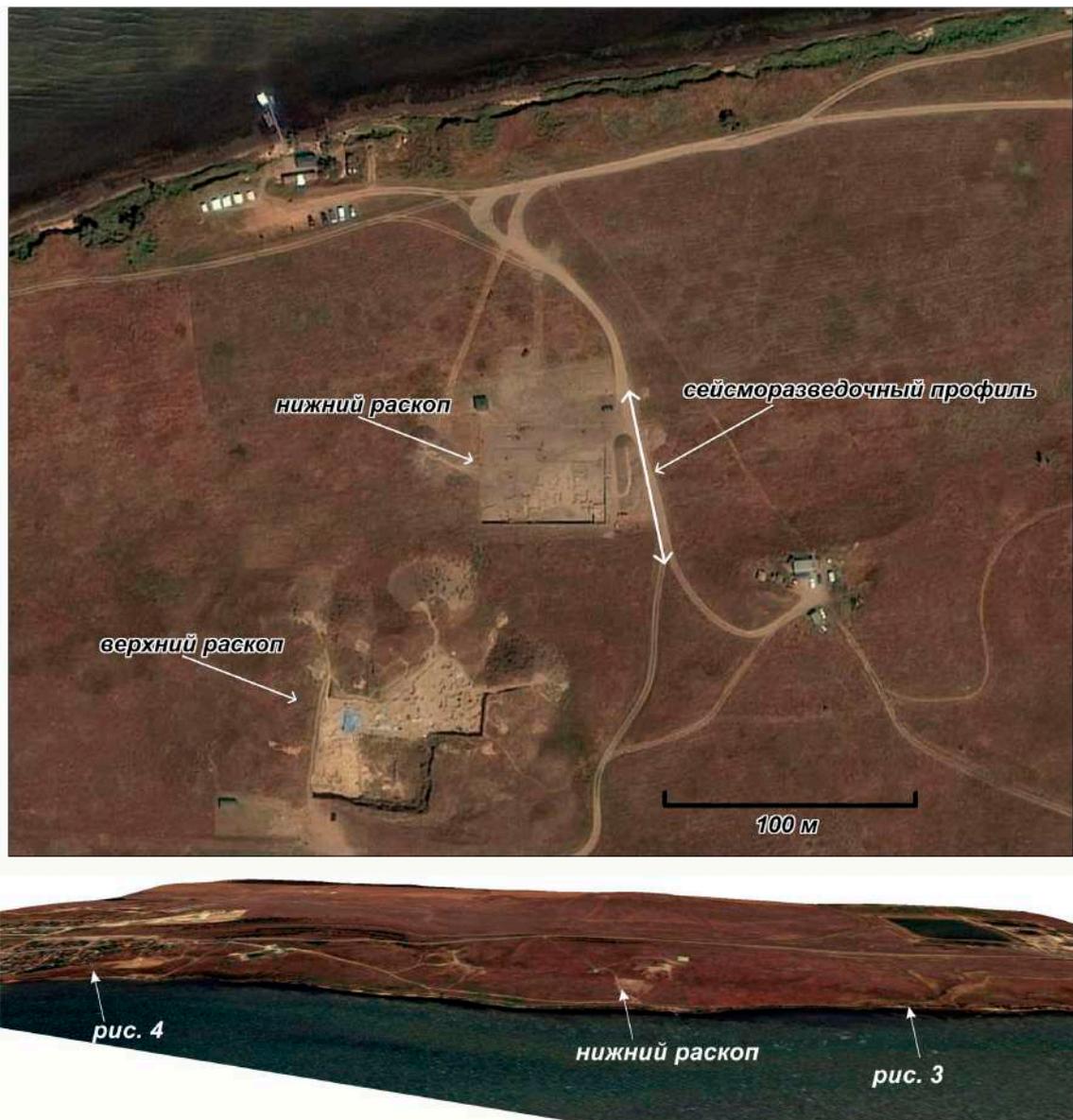


Рис. 6. Схема расположения раскопов Фанагорийского городища, сейсморазведочного профиля MASW и объёмная модель рельефа на основе космоснимка (<http://sat01.maps.yandex.net/tiles?l=sat&x=>) и цифровой модели рельефа SRTM.

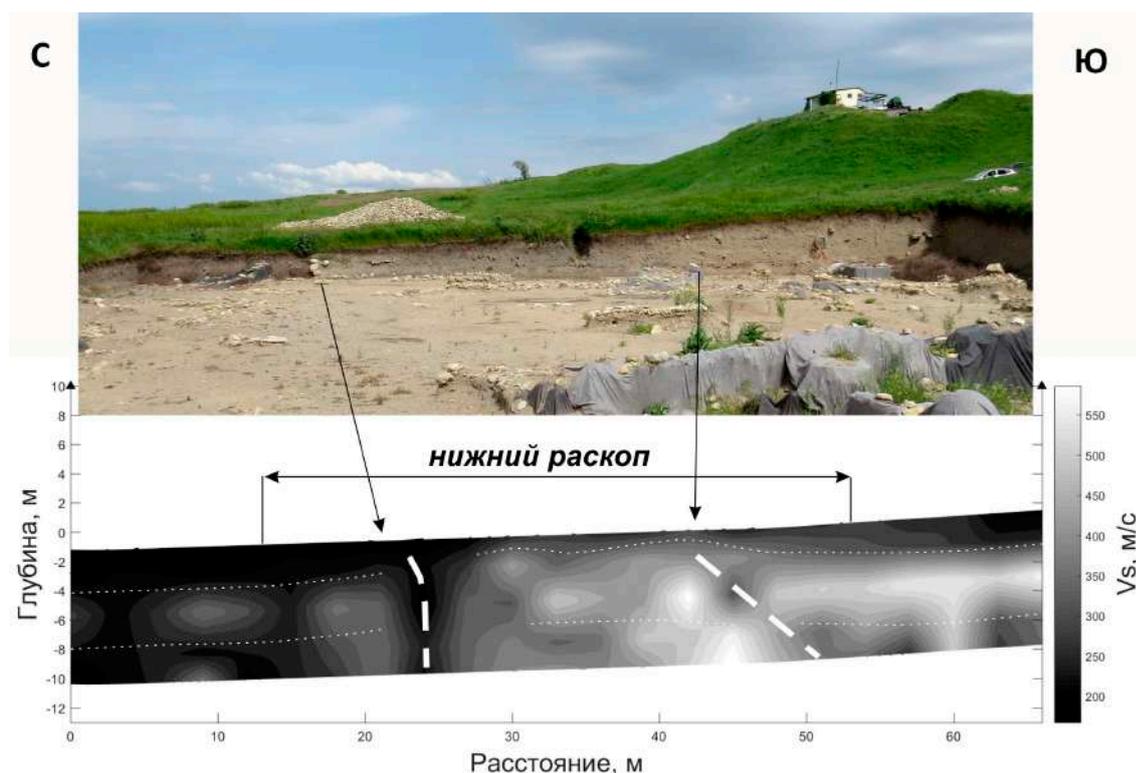


Рис. 7. Скоростной разрез поперечных сейсмических волн вдоль восточной окраины нижнего раскопа Фанагории. Стрелками показаны: излом материка позднего средневекового городища (справа, т. е. в южной части раскопа) и резкое увеличение мощности гумусированного культурного слоя (в северной части раскопа). На разрезе белыми линиями показаны: кровля и подошва условно единого, основного высокоскоростного слоя.

нарушения высокоскоростной слой лишь условно сопоставляется со слоем, слагающим южную половину разреза. Здесь, т. е. к северу от нарушения, его вещественный состав скорее всего отличается, и он выделяется как высокоскоростной лишь на фоне подстилающего и перекрывающего слоёв, скорости которых существенно ниже чем в южной части профиля. В стенке раскопа выявленному тектоническому нарушению отвечает резкое увеличение мощности гумусированного культурного слоя. Для получения более определённых выводов этот участок требует тщательного изучения в стенке раскопа на всю глубину культурных накоплений городища.

В южной части профиля основной высокоскоростной слой уверенно прослеживается на расстоянии около 20 м параллельно дневной поверхности в ненарушенном залегании. В центральной части профиля, высокоскоростной слой теряет свою однородность и испытывает изгиб. Этот изгиб сопровождается слабовыраженной (неконтрастной), полого падающей в южном направлении низкоскоростной зоной, которую с определённой долей условности можно ассоциировать с тектоническим нарушением. Именно с этим изгибом связан излом материка позднего средневекового городища, который по своей морфологии обнаруживает сходство с изгибом кровли высокоскоростного слоя. Последний расположен над выходом неконтрастной низкоскоростной зоны к поверхности. В целом, полученный скоростной разрез позволяет говорить о соответствии деформации материка позднего средневекового городища структуре более глубоких слоёв разреза, что определённо может свидетельствовать об их тектонической природе.

В восточной стенке раскопа изгиб материка позднего средневекового городища сменяется резкой ступенью, вдоль которой происходит погружение всех культурных слоёв разреза. В то же время, в западной части раскопа излом материка постепенно выравнивается.

Деформации стен были встречены нами и на верхней археологической площадке древней Фанагории. Здесь стены античного времени имеют разную сохранность (рис. 8). Стена широтного простирания почти полностью уничтожена, а смежная перпендикулярная меридиональная стена гораздо лучше сохранилась. Подобная избирательная сохранность стен может быть объяснена максимальными сейсмическими колебаниями, параллельными простиранию сохранившейся стены [Kogjenkov, Mazog, 1999]. Каменные блоки южной стены имеют небольшой наклон и выдвигаются на север. А так как меридиональная – восточная стена имеет еще и небольшой наклон за запад, то максимальные сейсмические колебания подходили, по всей видимости, с ССЗ.

Хотя архитектурный план нижней – приморской площадки древней Фанагории представляет собой соединенные друг с другом довольно правильными прямоугольниками различных размеров, в одном месте этот порядок был нарушен (рис. 9). Западные части двух добротных широтных стен оказались утраченными – разрушенными, в связи с чем сохранившиеся участки позже были соединены – замкнуты кривой в плане стеной плохого качества строительства. Возможно, что полное разрушение упомянутых частей стен имело место в связи с просадкой, которая хорошо видна в меридиональной стене, расположенной к востоку от новой стены СВ простирания (рис. 10).



Рис. 8. Разная сохранность стен на верхней археологической площадке Фанагории. Южная стена сохранилась плохо, некоторые ее строительные блоки выдвинулись к северу. Восточная стена сохранилась лучше и немного наклонилась на запад, что не совпадает с уклоном местности и свидетельствует, возможно, о сейсмических колебаниях, пришедших к стенам обоих направлений с ССЗ. Вид на север.



Рис. 9. Утраченные части стен (показаны штриховыми линиями), которые были построены «в ёлочку» во времена Хазарского каганата. Сохранившиеся части широтных стен были позднее замкнуты более поздней стеной СВ простирания (показана парой стрелок) более низкого качества строительства. Один из авторов статьи сидит в левой части снимка и чешет свой затылок, пытаясь разобраться в причинах разрушения. Вид на север.



Рис. 10. Просадка в центральной части стены, построенная во время Хазарского каганата («в ёлочку»). Следующая к западу меридиональная стена полностью была разрушена из-за просадки, в связи с чем на ее месте была возведена новая стена более низкого качества. Вид на запад.

Одним из свидетельств нарушений грунта могут служить деформированные сосуды. Один такой сосуд – пифос был исследован нами на нижнем раскопе в Фанагории. Округлый и симметричный пифос был закопан в землю. Он был сплюснут и расколот (рис. 11) из-за движения грунта, возможно во время сильного древнего землетрясения. Сосуд теперь имеет длинную ось ЮВ простирания, что свидетельствуют о деформации сжатия в СЗ направлении, что не совпадает с уклоном рельефа местности (силами гравитации).

### Обсуждение результатов

В целом, приведённые факты и соображения позволяют выдвинуть гипотезу о гибели средневековой Фанагории в результате катастрофического землетрясения. Причем город оказался прямо в месте выхода очага сильнейшего (9-10 баллов по шкале MSK-64) землетрясения на поверхность. Также можно предположить, что именно по причине страшных разрушений город Фанагория, в отличие от соседней Таматархи-Тьмутаракани (современная Тамань), в X веке прекратил своё существование, оказавшись непригодным для жизни. Ранее было выдвинуто мнение о том, что в начале X века Фанагория была заброшена жителями вследствие изменения экономико-политической ситуации и повышения уровня моря [Атавин, 1988]. Начиная с середины X века в исторических документах на побережье Таманского залива упоминается только Таматарха, хотя какая-то жизнь в Фанагории продолжалась до XI века [Кузнецов, Голофаст, 2010]. Надо сказать, что очаг землетрясения X века с  $M=6,7\pm 0,5$  и интенсивностью сотрясений  $9,0 \pm 0,5$  баллов уже помещен в акваторию Керченского пролива [Никонов, 2000], хотя конкретных сведений об этом событии А. А. Никоновым не приводятся.



Рис. 11. Сплющивание сосуда – пифоса в СЗ направлении. Нижняя площадка Фанагорийского раскопа. Объяснения в тексте.

Возможно, в результате сейсмостектонических деформаций дневной поверхности произошла резкая миграция побережья на юго-востоке Таманского залива, заиливание протоки Кубани впадавшей в залив юго-западнее современного п. Приморский [Трифонов, Караханян, 2004; Паромов, 2015], и как следствие – утрата природных условий для судоходства торговых судов с большой осадкой в районе Фанагории. Проверка этой гипотезы требует проведения специальных исследований – палеогеография южного побережья Таманского залива изучена слабо [Горлов и др., 2004]. Так, результаты многочисленных археолого-палеогеографических исследований говорят о существовании в античное время на месте современных Кизилташского, Ахтанизовского лиманов, русла Старой Кубани и современной долины Кубани вплоть до ст. Варениковской обширного пролива, объединявшего Чёрное и Азовское моря [Журавлев и др., 2015; Сударев и др., 2017 и др.]. В то же время, существование пролива соединявшего Таманский залив через понижение, в котором расположен лиман Солёный, с этим древним проливом, является предметом острой дискуссии [Паромов, 2015]. Причину тому можно усматривать в низкой палеогеографической изученности юго-восточного побережья Таманского залива. Не только в этом районе, но и по всему Керченско-Таманскому региону, получаемые разными авторами палеогеографические данные сопоставляются между собой крайне неоднозначно, основной причиной чему являются не всегда учитываемые неравномерные позднеголоценовые тектонические движения, размах которых при землетрясениях может достигать многих метров. К примеру, величина поднятия азовского побережья Таманского п-ова относительно берегов Таманского залива и прилегающих к нему участков побережья Керченского пролива за последние 3-4 тыс. лет оценивается в 3-4 м [Трифонов, Караханян, 2004], что является следствием импульсных сейсмостектонических подвижек по Южно-Азовскому активному разлому [Никонов, 1994; Овсяченко и др., 2015].

О землетрясении X в. имеются косвенные свидетельства из средневековых словес Таматархи-Тьмутаракани. Здесь, в начале XI века, вне связи с пожаром и разрушениями военного времени, крепостная стена IX века изнутри была укреплена каменным поясом [Плетнева, 2000]. По мнению С. А. Плетневой близкие по типу и строительным приемам укрепления, известные на территории Хазарии и в её округе, несмотря на разнообразие технических приемов, связаны между собой строительным материалом и набором антисейсмических приемов. Можно полагать, что необходимость антисейсмического укрепления стены была связана с сейсмическими разрушениями в X веке. Однако разрушения Таматархи-Тьмутаракани не имели такого катастрофического характера как в Фанагории. В 2015 г., в связи с изысканиями под газопровод Краснодарский край – Крым, нами была детально изучена трассируемая в этом районе Тузлинская флексурно-разрывная зона, где следов сейсмостектонических деформаций выявлено не было. По всей видимости, очаг землетрясения X века не распространился далее Фанагорийской флексурно-разрывной зоны. В итоге Фанагория уступила первенство на полуострове соседней Таматархе-Тьмутаракани [Атавин, 1988; Кузнецов, Голофаст, 2010].

### **Заключение**

На основе собранных геологических, геофизических и археосейсмологических данных выдвинута гипотеза о гибели средневекового города Фанагория в результате катастрофического землетрясения в X веке. Город оказался прямо в месте выхода

очага сильнейшего (9-10 баллов по шкале MSK-64) землетрясения на поверхность, связанного с Фанагорийской флексурно-разрывной зоной. Окончательно выяснить причину и возраст разрушения Фанагории, подтвердить или опровергнуть выдвинутую гипотезу, предстоит после окончания ведущихся по настоящее время раскопок, обработки археологического материала и продолжения палео-, археосейсмологических и палеогеографических исследований.

### Благодарности

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 15-05-06197).

### Литература

1. Атавин А. Г. Средневековая Фанагория и её место среди одновременных памятников Северного Причерноморья // Славяне и их соседи. Место взаимных влияний в процессе общественного и культурного развития. Эпоха феодализма. – М., 1988. – С. 21-23.
2. Белик Ю. Л., Корженков А. М., Куликов А. В., Ларьков А. С., Мараханов А. Н., Овсяченко А. Н., Рогожин Е. А. Сейсмогенные деформации в стенах поздневековой крепости Ени-Кале в Восточном Крыму // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2016. – Т. 43. № 2. – С. 17-35.
3. Винокуров Н. И., Корженков А. М., Родкин М. В. К оценке сейсмической опасности района Керченского пролива по данным археосейсмологии // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2015. – Т. 42. № 2. – С. 51-66.
4. Горбатиков А. В., Степанова М. Ю., Кораблев Г. Е. Закономерности формирования микросейсмического поля под влиянием локальных геологических неоднородностей и зондирование среды с помощью микросейсм // Физика Земли. – 2008. – № 7. – С. 66-84.
5. Горлов Ю. В., Поротов А. В., Столярова Е. В. К оценке изменений уровня Чёрного моря в античный период по археолого-палеогеографическим данным // Древности Боспора. – 2004. – Вып. 7. – С. 117-127.
6. Журавлев Д. В., Дан А., Герке Х. Й., Кельтербаум Д., Шлотцауэр У. Новые данные о географии Таманского полуострова в античное время // Боспор Киммерийский и варварский мир в период античности и средневековья. Географическая среда и социум. Боспорские чтения. Вып. XVI. – Керчь. – 2015. – С. 107-115.
7. Корженков А. М., Мазор Э. Структурная реконструкция сейсмических событий: руины древних городов как окаменевшие сейсмографы // Изв. МОН РК, НАН РК. Серия общественных наук. – 2001. – № 1. – С. 108-125.
8. Корженков А. М., Овсяченко А. Н., Ларьков А. С. Сейсмические деформации в древнем городе Илурате // Природа. – 2016а. – № 10. – С. 30-38.
9. Корженков А. М., Ларьков А. С., Мараханов А. В., Молев Е. А., Овсяченко А. Н., Рогожин Е. А., Хршановский В. А. Следы сильных землетрясений в крепостных стенах античного города Китей, Керченский полуостров // Элита Боспора и боспорская элитарная культура. Материалы международного круглого стола. – СПб.: ПАЛЛАЦО, 2016б. – С. 372-381.
10. Корженков А. М., Овсяченко А. Н., Ларьков А. С., Мараханов А. В., Рогожин Е. А. Археосейсмологическое исследование древних исторических и археологических памятников в Феодосии, Крым // Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов. VII Международный симпозиум. – Бишкек. – 2014. – С. 26-29.

11. Кузнецов В. Д., Голофаст Л. А. Дома хазарского времени в Фанагории // Проблемы истории, филологии, культуры. – 2010. – № 27. – С. 393-429.
12. Никонов А. А. Признаки молодой тектонической активности в зонах Южно-Азовского и Керченского разломов // Геотектоника. – 1994. – № 5. – С. 16-28.
13. Никонов А. А. Сейсмический потенциал Крымского региона: Сравнение региональных карт и параметров выявленных событий // Физика Земли. – 2000. – № 7. – С. 53-62.
14. Овсяченко А. Н., Калинина А. В., Аммосов С. М., Вакарчук Р. Н., Новиков С. С., Ларьков А. С., Мараханов А. В. Использование сейсморазведки методом MASW в сейсмотектонических исследованиях (на примере Дальнего Востока России) // Инженерные изыскания. – 2013. – № 2. – С. 38-48.
15. Овсяченко А. Н., Шварев С. В., Ларьков А. С., Мараханов А. В. Следы сильных землетрясений Керченско-Таманского региона по геологическим данным // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2015. – Т. 42. № 3. – С. 33-54.
16. Овсяченко А. Н., Корженков А. М., Ларьков А. С., Мараханов А. Н., Рогожин Е. А. Новые сведения об очагах сильных землетрясений в районе Керченского полуострова // Доклады АН. – 2017а. – Т. 472. № 1. – С. 89-92.
17. Овсяченко А. Н., Корженков А. М., Ларьков А. С., Рогожин Е. А., Мараханов А. Н. Оценка сейсмической опасности низкоактивных областей на примере Керченско-Таманского региона // Наука и технологические разработки. – 2017б. – Т. 96. № 1. – С. 15-28.
18. Паромов Я. М. Краеугольный камень Таманской палеогеографии // Краткие сообщения Института археологии. – 2015. – Вып. 241. – С. 137-153.
19. Палеосейсмология. В 2-х томах/Ред. Дж. П. Мак-Калпин. – М.: Научный Мир, 2011.
20. Плетнева С. А. Оборонительная стена в Таматархе-Тмутаракани // Историко-археологический альманах. Вып. 6. – Армавир: Армавирский краеведческий музей, 2000. – С. 21-28.
21. Рогожин Е. А. Очерки региональной сейсмотектоники. – М.: ИФЗ РАН, 2012. – 340 с.
22. Рогожин Е. А., Горбатилов А. В., Овсяченко А. Н. Активные разломы и глубинное строение зоны Керченского пролива // Геология и геофизика Юга России. – 2015. – № 1. – С. 63-66.
23. Соколова О. Ю., Корженков А. М., Овсяченко А. Н., Ларьков А. С., Мараханов А. В. Переплетение торгово-экономического и природного факторов в судьбе античного города Нимфей // Боспор Киммерийский и варварский мир в период античности и средневековья. Торговля: пути-товары-отношения. XVII Боспорские чтения. – Керчь. – 2017. – С. 506-516.
24. Сударев Н. И., Поротов А. В., Гарбузов Г. П. Некоторые результаты археолого-палеогеографических исследований в долине Кубани // Боспор Киммерийский и варварский мир в период античности и средневековья. Торговля: пути-товары-отношения. XVII Боспорские чтения. – Керчь. – 2017. – С. 544-551.
25. Трифонов В. Г., Караханян А. С. Геодинамика и история цивилизаций. – М.: Наука, 2004. – 668 с.
26. Солоненко В. П. Определение эпицентральных зон землетрясений по геологическим признакам // Изв. АН СССР, Сер. геол. – 1962. – № 11. – С. 58-74.
27. Фанагория. Под ред. В. Д. Кузнецова и А. А. Завойкина. – М.: ИА РАН, 2015. – 176 с.

28. Флоренсов Н. А. О неотектонике и сейсмичности Монголо-Байкальской горной области // Геология и геофизика. – 1960. – № 1. – С. 74-90.

29. Korjenkov A. M., Mazor E. Earthquake characteristics reconstructed from archeological damage patterns: Shivta, the Negev Desert, Israel // *Isr. J. Earth Sci.* Vol. 48. 1999. P. 265-282.

## TRACES OF THE STRONG EARTHQUAKE IN THE MEDIEVAL SETTLEMENT PHANAGORIA ON TAMAN PENINSULA

© 2017 A. N. Ovsyuchenko<sup>1</sup>, Sc. Candidate (Geol.-Min.), A. M. Korjenkov<sup>1</sup>, Sc. Doctor (Geol.-Min), R. N. Vakarchuk<sup>1</sup>, A. V. Gorbatikov<sup>1</sup>, Sc. Candidate (Phys.-Math.), A. S. Larkov<sup>1</sup>, E. A. Rogozhin<sup>1, 2</sup>, Sc. Doctor (Geol.-Min), A. I. Sysolin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Schmidt Institute of Physics of the Earth of the RAS, Russia, 123995, Moscow, Bolshaya Gruzinskaya Str., 10/1, e-mail: ovs@ifz.ru;

<sup>2</sup>Geophysical institute VSC RAS, Russia, 362002, RNO-Alania, Vladikavkaz, Markov Str., 93a

Ruins of well studied ancient settlement Phanagoria have given a unique opportunity for recovery of unknown earlier seismic history of Taman Peninsula. On the basis of collected geological, geophysical and archeoseismological data the hypothesis of death of the medieval settlement Phanagoria as a result of a catastrophic earthquake in the 10th century is made. The deep and near-surface structure of the Phanagoria deformation zone has been studied by seismic exploration. Along the southern coast of the Gulf of Taman the subvertical low-weak zone is detected. In outcrops the flexures of the neogen-quaternary layers and their immersion towards the sea are revealed. Deformation zone has been traced on the ancient settlement Phanagoria. On an excavation of the late medieval hillfort we have detected a ground flexure – to a surface on which ancient buildings of the 9-10th centuries were constructed. The settlement Phanagoria has appeared directly in the place of an exit of the source of the strongest (IX-X on MSK-64 scale) earthquake on a surface connected with the Phanagoria deformation zone.

**Keywords:** Kerch-Taman region, seismic hazard assessment, active faults, paleoseismology, archeoseismology, historical seismology.

### References

1. Atavin A.G. Srednevekovaya Fanagoriya i eyo mesto sredi odnoverennykh pamyatnikov Severnogo Prichernomor'ya [Phanagoria and its place among the simultaneous monuments of the Northern Black Sea Coast]. *Slavyane i ih sosedi. Mesto vzaimnykh vliyaniy v processe obshhestvennogo i kul'turnogo razvitiya. Epoha feodalizma.* Moscow, 1988, pp. 21–23. (in Russian).

2. Belik Yu.L., Korzhenkov A.M., Kulikov A.V., Lar'kov A.S., Marahanov A.N., Ovsyuchenko A.N., Rogozhin E.A. Seismogennye deformatsii v stenah pozdnesrednevekovoy kreposti Eni-Kale v Vostochnom Krymu [Seismogenic deformations in the walls of the late medieval fortress of Yeni-Kale in the Eastern Crimea]. *Voprosy inzhenernoy seismologii*, 2016, Vol. 43, No. 2, pp. 17–35. (in Russian).

3. Vinokurov N.I., Korzhenkov A.M., Rodkin M.V. K ocenke seismicheskoy opasnosti raiona Kerchenskogo proliva po dannym archeoseismologii [To the assessment of the seismic hazard of the Kerch Strait area according to archeoseismology]. *Voprosy inzhenernoy seismologii*, 2015, Vol. 42, No. 2, pp. 51–66. (in Russian).

4. Gorbatikov A.V., Stepanova M.Yu., Korablev G.E. Zakonomernosti formirovaniya mikrozeismicheskogo polya pod vliyaniem lokal'nykh geologicheskikh neodnorodnostey i zondirovaniye sredey s pomoshh'yu mikrozeism [Regularities in the formation of a microseismic field under the influence of local geological inhomogeneities and sounding of the medium with the help of microseismic]. *Fizika Zemli*, 2008, No. 7, pp. 66–84. (in Russian).

5. Gorlov Yu.V., Porotov A.V., Stolyarova E.V. K ocenke izmeneniy urovnya Chyornogo morya v antichnyy

period po arheologo-paleogeograficheskim dannym [To the assessment of changes in the level of the Black Sea in the ancient period according to archeological and paleogeographic data]. *Drevnosti Bospora*, 2004, Issue 7, pp. 117–127. (in Russian).

6. Zhuravlev D.V., Dan A., Gerke H.J., Kel'terbaum D., Shlotcaujer U. Novye dannye o geografii Tamanskogo poluostrova v antichnoe vremya [New data on the geography of the Taman Peninsula in ancient times]. *Bospor Kimmerijskij i varvarskij mir v period antichnosti i srednevekov'ya. Geograficheskaya sreda i socium. Bosporskie chteniya*, Issue. XVI. Kerch', 2015, pp. 107–115. (in Russian).

7. Korzhenkov A.M., Mazor E. Strukturnaya rekonstrukciya seismicheskikh sobytij: ruiny drevnih gorodov kak okamenevshie seismography [Structural reconstruction of seismic events: the ruins of ancient cities like petrified seismographs]. *Izv. MON RK, NAN RK. Seriya obshchestvennykh nauk*, 2001, No. 1, pp. 108–125. (in Russian).

8. Korzhenkov A.M., Ovsyuchenko A.N., Lar'kov A.S. Seismicheskie deformacii v drevnem gorode Ilurate [Seismic deformation in the ancient city Ilurat]. *Priroda*, 2016, No. 10, pp. 30–38. (in Russian).

9. Korzhenkov A.M., Lar'kov A.S., Marahanov A.V., Molev E.A., Ovsyuchenko A.N., Rogozhin E.A., Hrshanovskij V.A. Sledy sil'nykh zemletrjasenij v krepostnykh stenah antichnogo goroda Kitej, Kerchenskij poluostrov [Traces of strong earthquakes in the fortress walls of the ancient city of Kitei, the Kerch Peninsula]. *Elita Bospora i bosporskaya elitarnaya kul'tura. Materialy mezhdunarodnogo kruglogo stola. St. Petersburg, PALLACO Publ.*, 2016, pp. 372–381. (in Russian).

10. Korzhenkov A.M., Ovsyuchenko A.N., Lar'kov A.S., Marahanov A.V., Rogozhin E.A. Arheoseismologicheskoe issledovanie drevnih istoricheskikh i arheologicheskikh pamyatnikov v Feodosii, Krym [Archaeoseismological study of ancient historical and archaeological sites in Feodosia, Crimea]. *Problemy geodinamiki i geoekologii vnutrikontinental'nykh orogenov. VII Mezhdunarodnyj simpozium. Bishkek*, 2014, pp. 26–29. (in Russian).

11. Kuznecov V.D., Golofast L.A. Doma hazarskogo vremeni v Fanagorii [Houses of the Khazar period in Phanagoria]. *Problemy istorii, filologii, kul'tury*, 2010, No. 27, pp. 393–429. (in Russian).

12. Nikonov A.A. Priznaki molodoy tektonicheskoy aktivnosti v zonah Yuzhno-Azovskogo i Kerchenskogo razlomov [Signs of young tectonic activity in the zones of the South Azov and Kerch Rifts]. *Geotektonika*, 1994, No. №5, pp. 16–28. (in Russian).

13. Nikonov A.A. Seismicheskij potencial Krymskogo regiona: Sravnenie regional'nykh kart i parametrov vyyavlennykh sobytij [Seismic potential of the Crimean region: Comparison of regional maps and parameters of detected events]. *Fizika Zemli*, 2000, No. 7, pp. 53–62. (in Russian).

14. Ovsyuchenko A.N., Kalinina A.V., Ammosov S.M., Vakarchuk R.N., Novikov S.S., Lar'kov A.S., Marahanov A.V. Ispol'zovanie seismorazvedki metodom MASW v seismotektonicheskikh issledovaniyah (na primere Dal'nego Vostoka Rossii) [The use of seismic prospecting by the MASW method in seismotectonic studies (on the example of the Far East of Russia)]. *Inzhenernye izyskaniya*, 2013, No. 2, pp. 38–48. (in Russian).

15. Ovsyuchenko A.N., Shvarev S.V., Lar'kov A.S., Marahanov A.V. Sledy sil'nykh zemletryasenij Kerchensko-Tamanskogo regiona po geologicheskim dannym [Traces of strong earthquakes in the Kerch-Taman region according to geological data]. *Voprosy inzhenernoj seismologii*, 2015, Vol. 42, No. 3, pp. 33–54. (in Russian).

16. Ovsyuchenko A.N., Korzhenkov A.M., Lar'kov A.S., Marahanov A.N., Rogozhin E.A. Novye svedeniya ob ochagah sil'nykh zemletrjasenij v rajone Kerchenskogo poluostrova [New information on the sources of strong earthquakes in the Kerch Peninsula]. *Doklady AN*, 2017, Vol. 472, No.1, pp. 89–92. (in Russian).

17. Ovsyuchenko A.N., Korzhenkov A.M., Lar'kov A.S., Rogozhin E.A., Marahanov A.N. Ocenka seismicheskoy opasnosti nizkoaktivnykh oblastej na primere Kerchensko-Tamanskogo regiona [Estimation of seismic hazard of low-active regions by the example of the Kerch-Taman region]. *Nauka i tehnologicheskie razrabotki*, 2017, Vol. 96, No.1, pp. 15–28. (in Russian).

18. Paromov Ya.M. Kraeugol'nyj kamen' Tamanskoj paleogeografii [The cornerstone of Taman paleogeography]. *Kratkie soobshheniya Instituta arheologii*, 2015, Issue 241, pp. 137–153. (in Russian).

19. Paleoseismologiya. V 2-h tomah [Paleoseismology. In 2 volumes]. Ed. by. Dzh.P. Mak-Kalpin. Moscow, Nauchnyj Mir Publ., 2011. (in Russian).

20. Pletneva S.A. Oboronitel'naya stena v Tamatarhe-Tmutarakani [Defensive wall in Tamatarkh-Tmutarakani]. *Istoriko-arheologicheskij al'manah*, Issue 6. Armavir, Armavirskij kraevedcheskij muzej Publ., 2000, pp. 21–28. (in Russian).

21. Rogozhin E.A. Ocherki regional'noj seismotektoniki [Essays on regional seismotectonics]. Moscow, IPE RAS, 2012. 340 p. (in Russian).

22. Rogozhin E.A., Gorbatikov A.V., Ovsyuchenko A.N. Aktivnye razlomy i glubinnoe stroenie zony Kerchenskogo proliva [Active faults and deep structure of the Kerch Strait zone]. *Geologiya i geofizika Yuga Rossii*, 2015, No. 1, pp. 63–66. (in Russian).

23. Sokolova O.Yu., Korzhenkov A.M., Ovsyuchenko A.N., Lar'kov A.S., Marahanov A.V. Perepletenie trgovno-ekonomicheskogo i prirodnogo faktorov v sud'be antichnogo goroda Nimfej [Intertwining trade and economic and natural factors in the fate of the ancient city of Nymphaeum]. Bospor Kimmerijskij i varvskij mir v period antichnosti i srednevekov'ya. Torgovlya: puti-tovary-otnosheniya. XVII Bosporskie chteniya. Kerch', 2017, pp. 506–516. (in Russian).

24. Sudarev N.I., Porotov A.V., Garbuzov G.P. Nekotorye rezul'taty arheologo-paleogeograficheskikh issledovanij v doline Kubani [Some results of archaeological and paleogeographic studies in the Kuban valley]. Bospor Kimmerijskij i varvskij mir v period antichnosti i srednevekov'ya. Torgovlya: puti-tovary-otnosheniya. XVII Bosporskie chteniya. Kerch', 2017, pp. 544–551. (in Russian).

25. Trifonov V.G., Karahanyan A.S. Geodinamika i istoriya civilizacij [Geodynamics and the history of civilizations]. Moscow, Nauka Publ., 2004. 668 p. (in Russian).

26. Solonenko V.P. Opredelenie epicentral'nyh zon zemletryasenij po geologicheskim priznakam [Definition of epicentral zones of earthquakes from geological evidence]. Izvestiya AN SSSR, Ser. geol., 1962, No. 11, pp. 58–74. (in Russian).

27. Fanagoriya [Phanagoria]. Ed. by V.D. Kuznecova and A.A. Zavojkina. Moscow, IA RAN, 2015. 176 p. (in Russian).

28. Florensov N.A. O neotektonike i seismichnosti Mongolo-Baikal'skoj gornoj oblasti [On neotectonics and seismicity of the Mongolian-Baikal mountain region]. Geologiya i geofizika, 1960, No. 1, pp. 74–90. (in Russian).

29. Korjenkov A.M., Mazor E. Earthquake characteristics reconstructed from archeological damage patterns: Shivta, the Negev Desert, Israel. *Isr. J. Earth Sci.*, 1999, Vol. 48, pp. 265–282.

УДК 553:411

## УСЛОВИЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ И ЗОЛОТОНОСНОСТЬ СКАРНОВ ЗЫГЫРКОЛЬСКОЙ РУДНОЙ ЗОНЫ (КАБАРДИНО-БАЛКАРСКАЯ РЕСПУБЛИКА)

© С.Г. Парада<sup>1,2</sup>, д.г.-м.н., В.В. Столяров<sup>1</sup>, к.г.-м.н.

<sup>1</sup>ФГБУН Институт аридных зон Южного научного центра РАН, Россия, 344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41, e-mail: parada@ssc-ras.ru;

<sup>2</sup>Геофизический институт – филиал ФГБУН ФНЦ «Владикавказский научный центр Российской академии наук», Россия, 362002, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а

Охарактеризованы геологические условия локализации золотоносных скарнов Зыгыркольской рудной зоны, выявленных при участии авторов в последние годы на Северном фланге Тырныаузского рудного узла. Установлено длительное (с позднего палеозоя) развитие деформаций в пределах Гитче-Тырныаузского рудного поля, и что к формированию продуктивной на золото Зыгыркольской рудной зоны привели вертикальное растяжение и взбросо-сдвиговые деформации альпийского этапа. Выделены четыре участка развития золотоносных скарнов. Раскрыты характер и степень их золотоносности. Они определяются уровнем денудационного среза Зыгыркольской зоны, которая воздымается в северо-западном направлении под меньшим углом, чем возвышается рельеф, что приводит к уходу под рельеф оптимального рудоносного уровня. Оптимальным уровнем среза обладает Нижний участок, где наиболее золотоносные скарны выходят на земную поверхность. Минимальным уровнем среза обладает Перевальный участок, где продуктивные на золото скарны располагаются на 100-200 м ниже земной поверхности.

**Ключевые слова:** золото, скарны, рудная зона, рудное поле, тектонические деформации, денудационный срез, Северный Кавказ.

По результатам металлотрического опробования, геофизических и горнопроходческих работ в пределах Северного фланга Тырныаузского рудного узла выделено Гитче-Тырныаузское золоторудное поле и локализована перспективная Зыгыркольская рудная зона. Протяженность Зыгыркольской зоны более 2 км при ширине от 200 до 500 м. В ее пределах выявлены четыре золотоносных участка – Нижний, Средний, Верхний и Перевальный, связанные с телами скарнов [Парада и др., 2011; Емкужев и др., 2013; Тарасов и др., 2015; Столяров, 2015; Парада, 2017].

Участок Гитче-Тырныаузского рудного поля, где расположена Зыгыркольская зона, сложен комплексом среднепалеозойских пород, представленных серыми, до темно-серых, слоистыми мраморизованными известняками и перекрывающими их мелкообломочными, зачастую также слоистыми зеленовато-серыми туфами и лавами андезитов с редкими невыдержанными прослоями серых филлитовидных сланцев мощностью от 2-3 до 10-20 м. Весь комплекс осадочных и вулканогенных пород слагает синклиналиную складку северо-западного простирания, в ядре которой обнажаются мраморизованные известняки, а на крыльях – вулканогенные породы с прослоями филлитовидных сланцев (рис. 1).

В юго-западном крыле складки породы падают по азимуту 280-290° под углом 10-20°; азимут падения северо-восточного крыла 60-80°, углы падения – 30-40°. Осевая поверхность складки сложена мощной тектонической зоной дробления, которая

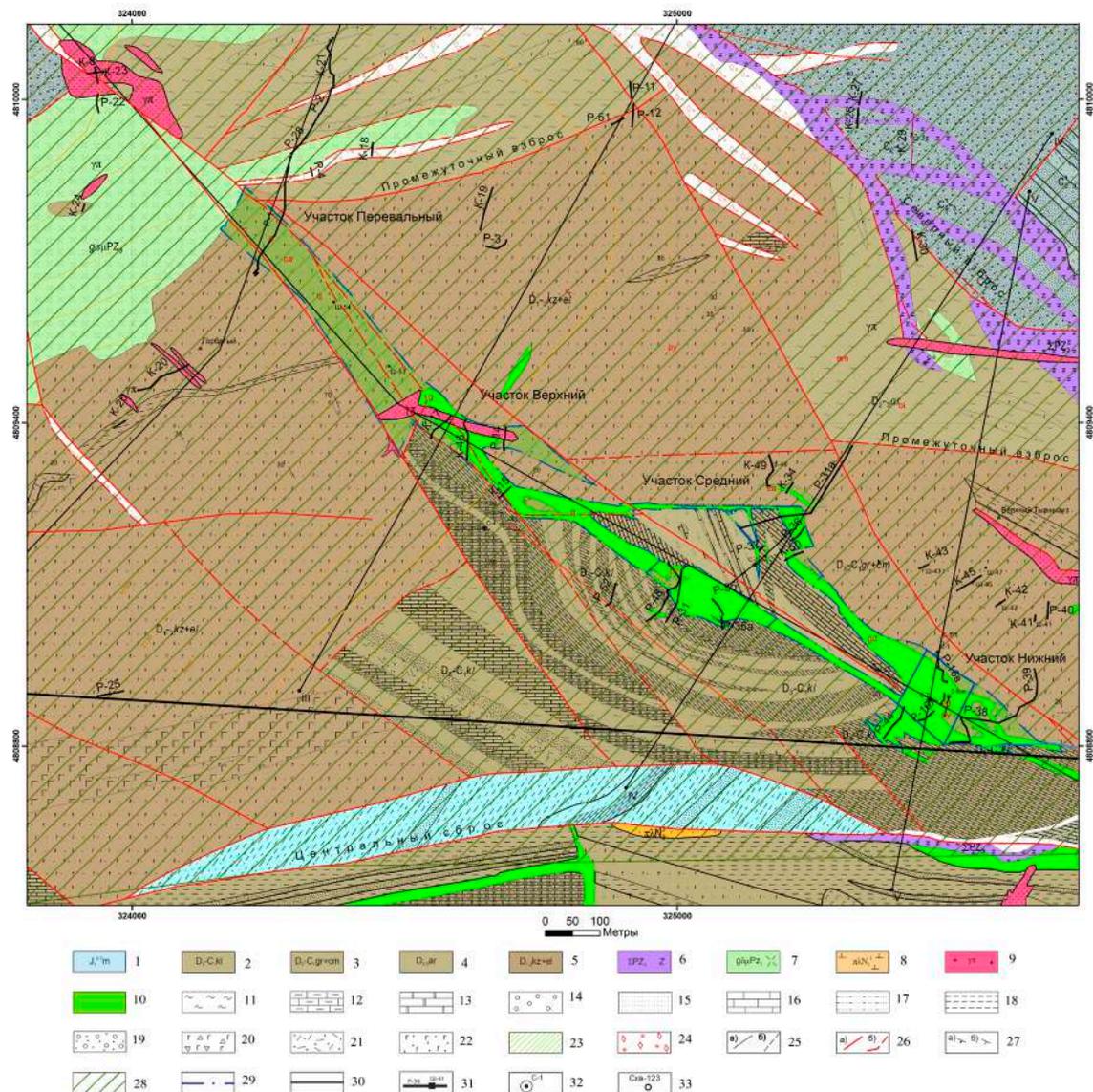


Рис. 1. Позиция золотоносных скарнов и Зыгырской рудной зоны в геологических структурах Гитче-Тырныаузского рудного поля:

1 – мукуланская свита ( $J$ ); 2 – колсуйская свита ( $D_3 - C_1$ ); 3 – чимулярская и гаралыкайская свиты ( $D_3 - C_1$ ); 4 – артыкчатская свита ( $D_{2-3}$ ); 5 – кзылкольская и эльмезтюбинская свиты ( $D_{1-2}$ ); 6 – серпентиниты ( $PZ_3$ ); 7 – кварцевые диорит-порфиры ( $PZ_3$ ); 8 – липариты ( $N_2 - Q$ ); 9 – лейкократовые гранитоиды ( $N_2$ ); 10 – скарны; 11 – филлиты; 12 – мергели; 13 – мраморы и мраморизованные известняки; 14 – конгломераты; 15 – песчаники; 16 – известняки; 17 – алевриты; 18 – аргиллиты; 19 – конгломераты, песчаники, аргиллиты; 20 – лавобрекчии; 21 – туфы кислые; 22 – туфы основные; 23 – гидротермалиты; 24 – кварцево-карбонатные метасоматиты; 25 – геологические границы: прослеженные (а), предполагаемые (б); 26 – разрывные нарушения: прослеженные (а), предполагаемые (б); 27 – элементы залегания контактов (а), сланцеватости, полосчатости (б); 28 – площадь Гитче-Тырныаузского золоторудного поля; 29 – контур Зыгырской рудной зоны; 30 – южная граница Гитче-Тырныаузского рудного поля; 31 – горные выработки и их номера; 32 – буровые скважины 2010-2012 гг. и их номера; 33 – буровые скважины, пройденные до 2010 г.

фиксирует осевую область Зыгыркольской зоны. В северо-западном направлении ось этой складки испытывает воздымание под углом около  $10^\circ$ , в то время как рельеф в этом же направлении имеет крутизну около  $20^\circ$ . Это значит, что относительно рельефа ось складки, а вместе с ней и продуктивная часть Зыгыркольской зоны испытывает погружение. В юго-восточном направлении эта зона, очевидно, переходит на правый борт долины р. Тырнауз-су и, по-видимому, доходит до Центрального разлома Тырнаузского рудного узла. Подтверждением этому может служить наличие на ее продолжении здесь крупного карстового источника и значительного интервала тектонических брекчий в скважине 134 ГРЭ Тырнаузского комбината. Мощность описываемой зоны дробления достигает 100 и более метров. По этому нарушению северо-восточное крыло антиклинали опущено по отношению к юго-западному крылу, но амплитуда смещения неясна.

Интенсивно передробленные породы Зыгыркольской зоны залечены наложенными на них пироксен-гранатовыми скарнами. Об этом свидетельствует наличие тектонических брекчий, где обломки, представленные известняками, туфами и андезитами кызылкольской и эльмезтюбинской свит, сцементированы скарнами. Последнее хорошо видно в горных выработках П-Р-16 и П-Р-31, пройденных соответственно по Нижнему и Среднему телам золотоносных скарнов. Таким образом, этот разлом имеет древнее позднепалеозойское заложение, однако подвижки вдоль него имели место и в период кайнозойской тектоно-магматической активизации, что подтверждается наличием даек альпийских лейкократовых гранитов тырнаузского комплекса.

Сказанное подтверждается и проведенными ранее специальными палеоструктурными исследованиями [Чинь, 1994]. Они заключались в том, что по результатам петрофизического изучения 42 ориентированных образцов, отобранных на Северном фланге Тырнаузского рудного узла, были построены круговые диаграммы и определены древние и современные палеотектонические поля напряжений (рис. 2). Анализ этих данных показал, что процессы интрузивного магматизма и рудообразования контролировались режимом литостатической разгрузки, а рудоконтролирующие структуры развивались в условиях переориентации направлений региональных сжимающих усилий с меридиональных на широтные. На ранних этапах преобладали локальные сдвиговые перемещения блоков пород в широтном и северо-западном направлениях. Для поздних этапов характерно вертикальное растяжение и взбросо-сдвиговые деформации, что и привело к окончательному формированию Зыгыркольской золотоносной зоны [Маркин и др., 2014].

По минералогическому составу среди скарнов Зыгыркольской зоны выделяют пироксеновые, гранатовые, существенно эпидотовые и промежуточные между ними разновидности. Контакты тел скарнов с вмещающими породами резкие, четкие, извилистые. Мощность их в раздувах достигает 200 м и больше. Прослеженная с перерывами протяженность их (с учетом всех четырех тел) составляет 2000 м. Перепад высот по вертикали от высшей отметки Перевального скарна (3200 м) до минимальной отметки выхода Нижнего скарна (2640 м) составляет 560 м. (рис. 3). В связи с этим распределение минералогических разновидностей скарнов имеет определенные закономерности. Так, в Нижнем скарне преобладают пироксен-гранатовые и гранатовые разновидности; в Среднем – гранат-пироксеновые и пироксеновые; Верхний и Перевальный скарны сложены преимущественно пироксеновыми и эпидот-пироксеновыми разновидностями. Так как выходы перечисленных скарнов на дневную поверх-

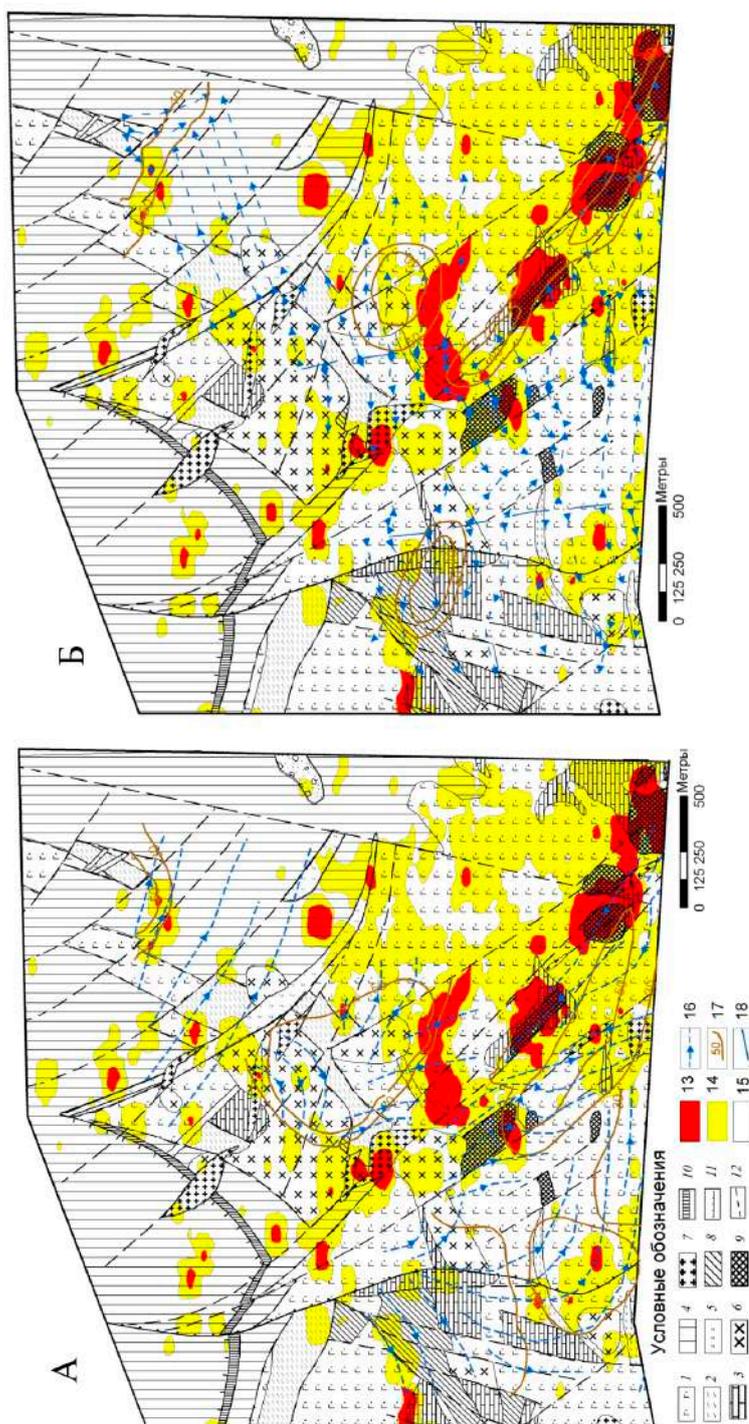


Рис. 2. Древнее палеоструктурное (А) и альпийское хрупко-деформационное (Б) поля тектонических напряжений по данным Чинь Куок Хиен [Чинь, 1994] на современной геологической основе с отображением геохимических аномалий Au во вторичных ореолах:

1-4 – стратифицированные комплексы: 1 – осадочно-вулканогенный ( $D_2$ ), 2 – морской терригенный ( $D_3$ ), 3 – карбонатный ( $D_3 - C_1$ ); 4 – континентальный обломочный ( $C_{2-3}$ ); 5-7 – интрузивные комплексы: 5 – улу-талыкольский гипербазитовый герцинский ( $PZ_3$ ), 6 – чучурский диорит-гранодиорит-порфировый гипабиссальный позднегерцинский (P-T), 7 – тырныаузский лейкократово-гранитовый альпийский (N); 8-9 – гидротермально-

метасоматические образования: 8 – кварц-карбонатные метасоматиты, 9 – скарны; 10 – лиственизированные милониты; 11-12 разрывные нарушения: 11 – надвиги; 12 – сбросы и взбросы; 13-15 содержание золота во вторичных ореолах рассеяния ( $\sigma/m$ ): 13 – более 0,1; 14 – от 0,01 до 0,1; 15 – менее 0,01; 16 – изолинии осей максимальных главных нормальных напряжений  $\sigma_1$  (стрелка указывает направление действия); 17 – изограды осей  $\sigma_1$ ; 18 – структурные линии, по которым происходит смена направлений действия осей  $\sigma_1$ , развивались в условиях переориентации направлений региональных сжимающих усилий с меридиональных на широтные



Рис. 3. Положение в рельефе местности Зыгыркольской рудной зоны

ность расположены на различных гипсометрических уровнях со значительным перепадом высот, то это различие в их составе можно рассматривать как проявление вертикальной минералогической зональности.

Если учесть, что ось рудоносной структуры воздымается в северо-западном направлении под меньшим углом, чем возвышается рельеф, то следует признать возможность ухода оптимального рудоносного уровня на некоторую глубину под рельеф в том же северо-западном направлении. Это позволяет прогнозировать наличие золотого оруденения вдоль Зыгыркольской зоны в северо-западном направлении на все больших, но доступных для отработки глубинах.

Интенсивность и особенности золотого оруденения в пределах Зыгыркольской зоны отличаются между выявленными четырьмя участками [Столяров, 2015].

**Нижний участок** Зыгыркольской рудоносной зоны, расположенный в юго-восточной ее части, является наиболее перспективным, так как обладает оптимальным эрозионным срезом золотоносной структуры. Он сопровождается областью аномальных значений золота и сопутствующих элементов во вторичных ореолах рассеяния (см. рис. 2).

Пройденные здесь горные выработки П-Р-16 (секции А, Б и В) вскрыли на всем своем протяжении золотоносные скарны с содержаниями золота по данным пробирного анализа от десятых долей г/т до 10,1 г/т (рис. 4). По данным минералогического анализа подавляющая его часть представлена самородным золотом [Столяров и др., 2016]. При этом выделено 5 рудных тел (рис. 5). Золотоносность на глубине подтверждается буровыми скважинами (рис. 6).

Сравнительный анализ результатов документации керна буровых скважин и пробирного анализа керновых проб показывает, что повышенные содержания золота, образующие в т. ч. рудные концентрации, обнаружены в гранатовых, пироксен-гранатовых и гранат-пироксеновых скарнах, образованных по роговикам и (или) андезитах и их туфам. Иногда они отмечаются в прилегающих сверху или снизу роговиках и (или) скарнированных андезитах. Так, например, по скважине 2 бис золотое оруденение, локализованное в гранат-пироксеновом скарне в интервале

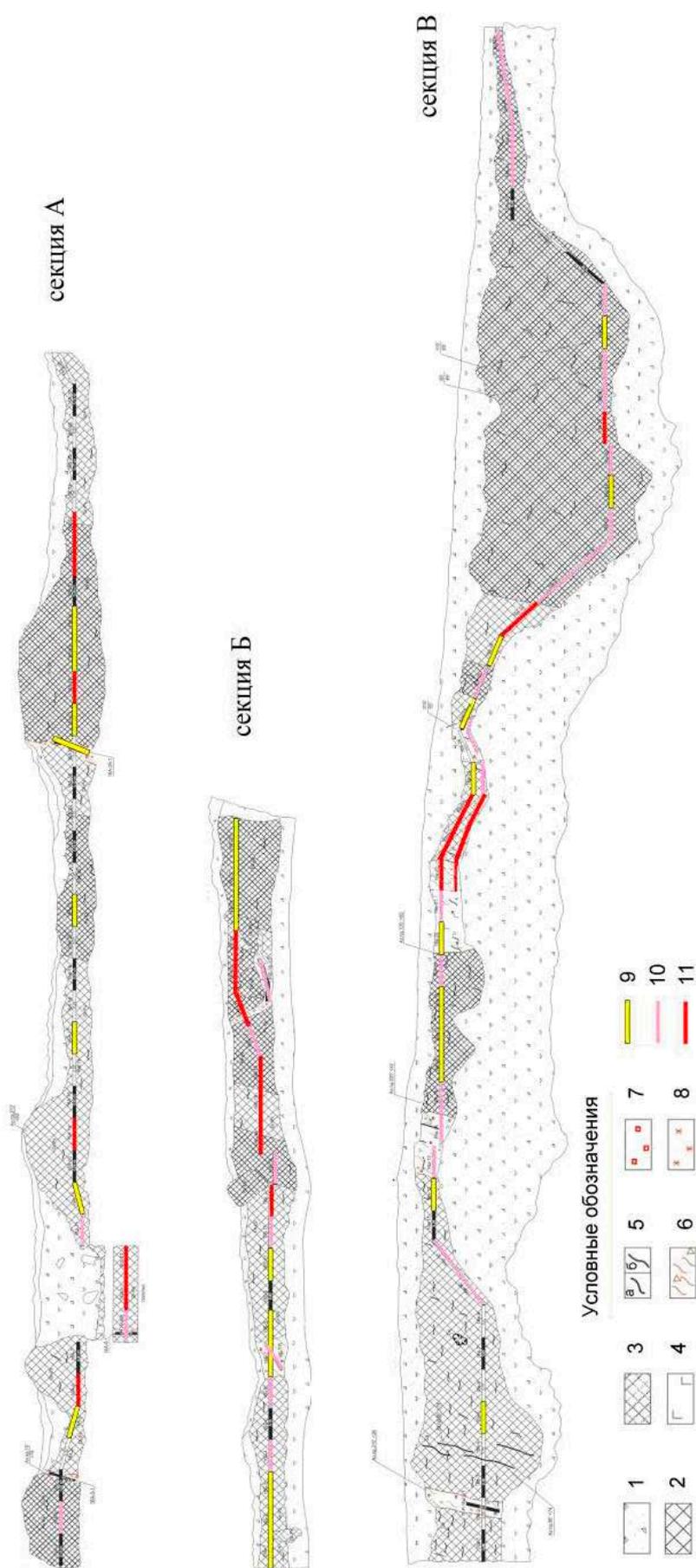


Рис. 4. Зарисовка расчистки П-Р-1б с результатами пробирного анализа на золото бороздовых проб:  
 1 – элювиально-делювиальные отложения; 2 – гранат-пироксеновые скарны; 3 – пироксен-гранатовые скарны; 4 – андезиты; 5 – жилы и прожилки кварца (а), кальцита (б); 6 – зоны милонитизации; 7 – сульфидизация; 8 – милонитизация; 9–11 содержание золота в г/т: 9 – от 0,5 до 1,0; 10 – от 1,0 до 2,5; 11 – более 2,5

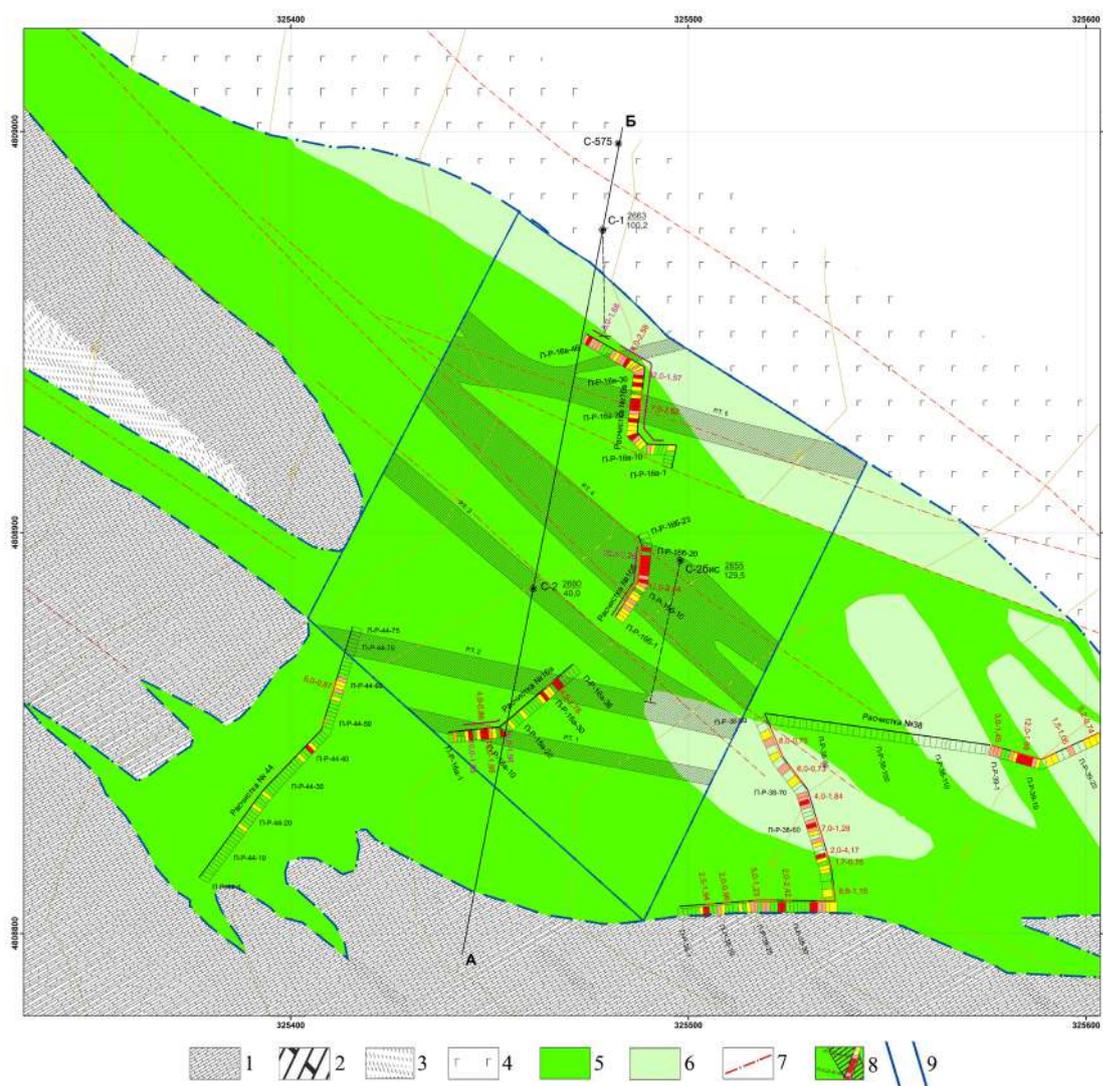


Рис. 5. Геологическое строение Нижнего участка Зыгыркольской рудной зоны с результатами пробирного анализа на золото бороздовых проб:

1 – известняки мраморизованные; 2 – известняки мраморизованные на разрезе (рис. 6); 3 – филлиты; 4 – андезиты и их туфы; 5 – скарны гранат-пироксеновые золотоносные; 6 – метасоматиты; 7 – разрывные нарушения; 8 – рудные тела с результатами опробования горных выработок и керн скважин; 9 – контуры подсчета прогнозных ресурсов золота по категории  $P_1$

74,9-82,8 м распространяется в перекрывающие и подстилающие интенсивно скарнированные пироксен-плаггиоклазовые роговики на 3,5-4,0 м, где содержания золота составляют от 0,43 до 1,31 г/т.

В других более глубоких подобных интервалах скважины 2 бис эти содержания колеблются около 1,0 г/т, но не превышают 1,7 г/т. По скважине 2 оруденение из скарнов в интервале 6,5-24,4 м проникает в подстилающие андезиты на 2,5 м, где содержания золота в трех пробах составили от 0,33 до 0,49 г/т. По скважине 1 отмечены случаи заметно повышенных содержаний золота в скарнированных андезитах вне видимой связи с золотоносными скарнами, что может быть связано с тем, что в данных местах скважина вскрыла приконтактовые с золотоносными скарнами участки, параллельные ее стволу.

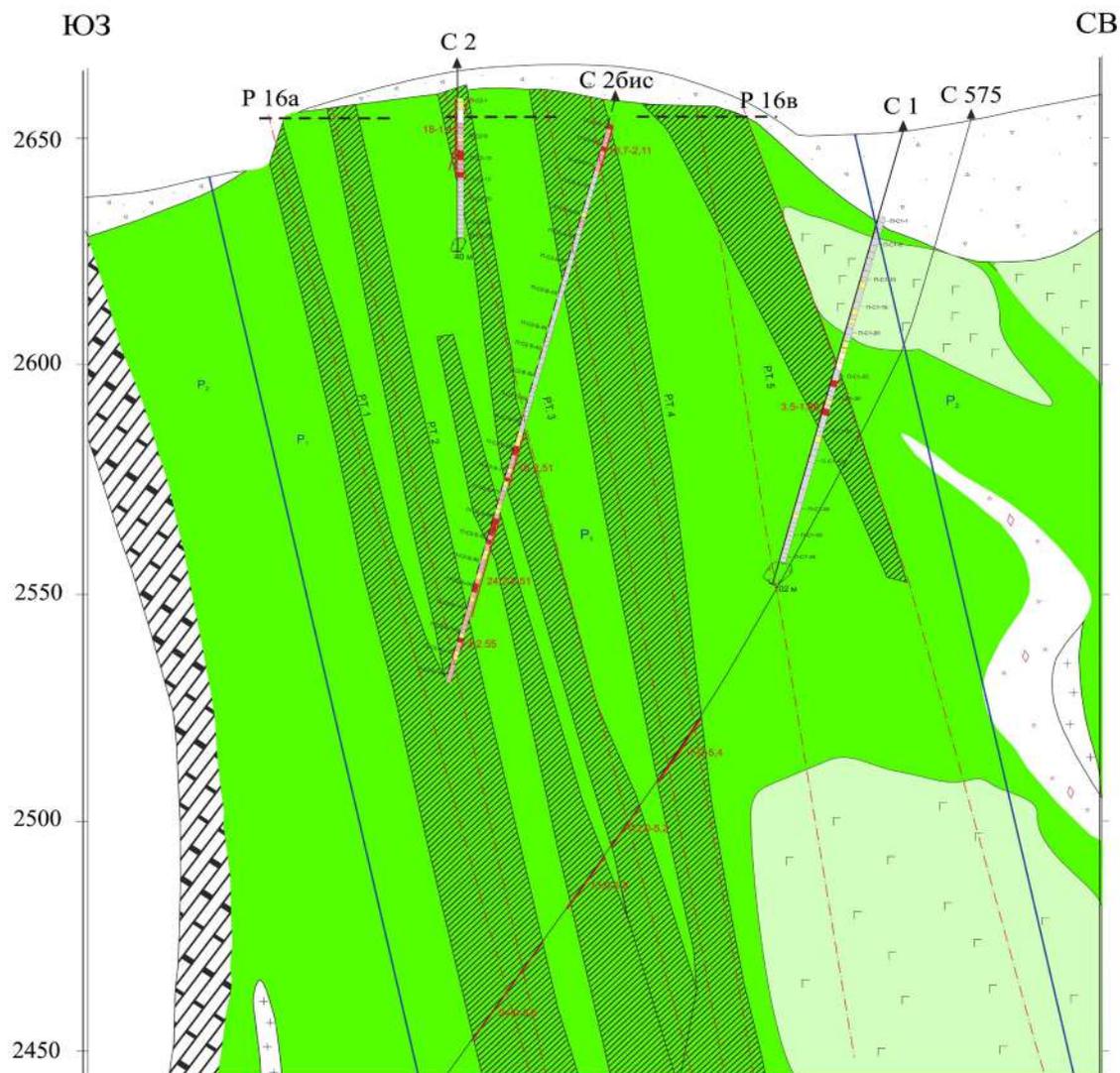


Рис. 6. Геологический разрез по линии АБ через Нижний участок Зыгыркольской рудной зоны с результатами пробирного анализа на золото керновых проб. Условные обозначения согласно рис. 5

**Средний участок** (рис. 7) пересечен магистральной линией горных выработок. Здесь, в более чем 100-метровом интервале установлены с перерывами повышенные содержания золота (от десятых долей г/т до 2,44 г/т).

В целом, отмеченный участок со средневзвешенным содержанием золота 0,65 г/т можно рассматривать как первичный ореол рассеяния золота, фиксирующий надрудный срез, что соответствует изложенным выше особенностям строения рудоносной зоны, которая уходит на некоторую доступную глубину под рельеф в северо-западном направлении, и подтверждается пробуренными здесь скважинами, в которых установлен факт повышения содержаний золота с глубиной (рис. 8). Так, по скважине 3, вскрывавшей Южную ветвь Зыгыркольской зоны, содержания золота достигают 4,02 г/т. По скважине 5, перебурившей Северную ветвь Зыгыркольской зоны – 6,0 г/т.

Анализ результатов опробования на золото керна буровых скважин показывает, что на Среднем участке в эпидот-пироксеновых и пироксеновых скарнах, образовавшихся по мраморам, золото не обнаружено. Так, в интервале 91,9-103,3 м (сква-

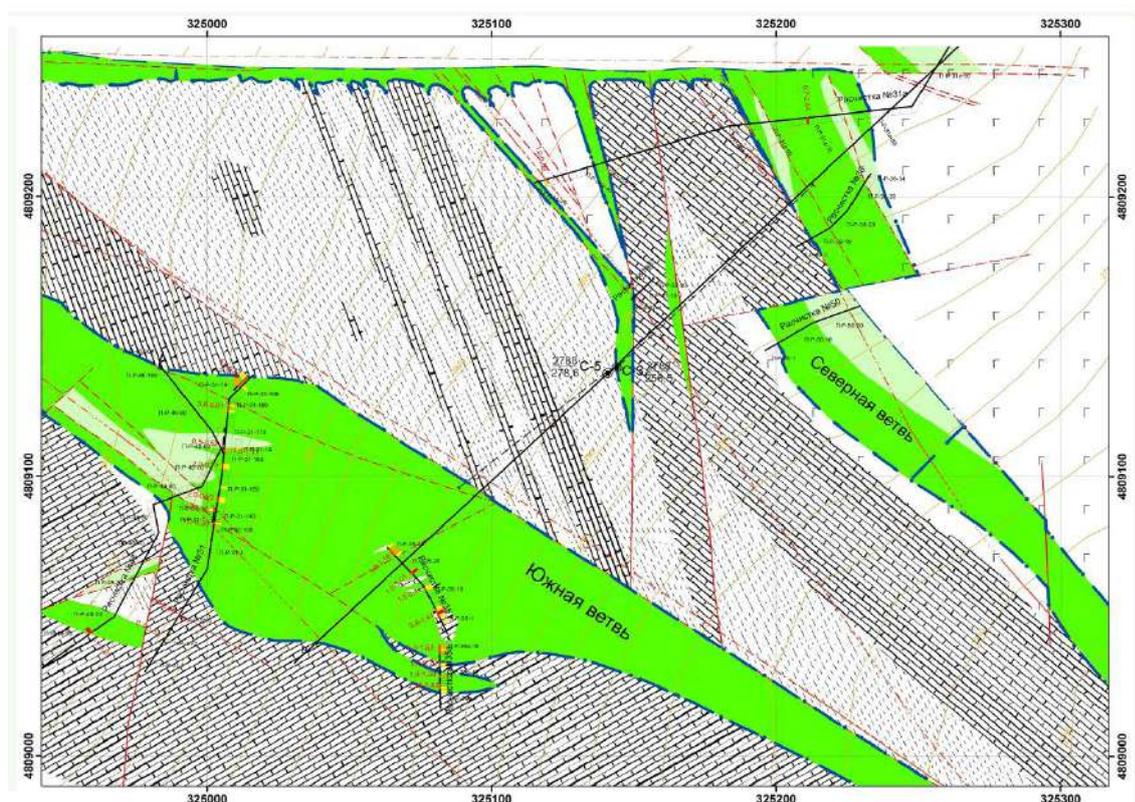


Рис. 7. Геологическое строение Среднего участка Зыгыркольской рудной зоны с результатами пробирного анализа на золото бороздовых проб. Условные обозначения согласно рисунку 5

жина 3) вскрыт пироксеновый скарн без золота, но с повышенными содержаниями серебра (в 2-10 раз более высокими, чем в золотоносных скарнах Нижнего участка). Кроме того, на этом участке, в отличие от Нижнего, скважиной 3 в интервале 164,1-164,8 м вскрыта золотоносная дайка гранит-аплита с густой вкрапленностью и гнездами галенита и пирита. Этот гранит-аплит содержит 2,69 г/т золота и 4,1 г/т серебра.

В целом, по данным скважин 3 и 5 устанавливается вертикальная зональность минерального состава скарнов, что соответствует высказанным выше предположениям и демонстрирует относительно небольшой вертикальный размах этой зональности. Так, в верхней части разреза (ближе к дневной поверхности) развиты пироксеновые без граната, но с эпидотом скарны, образовавшиеся по мраморам. С глубиной появляются гранат-пироксеновые скарны по роговикам, в которых иногда отмечаются повышенные содержания золота. В целом для скарнов среднего характерны более высокое содержание сульфидов, более разнообразный их состав и значительно более высокие содержания серебра, чем в скарнах Нижнего участка. Повышенные содержания золота здесь отмечаются в единичных пробах, зато отмечаются в повышенных концентрациях серебро, мышьяк, висмут, олово и некоторые другие рудные элементы.

**Верхний участок** изучен только поверхностными горными выработками. В двух из них вскрыты скарны эпидот-пироксенового состава с реликтами мраморов (канавка 15) и геденбергитового состава с реликтами андезитов (канавка 17). Из всех проб, отобранных по эпидот-пироксеновым скарнам, всего лишь в одной про-

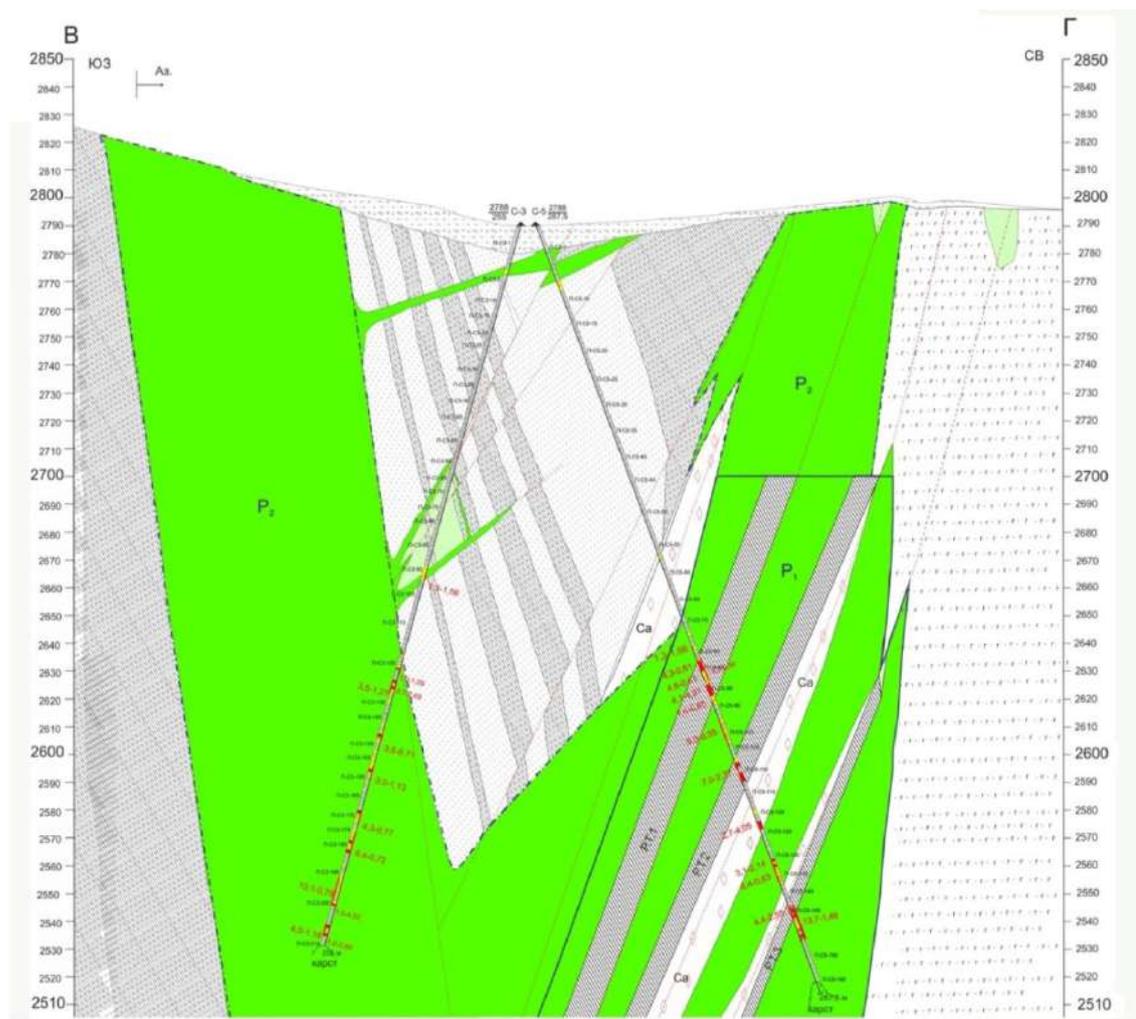


Рис. 8. Геологический разрез по линии ВГ через Средний участок Зыгыркольской рудной зоны с результатами пробирного анализа на золото керновых проб. Условные обозначения согласно рисунку 5

бе установлено значимое содержание золота 0,17 г/т, при этом фиксируются повышенные содержания меди, серебра, мышьяка, олова, вольфрама, молибдена. В геденбергитовых скарнах отмечаются разно ориентированные кварц-карбонатные и карбонатные прожилки и рассеянная сульфидная минерализация. В центральной части скарнового тела в двух пробах содержания золота составили 0,5 г/т. Остальные части скарна содержат повышенный фон золота на уровне сотых и первых десятых долей г/т.

Для верхнего участка характерно наличие альпийских даек гранитоидного состава. Так, с северо-востока верхнее скарновое тело контактирует с дайкой аплита, с юго-запада – с палеозойскими вулканитами. Далее на юго-запад к вулканитам примыкает мощная (30 м) дайка сильно выветрелого и передробленного гранит-аплита с гнездами и вкрапленниками окисленных сульфидов. В канаве 14, пройденной на Верхнем участке вскрыта относительно мощная (21 м) дайка гранит-аплита среди андезитов и кварц-карбонатных метасоматитов. Дайка местами минерализована сульфидами и в приразломных участках содержит около 0,1-0,3 г/т золота. В канаве 17 вскрыты две параллельные дайки аплитов. По всем опробованным интерва-

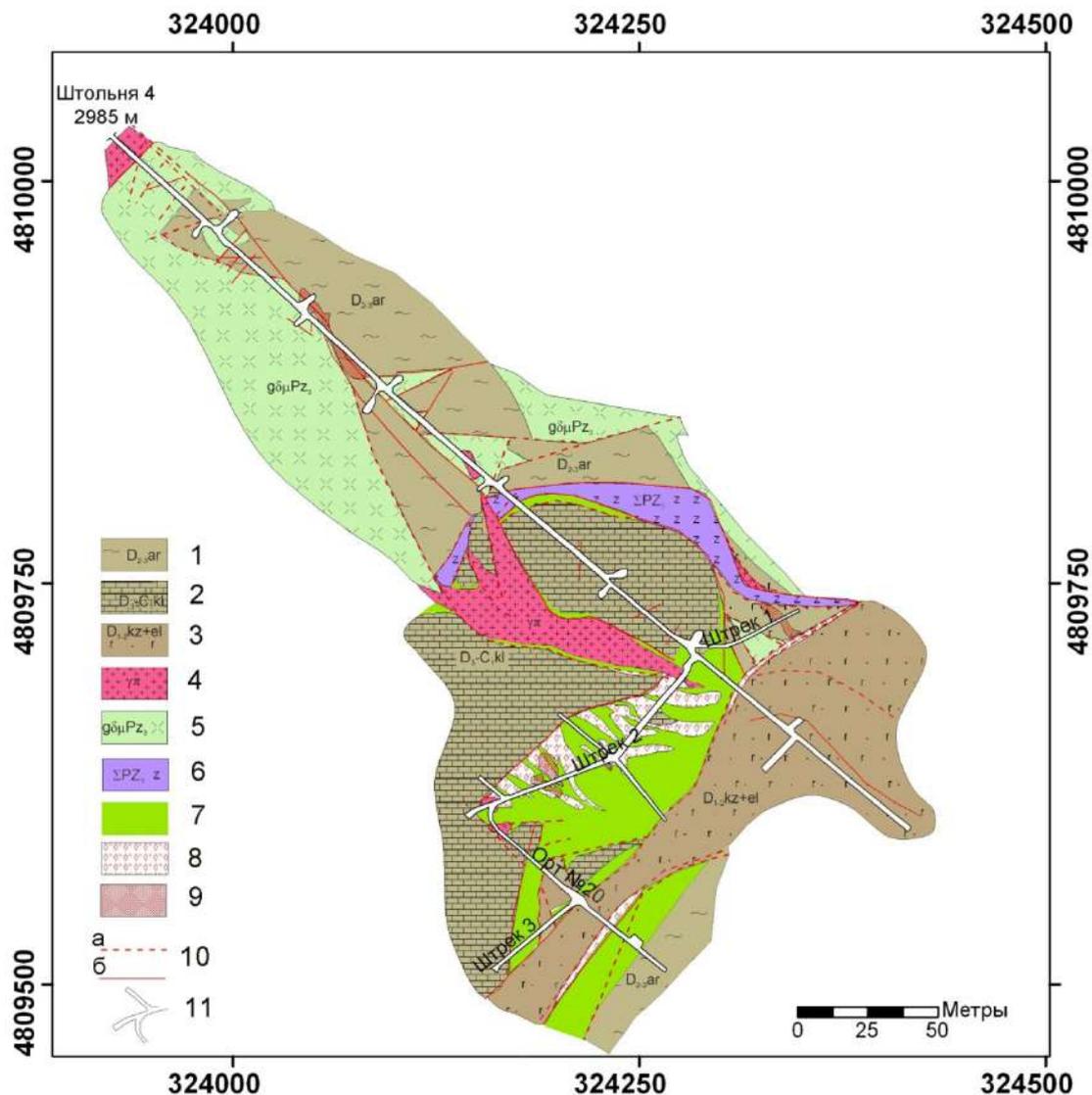


Рис. 9. Геологическое строение Перевального участка на горизонте штольни № 4:  
 1-3 – стратифицированные геологические комплексы: 1 – осадочно-вулканогенный ( $D_2$ ),  
 2 – морской терригенный ( $D_3$ ), 3 – карбонатный ( $D_3 - C_1$ ); 4-6 – интрузивные комплексы: 4 –  
 уллу-таллыкольский гипербазитовый герцинский ( $PZ_3$ ), 5 – чучкурский диорит-гранодиорит-  
 порфиоровый гипабиссальный позднегерцинский (P-T), 6 – тырнаузский лейкократово-  
 гранитовый альпийский (N); 7-8 – гидротермально-метасоматические образования: 7 – кварц-  
 карбонатные метасоматиты, 8 – скарны; 9 – золото-сульфидно-вкрапленные руды, 10-11 –  
 тектонические нарушения: 10 – не прослеженные, 11 – прослеженные

лам аплиты содержат повышенный фон золота на уровне сотых и первых десятых долей г/т. Лишь на северо-восточном своем окончании в аплитах выделяется 4-х метровый интервал с содержанием золота от 0,4 до 0,57 г/т, что, вероятно связано с прилегающей тектонической зоной дробления и милонитизации.

**Перевальный участок** приурочен к осевой части хр. Гитче-Тырныуз. На поверхности он выделяется по вторичному ореолу рассеяния золота, однако рудоносные скарны на дневную поверхность не выходят. Скарны вскрыты штольней 4, пройденной в 70-е годы с целью поиска вольфрамового и молибденового оруденения. По результатам изучения документации штольни № 4 и отвалов горных пород

и руд у ее устья, установлено, что там развиты эпидот-пироксеновые, геденбергитовые и гранат-пироксеновые скарны и отмечаются не только гнездово-вкрапленные, но и массивные сульфидные руды (рис. 9).

Определение содержаний золота производилось по сохранившимся дубликатам проб, отобранных ранее на W и Mo при проходке штольни 4. Наиболее интересный результат в отношении золотоносности получен по скарновому телу, вскрытому штреком 3. Здесь пробирным анализом установлены повышенные содержания золота (табл. 1). При этом среднее содержание на 12-метровый интервал составило 6,3 г/т золота, серебра – 4,6 г/т. Данное скарновое тело располагается под хр. Гитче-Тырныуз на глубине (под осевой частью хребта) не более 100 м. По результатам пробирного анализа на золото сульфидных руд, вскрытых на контактах скарновых тел и вмещающих роговиков и кварц-карбонатных метасоматитов и приуроченных к поздним тектоническим зонам дробления, сульфидная зона в штреке 1 содержит золота 3 г/т и серебра 73,6 г/т, другая сульфидная зона в штреке 2 содержит золота 3,8 г/т и серебра 207,0 г/т. Это значит, что сульфидные руды содержат не золотое, а золото-серебряное оруденение.

Химико-спектральные анализы на золото дубликатов проб из сульфидизированной дайки лейкократового гранита по орту 20 показали на шестиметровый интервал среднее содержание золота 0,4 г/т и серебра 66 г/т. Сульфидные зоны с визуально диагностируемым самородным золотом отмечаются в документации и по стенкам самой штольни 4 среди артыкчакских сланцев и палеозойских кварцевых диоритов.

Таблица 1.

**Среднеарифметические содержания золота в рудных пересечениях,  
вскрытых штольней 4**

Порода	Метод определения	Место отбора	Кол-во проб	Au, г/т	Ag, г/т
Пироксеновые скарны	Пробирный	Штрек 3	12	6,33	4,6
Лейкократовый гранит с гнездами сульфидов	Химико-спектральный	Орт № 20	6	0,41	66
Сульфидные зоны	Пробирный	Штрек 1	2	3	73,65
	Пробирный	Штрек 2	2	3,8	207
	Химико-спектральный	Штрек 2	2	0,4	200
	Химико-спектральный	Штрек 2	5	1,26	128

В приустьевой части штольни на северо-западном окончании Зыгыркольской зоны также вскрыта минерализованная дайка лейкократового гранита, в которой обнаружены крупные гнезда и прожилки галенита. Значимые содержания золота установлены только в трех пробах с высокими содержаниями сульфидов от 0,54 до 1,53 г/т.

Магистральная канава 1, пройденная вдоль осевой части хр. Гитче-Тырныуз с целью заверки геохимической аномалии золота во вторичном ореоле рассеяния

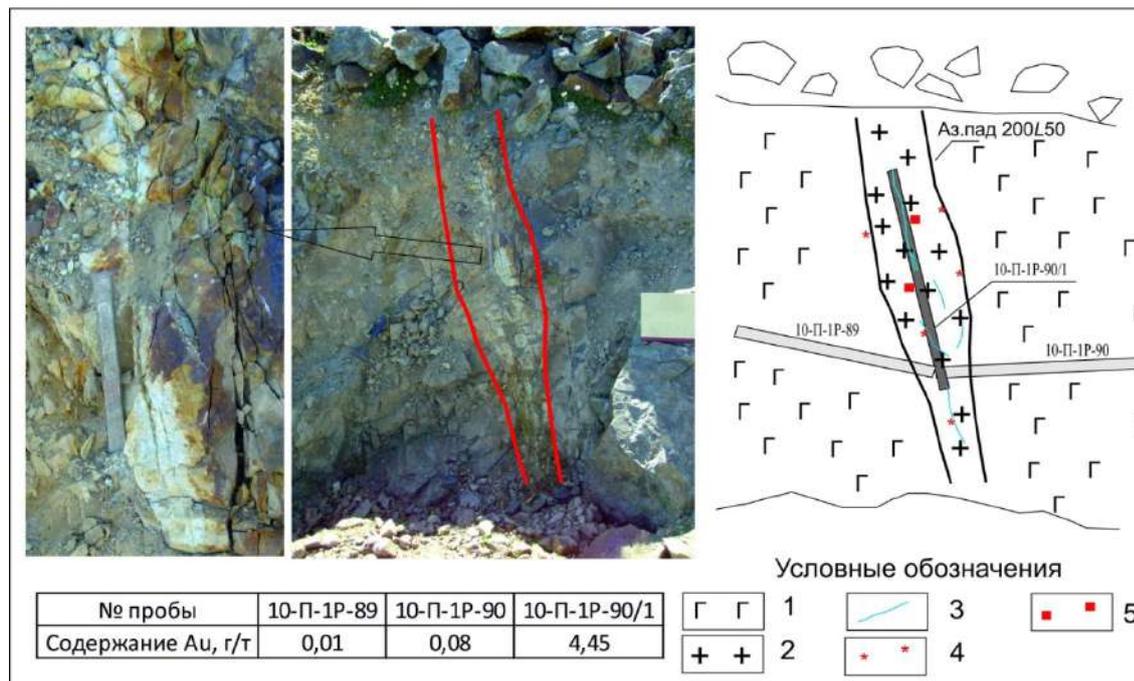


Рис. 10. Дайка гранит-аплита с золотоносными кварцевыми прожилками:  
 1 – андезит; 2 – гранит-аплит; 3 – кварцевые прожилки; 4 – лимонитизация;  
 5 – сульфидная минерализация

не вскрыла скарновых тел вообще, а также относительно крупных золотоносных тел, связанных с какими-либо другими геологическими образованиями. Интервалы с относительно повышенными содержаниями золота (сотые – первые десятые г/т) связаны с тектоническими зонами и не превышают 3-4 м. Более высокие содержания золота (около 1 г/т) устанавливаются в задириковых пробах, отобранных из маломощных минерализованных тектонических швов. Самое высокое содержание золота (около 1 г/т) устанавливается в задириковой пробе, отобранной вдоль продольных маломощных кварцевых прожилков из осевой части маломощной дайки лейкократового гранита (рис. 10).

Таким образом, золотоносные минерализации в скарнах и в сульфидных зонах сильно отличаются. Установлено [Столяров и др., 2016], что золотоносность скарнов обеспечена частицами самородного золота, а золотоносность сульфидизированных участков связана с более поздними сульфоантимонитами и теллуридами золота и серебра.

Следует констатировать, что повышенные содержания золота, образующие рудные концентрации, обнаружены только в гранатовых, пироксен-гранатовых и гранат-пироксеновых скарнах, образованных по роговикам, реже по андезитам и их туфам. Иногда повышенные содержания золота отмечаются в прилегающих сверху или снизу вмещающих роговиках и (или) скарнированных андезитах.

Установлено также, что общей особенностью золотоносных скарнов является наличие прожилков, крупных линзообразных выделений и гнезд белого кальцита различной ориентировки и мощности. В пироксен-плагиоклазовых роговиках таких выделений кальцита, за редким исключением, не отмечается. В андезитах встречаются прожилки, но имеют они кварц-карбонатный состав.

Чисто кварцевые прожилки в скарнах отмечаются крайне редко. Наибольшее их количество документировано в скважине 2 бис в интервале 37,5-40,7 м. Однако

это не привело к повышению содержаний золота (0,13-0,43 г/т) и серебра (0,1-0,2 г/т).

Еще одной особенностью золотоносных скарнов, а также оруденелых роговиков и андезитов, является отсутствие значительных количеств сульфидов. Здесь они отмечаются в форме рассеянной редкой вкрапленности. В основном это пирит. Отмечаются также халькопирит, арсенопирит, галенит, сфалерит. При этом содержания золота в опробованных интервалах не обнаруживают зависимости ни от суммарного содержания сульфидов ни от их состава.

Установленные в альпийских дайках лейкократовых гранитов и в участках сульфидизированных брекчий и жил повышенные содержания золота связаны с гнездовыми выделениями сереброносных сульфидов и (или) кварцево-сульфидных прожилков и не образуют приемлемых по масштабам рудных тел.

### Литература

1. Емкужев А. С., Парада С. Г., Столяров В. В., Тарасов В. А. Опыт применения крупномасштабной магнитной съемки при поисках золотого оруденения в Восточной части Передового хребта (Кабардино-Балкарская Республика) // Геология и геофизика Юга России. – 2013. – № 3. – С. 3-19.
2. Маркин М. Ю., Столяров В. В., Шишкалов И. Ю. Геологические условия локализации золотого оруденения Северного фланга Тырныаузского рудного поля // Вестник Южного научного центра. – 2014. – Т. 10. № 2. – С. 44-51.
3. Парада С. Г. Перспективные типы месторождений и рудопроявлений золота на Юге России // Геология и геофизика Юга России. – 2017. – № 1. – С. 60-70.
4. Парада С. Г., Холод Ю. В., Шишкалов И. Ю. Геохимия вторичных ореолов рассеяния Малка-Муштинского рудного узла (Северный Кавказ) // Вестник Южного научного центра. – 2011. – Т. 7. № 3. – С. 55-60.
5. Столяров В. В. Прогнозно-поисковая модель золотого оруденения в скарнах Северного фланга Тырныаузского рудного поля (Кабардино-Балкарская Республика) // Руды и металлы. – 2015. – № 3. – С. 25-37.
6. Столяров В. В., Парада С. Г., Попов Ю. В., Назаренко А. В. Типоморфизм самородного золота из скарнов Тырныаузского рудного узла (Кабардино-Балкарская Республика) // Наука Юга России, – 2016. – Т. 12. № 1. – С. 32-42.
7. Тарасов В. А., Емкужев М. С., Парада С. Г., Столяров В. В. Геофизические методы при поисках золоторудной минерализации на флангах Тырныаузского рудного узла // Вестник Воронежского Государственного университета. Серия: Геология. – 2015. – № 1. – С. 109-117.
8. Чинь Куок Хиен. Геологическое строение и оруденение северной части Тырныаузского рудного поля: // Автореф. ... дисс. канд. геол.-мин. наук. – М.: 1994. – 23 с.

## LOCALIZATION CONDITIONS AND THE GOLD CONTENT OF THE SCARNS OF ZYGYRKOL ORE ZONE (KABARDINO-BALKARSKAYA REPUBLIC)

© 2017 S. G. Parada<sup>1,2</sup>, Sc. Doctor (Geol.-Min.), V. V. Stolyarov<sup>1</sup>, Sc. Candidate (Geol.-Min.)

<sup>1</sup>Institute of Arid Zones of SSC RAS, Russia, 344006, Rostov-on-Don, Chekhov Av., 41, e-mail: segripa@rambler.ru;

<sup>2</sup>Geophysical institute VSC RAS, Russia, 362002, RNO-Alania, Vladikavkaz, Markov Street, 93a

Are described the geological conditions for localization of the gold-bearing Zygyrkol ore zone scarms, revealed with the participation of the authors in recent years on the northern flank of Tyrnyauz ore unit.

Is established the prolonged (from the late Paleozoic period) development of deformations within the limits of Gitche-Tyrnyauz ore field, and that to shaping of productive to gold Zygyrkol ore zone gave vertical tension and the reverse fault-shift deformations of Alpine stage.

Four sections of the development of gold-bearing scarms are isolated. Nature and degree of their gold content are opened.

They are determined by the level of the Zygyrkol zone denudation shear, which rises up in the North Western direction hearth by smaller angle than is raised relief, which leads to the withdrawal under the relief of optimum ore-bearing level.

The lower section, where the gold-bearing scarms leave to the earth's surface, possesses the optimum level of shear.

The crossing section, where the scarms productive to gold are located on 100-200 m lower than earth's surface, possesses the minimum level of shear.

**Keywords:** gold, scarms, ore zone, ore field, tectonic deformations, denudation shear, the North Caucasus.

### References

1. Emkuzhev A.S., Parada S.G., Stolyarov V.V., Tarasov V.A. Opyt primeneniya krupnomasshtabnoj magnitnoj s'emki pri poiskah zolotogo orudneniya v Vostochnoj chasti Peredovogo hrebta (Kabardino-Balkarskaya Respublika) [Experience in the application of large-scale magnetic survey in the search for gold mineralization in the eastern part of the Upper Range (Kabardino-Balkaria Republic)]. *Geologiya i geofizika Yuga Rossii*, 2013, No.3, pp. 3–19. (in Russian).
2. Markin M.Ju., Stoljarov V.V., Shishkalov I.Yu. Geologicheskie uslovija lokalizacii zolotogo orudneniya Severnogo flanga Tyrnyauzskogo rudnogo polya [Geological conditions of localization of gold mineralization of the Northern flank of the Tyrnyauz ore field]. *Vestnik Yuzhnogo nauchnogo centra*, 2014, Vol. 10, No.2, pp. 44–51. (in Russian).
3. Parada S.G. Perspektivnye tipy mestorozhdenij i rudoproyavlenij zolota na Yuge Rossii [Prospective types of gold deposits and ore occurrences in the South of Russia]. *Geologiya i geofizika Yuga Rossii*, 2017, No. 1, pp. 60–70. (in Russian).
4. Parada S.G., Holod Yu.V., Shishkalov I.Yu. Geohimiya vtorichnyh oreolov rasseyaniya Malka-Mushtinskogo rudnogo uzla (Severnyj Kavkaz) [Geochemistry of the secondary halos of the Malka-Mushta Ore Scattering (North Caucasus)]. *Vestnik Yuzhnogo nauchnogo centra*, 2011, Vol. 7, No. 3, pp. 55–60. (in Russian).
5. Stolyarov V.V. Prognozno-poiskovaya model' zolotogo orudnenija v skarnah Severnogo flanga Tyrnyauzskogo rudnogo polya (Kabardino-Balkarskaya Respublika) [Forecasting and searching model of gold mineralization in the skarns of the Northern flank of the Tyrnyauz ore field (Kabardino-Balkaria Republic)]. *Rudy i metally*, 2015, No. 3, pp. 25–37.
6. Stolyarov V.V., Parada S.G., Popov Ju.V. Nazarenko A.V. Tipomorfizm samorodnogo zolota iz skarnov Tyrnyauzskogo rudnogo uzla (Kabardino-Balkarskaya Respublika) [Typomorphism of native gold from skarns of the Tyrnyauz ore node (Kabardino-Balkaria Republic)]. *Nauka Yuga Rossii*, 2016, Vol. 12, No. 1, pp. 32–42. (in Russian).

7. Tarasov V.A., Emkuzhev M.S., Parada S.G., Stoljarov V.V. Geofizicheskie metody pri poiskah zolotorudnoj mineralizacii na flangah Tyrnyauzskogo rudnogo uzla [Geophysical methods in the search for gold mineralization on the flanks of the Tyrnyauz ore cluster]. Vestnik Voronezhskogo Gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya, 2015, No. 1, pp. 109–117. (in Russian).

8. Chin' Kuok Hien Geologicheskoe stroenie i orudnenie severnoj chasti Tyrnyauzskogo rudnogo polja. // Kand. geol.-min. nauk. diss. [Geological structure and mineralization of the northern part of the Tyrnyauz ore field: the author's abstract. Candidate geol.-min. sci. diss]. Moscow, 1994. 23 p.

УДК 550.34.097

## ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ, СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКИЕ, МАКРОСЕЙСМИЧЕСКИЕ И СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ КУРЧАЛОЙСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 11 ОКТЯБРЯ 2008 Г. В ЧЕЧЕНСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ

© 2017 Е. А. Рогожин, д.ф.-м.н., проф.

Геофизический институт – филиал ФГБУН ФНЦ «Владикавказский научный центр Российской академии наук», Россия, 362002, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: eurog1947@yandex.ru

В статье дан анализ причин приуроченности Курчалойского землетрясения к возникшему очагу. Дается логически обоснованное заключение о тектонической природе очаговой зоны и механизме проявления и развития землетрясения. Утверждается, что очаг возникновения характеризуемого землетрясения определяется облаком эпицентров афтершоков, имеющим в плане изометричные очертания, и по кинематике представляется взбросом. Наиболее плотная часть облака приурочена к узлу сочленения Терской антиклинали (развитой над зоной Срединного разлома Терско-Каспийского передового прогиба) и северо-западного линейного, разрывного обрамления горного поднятия Дагестанского клина.

**Ключевые слова:** Курчалойское землетрясение, взбросовая тектоника, афтершоки, Терская антиклиналь, Дагестанский клин.

Курчалойское землетрясение 11 октября 2008 г. с  $K_p = 14,5$ ,  $M_w = 5,8$ ,  $I_0 = 7-8$  ощущалось на обширной территории, включающей Чеченскую Республику, Ингушскую Республику, Республику Дагестан, Республику Северная Осетия-Алания, Кабардино-Балкарскую Республику, Ставропольский край, южные районы Калмыкии, Грузию, северные районы Азербайджана и Армении. Наибольшие разрушения произошли в Курчалойском, Гудермесском, Шалинском и Ножай-Юртовском районах Чеченской Республики (ЧР). К счастью, эпицентр находился в горных малонаселенных районах, и это не привело к большому числу жертв, однако, по сообщениям МЧС России, число погибших все же достигло 13 человек, медицинская помощь оказана более, чем ста жителям, фиксировались значительные разрушения жилого фонда и коммуникаций. Землетрясение получило название Курчалойское по одному из наиболее пострадавших сел [Асманов и др., 2014; Габсатарова и др., 2014а,б; Габсатарова, 2014]. Землетрясение не образовало на поверхности первичных сейсмодислокаций – сейсморазрывов. Оно сопровождалось обвалами и оползнями в горной части территории Чеченской Республики, где пострадало дорожное полотно трассы и проселочных дорог на горном отрезке автодороги Грозный – Шатой. На рисунке 1 приведен пример вида разрушений из архива фотографий [Гайсумов, 2014].

В очаговой зоне Курчалойского землетрясения незадолго до него наблюдался относительно низкий уровень сейсмичности, хотя 31 марта 2008 г., примерно в сорока километрах от него, произошло значительное ( $K_p = 11,6$ ) землетрясение. Еще ближе был расположен эпицентр землетрясения 4 апреля с  $K_p = 10,7$  [Габсатарова и др., 2014б]. Но в целом землетрясение 11 октября произошло в высокосейсмичном районе. Здесь в 1976 г. произошло Черногорское землетрясение с сотрясениями на



Рис. 1. Оползень, разрушивший автодорогу и возникший в результате Курчалойского землетрясения 11 октября 2008 г. с  $K_p = 14,5$ ,  $M_w = 5,8$ ,  $I_0 = 7-8$  [Гайсумов, 2014]

поверхности 8-9 баллов в эпицентре и магнитудой  $MLH = 6,4$  [Папалашвили и др., 1980], а с конца XIX в. до начала XXI в. учеными зафиксировано более 20 землетрясений с  $I_0 = 6$  баллов и выше [Габсатарова, 2014; Старовойт и др., 2014].

Сеймотектоническая позиция очага Курчалойского землетрясения, определенная на основе анализа собранных макросейсмических, сейсмологических и геолого-геофизических данных [Асманов и др., 2014], представляется следующей. Основные активные разломы в этой части Северного Кавказа имеют субширотное простирание. Это тектонические нарушения, подстилающие Терскую и Сунженскую антиклинали, а также зоны Владикавказского разлома. Однако простирание длинных осей изосейст высших баллов (рис. 2 [Габсатарова, 2014]) имеет ярко выраженную восток-северо-восточную ориентировку. Облако эпицентров афтершоков имеет в плане изометричные очертания (рис. 2). Наиболее плотная часть облака приурочена к узлу сочленения Терской антиклинали (развитой над зоной Срединного разлома Терско-Каспийского передового прогиба) и северо-западного линейного, разрывного обрамления горного поднятия Дагестанского клина.

Решение фокального механизма очага Курчалойского землетрясения показано на рис. 2 [Рогожин и др., 2014]. Землетрясение возникло под действием сжимающих напряжений, ориентированных с юга на север. Одна нодальная плоскость, согласно решению ИОЦ ГС РАН, простирается с северо-запада на юго-восток, вторая плоскость простирается с северо-востока на юго-запад. Угол падения плоскостей достаточно крутой. Если учесть данные макросейсмического обследования, то длинная ось высших изосейст 7 и 8 баллов совпадает по простиранию с ориентировкой северо-восточной плоскости на стереограмме. Поэтому данную плоскость можно принять за действующую, подвижка в очаге представляла собой левосторонний взбросо-сдвиг с крутым погружением поверхности сместителя в юго-восточном направлении под северо-западный склон «дагестанского клина». В этом

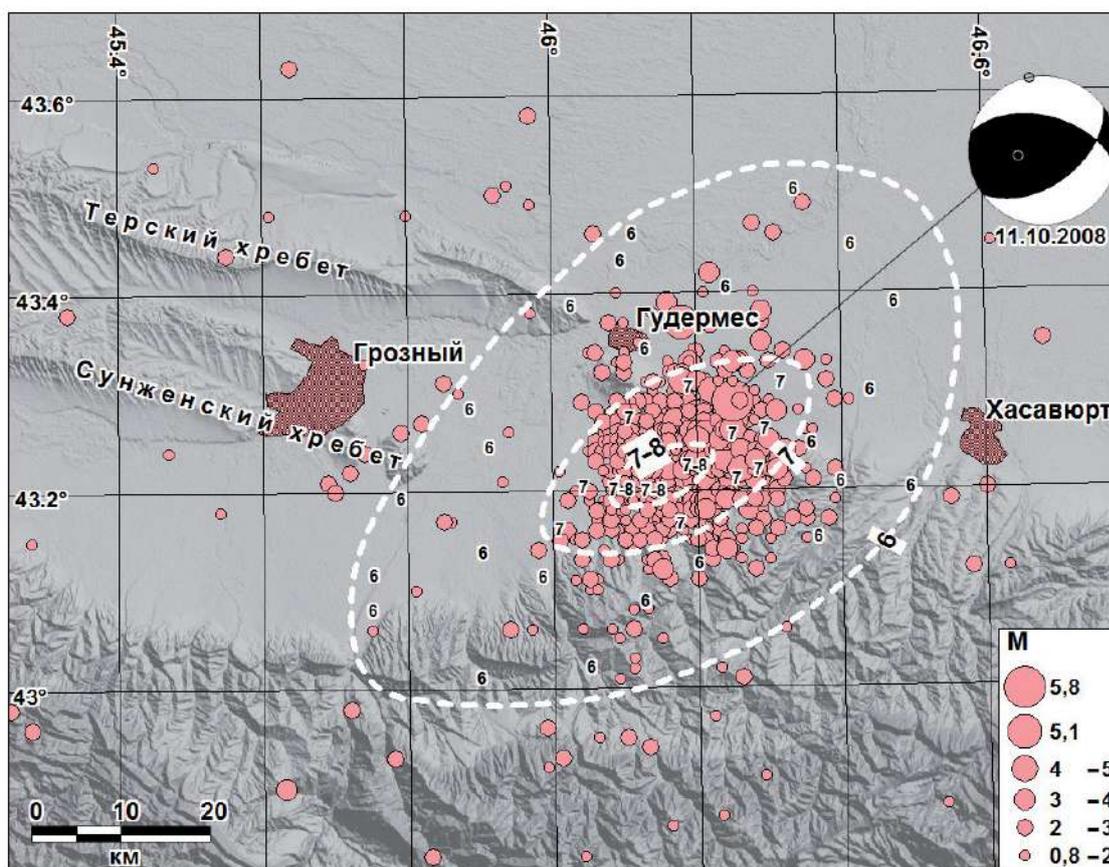


Рис. 2. Положение эпицентров сейсмических толчков, механизм очага и изосейсты землетрясения 11 октября 2008 г. по данным ГС РАН. Макросейсмические сведения собраны М. А. Гайсумовым и И. А. Керимовым [Гайсумов, 2014]

случае находит объяснение распространение участков проявления вторичных обвально-оползневых сейсмодислокаций в горной части северного склона Большого Кавказа и отсутствие таковых в пределах Терского хребта, вблизи инструментального эпицентра.

Следует отметить, что в этой части Северо-Восточного Кавказа выделяются два активных разлома северо-восточной ориентировки (база данных [Трифонов и др., 2002]: №№ 89.4 и 90.4). Эти тектонические нарушения проявляют геологическую и сейсмическую активность на протяжении позднего плейстоцена и голоцена. Средняя скорость смещений в зоне этих дизъюнктивов составляет менее 1 мм/год. Линии разломов выражены в рельефе в виде уступов, их подвижность установлена при геодезических измерениях. По кинематике оба разлома выступают в виде взбросов с приподнятыми юго-восточными крыльями. На карте изосейст (рис. 2) хорошо выражена вытянутость изолиний высших баллов (особенно 7-го и 8-го) с юго-запада на северо-восток с азимутом простирания, в целом согласующимся с ориентировкой этих активных разломов.

Таким образом, сеймотектоническая позиция Курчалойского землетрясения отразила тенденцию продолжения роста Дагестанского клина и его разрастания в северо-восточном направлении [Рогожин и др., 2014].

Работа выполнена в рамках темы «Современная геодинамика и пространственное положение активных глубинных разломов Центральной части Большого Кавказа на основе инструментальных наблюдений».

## Литература

1. Габсатарова И. П., Головкова Л. В., Иванова Л. Е., Пономарёва Н. Л., Чепкунас Л. С., Рыжикова М. И. Макросейсмические проявления Курчалойского землетрясения 11 октября 2008 г. с  $K_p = 14,5$ ,  $M_w = 5,8$ ,  $I_0 = 7-8$  (Чеченская Республика) // Землетрясения Северной Евразии, 2008 год. – Обнинск: издание ГС РАН, 2014. Приложение к сб. на CD.
2. Габсатарова И. П., Селиванова Е. А., Головкова Л. В., Асманов О. А., Девяткина Л. В. (отв. Сост.), Александрова Л. И., Иванова Л. Е., Малянова Л. С., Амиров С. Р., Мусалаева З. А., Сагателова Е. Ю., Гамидова А. М., Абдуллаева А. Р., Калоева И. Ю., Киселёва О. А., Перевозников К. А., Цирихова Г. В. Афтершоки Курчалойского землетрясения 11.10.2008 г. за 2008 г. ( $N = 1003$ ) // Землетрясения Северной Евразии, 2008 год. – Обнинск: издание ГС РАН, 2014а. Приложение к сб. на CD.
3. Габсатарова И. П., Селиванова Е. А., Головкова Л. В., Асманов О. А., Девяткина Л. В. (отв. сост.); Александрова Л. И., Иванова Л. Е., Малянова Л. С., Амиров С. Р., Лещук Н. М., Мусалаева З. А., Сагателова Е. Ю., Гамидова А. М., Абдуллаева А. Р., Калоева И. Ю., Киселёва О. А., Перевозников К. А., Цирихова Г. В., Котляренко Н. Л., Никольская Т. Н., Яфимова Я. П. Каталог землетрясений ( $N = 1937$ ) и взрывов ( $N = 31$ ) Северного Кавказа в государственных границах +30 км за 2008 г. Каталог землетрясений за 2008 г. Землетрясения Северной Евразии, 2008 год. – Обнинск: издание ГС РАН, 2014б. Приложение к сб. на CD.
4. Габсатарова И. П. Инструментальные параметры очага Курчалойского землетрясения 11 октября 2008 г. с  $K_p = 14,5$ ,  $M_w = 5,8$ ,  $I_0 = 7-8$  (Чеченская республика) // Землетрясения Северной Евразии, 2008 год. – Обнинск: издание ГС РАН, 2014. – С. 210-237.
5. Гайсумов М. Я. Фотообзор последствий Курчалойского землетрясения 11 октября 2008 г. с  $K_p = 14,5$ ,  $M_w = 5,8$ ,  $I_0 = 7-8$  в Чеченской Республике // Землетрясения Северной Евразии, 2008 год. – Обнинск: издание ГС РАН, 2014. Приложение к сб. на CD.
6. Папалашвили В. Г., Баграмян А. Х., Гоцадзе О. Д., Кулиев Ф. Т. Кавказ // Землетрясения в СССР в 1976 г. – М.: Наука, 1980. – С. 13-15.
7. Рогожин Е. А., Овсяченко А. Н., Лутиков А. И., Собисевич А. Л., Собисевич Л. Е., Горбатиков А. В. Эндогенные опасности Большого Кавказа. – М.: ИФЗ РАН, 2014. – 256 с.
8. Старовойт О. Е., Михайлова Р. С., Рогожин Е. А., Левина В. И. Северная Евразия // Землетрясения Северной Евразии, 2008 год. – Обнинск: издание ГС РАН, 2014. – С. 14-40.
9. Трифонов В. Г., Соболева О. В., Трифонов Р. В., Востриков Г. А. Современная геодинамика Альпийско-Гималайского коллизионного пояса. – М.: Геос, 2002. – 224 с.

## TECTONIC POSITION, SEISMOTECTONIC, MAKROSEISMIC AND SEISMIC MANIFESTATIONS OF THE KURCHALOY EARTHQUAKE 11 OCTOBER 2008 IN THE CHECHEN REPUBLIC

© 2017 E. A. Rogozhin, Sc. Doctor (Phys.-Math.), prof.

Geophysical institute VSC RAS, Russia, 362002, RNO-Alania, Vladikavkaz, Markov Str., 93 a, e-mail: eurog1947@yandex.ru

The article provides an analysis of the reasons for the connection between the Kurchaloy earthquake and the resulting focal. Provides a logical conclusion about the tectonic nature of the focal zone and mechanism and development of earthquake. It is alleged that occurrence focus of characterized earthquake is defined by aftershock epicentres cloud with the isometric plan outlines, and kinematically is up thrust. For the most dense part of cloud dedicated to the articulation node of the Terek anticline (developed over the area of the Median fissure of the Terek-Caspian fore land trough) and North-Western linear, discontinuous frame mountain up lift of the Dagestan wedge.

**Key words:** Kurchaloy earthquake, up thrust tectonics, aftershocks, the Terek anticline.

### References

1. Gabsatarova I.P., Golovkova L.V., Ivanova L.E., Ponomaryova N.L., Chepkunas L.S., Ryzhikova M.I. Makroseismicheskie proyavleniya Kurchalojskogo zemletryaseniya 11 oktyabrya 2008 g. s KR = 14,5, Mw = 5,8, IO = 7 – 8 (Chechenskaya Respublika) [Macroseismic manifestations of the Kurchaloy earthquake on October 11, 2008 with KR = 14.5, Mw = 5.8, IO = 7-8 (Chechen Republic)] // Zemletryaseniya Severnoj Evrazii, 2008 god. Obninsk, GS RAN, 2014. CD. (in Russian).
2. Gabsatarova I.P., Selivanova E.A., Golovkova L.V., Asmanov O.A., Devyatkina L.V. (otv. sost.), Aleksandrova L.I., Ivanova L.E., Malyanova L.S., Amirov S.R., Musalaeva Z.A., Sagatelova E.Yu., Gamidova A.M., Abdullaeva A.R., Kaloeva I.Ju., Kiselyova O.A., Perevoznikov K.A., Cirihovala G.V. Aftershoki Kurchalojskogo zemletryaseniya 11.10.2008 g. za 2008 g. (N = 1003) [Aftershocks of the Kurchaloy earthquake on October 11, 2008 for 2008 (N = 1003)]. Zemletryaseniya Severnoj Evrazii, 2008 god. Obninsk, GS RAN, 2014. CD. (in Russian).
3. Gabsatarova I.P., Selivanova E.A., Golovkova L.V., Asmanov O.A., Devyatkina L.V. (otv. sost.), Aleksandrova L.I., Ivanova L.E., Malyanova L.S., Amirov S.R., Leshhuk N.M., Musalaeva Z.A., Sagatelova E.Yu., Gamidova A.M., Abdullaeva A.R., Kaloeva I.Yu., Kiselyova O.A., Perevoznikov K.A., Cirihovala G.V., Kotlyarenko N.L., Nikol'skaya T.N., Yafimova Ya.P. Katalog zemletryasenij (N = 1937) i vzryvov (N = 31) Severnogo Kavkaza v gosudarstvennyh granicah +30 km za 2008 g. Katalog zemletryasenij za 2008 g. Zemletryaseniya Severnoj Evrazii, 2008 god. [The catalog of earthquakes (N = 1937) and explosions (N = 31) of the North Caucasus in state borders +30 km for 2008 The catalog of earthquakes for 2008 Earthquakes of Northern Eurasia, 2008]. Obninsk, GS RAN, 2014. CD. (in Russian).
4. Gabsatarova I.P. Instrumental'nye parametry ochaga Kurchalojskogo zemletryaseniya 11 oktyabrya 2008 g. s KR = 14,5, Mw = 5,8, IO = 7 – 8 (Chechenskaya Respublika) [Instrumental parameters of the outbreak of the Kurchaloy earthquake on October 11, 2008 with KR = 14.5, Mw = 5.8, IO = 7-8 (Chechen Republic)]. Zemletryaseniya Severnoj Evrazii, 2008 god. Obninsk, GS RAN, 2014. pp 210–237. (in Russian).
5. Gajsumov M.Ya. Fotoobzor posledstvij Kurchalojskogo zemletryaseniya 11 oktyabrya 2008 g. s KR = 14,5, Mw = 5,8, IO = 7 – 8 v Chechenskoj Respublike [Photo review of the consequences of the Kurchaloy earthquake on October 11, 2008 with KR = 14.5, Mw = 5.8, IO = 7-8 in the Chechen Republic]. Zemletryaseniya Severnoj Evrazii, 2008 god. Obninsk, GS RAN, 2014. CD. (in Russian).
6. Papatashvili V.G., Bagramyan A.H., Gocadze O.D., Kuliev F.T. Kavkaz [Caucasus] // Zemletryaseniya v SSSR v 1976 g. Moscow, Nauka, 1980, pp. 13–15. (in Russian).
7. Rogozhin E.A., Ovsyuchenko A.N., Lutikov A.I., Sobisevich A.L., Sobisevich L.E., Gorbatikov A.V. Endogennye opasnosti Bol'shogo Kavkaza [Endogenous dangers of the Great Caucasus]. Moscow, IFZ RAN, 2014. 256 p. (in Russian).

8. Starovojt O.E., Mihajlova R.S., Rogozhin E.A., Levina V.I. Severnaya Evraziya [Northern Eurasia]. Zemletryaseniya Severnoj Evrazii, 2008 god. Obninsk, GS RAN, 2014. p. 14–40. (in Russian).
9. Trifonov V.G., Soboleva O.V., Trifonov R.V., Vostrikov G.A. Sovremennaya geodinamika Al'pijsko-Gimalajnskogo kollizionnogo poyasa [Modern geodynamics of the Alpine-Himalayan collisional belt]. Moscow, Geos Publ, 2002. 224 p. (in Russian).

УДК 550.34

## МОДЕЛИ ДЛЯ ОПИСАНИЯ СВЯЗИ ПИКОВОГО УСКОРЕНИЯ С МАКРОСЕЙСМИЧЕСКОЙ БАЛЛЬНОСТЬЮ СОТРЯСЕНИЙ ГРУНТА

© 2017 Ю. К. Чернов<sup>1</sup>, д.ф.-м.н., проф., А.Ю.Чернов<sup>2</sup>, к.т.н.

<sup>1</sup>Геофизический институт – филиал ФГБУН ФНЦ «Владикавказский научный центр Российской академии наук», Россия, 362002, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: chenta-26@mail.ru;

<sup>2</sup>Институт строительства ФГАОУ ВО "Северо-Кавказский федеральный университет", Россия, 355029, Ставропольский край, г.Ставрополь, пр.Кулакова 2

Предложены основанные на статистическом анализе большого объема мировых данных модели для оценки вероятных пиковых ускорений грунта по макросейсмической интенсивности произошедших или прогнозируемых сильных землетрясений и наоборот, для оценки макросейсмической силы сотрясений по данным об ускорениях. Показано, что для описания в широком диапазоне интенсивностей (3-11 баллов MSK) связи балльности с пиковыми амплитудами ускорений колебаний грунта лучше подходят кусочно-линейные аппроксимации с различными коэффициентами регрессии. При использовании же распространенных в настоящее время линейных соотношений может, в частности, происходить недооценка вероятных пиковых ускорений в диапазоне средних и низких макросейсмических интенсивностей (3-7 баллов MSK) и, наоборот, переоценка вероятных ускорений при высоких балльностях сотрясений (9-11 баллов MSK).

**Ключевые слова:** сильные землетрясения, пиковые ускорения колебаний грунта, макросейсмическая балльность сотрясений, сейсмические воздействия, сейсмическая опасность.

**Актуальность.** Выявление связей между физическими параметрами движений грунта и макросейсмической интенсивностью землетрясений из-за их высокой практической значимости как правило проводится в виде установления корреляций между максимальными ускорениями грунта и балльностью сотрясений. Подробный обзор таких работ в историческом аспекте дается в [Eiby, 1966; Aptikaev, 1981; Аптикаев, 2001]. Общий вывод сводится к тому, что по мере поступления новых экспериментальных данных происходит корректировка предыдущих зависимостей, что делает актуальной периодическую переоценку вышеуказанных зависимостей, выполненную с учетом полученной дополнительной информации и с применением новых подходов к анализу данных.

**Исходные данные и методика исследований.** В работе [Разработка..., 2003] приведены 22 известные и апробированные зависимости затухания балльности сотрясений от магнитуды землетрясения и расстояния до очага  $-I(M, D)$ , полученные в разное время разными авторами для разных сейсмоактивных районов мира. В графическом виде эти зависимости показаны на рисунке 1.

С другой стороны, в работах [Разработка..., 2003; Чернов Ю., Чернов А., 2017] приведены полученные аналогичным образом (т.е. обобщением 32 отобранных из разных районов мира) зависимости пиковых амплитуд ускорений колебаний грунта от магнитуды землетрясения и расстояния до его очага. Графики этих зависимостей показаны на рисунке 2.

Статистическое сопоставление полученных на основе этих двух групп зависимостей оценок пиковых амплитуд ускорений (рис. 2), с одной стороны и балль-

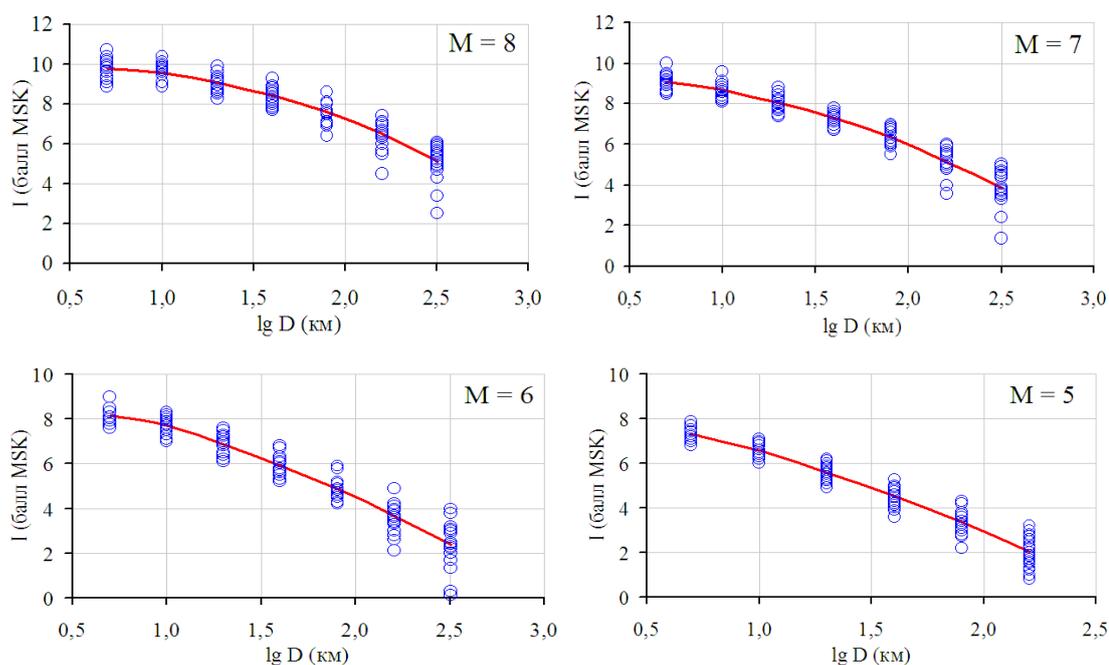


Рис. 1. Наиболее вероятные значения макросейсмических интенсивностей сотрясений ( $I$ ) при землетрясениях с различными магнитудами  $M$  на разных расстояниях от очага  $D$  по данным разных исследований (синие кружки). «Средние» грунтовые условия. Красная линия – аппроксимирующая кривая (средние значения).

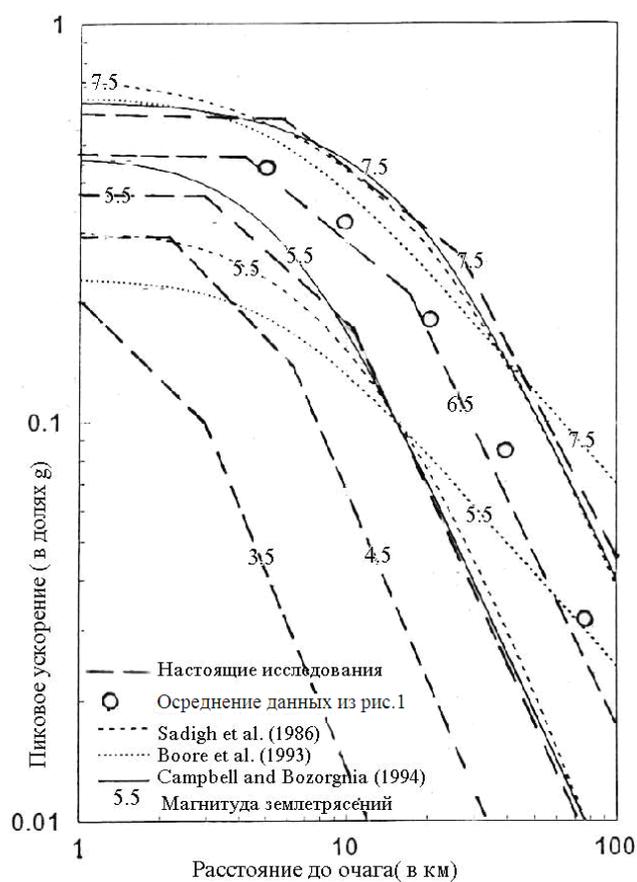


Рис. 2. Функции затухания пиковых ускорений колебаний грунта при землетрясениях разных магнитуд (среднемировые данные)

ности сотрясений (при одних и тех же  $M$  и  $D$  (рис. 1) с другой, дает возможность построить новую модель зависимости величин ускорений и соответствующих им балльностей.

Следует подчеркнуть, что каждая из показанных на рисунках 1 и 2 зависимостей, сама является обобщением сотен, а иногда и тысяч отдельных пар значений амплитуд колебаний и балльностей сотрясений с соответствующими  $M$  и  $D$ , что многократно увеличивает статистический объем анализируемой первичной информации и следовательно повышает надежность получаемых на ее основе результатов.

Статистические сопоставления выполнены в виде регрессионного анализа пар наиболее вероятных значений пиковых ускорений и балльностей, рассчитанных, соответственно, для магнитуд землетрясений  $M = 5; 6; 6,5; 7;$  и  $8$  и расстояний до очага  $D = 5; 10; 20; 40; 80; 160$  и  $320$  км. Значения пиковых ускорений для  $M = 6,5$  – это средние оценки по 32 независимым оценкам [см. Разработка..., 2003; Чернов Ю., Чернов А., 2017]. Наиболее вероятные значения пиковых ускорений для  $M=5; 6; 7$  и  $8$  рассчитаны по зависимостям (рис.2). Наиболее вероятные значения  $I$  для  $M = 5; 6; 7$  и  $8$  взяты из рисунка 1 (средние значения), соответственно. Оценки балльностей для  $M = 6,5$  получены интерполяцией соответствующих средних величин  $I$ , определенных для  $M = 6$  и  $M = 7$  (рис. 1). Помимо вышеуказанных данных в регрессионный анализ включены также наши дополнительные определения параметров сейсмических воздействий пиковых амплитуд и балльностей для ближних зон землетрясений с  $M = 5; 6; 6,5; 7;$  и  $8$  [см. Разработка..., 2003].

**Результаты и обсуждение.** Расчеты проведены в два этапа. Сначала рассчитаны линейные регрессии  $\lg \alpha_{\max}$  на  $I$ , отдельно для землетрясений с  $M = 4; 5; 6; 7$  и  $8$  (для  $M = 4$  расчет выполнен методом экстраполяции). Получены следующие аппроксимирующие выражения:

$$\begin{aligned} \lg \alpha_{\max} &= 0,328 I - 0,416 && \text{для } M=8; \\ \lg \alpha_{\max} &= 0,372 I - 0,636 && \text{для } M=7; \\ \lg \alpha_{\max} &= 0,383 I - 0,539 && \text{для } M=6; \\ \lg \alpha_{\max} &= 0,395 I - 0,569 && \text{для } M=5; \\ \lg \alpha_{\max} &= 0,405 I - 0,385 && \text{для } M=4, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\alpha_{\max}$  – в см/с/с;  $I$  – в баллах шкалы MSK-64 или MM,

По этим выражениям видно, что при одних и тех же балльностях на близких расстояниях большие ускорения дают меньшие магнитуды землетрясений. Так, например, при  $I = 9$  баллов MSK для магнитуды  $M = 6$  ожидаемое пиковое ускорение  $\alpha_{\max} \approx 0,809g$ ; для  $M = 7$  –  $\alpha_{\max} \approx 0,515g$ ; для  $M=8$  –  $\alpha_{\max} \approx 0,343g$ . Аналогичным образом при  $I=10$  баллов MSK для магнитуды  $M = 7$  получаем  $\alpha_{\max} \approx 1,213g$ ; для  $M = 8$  –  $\alpha_{\max} \approx 0,731g$ .

Особенности полученных на первом этапе зависимостей (1) могут объясняться влиянием на наблюдаемый общий макросейсмический эффект землетрясений не только амплитудного уровня ускорений, но также длительности цуга колебаний и периода колебаний с максимальными амплитудами. Так по мере возрастания магнитуды землетрясения увеличиваются относительная длительность интенсивной

фазы колебаний и период пикового ускорения, вследствие чего растет их вклад в результирующую макросейсмическую интенсивность и соответственно уменьшается скорость возрастания  $\alpha_{\max}$  при росте  $I$ . Подобные зависимости, учитывающие не только амплитудный уровень, но и длительности и периоды колебаний в виде функционалов рассматривались, например, в работе [Чернов, 1989]. В явном виде описанный эффект можно видеть в модернизированном нами функционале из [Чернов, 1989]:

$$I = (0,222M + 1,146) \lg PGA + 0,300 \lg T_a + 0,450 \lg \tau_{0,3} + 2,000 \quad (2)$$

В выражении (2)  $PGA$  (пиковое ускорение грунта) в см/с/с;  $T_a$  (период ускорения с максимальной амплитудой) и  $\tau_{0,3}$  (длительность цуга ускорений с амплитудой не ниже 0,3 от максимальной) в с.

Вышеописанные оценки  $\lg \alpha_{\max}$  для «предельных» и близких к ним интенсивностям сотрясений для магнитуд  $M = 5-8$  также не отражены в вышеописанных исходных данных (рис. 1). Их неучет приведет к некоторому занижению прогнозируемых оценок пиковых ускорений при применяемой схеме анализа, поэтому эти «экстремальные» оценки также включены в общий массив исходных данных. Полученный массив оценок «среднемировых» наиболее вероятных значений  $\lg \alpha_{\max}$  и  $I$  показан на рисунке 3.

На втором этапе по данному массиву рассчитаны кусочно-линейные и линейные аппроксимации:

$$\lg \alpha_{\max} = \begin{cases} 0,271I + 0,279 & \text{при } 7,5 \leq I < 11 \\ 0,384I - 0,568 & \text{при } 4,5 \leq I \leq 7,5 \\ 0,326I - 0,307 & \text{при } I \leq 4,5 \end{cases} \quad (3)$$

$$\lg \alpha_{\max} = 0,345 I - 0,350 \quad (4)$$

В выражениях (3) – (4)  $\alpha_{\max}$  – см/с/с;  $I$  – в баллах MSK-64 или MM.

В таблице 1 дано сопоставление оценок пиковых ускорений, выполненных по выражениям (3) с данными некоторых других исследований. Наши оценки по кусочно-линейной аппроксимации при низких интенсивностях ( $I = 5-6$  баллов) достаточно хорошо корреспондируют с рекомендациями действующих строительных правил и методических рекомендаций [СП-14, 2014; Штейнберг и др., 1993], несколько (на 20-25%) выше оценок Ф. Ф. Аптикаева [2001] и значительно (в 2-3 раза) ниже оценок [Wald et al., 1999; Atkinson, Sonley, 2000]. Для землетрясений средней силы ( $I = 7-8$  баллов) наилучшее соответствие наших оценок наблюдается с методическими рекомендациями [Штейнберг и др., 1993] и с данными Ф. Ф. Аптикаева [2001]. Оценки [Wald et al., 1999; Atkinson, Sonley, 2000] несколько сближаются с нашими, но по-прежнему остаются существенно (на 50-100%) выше. СНиП для данного диапазона интенсивностей рекомендуют ускорения на 30-40% ниже наших оценок. Для высоких интенсивностей ( $I = 9-10$  баллов) наши оценки близки к методическим рекомендациям [Штейнберг и др., 1993] и значительно (до

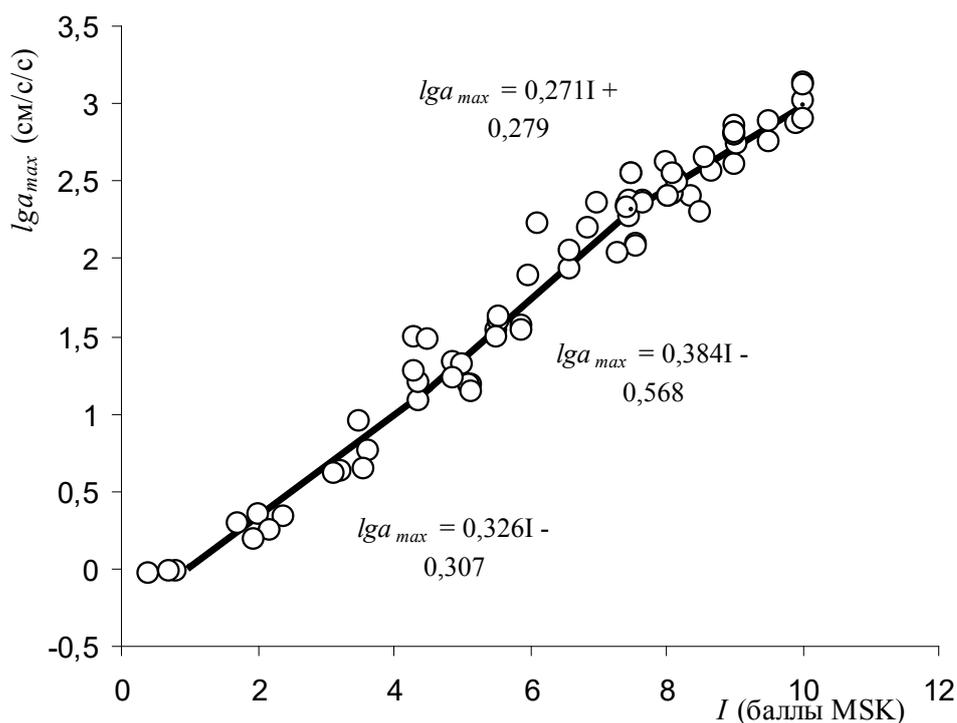


Рис. 3. Соотношения между пиковыми амплитудами ускорений и макросейсмическими интенсивностями сотрясений грунта.  
Кружки – индивидуальные обобщенные оценки наиболее вероятных значений  $lga_{max}$  и  $I$ ; ломаная линия – кусочно-линейная аппроксимация.

Таблица 1.

**Соотношения между макросейсмическими интенсивностями землетрясений ( $I$ ) и наиболее вероятными пиковыми ускорениями ( $\alpha_{max}$ ) по данным различных исследований**

$I$ , балл MSK	$\alpha_{max}$ , см/с/с							
	Свод прав-ил..., 2014	Штейн-берг и др., 1993	Апти-ка-ев, 2001	Wald et.all, 1999	Atkin-son, Sonley, 2000	Ulo-mov et all., 1999	Настоящее исследо-вание	
							Кусочно-линейн.	Линейная
V	25	25	17,5	66	50	28	23	23
VI	50	60 –	44	124	100	60	54	52
VII	100	134	110	232	170	129	132	116
VIII	200	282	280	436	350	277	280	258
IX	400	566	700	818	700*	596	522	569
X	800	1000	1778	1533	-	1282	974	1259

100%) ниже рекомендаций [Аптикаев, 2001; Wald et al., 1999; Atkinson, Sonley, 2000].

В целом по всему диапазону интенсивностей можно сказать, что полученные по кусочно-линейной аппроксимации оценки  $\alpha_{\max}$  настоящего исследования занимают «промежуточное» положение в сравнении с общим массивом других оценок, несколько более высокие, чем рекомендуемые действующими нормативами и более низкие, чем данные ряда последних исследований. Более низкие оценки, рекомендуемые нормативными документами связаны с тем, что в них под пиковыми ускорениями понимается не значение единичной максимальной амплитуды, как во всех остальных случаях, а некоторое максимальное «нормативное» ускорение, характеризующее средний уровень ускорений на наиболее интенсивной части записи. Такие «нормативные» ускорения в среднем составляют  $\sim 0,75 PGA$  (пикового ускорения грунта) и  $\sim 0,65 PHA$  (пикового горизонтального ускорения). Результаты более грубой линейной аппроксимации в настоящем исследовании по сравнению с кусочно-линейным вариантом дают несколько заниженные (на  $\sim 15\%$ ) значения  $\alpha_{\max}$  при  $I = 7-8$  баллов и завышенные (до  $25\%$ ) при  $I = 9-10$  баллов.

### Заключение

Подводя итог выполненным исследованиям можно резюмировать следующее:

1. Построение исследуемых зависимостей, не обычным путем статистического анализа совокупностей индивидуальных пар значений пиковых амплитуд и балльностей, а при помощи анализа уже построенных ранее по таким совокупностям достаточно большого набора статистических зависимостей позволило достаточно четко показать и количественно описать нелинейный характер зависимости ( $I$ ).

2. В широком диапазоне интенсивностей (3-11 баллов MSK) связи балльности с пиковыми амплитудами ускорений лучше аппроксимируются кусочно-линейными функциями с различными коэффициентами регрессии. Линейные же соотношения могут давать существенные погрешности – например, завышение пиковых ускорений до  $25\%$  в области высоких баллов (9-11 баллов MSK) и занижение до  $15-20\%$  в диапазоне средних и низких макросейсмических интенсивностей (3-7 баллов MSK).

3. Полученные оценки могут трактоваться как «среднемировые» и относящиеся к «средним» грунтовым условиям. При учете региональных и локальных факторов, таких как характеристики очагов и свойств среды распространения сейсмических волн, местные грунтово-геоморфологические условия и др., вышеописанные оценки могут корректироваться путем введения соответствующих поправочных коэффициентов.

### Литература

1. Аптикаев Ф.Ф. Сильные движения грунта при землетрясениях (сейсмические воздействия) // Автореф. дисс. на соискание ученой степени доктора наук. – М.: ОИФЗ РАН, 2001. – 47 с.

2. Разработка расчетных моделей сейсмических воздействий для строительного проектирования с учетом неопределенности и неполноты сейсмологических данных о спектральных и временных параметрах сейсмических движений грунта // Научн. руков. Ю.К. Чернов. Отчет о НИР. Фонды СКИГЦ Госстроя России. Государственный контракт № 16-05-06/03 от 10.06.2003 г. – Ставрополь. – 2003. – 142 с.

3. Чернов Ю. К. Сильные движения грунта и количественная оценка сейсмической опасности территорий. – Ташкент: изд-во «ФАН», 1989. – 295 с.
4. Чернов, Ю. К., Чернов А. Ю. Вероятностные модели сейсмических воздействий для прогнозирования сейсмической опасности в инженерных целях // Геология и геофизика юга России. – 2017. – №2. – С. 116-128.
5. Штейнберг В. В., Сакс М. В., Аптикаев Ф. Ф. и др. Методы оценки сейсмических воздействий (пособие) // Вопросы инженерной сейсмологии. Вып. 34. – М: Наука, 1993. – С. 5-94.
6. Aptikaev F. F. On the correlation of MM intensity with parameters of ground shaking // Proceedings VII Europ. Conf. Earthq. Eng. Greece. – 1981. – V. 2. – Pp. 117-126.
7. Boore D. M., Joyner W. B., Fumal T. E. Estimation of Response Spectra and Peak Accelerations from Western North American Earthquake // Interim Report. U. S. Geological Survey Open – File Report. – 1993. – Pp. 93-509.
8. Campbell K. W. and Bozorgnia Y. Near-Source Attenuation of Peak Horizontal Acceleration From Worldwide Accelerograms Recorded from 1957 to 1993 // Proceedings, Fifth U. S. National Conference on Earthquake Engineering, July 10-14 1994 Chicago. Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, California. – 1994. – Vol. III. – Pp. 283-292.
9. Eiby G. A. The assessment of earthquake felt instruments // Proceedings III World Conf. Earthq. Eng. – Wellington, N. S. – 1966.
10. Sadigh K., Egan J., and Youngs R. Specification of Ground Motion for Seismic Design of Long Period Structures. Earthquake Notes 57:132. – 1986.
11. Ulomov V. I. et al. Seismic hazard of Northern Eurasia // The global seismic hazard assessment program (GSHAP) 1992-1999. Annali di Geofisica. Vol. 42, N 6 December 1999. – Pp. 1023-1038.
12. Wald D. J., V. Quitoriano T. N., Heaton M. Eeri and Kanamori H. (1999). Relationships between Peak Ground Acceleration, Peak Ground Velocity, and Modified Mercalli Intensity in California. Earthquake Spectra. Vol.15, №3, August 1999. Pp. 557-564.

## **MODELS FOR THE DESCRIPTION OF PEAK ACCELERATION RELATIONSHIP ON THE GROUND SHAKING MACROSEISMIC INTENSITY**

© 2017 Yu. K. Chernov<sup>1</sup>, Sc. Doctor (Phys.-Math.), prof., A. Yu. Chernov<sup>2</sup>, Sc. Candidate (Tech.)

<sup>1</sup>Geophysical institute VSC RAS, Russia, 362002, RNO-Alania, Vladikavkaz, Markov Str., 93a, e-mail: chenta-26@mail.ru;

<sup>2</sup>Engineering institute in the North-Caucasian Federal University, Russia, 355029, Stavropol Krai, Stavropol, Kulakov str., 2

Models for estimating the probable peak accelerations using strong earthquakes ground macroseismic intensity have occurred or forecasted and vice versa, to estimate macroseismic intensity using acceleration data based on statistical analysis of large amounts of world accelerations data were offered.

It is shown, that in a wide range of intensities (3-11 MSK) the description of intensity dependence on ground motion peak accelerations amplitudes it is better fit piecewise-linear approximation with different regression coefficients.

When using common now linear correlations can occur, in particular, the underestimation of the peak accelerations in the range of medium and low macroseismic intensities (3-7 MSK) and, on the contrary, revaluation probable accelerations at high intensities (9-11 MSK).

**Keywords:** strong earthquake, peak acceleration of ground motion, macroseismic intensity, seismic impact, seismic hazard.

### References

1. Aptikaev F.F. Sil'nye dvizheniya grunta pri zemletryaseniya (seismicheskie vozdeistviya). Diss dokt. [Strong earth motion during earthquakes (seismic impacts). Dr. sci. diss.]. Moscow, OIFZ RAN Publ., 2001. 47 p. (in Russian).
2. Razrabotka raschetnykh modelej seismicheskikh vozdeistvij dlya stroitel'nogo proektirovaniya s uchetom neopredelennosti i nepolnoty seismologicheskikh dannykh o spektral'nykh i vremennykh parametrokh seismicheskikh dvizhenij grunta. Otchet o NIR [Development of computational models of seismic effects for construction design, taking into account the uncertainty and incompleteness of seismological data on the spectral and temporal parameters of seismic motions of soil, Scientific Report]. Fondy SKIGC Gosstroya Rossii. Gosudarstvennyj kontrakt №16-05-06/03 ot 10.06.2003 g. Stavropol', 2003. 142 p. (in Russian).
3. Chernov Yu.K. Sil'nye dvizheniya grunta i kolichestvennaya ocenka seismicheskoy opasnosti territorij [Strong soil motions and quantitative assessment of seismic hazard of territories]. Tashkent, FAN Publ., 1989. 295 p. (in Russian).
4. Chernov Yu.K., Chernov A.Yu. Veroyatnostnye modeli seismicheskikh vozdeistvij dlya prognozirovaniya seismicheskoy opasnosti v inzhenernykh celyakh [Probabilistic models of seismic actions for forecasting seismic hazard for engineering purposes]. Geologiya i geofizika Yuga Rossii, 2017, No. 2, pp. 116–128. (in Russian).
5. Shtejnberg V.V., Saks M.V., Aptikaev F.F. i dr. Metody ocenki seismicheskikh vozdeistvij (posobie) [Methods for estimating seismic impacts (guide)]. Voprosy inzhenernoj seismologii, Issue 34. Moscow, Nauka Publ, 1993, pp. 5–94. (in Russian).
6. Aptikaev F.F. On the correlation of MM intensity with parameters of ground shaking // Proceedings VII Evrop. Conf. Earthq. Eng. Greece, 1981, V. 2, pp. 117–126.
7. Boore D.M., Joyner W.B., Fumal T.E. Estimation of Response Spectra and Peak Accelerations from Western North American Earthquake. Interim Report. U.S. Geological Survey Open – File Report. – 1993, pp. 93–509.
8. Campbell K.W. and Bozorgnia Y. Near-Source Attenuation of Peak Horizontal Acceleration From Worldwide Accelerograms Recorded from 1957 to 1993. Proceedings, Fifth U.S. National Conference on Earthquake Engineering, July 10-14 1994 Chicago. Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, California, 1994, Vol. III, pp. 283–292.
9. Eiby G.A. The assessment of earthquake felt instruments. Proceedings III World Conf. Earthq. Eng. Wellington, N. S., 1966.
10. Sadigh K., Egan J., and Youngs R. Specification of Ground Motion for Seismic Design of Long Period Structures. Earthquake Notes 1986, 57:13 2.
11. Ulomov V.I. et al. Seismic hazard of Northern Eurasia. The global seismic hazard assessment program (GSHAP) 1992-1999. Annali di Geofisica, 1999, Vol. 42, No 6, pp. 1023–1038.
12. Wald D.J., V. Quitoriano T.N. Heaton M. Eeri and Kanamori H. Relationships between Peak Ground Acceleration, Peak Ground Velocity, and Modified Mercalli Intensity in California. Earthquake Spectra, 1999, Vol.15, No. 3, pp. 557–564.

---

---

## НАШИ ГОСТИ

---

---

УДК 551.7.02+551.791

### МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ И МОРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ КАСПИЙСКОГО МОРЯ И ИХ КОРРЕЛЯЦИЯ

© 2017 Т. Д. Гараева, к.г.-м.н.

Институт Геологии и Геофизики НАН Азербайджана, Республика Азербайджан,  
1001, г. Баку, пр. Г. Джавида, 119А, e-mail: [sadiqovataxmina@mail.ru](mailto:sadiqovataxmina@mail.ru)

В статье приводятся результаты палеомагнитных исследований разрезов континентальных и морских отложений Каспийского моря и их корреляция. Палеомагнитные исследования проводились на восемнадцати разрезах: в Среднекуринской депрессии разрез г. Дуздаг, хребты Боздаг и Караджа, Нафалан; в Нижнекуринской депрессии разрез хр. Малый Харамы; на Абшеронском полуострове – разрез г. Бакинский ярус и в Каспийском море: острова Булла-Дениз, Гарасу и Камень Персиянина. Расчленены плейстоценовые осадки Каспийского моря и депрессионных зон Азербайджана, проведена межрегиональная корреляция и датированы выделенные геологические события по палеомагнитным данным.

**Ключевые слова:** море, палеомагнетизм, событие, осадки, корреляция, полярность, эпоха.

Плейстоценовые отложения широко распространены как в депрессионных зонах Азербайджана, так и на площадях современного Каспийского моря.

Каспийское море представляет собой уникальный бессточный водоем, крупнейшее озеро, образовавшееся на месте бесконечного ряда морских водоемов Тетиса и Восточного Паратетиса, которые существовали, начиная с палеозоя. Особенно напряженные палеогеографические события на этой территории происходили в мезозойско-кайнозойское время, и нашли свое отражение в образовании ряда крупных горных систем (Альпы, Карпаты, Балканы, Понтические горы, Анатолийский массив, Крым, Кавказ) и многих впадин (Средиземноморье, Черное и Каспийское моря) [Али-заде, 1988; Векилов, Федоров, 1978; Федоров, 1978].

Для корреляции схемы плиоцен-плейстоценовых отложений Азербайджана с международной шкалой нужно использовать геофизические методы стратиграфии, в частности, палеомагнитный метод ввиду планетарного характера инверсий.

В период своего формирования горные породы под действием магнитного поля Земли намагничиваются и сохраняют приобретенную намагниченность в последующие эпохи. Палеомагнетизм дает возможность изучать эволюцию геомагнитного поля и создать абсолютную палеомагнитную геохронологическую шкалу. Именно поэтому для решения поставленных задач в качестве основного был использован магнитостратиграфический метод.

Для детальных палеомагнитных исследований были изучены опорные разрезы верхнеплиоцен-плейстоцена Среднекуринской и Нижнекуринской низменностей, Апшеронского полуострова и донные осадки Бакинского архипелага (о-ва Булла-Дениз, Гарасу и Камень Персиянина) (рис. 1).

Для уверенных палеомагнитных построений прежде всего необходимо установить природу естественной остаточной намагниченности исследуемых пород, доказать первичность выделенной компоненты  $I_n$  и определить минералы, ответственные за  $I_n$ .

Магнито-минералогические исследования проводились по общепринятой в магнетизме горных пород и палеомагнетизме методике [Белоконь и др., 1973; Храмов и др., 1982].

Безнагревные методы магнитной минералогии включали: размагничивание естественной остаточной намагниченности в переменных магнитных полях, последующее насыщение до состояния нормальной остаточной намагниченности образцов, временную магнитную чистку.

Образцы размагничивались под действием переменного магнитного поля вращением двух взаимно перпендикулярных осей. При проведении чистки переменным магнитным полем образцы помещались в переменное поле до 600 Э с дискретным шагом увеличения напряженности 50 Э. Причем, следует отметить, что более эффективный результат наблюдался при чистке переменным магнитным полем.

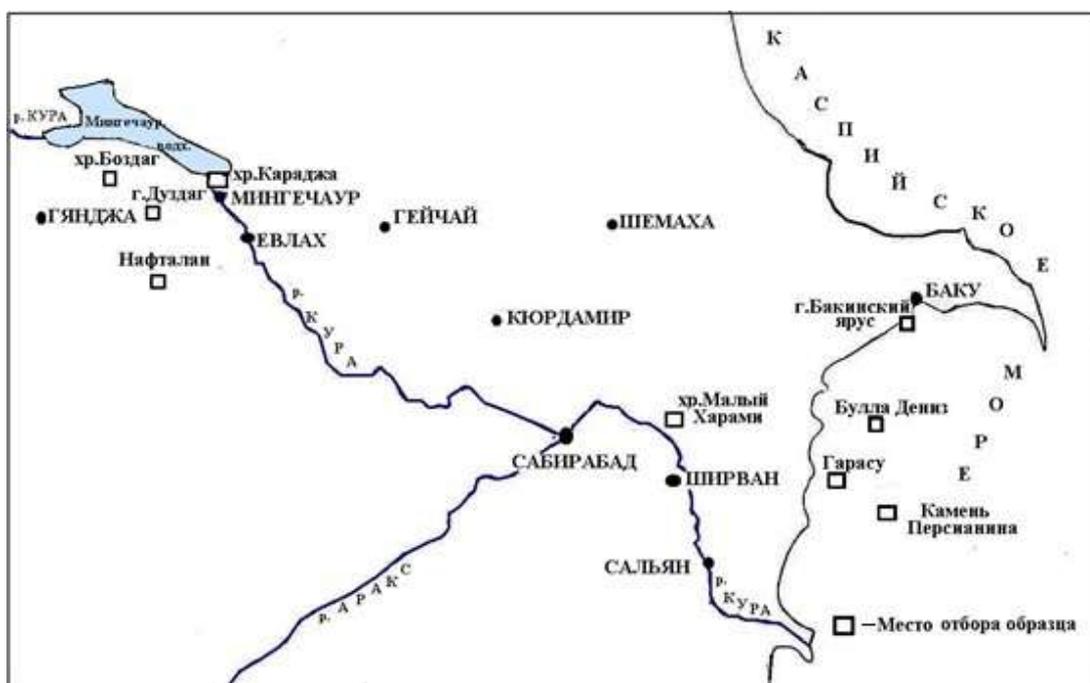


Рис. 1. Место отбора образцов.

Нормальное намагничивание образцов проводилось с помощью электромагнита ФЭЛ-1. Для проведения временной чистки образцы выдерживались 30 дней в положении «по полю» и 45 дней в положении «против поля».

Термомагнитные исследования осадков включали: снятие кривых температурного размагничивания остаточной намагниченности, насыщения и последующего полного (индуктивной намагниченности) насыщения, определение точек Кюри и температуры фазовых превращений. При термоочистке образцы выдерживались в немагнитном пространстве в течение 2-х часов с шагом 50 °С. Относительная ошибка измерений не более ±3%.

Измерения величины и направления естественной остаточной намагниченности проводились на двухскоростном спин магнитометре JR-6. Величина магнитной восприимчивости измерялась чешским прибором КТ-5.

Одним из важнейших свойств ферромагнитных минералов является их температура Кюри, то есть та температура, при которой происходит разрушение упорядоченного расположения магнитных моментов (спинов) и ферромагнетик становится парамагнетиком. Такой переход не сопровождается ни химическими изменениями, ни изменениями в кристаллической структуре вещества и относится к фазовым переходам второго рода. Эти переходы являются полностью обратимыми и наблюдаются как при нагревании образца, так и при его охлаждении [Храмов, 1982].

На основании термокривых  $I_{rs}(T^\circ)$  и  $I_s(T^\circ)$  можно считать, что основной фазой магнитной фракции является магнетит. Данному выводу не противоречат и результаты безнагревных магнито-минералогических исследований, по которым, как уже отмечалось, в составе магнитной фракции выделяется магнитомягкая фаза. Магнетит является магнитомягким минералом. Именно магнетит является основной фазой, характеризующей намагниченность магнитной фракции исследуемых осадков.

Учитывая результаты комплексных геолого-минералогических исследований, можно сказать, что они хорошо дополняют друг друга, и выводы, сделанные нами о наличии тех или иных минералов – носителей  $I_n$ , являются правильными.

Палеомагнитные исследования проводились на восемнадцати разрезах: в Среднекуринской депрессии – разрезы г. Дуздаг, хр. Боздаг, хр. Караджа, Нафталан; в Нижнекуринской депрессии – разрез хр. Малый Харам; на Абшеронском полуострове – разрез г. Бакинский ярус и в Каспийском море: о-ва Булла-Дениз (скв. 380, 381, 383), Гарасу (скв. 473, 474, 475, 476, 477, 478) и Камень Персиянина [Гасанадзе, 1983; Исаева, 2007; Исмаил-заде и др., 2003; Садыгова (Гараева), 1995].

Рассмотрим характер изменения средних значений магнитной восприимчивости и естественной остаточной намагниченности пород по отдельным разрезам.

Разрез г. Дуздаг сложен плиоцен-плейстоценовыми отложениями (акчагыльскими, апшеронскими, тюрканскими, бакинскими, мингечаурскими, хазарскими). Литологически представлен серыми, темно-серыми, алевроитовыми глинами, и в верхней части разреза – алевролитами, песчанистыми галечниками, конгломератами и сильно песчанистыми ракушниками. По разрезу наблюдаются следующие средние значения магнитной восприимчивости ( $\alpha$ ) и естественной остаточной намагниченности ( $I_n$ ) образцов:

$\alpha - (0,09-1,8) \cdot 10^{-3}$  ед. СИ – для акчагыльских отложений;

$\alpha - (0,06-1,1) \cdot 10^{-3}$  ед. СИ – для апшеронских отложений;

$\alpha - (0,04-0,9) \cdot 10^{-3}$  ед. СИ – для четвертичных отложений;

$I_n - (3,5-25,6) \cdot 10^{-3}$  А/м – для акчагыльских отложений;

$I_n - (18,2-47,8) \cdot 10^{-3}$  А/м – для апшеронских отложений;

$I_n - (10,5-32,6) \cdot 10^{-3}$  А/м – для четвертичных отложений.

Более эффективный результат получен при размагничивании образцов переменным магнитным полем. Постоянная составляющая  $I_n$  выделяется при значении переменного поля 250-300 Э.

Палеомагнитными исследованиями установлено, что в нижнем хазаре выделена одна зона обратной намагниченности – R-зона, соответствующая событию Днепр-Чеган, а в нижнем баку – R-зона, соответствующая событию V-зоны. В верхнем апшероне выделена одна зона прямой полярности – N-зона, соответствующая событию Харамильо. На границе нижнего апшерона и верхнего акчагыла выделена N-зона, соответствующая событию Олдувей шкалы А. Кокса [Сох, 1969] (рис. 2).

Разрез хр. Боздаг сложен акчагыльскими и апшеронскими отложениями. Наиболее полный и последовательный разрез представлен в центральной части юго-восточной периклинали восточного крыла Боздагской складки, а продолжение разреза – отложения апшерона отобраны в Демирдагской складке. Литологически этот разрез сложен чередованием бурых и серых глин с песками и песчаниками, в основании которых залегают известняки – ракушники.

По разрезу наблюдаются следующие значения магнитной восприимчивости:

$\chi - (0,02-2,38) \cdot 10^{-3}$  ед. СИ – для акчагыльских отложений;

$\chi - (0,06-1,5) \cdot 10^{-3}$  ед. СИ – для апшеронских отложений.

Значение естественной остаточной намагниченности  $I_n$  образцов изменялось в пределах  $(2,2-29,6) \cdot 10^{-3}$  А/м. Более представительный результат получен при размагничивании образцов переменным магнитным полем. Постоянная составляющая  $I_n$  выделяется при значении переменного поля 300-350 Э.

Палеомагнитными исследованиями установлено, что в нижнем акчагыле выделена одна зона обратной полярности – R-зона, соответствующая событию Мамонт шкалы А. Кокса. Апшерон, верхний акчагыл и часть среднего акчагыла, соответствуют палеомагнитной эпохе Матуяма. Здесь обнаружены две зоны прямой полярности – N-зоны, которые соответствуют эпизодам Харамильо и Олдувей.

Разрез Нафталан сложен акчагыльскими и нижнеапшеронскими образованиями. Разрез представлен чередованием желто-бурых, серых, зеленоватых, слоистых глин с двумя прослоями пепла, местами известковистых, песчаных глин. Величины магнитной восприимчивости изменяются:

$\chi - (0,05-1,38) \cdot 10^{-3}$  ед. СИ – для акчагыльских отложений;

$\chi - (0,06-2,5) \cdot 10^{-3}$  ед. СИ – для апшеронских отложений.

Величина естественной остаточной намагниченности изменяется в пределах  $(0,4-30) \cdot 10^{-3}$  А/м. Хороший результат для образцов этого разреза дали переменное магнитное поле и временная чистка.

Палеомагнитными исследованиями в низах нижнего апшерона и верхах верхнего акчагыла обнаружена зона прямой полярности, соответствующая эпизоду Олдувей. В среднем акчагыле выделена – R-зона, соответствующая событию Каена, а в верхней части нижнего акчагыла выделена R-зона, соответствующая эпизоду Маммот шкалы А. Кокса.

Обнажения хр. Караджа характеризуются более глубоководными фациями и сложены отложениями среднего и верхнего апшерона, которые представляют собой однообразное чередование бурых и серых глин с песчаниками, нижнеплейстоценовыми (тюрканскими, бакинскими, мингечаурскими, нижнехазарскими) отложениями, состоящими из переслаивания бурых, желтовато-бурых глин, песчаников, суглинков и галечников, доминирующими в верхней части разреза.

Величина магнитной восприимчивости изменяется в пределах  $(0,03-1,39) \cdot 10^{-3}$  ед. СИ, величина естественной остаточной намагниченности изменяется в пределах  $(2,04-46,6) \cdot 10^{-3}$  А/м. Стабильная часть  $I_n$  выделяется при значении переменного поля 250-300 Э.

В верхах верхнего апшерона и в среднем апшероне выделены две N-зоны, которые соответствуют эпизодам Харамильо и Гилса шкалы А. Кокса. В нижнебакинских и нижнехазарских отложениях выделены две R-зоны, которые соответствуют эпизодам V-зона и Днепр-Чеган.

Разрез г. Бакинский ярус на основании состава фауны, содержащейся в бакинских отложениях, расчленяется на две части – нижнюю, мощностью 32 м, состоя-

щую из слоистых глин, песчаных глин, глинистых песков и переходных между ними форм и др., и верхнюю, мощностью 28 м, представленную известняками-ракушниками, песками и песчаниками.

Величина магнитной восприимчивости изменяется в пределах  $(1,7-14,9) \cdot 10^{-3}$  ед. СИ, величина естественной остаточной намагниченности изменяется в пределах  $(5,1-33,6) \cdot 10^{-3}$  А/м. Для полного удаления вязкой намагниченности достаточно воздействия переменного поля  $\hat{h} = 250-300$  Э и действие температуры  $T = 250^\circ\text{C}$  в течение 2-х часов.

Палеомагнитными исследованиями установлены две зоны обратной намагниченности: в нижнем баку и в верхах верхнего баку, которые соответствуют эпизодам V-зона и Днепр-Чеган.

Разрез хр. Малый Харамы сложен апшеронскими, тюрканскими, бакинскими, мингечаурскими, хазарскими и хвалынскими отложениями. Литологически эти отложения сложены чередующимися слоями глин, песчаников и известняков-ракушников. Преобладают буровато-желтоватые песчаные глины, но встречаются также полосчатые толщи, образованные частым чередованием желтовато-, розовато-, и зеленовато-серых глин.

Величина магнитной восприимчивости изменяется в пределах  $(0,07-1,49) \cdot 10^{-3}$  ед. СИ, величина естественной остаточной намагниченности изменяется в пределах  $(2,74-38,6) \cdot 10^{-3}$  А/м. Постоянная составляющая  $I_n$  выделяется при значении переменного поля 250-350 Э.

Палеомагнитными исследованиями в верхнем Апшероне на границе с нижним баку, в нижней части хазарских и хвалынских отложений выделены три зоны обратной полярности, которые соответствуют эпизодам V-зона, Днепр-Чеган и Гетеборг шкалы А. Кокса.

В Южном Каспии исследовались плейстоценовые осадки, вскрытые одиннадцатью скважинами. Образцы отобраны прямооточными трубками при бурении в пределах Бакинского архипелага, в районах о-вов Гарасу, Булла-Дениз и Камень Персиянина (рис. 1).

Плейстоценовые и голоценовые отложения в пределах Бакинского архипелага представлены бакинскими, хазарскими, хвалынскими, новокаспийскими слоями.

В пределах площади острова Булла-Дениз отложения верхнего плейстоцена (скв. 380, 381, 383) представлены серыми, буровато-серыми, бурными, песчанистыми, местами уплотненными глинами, средне- и крупнозернистыми песками с включениями битых раковин макрофауны и окиси железа.

Величина магнитной восприимчивости:

для скв. 380 æ –  $(0,5-2,7) \cdot 10^{-3}$  ед. СИ;

для скв. 381 æ –  $(0,09-1,9) \cdot 10^{-3}$  ед. СИ;

для скв. 383 æ –  $(0,7-2,1) \cdot 10^{-3}$  ед. СИ.

Значение естественной остаточной намагниченности  $I_n$  изменяется:

$I_n$  для скв. 380 –  $(3-27) \cdot 10^{-3}$  А/м;

$I_n$  для скв. 381 –  $(4-21) \cdot 10^{-3}$  А/м;

$I_n$  для скв. 383 –  $(4,4-37) \cdot 10^{-3}$  А/м.

Постоянная составляющая  $I_n$  выделяется при значении переменного поля 300-350 Э.

В нижней части хазарских, хвалынских и новокаспийских отложений выделены три зоны обратной полярности. Первая палеомагнитная зона соответствует со-

бытию обратной полярности Этруссия, абсолютный возраст которого составляет 5-6 тыс. лет, и соответствует новокаспийскому возрасту осадков. Вторая палеомагнитная зона соответствует событию Гетеборг, абсолютный возраст которого 1-14 тыс. лет. По палеомагнитным данным реперный уровень соответствует верхнехвалынскому возрасту. Третья палеомагнитная зона соответствует реперному уровню Блейк магнитохронологической шкалы А. Кокса, абсолютный возраст данного уровня 108-114 тыс. лет, по палеомагнитным данным оно соответствует верхнехазарскому времени.

В пределах площади о. Гарасу скважины представлены апшеронскими и плейстоценовыми отложениями (скв. 473, 474, 475, 476, 477, 478). Эти разрезы представлены хорошо отмученными алевролитовыми глинами, серыми, реже с буроватым оттенком до перехода в бурые, слоистые, иногда вязкие, с прослоями мергелей и песчаников. В отложениях бакинского горизонта встречаются прослои грязевулканической брекчии, вулканического пепла.

Скв. 473 и 478 представлены апшеронскими отложениями, величина магнитной восприимчивости:

для скв. 473  $\alpha - (0,02-0,7) \cdot 10^{-3}$  ед. СИ;

для скв. 478  $\alpha - (0,4-1,1) \times 10^{-3}$  ед. СИ.

Значение естественной остаточной намагниченности  $I_n$  изменяется:

для скв. 473  $- (7-25) \cdot 10^{-3}$  А/м;

для скв. 478  $- (4,4-19,6) \cdot 10^{-3}$  А/м.

Глубина скважин 473 и 478-70 м. Постоянная составляющая  $I_n$  выделяется при значении переменного поля 250-350 Э.

Палеомагнитными исследованиями установлена зона прямой намагниченности в верхах апшерона, сопоставляемая с событием Харамильо шкалы А. Кокса [Храмов, 1982].

Глубина скважины 474-70 м, а скв. 475 имеет глубину 60 м. Скважины представлены плейстоценовыми и голоценовыми донными осадками. Величина магнитной восприимчивости:

для скв. 474  $\alpha - (0,9-1,1) \cdot 10^{-3}$  ед. СИ;

для скв. 475  $\alpha - (0,06-1,3) \cdot 10^{-3}$  ед. СИ.

Значение естественной остаточной намагниченности  $I_n$  изменяется:

для скв. 474  $- (4-15) \times 10^{-3}$  А/м;

для скв. 475  $- (8-38) \times 10^{-3}$  А/м.

Постоянная составляющая  $I_n$  выделяется при значении переменного поля 300-400 Э.

На глубинах 0-10 м и в интервале 10-20 м скв. 474 и 475 выделены зоны обратной полярности, которые соответствуют эпизодам Этруссия и Гетеборг шкалы А. Кокса (рис. 2).

Скважина 477 имеет глубину 100 м и представлена голоценовыми и плейстоценовыми отложениями. Магнитная восприимчивость голоценовых отложений ( $\alpha$ ) изменяется в пределах  $(0,01-0,11) \cdot 10^{-3}$  ед. СИ, для плейстоценовых отложений  $(0,01-1,12) \cdot 10^{-3}$  ед. СИ [Исаева, 2007; Исмаил-заде и др., 2003].

Значение естественной остаточной намагниченности голоценовых образцов колеблется от 6,5 до  $17,1 \cdot 10^{-3}$  А/м; для плейстоценовых отложений значение меняется от 1,94 до  $10,92 \cdot 10^{-3}$  А/м.

Глубина скважины 476-90 м. Величина магнитной восприимчивости ( $\alpha$ ) изменяется  $(0,4-1,3) \cdot 10^{-3}$  ед. СИ, а значение естественной остаточной намагниченности  $I_n$  изменяется в пределах  $(2,8-55) \cdot 10^{-3}$  А/м.

Палеомагнитными исследованиями выделены зоны обратной полярности на глубинах 5-11 м, 25-35 м, 40-50 м, которые соответствуют эпизодам Этруссия, Гетеборг и Блейк. А в интервале 70-75 м. скв. 476 выделяется зона прямой намагниченности, которая соответствует эпизоду Харамильо шалы А. Кокса.

В пределах площади о. Камень Персиянина скважины вскрывают эоплейстоценовые и плейстоценовые отложения (скв. 61, 62). Литологически эти скважины представлены песчано-алевритовыми глинами, реже серо-бурыми глинами, желтовато-бурыми и буровато-желтыми, слабopесчанистыми глинами с прослоями из мелкозернистых песков.

Значение естественной остаточной намагниченности  $I_n$ :

для скв. 61 –  $(1,14-8,89) \cdot 10^{-3}$  А/м;

для скв. 62 –  $(2,04-6,92) \cdot 10^{-3}$  А/м.

Магнитная восприимчивость  $\alpha$  для скв. 61 равна  $(0,03-0,31) \cdot 10^{-3}$  ед. СИ, для скв. 62 величина изменяется  $(0,02-0,12) \cdot 10^{-3}$  ед. СИ.

В скважинах 61 и 62 в верхнехвалынских отложениях выделена обратномагнитная зона, соответствующая событию Гетеборг [Гасанзаде, 1983].

Результаты детальных палеомагнитных исследований плейстоценовых отложений позволили расчленить и провести их межрегиональную корреляцию. На рисунке 2 представлена схема палеомагнитной корреляции изученных верхнеплиоцен-плейстоценовых отложений [Сливинская и др., 2012].

Верхняя часть верхнего апшерона, плейстоцена и голоцена относятся к положительной геомагнитной эпохе Брюнес.

По полученным результатам в эпохе Брюнес впервые найдена палеомагнитная зона, соответствующая событию обратной полярности Этруссия, абсолютный возраст, которой составляет 2,5-3,0 тыс. лет и соответствует новокаспийскому возрасту осадков. Это событие выделяется в новокаспийских отложениях донных осадков Каспийского моря (скв. 380, 381, 383, 474, 475, 476, 477).

Событие Гетеборг (абсолютный возраст 10-12 тыс. лет) выделяется в верхнехвалынских отложениях, в донных осадках Каспийского моря и в хвалынских отложениях хр. М. Харамии [Гасанзаде, 1983; Зубаков, Кочегура, 1976]. В скважинах 474, 475, 476, 477, 61 и 62, пробуренных в Каспийском море, событие Гетеборг уверенно выделяется и как уже отмечалось ранее, данный реперный уровень соответствует верхнехвалынским осадкам Каспийского моря. Таким образом, данный реперный уровень уверенно коррелирует как в континентальных отложениях, так и в донных осадках Каспийского моря.

Событие обратной полярности Блейк в интервале 10-120 тыс. лет прослеживается в Каспийском море (скважины 476, 477, 383). По палеомагнитным данным оно соответствует вехнехазарскому времени [Федоров, 1978].

Следующее событие обратной полярности Днепр-Чеган, достоверность и планетарный характер которого доказан, выделяется в нижнехазарских отложениях разрезов хр. Караджа и г. Бакинский ярус. Зона позволяет отнести хазарские обратномагнитные отложения к разрезам г. Дуздаг, хр. Малый Харамии. Событие выделено также в донных морских осадках скважины 477.

Днепр-Чеган служит реперным уровнем не только региональной, но и общей хроностратиграфической палеомагнитной шкалы плейстоцена.

Зона обратной полярности, выделенная в нижнебакинских отложениях разрезов хр. Караджа, хр. Малый Харамии, хр. Боздаг и г. Бакинский ярус, соответству-

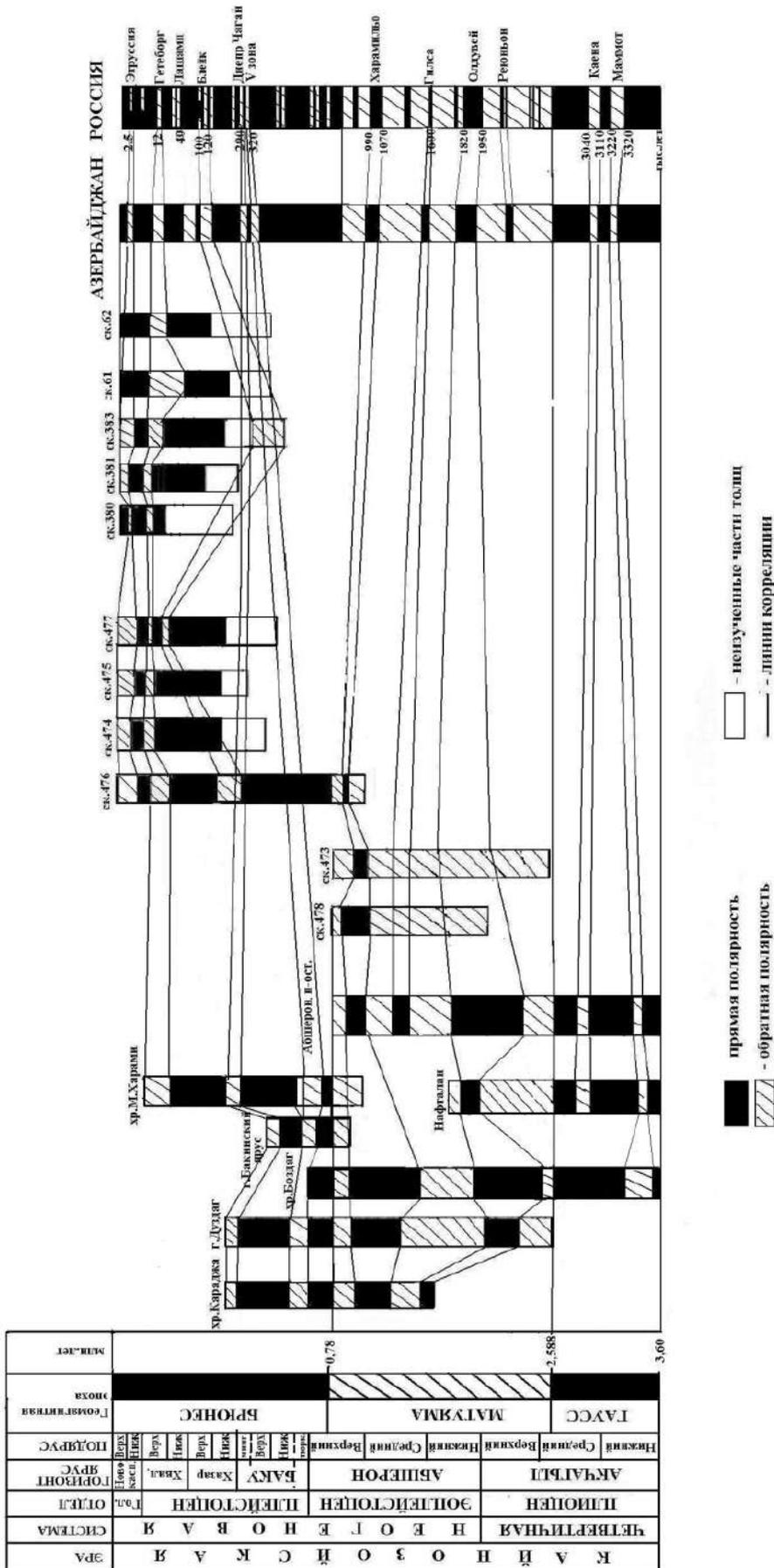


Рис. 2. Схема магнитостратиграфической корреляции плиоцен-плейстоценовых отложений Южного Каспия и Среднекурумской депрессии

ет магнитозоне «V-зона» шкалы А. Кокса [Сох, 1969]. Абсолютный возраст этих отложений по ТЛ-методу равен 300-320 тыс. лет, следовательно, обратномагнитные отложения в низах бакинского горизонта разреза г. Дуздаг можно уверенно считать нижебакинскими.

Таким образом, в данном интервале разреза все вышеназванные плейстоценовые осадки хорошо коррелируют между собой.

Апшеронский и верхне-акчагыльский ярус относятся к геомагнитной эпохе Маутыама. В этой эпохе выделены три зоны прямой намагнитченности.

Событие прямой полярности Харамилье выделяется в верхнем апшероне в донных осадках скважин 473, 476, 478 и в разрезах Среднекуруинский депрессии и хорошо коррелирует между собой.

Следующее событие прямой полярности Олдувей выделено в отложениях г. Дуздаг, хр. Боздаг, хр. Караджа, Нафталан. Здесь наблюдается хорошая сходимость и корреляция палеомагнитных зон.

Средний и нижний акчагыл относятся к геомагнитной эпохе Гаусс. В этой эпохе выделены две обратномагнитные зоны.

В разрезах Нафталан, хр. Боздаг обнаружены в среднем акчагыле событие Каена, а в нижнем акчагыле событие Маммот.

Таким образом, детальные палеомагнитные исследования плейстоценовых донных осадков Каспийского моря и континентальных плейстоценовых отложений Азербайджана позволили расчленить плейстоценовые отложения, провести межрегиональную корреляцию и датировать выделенные геологические события в абсолютных цифрах.

Палеомагнитными исследованиями выделен обратно намагнитченный маркирующий горизонт Этруссия в новокаспийских донных осадках Каспийского моря, имеющий важное стратиграфическое и корреляционное значение.

Расчленены плейстоценовые осадки Каспийского моря и депрессионные зоны Азербайджана, проведена межрегиональная корреляция и датированы выделенные геологические события.

## Литература

1. Али-заде С. А. Антропоген Азербайджана. – Баку: «Элм», 1988. – 244 с.
2. Белоконов В. И., Кочегура В. В., Шолпо Л. Е. Методы палеомагнитных исследований горных пород. – Л.: «Недра», 1973. – 246 с.
3. Векилов Б. Г., Федоров П. В. Четвертичные морские отложения Азербайджана и их место в стратиграфии плейстоцена Понта-Каспийской области // ДАН Азерб. ССР. – 1978. – Т. XXVI. № 4. – С. 57-60.
4. Гасанзаде Ф. Г. Магнитные свойства донных отложений Каспийского моря и их корреляция // Автореф. дисс. канд. наук. – Баку. – 1983. – 19 с.
5. Зубаков В. П., Кочегура В. В. Магнитохронологическая шкала новейшего этапа (5 млн. лет) // В сб.: Геомагнитные исследования. – М.: «Наука», 1976. – № 17. – С. 37-44.
6. Исаева М. И. Магнитометрические исследования плейстоценовых и голоценовых отложений Южного Каспия // Труды Института Геологии, НАНА. – Баку. – 2007. – № 35. – С. 104-113.

7. Исмаил-заде Т. А., Исаева М. И., Новрузов З. А., Садыгова (Гараева) Т. Д. Палеомагнитные исследования голоцен-плейстоценовых донных осадков Южного Каспия. Сборник трудов Пятых геофизических чтений имени В. В. Федынского. – М. – 2003. – С. 51-57.
8. Садыгова (Гараева) Т. Д. Палеомагнетизм верхнеплиоцен-плейстоцена Западного Азербайджана // Автореф. дисс. канд. наук. – Баку. – 1995. – 21 с.
9. Сливинская Г. В., Скарбовийчук Т. В., Якушно В. И., Князькова И. Л. Результаты палеомагнитных исследований плейстоценовых отложений Приазовья (разрез Ботиево) // Геофизический журнал. – Киев. – 2012. – № 6. Т. 34. – С. 79-90.
10. Федоров П. В. Плейстоцен Понта-Каспия. – М: Наука, 1978. – 165 с.
11. Храмов А. Н., Гончаров Г. И., Комиссарова Р. А. и др. Палеомагнитология. – Л.: «Недра», 1982. – 311 с.
12. Cox A. Geomagnetic reversals – Science. – 1969. V. 163. №3864. – Pp. 237-245.

## MAGNETIC PROPERTIES OF THE CONTINENTAL AND SEA DEPOSITS OF CASPIAN SEA AND THEIR CORRELATION

© 2017 T. D. Garaeva, Sc. Candidate (Geol.-Min.)

Institute of Geology and Geophysics, Azerbaijan National Academy of Sciences,  
Azerbaijan, 1001, Baku, H. Javid Av., 119, e-mail: sadiqovataxmina@mail.ru

In this paper we present the results of paleomagnetic studies of the sections of continental and marine sediments of the Caspian Sea and their correlation. Paleomagnetic studies have been conducted on 18 sections: in a middle Kura depression section of them. Duzdag, Bozdag range, Karadja range, Naftalan; in a lower Kura depression Lesser Harami range; in Absheron peninsula – section of Baku stage and in Caspian Sea: is. Bulla-Deniz, is. Qarasu and is. Kamen Persianina. Separated Pleistocene sediments of the Caspian Sea and depression zones of Azerbaijan, conducted interregional correlations and dated selected geological events according to paleomagnetic data.

**Keywords:** sea, paleomagnetism, event, sediments, correlation, polarity, epoch.

### References

1. Ali-zade S.A. Antropogen Azerbajdzhana [Anthropogen of Azerbaijan]. Baku, Elm Publ., 1988. 244 p. (in Russian).
2. Belokon' V.I., Kochegura V.V., Sholpo L.E. Metody paleomagnitnyh issledovaniy gornyh porod [Methods of paleomagnetic rock studies]. Leningrad, Nedra Publ., 1973. 246 p. (in Russian).
3. Vekilov B.G., Fyedorov P.V. Chetvertichnye morskije otlozheniya Azerbajdzhana i ih mesto v stratigrafii plejstocena Ponta-Kaspijskoj oblasti [Quaternary marine deposits of Azerbaijan and their place in the Pleistocene stratigraphy of the Ponta-Caspian region]. DAN Azer. SSR, 1978, Vol. XXVI, No. 4, pp. 57–60. (in Russian).
4. Gasanzade F.G. Magnitnye svoystva donnyh otlozhenij Kaspijskogo morya i ih korrelyaciya. Diss. kand. nauk [Magnetic properties of bottom sediments of the Caspian Sea and their correlation. Candidate sci. diss]. Baku, 1983. 19 p. (in Russian).
5. Zubakov V.P., Kochegura V.V. Magnitohronologicheskaya shkala novejshego etapa (5 mln. let) [Magnitochronological scale of the newest stage (5 million years)]. Geomagnitnye issledovaniya. Moscow, Nauka Publ., 1976, No. 17, pp. 37–44. (in Russian).

6. Isaeva M.I. Magnitometricheskie issledovaniya plejstocenovyyh i golocenovykh otlozheniy Yuzhnogo Kaspiya [Magnetometric Investigations of Pleistocene and Holocene Deposits of the Southern Caspian]. Trudy Instituta Geologii NANA, 2007, No. 35, pp. 104–113. (in Russian).
7. Ismail-zade T.A., Isaeva M.I., Novruzov Z.A., Sadygova (Garaeva) T.D. Paleomagnetnye issledovaniya golocen-plejstocenovyyh donnykh osadkov Yuzhnogo Kaspiya [Paleomagnetic studies of the Holo-cene-Pleistocene bottom sediments of the Southern Caspian]. Sbornik trudov Pyatyyh geofizicheskikh chteniy imeni V.V. Fedynskogo. Moscow, 2003, pp. 51–57. (in Russian).
8. Sadygova (Garaeva) T.D. Paleomagnetizm verhneplyocen-plejstocena Zapadnogo Azerbajdzhana. Diss. kand. nauk [Paleomagnetism of the Upper Pleocene-Pleistocene of Western Azerbaijan. Candidate sci. diss.]. Baku, 1995. 21 p. (in Russian).
9. Slivinskaya G.V., Skarbovijchuk T.V., Yakuhno V.I., Knyaz'kova I.L. Rezul'taty paleomagnetnykh issledovaniy plejstocenovyyh otlozheniy Priazov'ya (razrez Botievo) [The results of paleomagnetic studies of the Pleistocene deposits of the Azov Sea (the Botievo section)]. Geofizicheskij zhurnal, 2012, No. 6, Vol. 34, pp. 79–90. (in Russian).
10. Fyedorov P.V. Plejstocen Ponta-Kaspiya [Pleistocene of Pontus-Caspian]. Moscow, Nauka Publ, 1978. 165 p. (in Russian).
11. Hramov A.N., Goncharov G.I., Komissarova R.A. et al. Paleomagnetologiya [Paleomagnetology]. Leningrad, Nedra Publ, 1982. 311 p. (in Russian).
12. Cox A. Geomagnetic reversals. Science, 1969, Vol. 163, No. 864, pp. 237–245.

УДК 550.34

## АКТИВНЫЕ РАЗЛОМЫ ТЕРРИТОРИИ АЗЕРБАЙДЖАНА И ИХ ВОЗМОЖНОЕ ВЛИЯНИЕ НА НЕФТЕГАЗОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ НИЖНЕ-КУРИНСКОЙ ДЕПРЕССИИ

© 2017 Г. Д. Етирмишли, д.г.-м.н., Т. Я. Маммадли, д.г.-м.н., Л. А. Ибрагимова

Республиканский Центр Сейсмологической Службы НАНА, Республика Азербайджан, Az 1001, г. Баку, ул. Нияр Рафибейли, 25, e-mail: m-tahir@mail.ru

Исследуется возможное влияние сеймотектонических процессов в активных разломах Нижне-Куринской депрессии Азербайджана и приграничных территорий на углеводородные залежи. По полученным инструментальным данным о многочисленных слабых сейсмических толчках, зарегистрированных обширной сетью цифровых станций, выявлены потенциальные очаговые зоны на территории исследования и оценен их сейсмический потенциал. Полученные результаты показывают, что в Нижне-Куринской депрессии и близлежащих территориях имеется ряд очаговых зон, которые могут генерировать землетрясения интенсивностью в  $I = IX \div X$  баллов. Разрывные нарушения, образовавшиеся в этих очагах при сильных землетрясениях, могут привести к разрушению структур нефтегазовых залежей и миграции (утечке) нефти и газа.

**Ключевые слова:** сеймотектонические процессы, плестосейстовая зона, глубинные разломы.

Некоторые исследователи считают, что естественные сеймотектонические процессы играют важную роль в генерации и миграции углеводородов, а также в их аккумуляции в подвижных частях земной коры [Трофимук и др., 1981, 1983].

Данные о многочисленных слабых землетрясениях в нефтегазоносных регионах открывают широкие возможности для исследования особенностей распределения сейсмичности в таких областях, выявления зон разломов, генерирующих землетрясения, и изучения возможного влияния сеймотектонических процессов на нефтегазовые залежи в этих зонах.

Сеть сейсмологических наблюдений из 35-ти цифровых сейсмических станций, действующих на территории Азербайджана, позволяет регистрировать все, включая самые слабые землетрясения ( $M \geq 1$ ) по всей территории республики, в том числе и в Нижне-Куринской депрессии, где находятся многие нефтегазовые месторождения.

Многочисленные работы по исследованию сейсмичности на различных территориях, показывают, что сильные землетрясения происходят в зонах глубинных разломов земной коры [Рогожин, 1993; Рогожин и др., 2011].

Исследователи различными геологическими и геофизическими методами на территории Азербайджана установили многочисленные разломы [Гаджиев, 1965; Хаин и др., 1966; Борисов, 1967; Бабазаде, 1973, 95; Карта..., 1992; Шихалибейли, 1996; Хаин, 1996], однако, как справедливо отмечают Ф. С. Ахмедбейли и А. Г. Гасанов, при сравнении существующих в настоящее время тектонических карт, положение и количество глубинных разломов не совпадают [Ахмедбейли, Гасанов, 2004].

Из карт изосейст, составленных по макросейсмическим данным о сильных землетрясениях, произошедших на территории Азербайджана видно, что на террито-

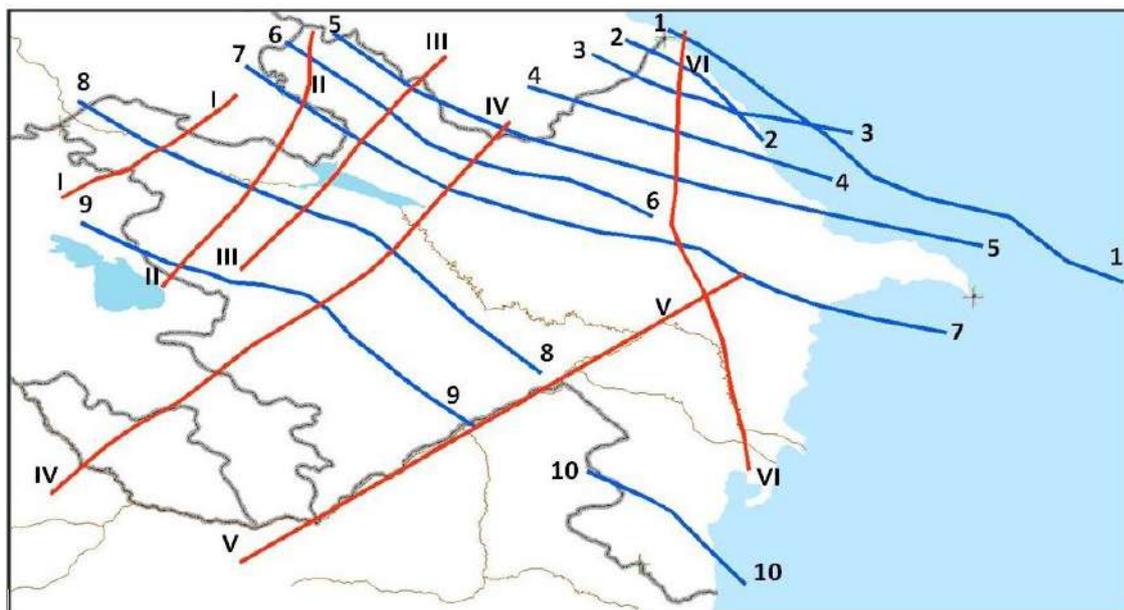


Рис. 1. Обобщённая схематическая карта крупных глубинных разломов на территории Азербайджана.

1-1 Махачкала-Туркменбашинский; 2-2 Худат-Гилязинский; 3-3 Ахты-Нугяди-Гилязинский; 4-4 Сиязанский; 5-5 Кайнар-Зенгинский; 6-6 Вандамский; 7-7 Аджычай-Алятский; 8-8 Куринский; 9-9 ПредмалоКавказский; 10-10 Предтальшиский  
 I-I Газах-Сигнахский; II-II Шарур-Загаталский; III-III Гянджачайский; IV-IV Арна-Самурский; V-V Пальмир-Абшеронский; VI-VI Западно-Каспийский

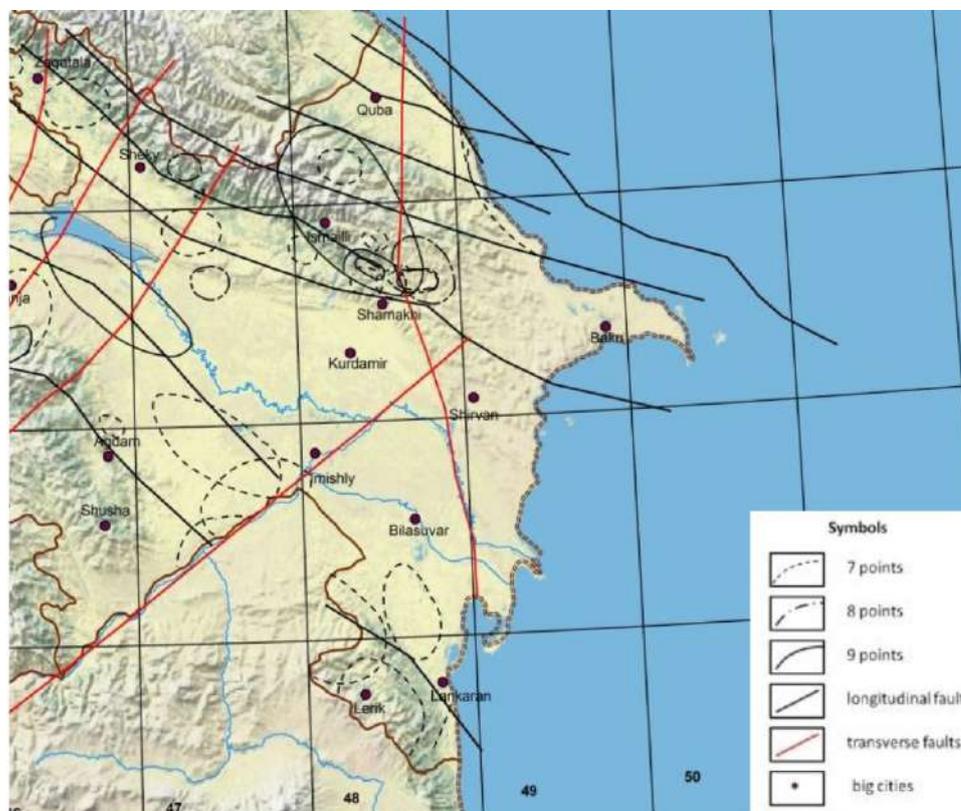


Рис. 2. Карта-схема сопоставления глубинных разломов территории Азербайджана с плейстоценовыми зонами известных землетрясений с интенсивностью 7 и более баллов по шкале MSK-64

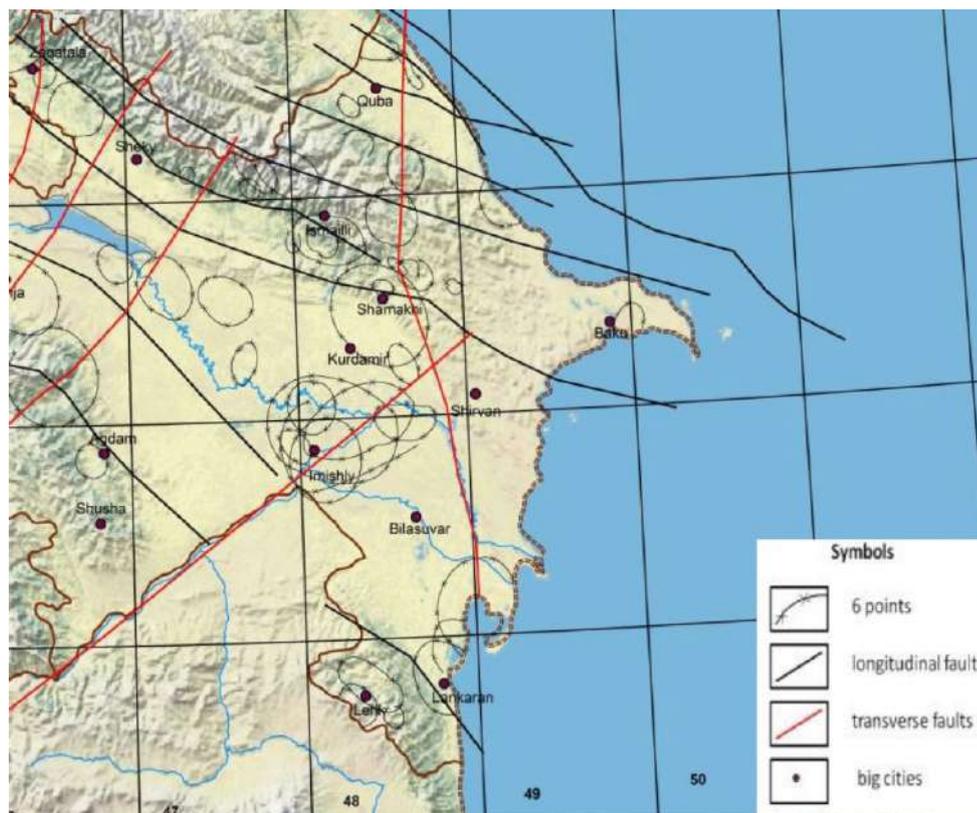


Рис. 3. Карта-схема сопоставления глубинных разломов территории Азербайджана с плейстоценовыми зонами известных землетрясений с интенсивностью 6 и более баллов по шкале MSK-64

рии исследования по настоящее время не были зафиксированы землетрясения интенсивностью более 7-ми баллов по шкале MSK-64. Сопоставление карт изосейст и глубинных разломов также свидетельствует о связи очагов сильных землетрясений с контрастными движениями в зонах разломов на территории Азербайджана (рис. 2 и 3). На рисунках отчетливо отмечается связь сильных землетрясений Нижне-Куринской депрессии с Куринским и Пальмир-Абшеронским разломами.

Как отмечено выше, данные о многочисленных слабых землетрясениях открывают возможности для выявления зон разломов, генерирующих землетрясения, и изучения возможных связей сеймотектонических процессов в этих зонах разломов с нефтегазовыми залежами. С целью исследования этих вопросов была составлена карта эпицентров землетрясений, зарегистрированных на территории Азербайджана за 2003-2016 гг. [Каталог...2003-2016] (рис. 4). Составление карт именно этого периода времени связано с началом работы с 2003-го года сейсмической сети наблюдений цифровыми сейсмостанциями на территории республики. После создания этой сети наблюдений, координаты землетрясений с низкой интенсивностью (магнитудой), в том числе и их глубины, начали определяться с высокой точностью.

Анализ карты эпицентров показывает, что сейсмичность на территории Азербайджана распределена неравномерно. В отдельных районах наблюдается высокая сейсмическая активность, тогда как другие районы характеризуются довольно низкой сейсмической активностью. Высокая плотность сейсмических толчков в основном наблюдается в пределах Большого Кавказа, Каспийского моря и в юго-восточной части республики. Также наблюдается скопление очагов землетрясений

в западной части Азербайджана. В пределах Нижне-Куринской депрессии отмечаются относительно немногочисленные сейсмические толчки.

Результаты исследований показывают, что сильные землетрясения происходят не повсеместно, а в зонах концентрации слабых сейсмических толчков. Это опровергает идею о том, что зоны разломов одинаковых тектонических структура имеют равные сейсмические потенциалы по всей протяженности [Губин, 1950].

Основываясь на этом Т. Маммадли был разработан метод определения очаговых зон сильных землетрясений по слабым землетрясениям [Маммадли, 2005]. Этот метод даёт возможность определить очаговые зоны сильных землетрясений, не увязывая их заранее с зонами разломов и статистическими данными о сильных землетрясениях. Применение этого метода выявило наличие многочисленных активных зон разломов или потенциальных очаговых зон различной протяженности (рис. 5). Пространственные положения этих зон разломов указывают на мозаичную структуру сейсмического поля на территории республики.

С целью определения глубинного распределения землетрясений за период 2003-2016 гг. был составлен сейсмологический разрез по профилю I-I в направлении ЮЗ-СВ (рис. 6 и 7).

Из разреза видно, что гипоцентры землетрясений распространяются до 60-ти км глубины. Между 40-м и 80-м км отмечается плотное скопление сейсмических толчков в интервале глубин 0-25 км в крайних юго-западных и северо-восточных частях число очагов, и в особенности неглубокозалегающих очагов землетрясений, уменьшается. За последние 10 лет было зарегистрировано всего одно сильное землетрясение ( $M = 5,8$ ; Гаджигабульский район, 2014 г.), которое произошло на глубине  $H = 56$  км.

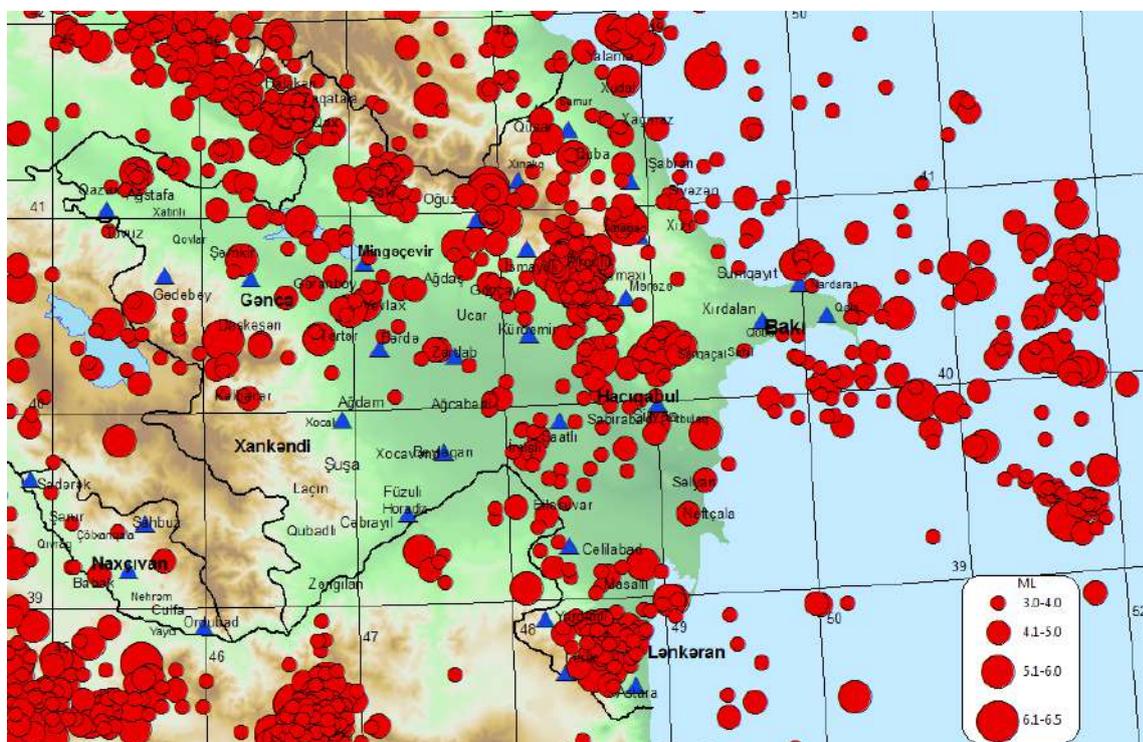


Рис. 4. Карта эпицентров землетрясений, произошедших на территории Азербайджана за период 2003-2016 гг.

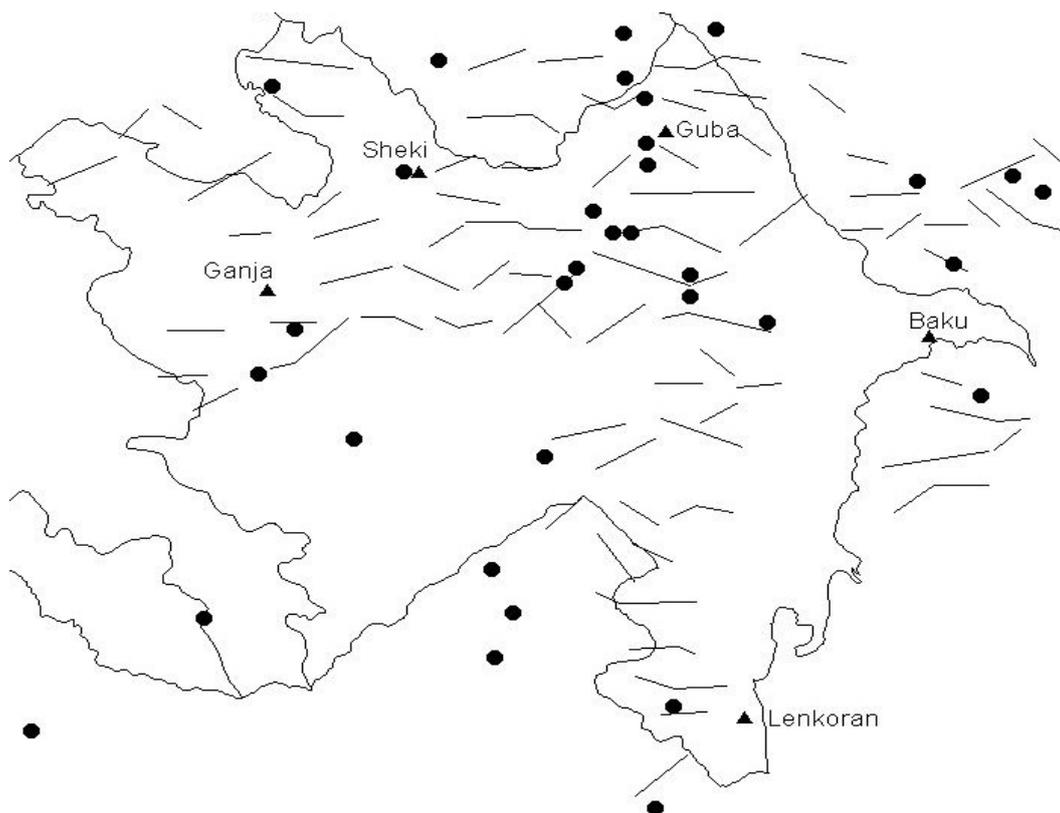


Рис.5. Схема расположения активных зон разломов (или потенциальных очаговых зон) на территории Азербайджана.

Условные знаки:

- – эпицентры землетрясений; ▲ – сейсмические станции;
- — потенциальные очаговые зоны

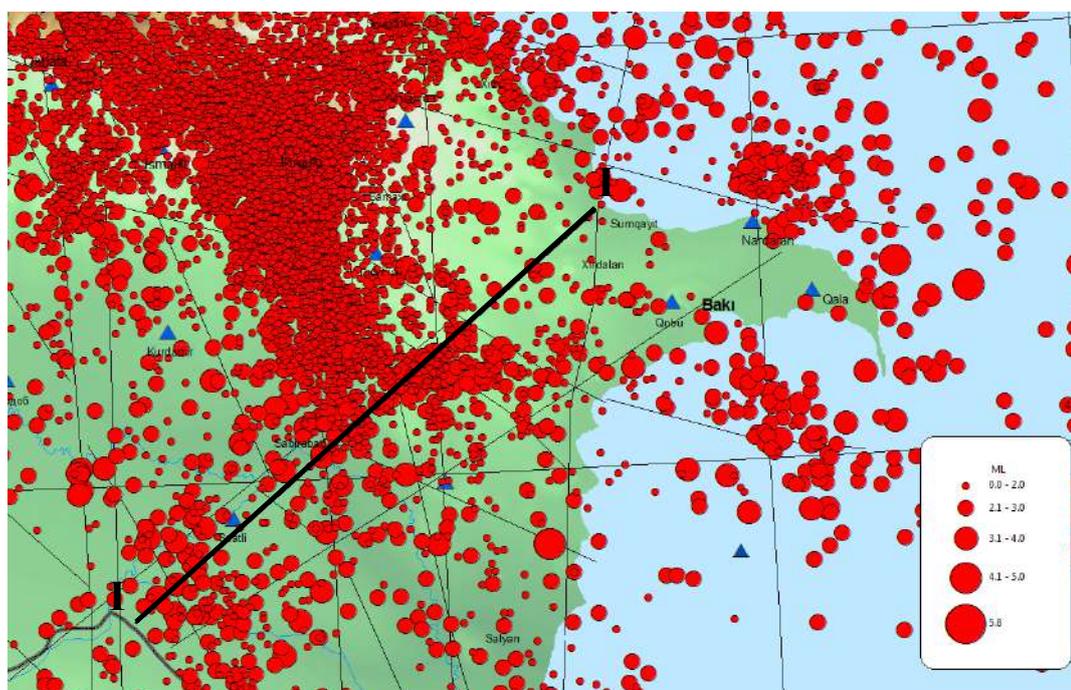


Рис. 6. Карта эпицентров землетрясений, произошедших на территории Азербайджана за период 2003-2016 гг.

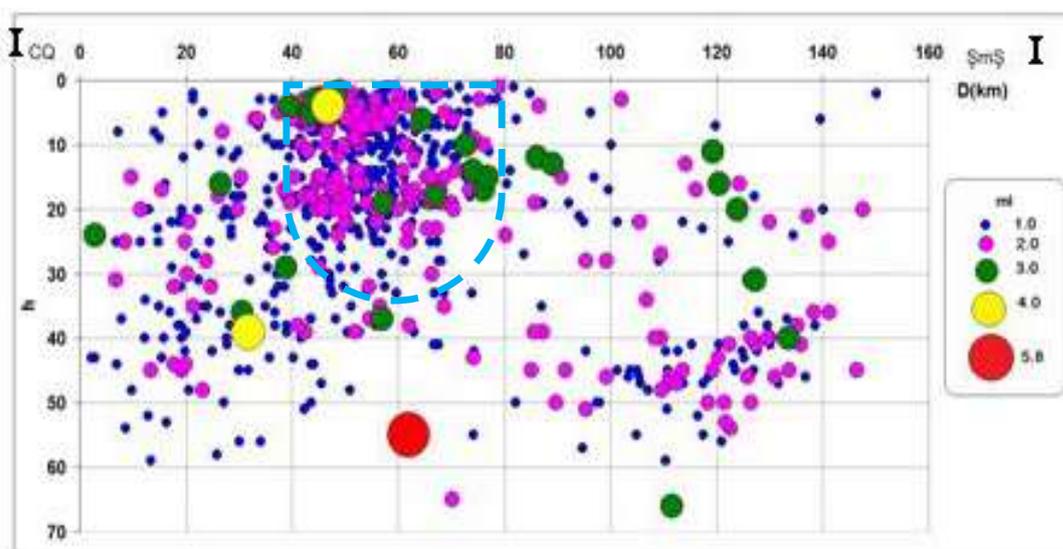


Рис. 7. Глубинное распределение очагов землетрясений, произошедших за период 2003-2016 гг. вдоль профиля I-I

Как выше было отмечено, сопоставление карт изосейст сильных и средней силы землетрясений с активными зонами разломов указывает на их соответствие (рис. 2 и 3).

Из схемы расположения активных зон разломов (или же потенциальных очаговых зон) отчётливо видно, что ряд потенциальных очаговых зон, выявленных методом определения сильных очагов землетрясений на основе концентрации слабых землетрясений, находится в пределах и приграничных зонах района исследования (нефтегазовые области Нижне-Куринской депрессии). Эти потенциальные очаговые зоны соответствуют сегментам Вандамского, Аджичай-Алятского, Куринского, Пальмир-Абшеронского и Западно-Каспийского глубинных разломов.

Максимально возможная магнитуда ( $M_{\max}$ ) землетрясений в этих очаговых зонах меняется в пределах  $M_{\max} = 5,8 \div 7,4$  [Хаин, 1996].

Макросейсмический эффект от этих потенциальных очаговых зон в районе исследования оценивается с использованием уравнения макросейсмического поля [Шебалин, 1974], с учетом коэффициентов для территории Азербайджана [Кулиев, 1987] (рис. 10).

Сопоставление мест расположения нефтегазовых залежей на исследуемой территории с зонами возможной сейсмической опасности в 10 и 9 баллов показывает, что несколько залежей находятся в пределах этих сейсмически опасных зон (местоположение залежей было взято из [Карта..., 2003]).

Результаты анализа характера проявлений многочисленных сильных землетрясений на поверхности земли [Рогожин, 2000], свидетельствуют о том, что при больших магнитудах и относительно низких глубинах в плейстосейстовых зонах происходит выход на поверхность земли разрывных трещин. Обычно такие случаи наблюдаются при землетрясениях с магнитудой  $M \geq 6,5$  и глубиной  $H = 10 \div 15$  км. Кроме того, землетрясения с глубиной очага  $H = 25 \div 35$  км и магнитудой  $M \geq 7,5$  также могут сопровождаться выходом на земную поверхность разрывных трещин.

Максимально возможные магнитуды ( $M_{\max}$ ) и глубина землетрясений в потенциальных очаговых зонах, выявленных в Нижне-Куринской депрессии и близле-

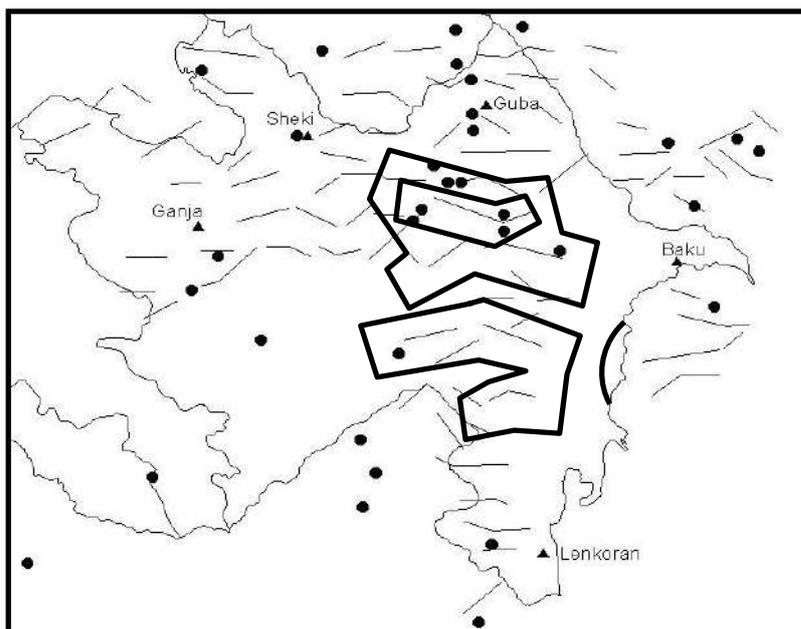


Рис. 8. Зоны максимально возможной сейсмической опасности в Нижне-Куринской депрессии.

Условные знаки:

- — границы зон с интенсивностью в 10 баллов (по шкале MSK-64)
- — границы зон с интенсивностью в 9 баллов (по шкале MSK-64)

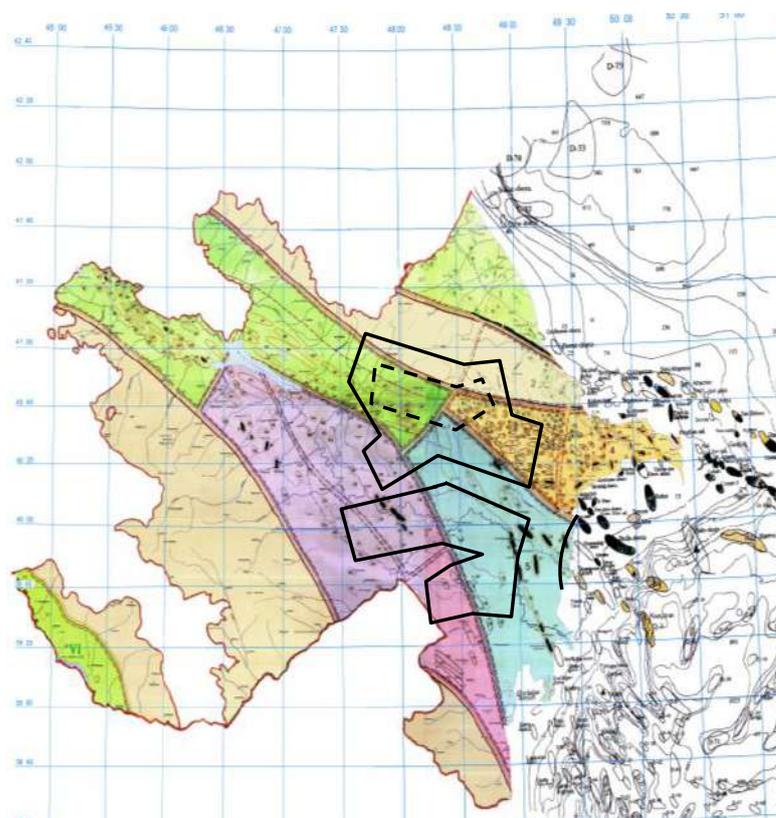


Рис. 9. Зоны с возможной сейсмической опасностью в 10 и 9 баллов в нефтегазовых зонах Нижне-Куринской депрессии.

Условные знаки:

- - - границы зон с интенсивностью в 10 баллов (по шкале MSK-64)
- — границы зон с интенсивностью в 9 баллов (по шкале MSK-64)

жащих территориях, оцениваются соответственно  $M = 6,6 \div 7,4$  и  $H = 15-30$  км. Сейсмический эффект таких землетрясений на поверхности земли достигает  $8 \div 10$  баллов. Учитывая вышеуказанное, можно заключить, что при сильных землетрясениях в областях с ожидаемым сейсмическим эффектом в 10 и 9 баллов возможны выходы разрывных трещин на поверхности земли.

Такого рода трещины, разрушив структуры нефтегазовых залежей, находящихся на глубине нескольких тысяч метров могут привести к миграции (утечке) нефти и газа. Надо отметить, что после сильных землетрясений ( $I = 9 \div 10$  баллов) встречаются случаи засыхания или насыщения родниковых вод в плейстосейстовых зонах. Такие случаи связывают с перекрыванием водоносного горизонта, являющегося источником этих родников, и миграцией воды по трещинам, образовавшимся после сильных землетрясений.

### Заключение

- Нижне-Куринская депрессия характеризуется относительно низкой сейсмической активностью. Землетрясения, происходящие здесь, связаны с геодинамическими процессами, протекающими в активных сегментах Куринского и Пальмир-Абшеронского глубинных разломов.

- На территории исследования гипоцентры землетрясений распространяются до глубины 60 км. Однако, наиболее плотное скопление сейсмических толчков наблюдается на глубинах до 25 км.

- На территории не были зарегистрированы землетрясения более 7 баллов по шкале МСК-64. Однако, на территории и в близлежащих зонах существуют очаговые зоны, сейсмический потенциал которых оценивается в пределах  $M_{\max} = 5,8 \div 7,4$ . При сильных землетрясениях с ожидаемым сейсмическим эффектом в 10 и 9 баллов в плейстосейстовых областях возможны выходы разрывных трещин на поверхность земли. Эти трещины, разрывая структуры нефтегазовых залежей, могут послужить причиной миграции (утечки) накопленной там нефти и газа.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда Науки SOCAR (грант №9 – Сейсмотектоника нефтегазовых областей Нижне-Куринской депрессии Азербайджана).*

### Литература

1. Ахмедбейли Ф.С., Гасанов А.Г. Тектонические типы сейсмических очагов Азербайджана. – Баку: Элм, 2004. – 130 с.
2. Бабазаде О.Б. Исследование глубинных разломов земной коры Азербайджана по геофизическим аномалиям // Автореф. дисс. кан. геол.-мин. наук. – Баку. – 1973. – 31 с.
3. Бабазаде О.Б. Особенности глубинных разломов Азербайджана по аномалиям геофизических полей // Тр. Института Геологии НАНА. – Баку: Элм, 1995. – №25. – С. 68-80.
4. Борисов А. А. Глубинная структура территории СССР по геофизическим данным. – М.: Недра, 1967. – 304 с.
5. Гаджиев Р.М. Глубинное геологическое строение Азербайджана. – Баку: Азернешр, 1965. – 200 с.

6. Губин И. Е. Сейсмотектонический метод сейсмического районирования // Труды Геофизического Института АН СССР. – 1950. – № 3 (140). – С. 1-53.
7. Карта геологического районирования и нефтегазовые перспективы Азербайджана // ПО «Геофизика и инженерная геология ГНКАР» М 1:500000. / Гл. редактор К. М. Керимов. – 2003.
8. Карта глубинного строения Черноморско-Южно-Каспийской области регионального прогибания М 1:1000000/Гл. ред. К. М. Керимов, Э. Ш. Шихалибеги. – Баку. – 1992.
9. Каталог землетрясений, произошедших на территории Азербайджана за период 2003-2016 гг. Отчеты РЦСС НАН Азербайджана.
10. Кулиев Ф. Т. Уравнение макросейсмического поля для Азербайджана и его геотектонических областей // Сейсмологический бюллетень Кавказа. – Тбилиси: Мецниереба, 1987. – С. 129-140.
11. Маммадли Т. Я. Выявление очаговых зон сильных землетрясений Азербайджана и определения их максимальных магнитуд ( $M_{max}$ ) по слабой сейсмичности // Известия Национальной Академии Наук Азербайджана, Наук о Земле. – 2005. – № 4. – С. 60-64.
12. Рогожин Е. А. Тектоника очаговых зон сильных внутриконтинентальных землетрясений // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. – Вып. 1. – М.: ОИФЗ РАН, 1993. – С. 217-227.
13. Рогожин Е. А. Тектоника очаговых зон сильных землетрясений Северной Евразии конца XX столетия // Российский журнал наук о Земле. – 2000. – Т. 2. № 1. – С. 37-62.
14. Рогожин Е. А., Иогансон Л. И., Завьялов А. Д., Захаров В. С., Лутиков А. И., Славина Л. Б., Рейснер Г. И., Овсяченко А. Н., Юнга С. Л., Новиков С. С. Потенциальные сейсмические очаги и сейсмологические предвестники землетрясений – основа реального сейсмического прогноза. – М. – 2011. – 368 с.
15. Трофимук А. А. и др. Новые данные по инструментальному изучению преобразования ископаемого органического вещества с использованием механических полей // ДАН СССР. – 1981. – Т. 257. № 1. – С. 207-211.
16. Трофимук А. А. и др. Сейсмотектонические процессы – фактор, вызывающий преобразование органического вещества осадочных пород // ДАН СССР. – 1983. – Т. 271. № 6. – С. 1460-1464.
17. Хаин В. Е. Геотектоника на новом переломе своего развития // Геотектоника. – 1996. – № 6. – С. 38-42.
18. Хаин В. Е., Григорьянц Б. В., Исаев Б. М. Западно-Каспийский разлом и некоторые закономерности проявления поперечных разломов в геосинклинальных складчатых областях // Бюлл. МОИП отд. геол. – 1966. – Т. 51. № 2. – С. 5-23.
19. Шебалин Н. В. Очаги сильных землетрясений на территории СССР. – М.: Наука, 1974. – 53 с.
20. Шихалибеги Э. Ш. Некоторые проблемные вопросы геологического строения и тектоники Азербайджана. – Баку: Элм, 1996. – 215 с.

## ACTIVE FAULTS IN AZERBAIJAN AND THEIR POTENTIAL IMPACT ON THE OIL AND GAS DEPOSITS OF THE LOWER KURA DEPRESSION

© 2017 G. J. Etirmishli, Sc. Doctor (Geol.-Min.), T. Ya. Mammadli, Sc. Doctor (Geol.-Min.), L. A. Ibragimova

National Academy of Sciences of Azerbaijan Republican Seismic Survey Center,  
Azerbaijan, 1001, Baku, N. Rafibeyli Str., 25, e-mail: m-tahir@mail.ru

Explores the possible impact of seismotectonic processes in active faults of Azerbaijan lower Kura depression and bordering territories in hydrocarbon deposits. According to the obtained instrumental data of numerous weak seismic impact registered by extensive network of digital stations, potential endemic zone are identified on site research and their seismic potential are estimated. Obtained results shows, that in the lower Kura depression and bordering territories there are some focal zones, which can generate earthquakes with 10 points intensity. Faults arising in these focal zones when strong earthquakes, can lead to the destruction of oil and gas deposits and migration patterns (leakage) of oil and gas.

**Keywords:** seismotectonic processes, plasmocytoma area, deepfaults.

### References

1. Ahmedbeili F.S., Gasanov A.G. Tektonicheskie tipy seismicheskikh ochagov Azerbaidzhana [Tectonic types of seismic sources in Azerbaijan]. Baku, Elm Publ., 2004. 130 p. (in Russian).
2. Babazade O.B. Issledovanie glubinyh razlomov zemnoj kory Azerbaidzhana po geofizicheskim anomalijam Diss. kand. geol.-min. nauk [Investigation of deep faults of the Earth's crust in geophysical anomalies. Candidate geol.-min. sci. diss.]. Baku, 1973. 31 p. (in Russian).
3. Babazade O.B. Osobennosti glubinyh razlomov Azerbaidzhana po anomalijam geofizicheskikh polej [Features of deep faults of Azerbaijan in the anomalies of geophysical fields]. Trudy Instituta Geologii NANA, 1995, No. 25, pp. 68–80. (in Russian).
4. Borisov A.A. Glubinnaya struktura territorii SSSR po geofizicheskim dannym [Depth structure of the territory of the USSR by geophysical data]. Moscow, Nedra Publ, 1967. 304 p.
5. Gadzhiev R.M. Glubinnoe geologicheskoe stroenie Azerbaidzhana [Deep geological structure of Azerbaijan]. Baku, Azerneshr Publ., 1965. 200 p. (in Russian).
6. Gubin I.E. Seismotektonicheskij metod seismicheskogo raionirovaniya [Seismotectonic method of seismic zoning]. Trudy Geofizicheskogo Instituta AN SSSR, 1950, No.3 (140), pp. 1–53. (in Russian).
7. Karta geologicheskogo raionirovaniya i neftegazovye perspektivy Azerbaidzhana [Map of geological zoning and oil and gas prospects of Azerbaijan]. Ed. by K.M. Kerimov. PO «Geofizika i inzhenernaya geologiya GNKAR» M 1:500 000. Baku, 2003.
8. Karta glubinnogo stroeniya Chernomorsko-Yuzhno-Kaspijskoj oblasti regional'nogo progibaniya M 1:1000000 [Map of the deep structure of the Black Sea-South Caspian region of regional deflection M 1: 1000000]. Ed. by K.M. Kerimov, Ye.Sh. Shihalibejli. Baku, 1992.
9. Katalog zemletrjasenij, proizoshedshih na territorii Azerbaidzhana za period 2003–2016 gg. Otchety RCSS NAN Azerbaidzhana. [The catalog of earthquakes that occurred on the territory of Azerbaijan for the period 2003–2016. Reports of the RCSS of NAS of Azerbaijan].
10. Kuliev F.T. Uravnenie makroseismicheskogo polya dlya Azerbaidzhana i ego geotektonicheskikh oblastej. Seismologicheskij byulleten' Kavkaza [Equation of macroseismic field for Azerbaijan and its geotectonic regions. Seismological Bulletin of the Caucasus]. – Tbilisi: Mecniereba, 1987. – S. 129–140.
11. Mammadli T.Ya. Vyyavlenie ochagovyh zon sil'nyh zemletryasenij Azerbaidzhana i opredeleniya ih maksimal'nyh magnitud (Mmax) po slaboj seismichnosti [Identification of focal zones of strong earthquakes in Azerbaijan and determination of their maximum magnitudes (Mmax) for weak seismicity]. Izvestiya Nacional'noj Akademii Nauk Azerbaidzhana, Nauki o Zemle, 2005, No. 4, pp. 60–64. (in Russian).

12. Rogozhin E.A. Tektonika ochagovyh zon sil'nyh vnutrikontinental'nyh zemletryasenij [Tectonics of focal zones of strong intracontinental earthquakes]. Seismichnost' i seismicheskoe raionirovanie Severnoj Evrazii. Issue 1. Moscow, OIFZ RAN Publ., 1993, pp. 217–227. (in Russian).
13. Rogozhin E.A. Tektonika ochagovyh zon sil'nyh zemletryasenij Severnoj Evrazii konca XX stoletiya [Tectonics of focal zones of strong earthquakes in Northern Eurasia at the end of the 20th century]. Rossijskij zhurnal nauk o Zemle, 2000, Vol. 2, No.1, pp. 37–62. (in Russian).
14. Rogozhin E.A., Ioganson L.I., Zav'yalov A.D., Zaharov V.S., Lutikov A.I., Slavina L.B., Reisner G.I., Ovsyuchenko A.N., Yunga S.L., Novikov S.S. Potencial'nye seismicheskie ochagi i seismologicheskie predvestniki zemletryasenij – osnova real'nogo seismicheskogo prognoza [Potential seismic sources and seismological precursors of earthquakes are the basis of a real seismic prediction]. Moscow, 2011. 368 p. (in Russian).
15. Trofimuk A.A. i dr. Novye dannye po instrumental'omu izucheniyu preobrazovaniya iskopaemogo organicheskogo veshhestva s ispol'zovaniem mehanicheskikh polej [New data on the instrumental study of the transformation of fossil organic matter using mechanical fields]. DAN SSSR, 1981, Vol. 257, No. 1, pp. 207–211. (in Russian).
16. Trofimuk A.A. i dr. Seismotektonicheskie processy – faktor, vyzyvayushhij preobrazovanie organicheskogo veshhestva osadochnyh porod [Seismotectonic processes - a factor that causes the transformation of organic matter of sedimentary rocks]. DAN SSSR, 1983, Vol. 271, No. 6, pp. 1460–1464. (in Russian).
17. Hain V.E. Geotektonika na novom perelome svoego razvitiya [Geotectonics on a new turn of its development]. Geotektonika, 1996, No. 6, pp. 38–42. (in Russian).
18. Hain V.E., Grigor'yanc B.V., Isaev B.M. Zapadno-Kaspijskij razlom i nekotorye zakonomernosti proyavleniya poperechnyh razlomov v geosinklinal'nyh skladchatyh oblastyah [West Caspian fault and some patterns of transverse faults in geosynclinal folded areas]. Bull. MOIP otd. geol., 1966, Vol. 51, No., pp. 5–23. (in Russian).
19. Shebalin N.V. Ochagi sil'nyh zemletryasenij na territorii SSSR [Sources of strong earthquakes on the territory of the USSR]. Moscow, Nauka Publ, 1974. 53 p. (in Russian).
20. Shihalibejli Ye.Sh. Nekotorye problemnye voprosy geologicheskogo stroeniya i tektoniki Azerbaidzhana [Some problematic issues of the geological structure and tectonics of Azerbaijan]. Baku, Elm Publ., 1996. 215 p. (in Russian).

УДК 550.34

## РАЗРЯДКА СЕЙМОТЕКТОНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ОЧАГОВЫХ ЗОНАХ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ БОЛЬШОГО КАВКАЗА

© 2017 М. А. Мкртчян

Институт Геофизики и инженерной сейсмологии им. А. Назарова НАН РА,  
Республика Армения, 3115, г. Гюмри, ул. В. Сарксяна, 5, e-mail: iges@sci.am

Проведен анализ пространственно-временно-энергетического распределения афтершоковых процессов Рачинского (29.04.1991 г.  $M = 7,0$ ), Барисахского (23.10.1992 г.  $M = 6,5$ ), Закаतालского (07.05.2012 г.  $M = 5,6$ ) сильных землетрясений, происшедших на южном склоне центральной части Большого Кавказа. В выделенных очаговых зонах на основе количественных оценок относительных деформаций выявлены характерные закономерности и особенности разрядки сеймотектонических напряжений.

На первом этапе проведен анализ пространственного распределения афтершоков. Применяя современный пакет программ GIS, построены карты афтершоковых областей этих землетрясений и оценены их площадные значения.

На втором этапе проведен временной анализ афтершоковых процессов. Для этой цели изучено затухание интенсивности афтершокового процесса во времени. С целью изучения разрядки сеймотектонических напряжений, был применён широко используемый в сейсмологической практике график Бенъофа, характеризующий высвобождение энергии сеймотектонических деформаций.

Разрядка сеймотектонических напряжений в очаговых зонах Рачинского и Барисахского землетрясений имеет крутой спад. На графике Закаतालского землетрясения наглядно наблюдаются три ступени. Эти особенности связаны с литологическим составом и стратиграфическими особенностями геологических сред очаговых зон этих землетрясений. В области молодой горно-складчатой структуры Большого Кавказа разрядка сеймотектонических напряжений происходит более интенсивно и в сравнительно коротком временном интервале, а в Закавказском позднеальпийском межгорном молассовом прогибе этот процесс имеет затяжной характер.

**Ключевые слова:** афтершок, основной толчок, магнитуда, эпицентры землетрясений, график Бенъофа.

На современном этапе сеймотектонических исследований общепризнанна приуроченность сейсмических очагов к определенным геологическим структурам, хотя связи тектоники и сейсмичности пока окончательно не установлены.

Сложившиеся три независимых и непротиворечащих друг другу представления об этих связях, согласно которым, очаги сильных землетрясений расположены:

- а) в плоскостях крупных разломов;
- б) в дизъюнктивных узлах разных рангов;
- в) в объёмных средах различных геологических структур.

Общим условием всех трех представлений является наличие накопленного в них напряжения. Последнее представление обосновывается тем обстоятельством, что все сильные землетрясения сопровождаются афтершоками, пространственные распределения которых в зоне разрыва формируют, как правило, сейсмогенный объем. Пространственное распределение очагов сильных землетрясений Тавро-Кавказского региона, имеющего сложное строение сеймотектонических структур, указывает на наличие в нем всех трех вышеуказанных представлений.

Как правило, все сильные землетрясения сопровождаются афтершоковыми процессами, которые, согласно закону Омори, имеют пространственно-временные закономерности, связанные с накоплением и перераспределением напряжений в очаговых зонах.

Закон Омори, являющийся одним из наиболее обоснованных законов сейсмологии, определяет, что убывание количества афтершоков в единицу времени, происходит в степенной зависимости [Omori, 1894]:

$$N(t) = \frac{A}{(t + c)^p} \quad (1)$$

где  $A$ ,  $p$ ,  $c$  – постоянные;  $p$  для различных землетрясений изменяется в пределах 0,8-1,5. При  $p = 1$  выражение (1) представляет собой гиперболу Омори. В работе [Шебалин, 2004] указывается, что степенная зависимость характерна для многих критических явлений, аналогичных фазовым переходам, происходящим в сложных системах, часто характеризующихся как детерминистский хаос. Нелинейный характер процесса разрывообразования хорошо отражается в афтершоках, различные характеристики которых дают возможность оценить напряженное состояние этих структур. Именно этим обусловлен большой интерес многих исследователей к изучению афтершоковых процессов, позволяющих оценить напряженное состояние геологических структур в очаговых зонах. Аномально большое количество афтершоков от землетрясений средней силы вместе с другими аномальными проявлениями группирования сейсмических событий могут являться предвестниками сильных землетрясений [Шебалин, 2004].

Детальное исследование закона Омори, проведенное Шебалиным и др. [Holschneider et al., 2012], позволило выявить, что этот закон не всегда выполняется или его выполнение ограничено определенными временными и магнитудными рамками.

С их стороны предложен модифицированный вариант закона Омори [Holschneider et al., 2012]:

$$\lambda_{(t)} = \frac{K}{(t + c)^p} \quad (2)$$

где  $\lambda$  – частота афтершоков в заданном временном интервале;

$t$  – время возникновения основного толчка;

$K$  – эффективность афтершоковой последовательности;

$p$  – коэффициент затухания;

$c$  – временная задержка, согласно которой выражение (1), характеризующее затухание интенсивности афтершокового процесса, целесообразно аппроксимировать тремя фазами. Первая фаза, которая соответствует начальному периоду афтершокового процесса (первые дни), характеризует напряженно-деформационное состояние разлома и хорошо аппроксимируется линейной зависимостью. Вторая фаза в основном отражает физико-механическое состояние геологической среды и аппроксимируется гиперболической зависимостью. Третья фаза, это стадия релаксации тектонических напряжений в очаговой зоне и аппроксимируется экспоненциальной зависимостью.

С нашей стороны поставлена задача использовать данный подход для пространственно-временного изучения афтершоковых процессов трех сильных (Рачинского 29.04.1991 г.  $M = 7,0$ , Барисахского 23.10.1992 г.  $M = 6,5$ , Закатальского 07.05.2012 г.

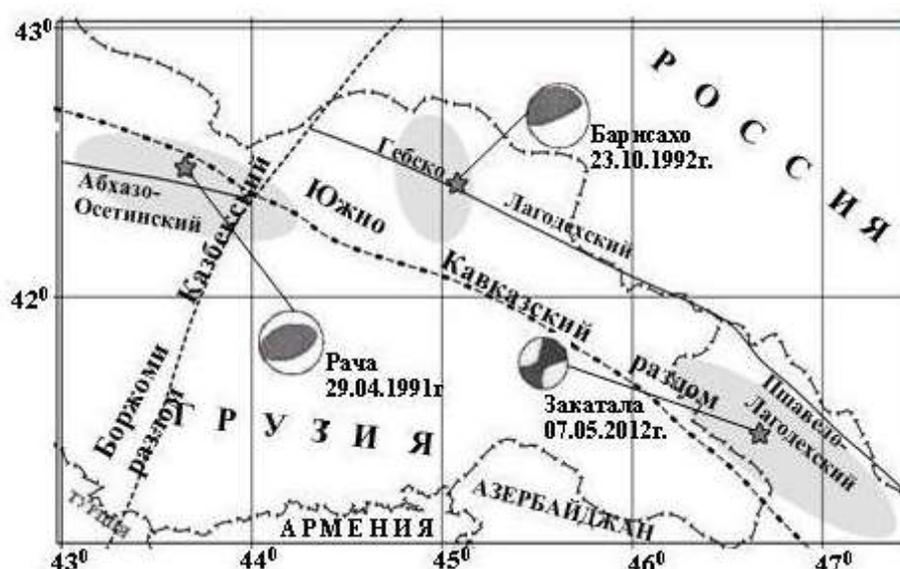


Рис. 1. Пространственное распределение афтершоковых зон сильных землетрясений, с фокальным механизмом и основные геолого-тектонические элементы в районе исследований

$M = 5,6$ ) землетрясений, возникших на южном склоне центральной части Большого Кавказа, с целью изучения разрядки сейсмотектонических напряжений в очаговых зонах этих землетрясений.

В геотектоническом плане эпицентральные области этих землетрясений расположены на стыке двух главнейших структурных единиц Кавказа — молодой горно-складчатой структуры Большого Кавказа и Закавказского срединного массива [Шенгелая и др., 1995].

В исследуемой области расположены главнейшие глубинные разломы первого ранга – Южно-Кавказский и Боржоми-Казбекский, а также Абхазо-Осетинский, Гебско-Лагодехский и Пшавело-Лагодехский разломы более низкого ранга, на которых соответственно расположены очаги Рачинского, Барисахского и Закатальского землетрясений. Сейсмотектонические подвижки в этой области обусловлены наличием в ней региональных субмеридионального направления сжимающих напряжений, которые хорошо отражают механизмы очагов этих землетрясений.

Механизмы очагов этих землетрясений представлены на рисунке 1 в проекции нижней полусферы, согласно которым в очаге Рачинского землетрясения имела место взбросовая подвижка, а обе нодальные плоскости имеют северо-западное простирание, одна из них – пологая, другая – крутая. Подвижки по обеим плоскостям представлены взбросами. При таком механизме подвижек должна образоваться структура в виде грабена или горста, в зависимости от подвижки составных блоков [Шенгелая и др., 1995].

Механизм очага Барисахского землетрясения указывает, что в очаге имели место взбросо-сдвиговые подвижки. Одна из нодальных плоскостей имеет север-северо-западное простирание с углом падения  $13^\circ$ , вторая нодальная плоскость имеет северо-западное направление с углом падения  $83^\circ$  (neic.usgs.gov).

Механизм очага Закатальского землетрясения указывает, что в нем происходила правосторонняя сдвиговая подвижка с характеристиками динамики по нодальным плоскостям подобно при Барисахском землетрясении. Нодальные плоскости имеют

Таблица 1.

**Основные динамические параметры Рачинского, Барисахского и  
Закатальского землетрясений**

№	Наз. земл.	Врем. воз. земл.	$\varphi$	$\lambda$	M	$E_{\text{осн.толч.}}$	L [2] (км)	$M_0$ (дин/см)	$\Delta\sigma$ [7] (бар)
1	Рача 29.04.1991 г.	9:12	42,49	43,65	7,0	3E+16	55,72	3,34E+26	2E+01
2	Барисахо 23.10.1992 г.	23:19	42,43	45,08	6,5	5E+15	30,34	4,93E+25	2E+01
3	Закатала 07.05.2012 г.	4:40	41,50	46,67	5,6	1.2E+14	14,93	7,10E+24	3E+01

Таблица 2.

**Характерные значения афтершоковых процессов Рачинского,  
Барисахского и Закатальского землетрясений**

№	Наз. земл.	$M_{\text{сил. аф}}$	$N_{\text{аф}}$	$T_{\text{прод.аф}}$ суток	$\Sigma E_{\text{аф}}$	$E/\Sigma E_{\text{аф}}$ (%)	S (км <sup>2</sup> )	V (км <sup>3</sup> )	$\gamma$	A	c	p
1	Рача 29.04.1991 г.	6,2	876	961	3,4E+15	11	2000	20000	0,6	615	0,3	0,83
2	Барисахо 23.10.1992 г.	5,5	142	824	2,2E+14	5,5	1425	47025	0,7	142	0,1	0,95
3	Закатала 07.05.2012 г.	5,5	62	319	1,4E+14	117	3220	32200	0,69	53	0,3	1,2

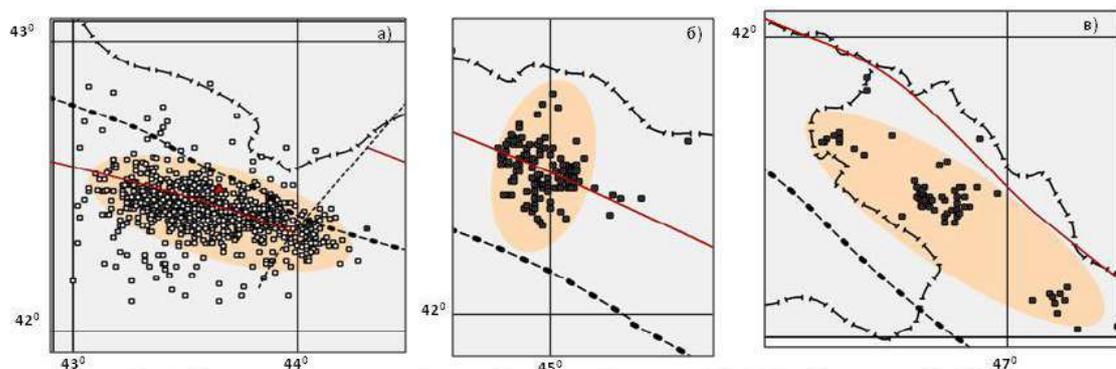


Рис. 2. Пространственное распределение афтершоков Рачинского 29.04.1991 г., Барисахского 23.10.1992 г., Закатальского 07.05.2012 г. землетрясений.

соответственно север-северо-западное направление с углами падения  $8^\circ$  и  $82^\circ$  и по ним происходит взброс-сдвиговая подвижка ([www.emsc.org](http://www.emsc.org)).

Количественные значения основных динамических параметров очагов этих землетрясений приведены в таблице 1.

Из региональных каталогов землетрясений, ([www.emsc.org](http://www.emsc.org)) методом «пространственно-временного окна» Кнопова [Gardner, Knopoff, 1974], выделены афтершоки и определены продолжительности афтершоковых процессов этих землетрясений.

Количественные значения параметров афтершоковых процессов приведены в таблице 2.

На первом этапе проведен анализ пространственного распределения афтершоков. С помощью современного пакета программ GIS, построены карты афтершоковых областей этих землетрясений и оценены их площадные значения (рис. 2).

Анализ пространственного распределения указывает, что афтершоковая область Барисахского землетрясения имеет близкруговой вид, а афтершоковое поле Рачинского землетрясения представляет собой эллипсоид, большая ось которого имеет близширотное направление. Эпицентр главного толчка Рачинского землетрясения расположен в центре выделенного эллипсоида, а Барисахского землетрясения смещён в восточную окраинную часть афтершокового поля. Особый интерес представляет картина афтершокового поля Закатальского землетрясения. Как видно из рисунка 2, оно имеет северо-западное – юго-восточное простирание, и выделяется тремя группирующимися областями. В отличие от Рачинского и Барисахского землетрясений, Закатальское землетрясение имеет 2 сильнейших афтершока, магнитуды которых ( $M = 5,5$ ;  $M = 5,4$ ) близки к магнитуде основного толчка. Эпицентры основного толчка и одного из сильнейших афтершоков расположены в центральной части афтершокового поля, второй сильнейший афтершок произошёл в северной части и формировал вторую, более маленькую афтершоковую зону. Количественные значения площадей афтершоковых полей этих землетрясений приведены в таблице 2.

Следует отметить, что площади афтершоковых полей Рачинского и Барисахского землетрясений соизмеримы со среднемировыми данными, имеющими соответствующие магнитуды. От этих данных существенно отличается значение площади афтершокового поля Закатальского землетрясения. Если отдельно рассмотреть афтершоковое поле основного толчка и первого сильнейшего афтершока, то площадь составляет  $628 \text{ км}^2$ . Если к нему добавить площади афтершокового поля второго сильнейшего афтершока и южного сегмента, то общая площадь составит  $3220 \text{ км}^2$ .

Используя средние значения глубин залегания афтершоков, рассчитаны также сейсмогенные объёмы афтершоковых областей, значения которых приведены в таблице 2, рассчитаны также графики повторяемости афтершоковых процессов каждого из этих землетрясений, которые отличаются от регионального значения  $\gamma = 0,5$  на величину  $0,1 \div 0,2$ . Используя выражение (3)

$$\Delta\sigma = \frac{7}{16} \cdot \frac{M_0}{\left(\frac{S}{\pi}\right)^{3/2}}, \quad (3)$$

где  $M_0$  – сейсмический момент,

$S$  – площадка поверхности разрыва,

рассчитаны значения сброшенных напряжений при основных толчках этих землетрясений [Kanamori, Anderson, 1975]. Рассчитаны также значения высвобожденной сейсмической энергии, как при основных толчках, так и при афтершоковых процессах [Аптекман и др., 1989]. Проведен сопоставительный анализ этих значений, который показывает, что суммарные значения высвобожденных сейсмических энергий при афтершоковых процессах Рачинского и Барисахского землетрясений соответственно составляют всего 7,5% и 4%, от значений высвобожденных сейсмических энергий основных толчков. Особый интерес представляет значение вы-

свобожденной сейсмической энергии при афтершоковом процессе Закаतालского землетрясения, который составляет 120%, от значения высвобожденной сейсмической энергии при основном толчке. Это связано с наличием при Закаतालском землетрясении двух сильнейших афтершоков с магнитудами  $M=5,3$  и  $M=5,5$ . Учитывая небольшие магнитудные отклонения двух сильнейших афтершоков от значения магнитуды основного толчка, а также вышеописанные особенности проявления афтершокового поля Закаतालского землетрясения, можно прийти к выводу, что в очаговой зоне Закаतालского землетрясения имело место, впервые сформулированное Викулиным, так называемое спарение или «дуплет» землетрясения [Викулин, 2008].

На втором этапе проведен временной анализ афтершоковых процессов. Для этой цели изучено затухание интенсивности афтершокового процесса во времени. Построены графики зависимости изменения интенсивности проявления афтершоков во временных интервалах соответственно равных для Рачинского землетрясения 5, 100, 900 дням, Барисахского землетрясения 5, 100, 700 дням и Закаतालского землетрясения 2, 100, 600 дням (рис. 3) (1, 2, 3).

Из графиков зависимости наглядно видно, что при Рачинском и Барисахском землетрясениях затухания афтершоковых процессов в течение первых 5 дней, а при Закаतालском землетрясении в первые 2 дня хорошо аппроксимируются линейной зависимостью. Во временном интервале в 100 дней затухания аппроксимируются гиперболической зависимостью, а окончательное затухание происходит во временном интервале, соответственно, для Рачинского землетрясения 900 дней, Барисахского землетрясения 700 дней, Закаतालского землетрясения 600 дней и хорошо аппроксимируется экспоненциальной зависимостью. Полученные результаты анализов указывают, что процессы затухания интенсивностей афтершоков во времени хорошо согласуются с модифицированным вариантом закона Омори [Шебалин, 2004; Holschneider et al., 2012].

С целью изучения разрядки сейсмотектонических напряжений, был применён широко используемый в сейсмологической практике график Бенъофа, характеризующий высвобождение энергии сейсмотектонических деформаций. Модель очага Бенъофа основывается на том, что энергия деформации  $E_D$ , накопленная в горных породах в процессе деформирования среды, во время землетрясения преобразуется в энергию сейсмических волн  $E$ :

$$E = E_D = \frac{1}{2} \mu \varepsilon^2 V \quad (4)$$

где  $\mu$  – упругая константа,  
 $\varepsilon$  – высвобожденная деформация;  
 $V$  – объем очага.  
 Следовательно:

$$\varepsilon = c \cdot E^{1/2},$$

где

$$c = \left( \frac{1}{2\mu V} \right)^{-1/2}.$$

Отсюда корень квадратный из энергии землетрясения пропорционален высвобожденной упругой деформации. Соответственно, при последовательности толч-

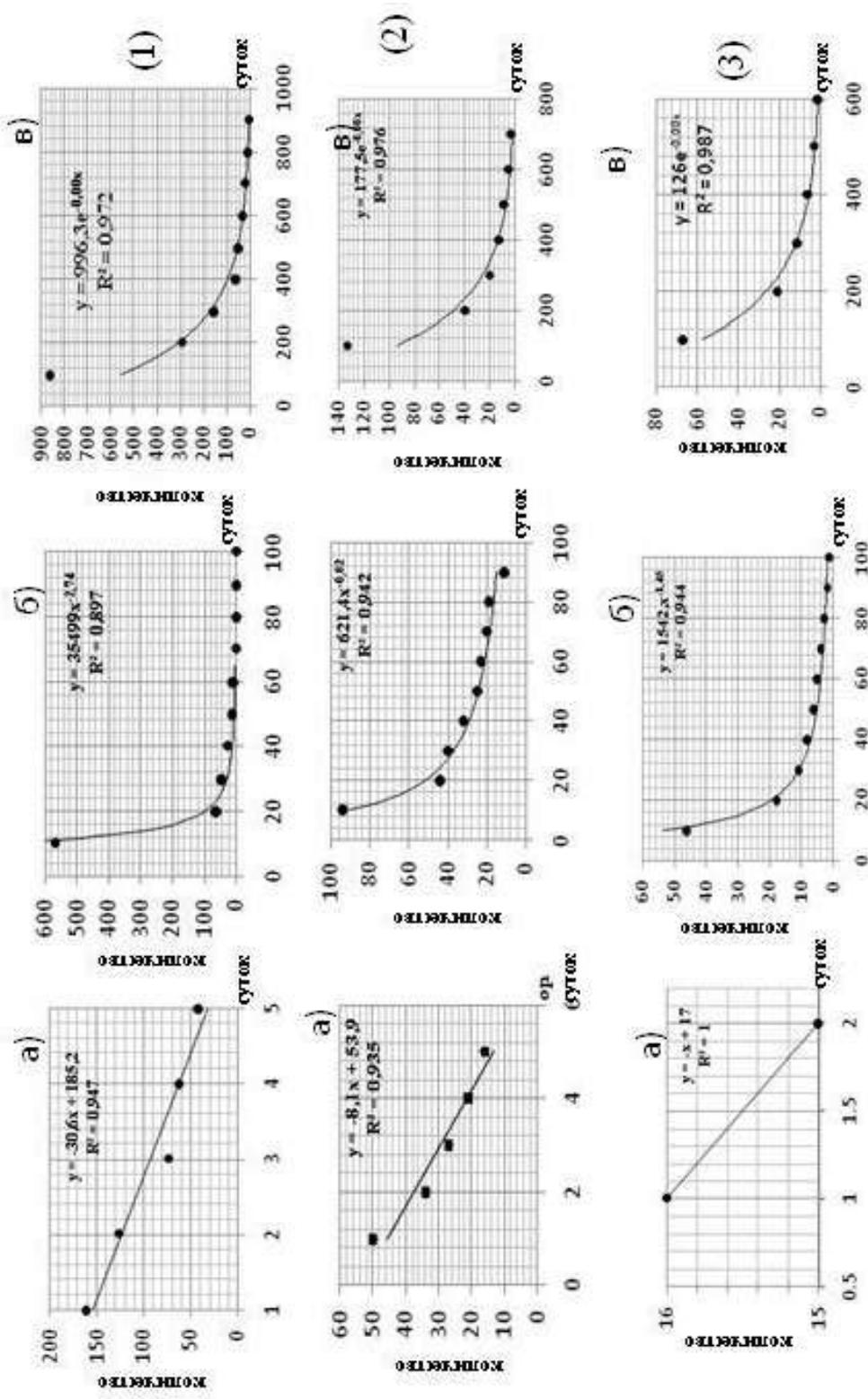


Рис. 3. Характеризующие кривые затухания афтершокового процесса  
 (1) Рачинского 29.04.1991 г. землетрясения для а) 5 суток, б) 100 суток, в) 900 суток;  
 (2) Барисахского 23.10.1992 г. землетрясения для а) 5 суток, б) 100 суток, в) 700 суток;  
 (3) Закавказского 07.05.2012 г. землетрясения для а) 2 суток, б) 100 суток, в) 600 суток

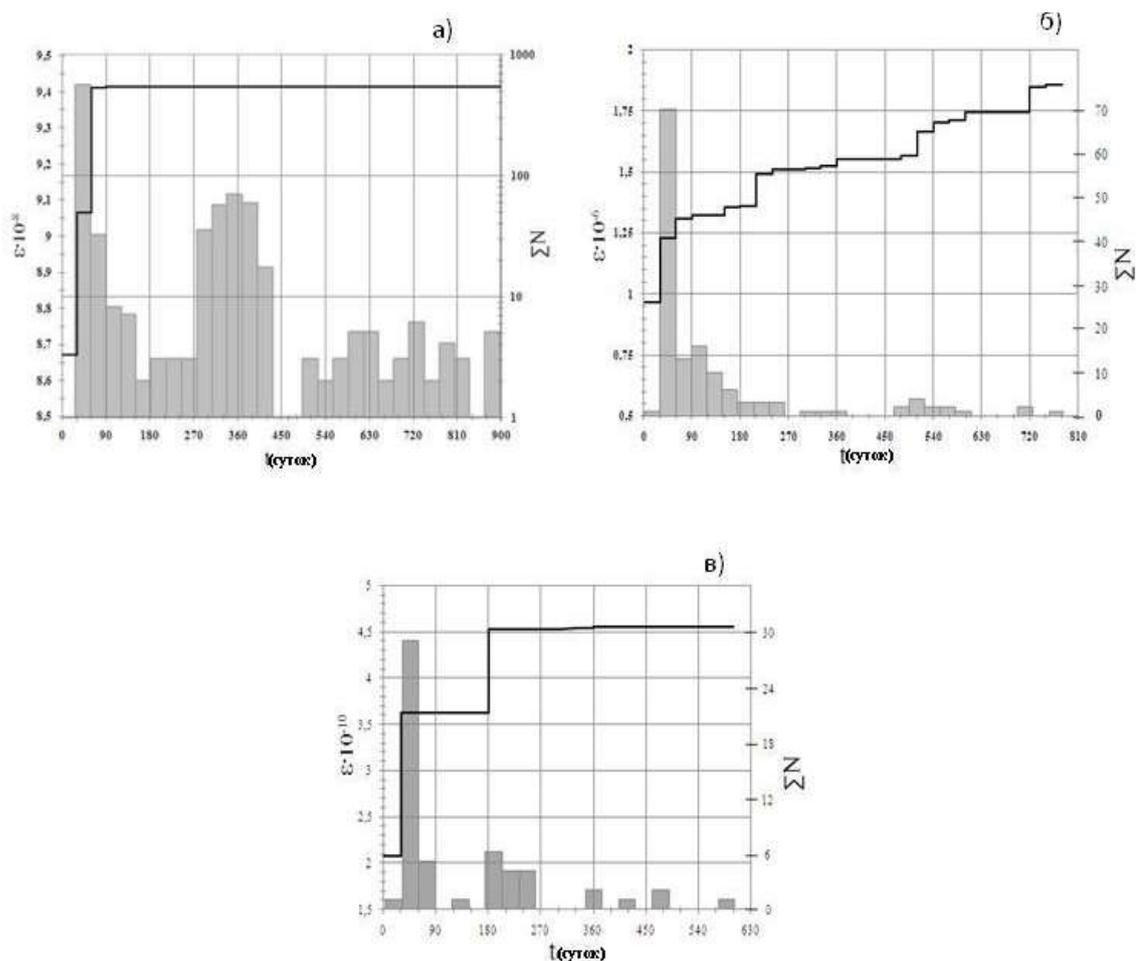


Рис. 4. Сопоставление кумулятивных графиков Бенъофа, изображающих относительные деформации Рачинского (а) 29.04.1991 г., Барисахского (б) 23.10.1992 г. и Закатальского (в) 07.05.2012 г. землетрясений с количеством афтершоков (по суткам)

ков график зависимости накопленной суммы приращений  $E^{1/2}$  от времени  $t$  представляет собой характеристику высвобождения упругих деформаций в фокальной зоне [Солоненко Н., Солоненко А., 1987].

Были построены вышеуказанные графики Бенъофа для Рачинского, Барисахского, Закатальского землетрясений (рис. 4).

При построении этих графиков временной шаг был принят равным 30 дням.

Как видно из графиков, разрядка сейсмостектонических напряжений в очаговых зонах Рачинского и Барисахского землетрясений имеет крутой спад, притом основные части разрядки сейсмостектонических напряжений этих землетрясений происходили соответственно в течение 90 и 60 дней. В отличие от них, на графике Закатальского землетрясения (рис. 4в) наглядно наблюдаются три ступени. Эти особенности связаны с литологическим составом и стратиграфическими особенностями геологических сред очаговых зон этих землетрясений. В области молодой горно-складчатой структуры Большого Кавказа разрядка сейсмостектонических напряжений происходит более интенсивно и в сравнительно коротком временном интервале, а в Закавказском позднеальпийском межгорном молассовом прогибе этот процесс имеет затяжной характер.

### Литература

1. Аптекман Ж. Я., Белавина Ю. Ф., Захарова А. И. и др. Спектры *P*-волн определения динамических параметров очагов землетрясений. Переход от стационарного спектра к очаговому и расчет динамических параметров очага // Вулканология и сейсмология. – 1989. – №2. – С. 76-79.
2. Викулин А. В. Физика Земли и геодинамика // Учебное пособие для геофизических специальностей вузов. – Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамГУ им. Витуса Беринга, 2008. – 463 с.
3. Ризниченко Ю. В. Избранные труды. Проблемы сейсмологии. – М.: Наука, 1985. – 405 с.
4. Солоненко Н. В., Солоненко А. В. Афтершоковые последовательности и рои землетрясений в Байкальской рифтовой зоне // Новосибирск: Наука, сибирское отделение, 1987. – 93 с.
5. Шебалин П. Н. Афтершоки как индикаторы напряженного состояния в системе разломов // Доклады академии наук. – 2004. – Т. 398. №2. – С. 249-254.
6. Шенгелая Г. Ш., Папалашвили В. Г., Махарадзе Р. К. и др. Первый каталог землетрясений Кавказа, составленный по программе «ГИПОЦЕНТРИЯ-ГМ» и некоторые вопросы современной геодинамики эпицентральной зоны Рача-Имеретинского землетрясения. – Тбилиси: изд. «МЕЦНИЕРЕБА», 1995. – 129 с.
7. Gardner J., Knopoff L. Is the sequence of earthquakes in S. California with aftershocks removed Poissonian? Yes // Bull. Seismol. Soc. Amer. – 1974. – Vol. 64. №5. – P. 1363-1367.
8. Holschneider M., Narteau C., Shebalin P., Peng Z., Schorlemmer D. Bayesian analysis of the modified Omori law // Journal of Geophysical Research. – 2012. – Vol. 117, BXXXXX, doi:10.1029/2011JB009054.
9. Kanamori B. H., Anderson D. L. The oretical basis of some empirical relations in seismology // Bull. of the Seismol. Soc. of Amer. – 1975. – Vol. 65. №.5. – Pp. 1073-1095.
10. Omori F. On aftershock of earthquakes // J. Coll. Sci. Univ. – Tokyo. –1894. – V. 7 – P. 111-200.

## DISCHARGE OF SEISMOTTONTONIC VOLTAGES IN THE FOCAL ZONES OF STRONG EARTHQUAKES OF THE CENTRAL PART OF THE GREAT CAUCASUS

© 2017 M. A. Mkrtchyan

Institute of Geophysics and Engineering Seismology after A. Nazarov of NAS RA,  
Republic of Armenia, 3115, Gyumri, V. Sarksyan Str., 5, e-mail: iges@mail.ru

Aftershock process spatio-temporal-energy distribution analysis was made on Racha (29.04.1991  $M = 7,0$ ), Barisaho (23.10.1992  $M = 6,5$ ), Zakatala (07.05.2012  $M = 5,6$ ) earthquakes occurred on the southern slope of

the central part of the Greater Caucasus. On the identified focal areas on the basis of quantitative estimates of the relative deformation characteristic regularities and features of seismotectonic stress release are identified.

At the first stage, an analysis of the spatial distribution of aftershocks was carried out. Applying the modern software package GIS, maps of aftershock areas of these earthquakes are constructed and their area values are estimated.

At the second stage, a temporary analysis of aftershock processes was performed. For this purpose, the attenuation of the intensity of the aftershock process in time was studied. In order to study the discharge of seismotectonic stresses, Benyoff's graph, which characterizes the release of the energy of seismotectonic deformations, was widely used in seismological practice.

Discharge of seismotectonic stresses in the focal zones of the Rachin and Barisakh earthquakes has a steep decline. On the graph of the Zakatala earthquake three stages are visually observed. These features are associated with the lithological composition and stratigraphic features of the geological environments of the focal zones of these earthquakes. In the area of the young mountain-fold structure of the Greater Caucasus, seismotectonic stresses are depleted more intensively and in a relatively short time interval, and in the Transcaucasian Late Alpine intermountain molasses trough this process has a protracted character.

**Keywords:** aftershock, the main shock, magnitude, hypocenter, Benyoph's schedule.

### References

1. Aptekman Zh.Ya., Belavina Yu.F., Zaharova A.I. i dr. Spektry P-voln opredeleniya dinamicheskikh parametrov ochagov zemletryasenij. Perehod ot stacionnogo spektra k ochagovomu i raschet dinamicheskikh parametrov ochaga [Spectra of P-waves to determine the dynamic parameters of earthquake foci. The transition from the station spectrum to the focal plane and the calculation of the dynamic parameters of the source]. *Vulkanologiya i seismologiya*, 1989, No. 2, pp. 76–79. (in Russian).
2. Vikulin A.V. *Fizika Zemli i geodinamika* [Physics of the Earth and geodynamics]. Petropavlovsk-Kamchatskij, Izd-vo KamGU named after Vitus Bering, 2008. 463 p. (in Russian).
3. Riznichenko Yu.V. *Izbrannye trudy. Problemy seismologii* [Selected works. Problems of seismology]. Moscow, Nauka Publ., 1985. 405 p. (in Russian).
4. Solonenko N.V., Solonenko A.V. Aftershokovye posledovatel'nosti i roi zemletryasenij v Bajkals'koj riftovoj zone [Aftershock sequences and swarms of earthquakes in the Baikal rift zone]. Novosibirsk, Nauka, sibirskoe otdelenie, 1987. 93 p. (in Russian).
5. Shebalin P.N. Aftershoki kak indikator napryazhennogo sostoyaniya v sisteme razlomov [Aftershocks as indicators of stress in the fault system]. *Doklady akademii nauk*, 2004, Vol. 398, No. 2, pp. 249–254. (in Russian).
6. Shengelaya G.Sh., Papalashvili V.G., Maharadze R.K. et al. Pervyj katalog zemletryasenij Kavkaza, sostavlennij po programme «GIPOCENTRIYA-GM» i nekotorye voprosy sovremennoj geodinamiki epicentral'noj zony Racha-Imeretinskogo zemletryaseniya [The first catalog of earthquakes in the Caucasus, compiled according to the program "HYPOCENTREY-GM" and some questions of modern geodynamics of the epicentral zone of the Racha-Imereti earthquake]. Tbilisi, Mecniereba Publ., 1995. 129 p. (in Russian).
7. Gardner J., Knopoff L. Is the sequence of earthquakes in S. California with aftershocks removed Poissonian? Yes. *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, 1974, Vol. 64, No. 5, pp. 1363–1367.
8. Holschneider M., Narteau C., Shebalin P., Peng Z., Schorlemmer D. Bayesian analysis of the modified Omori law. *Journal of Geophysical Research*, 2012, Vol. 117, BXXXXX, doi:10.1029/2011JB009054.
9. Kanamori B.H., Anderson D. L. The oretical basis of some empirical relations in seismology. *Bull. of the Seismol. Soc. of Amer.*, 1975, Vol. 65, No. 5, pp. 1073–1095.
10. Omori F. On aftershock of earthquakes. *J. Coll. Sci. Univ*, 1894, Vol. 7, pp. 111–200.

УДК 551

## STUDY OF TECTONIC SURFACE AND SUBSURFACE STRUCTURES BY GPR SURVEY IN ACTIVE FAULTS AREA

© 2017 H. A. Igityan, Sc. Candidate (Geol.), M. R. Gevorgyan, E. E. Sahakyan, H. Y. Babayan

Institute of Geological Sciences NAS RA (IGS NAS RA), Republic of Armenia, 0019, Yerevan, Marshal Baghramyan Ave., 24a, e-mail: [lgityanhayk@gmail.com](mailto:lgityanhayk@gmail.com)

The Republic of Armenia (RA) is located in the Arabian and Eurasian plates collision zone. The Pambak-Sevan-Syunik (PSSF) active fault extends almost throughout the whole territory of Armenia. The issue of geometry of the surface and near-surface structures in the most segments of the PSSF remains open. In the Syunik segment of this fault there is a site called Karkar with a high hydrothermal potential. Surface and near-surface structures in the Karkar site were first identified and studied in Armenia with using of GPR survey. Ruptured and depleted zones representing secondary surface deformations of the active fault were revealed.

In the initial stage, a GPR 2D survey was done in separated sites; afterwards, a GPR 3D survey was done in revealed anomalous sites. As a result, the 3D models of surface and near-surface structures (flower structure, pull-apart basin, and other structures) allowed to more accurately estimate the width of the active fault zone, to develop an adequate seismotectonic model of the territory. The carried out researches will have a great importance for the seismic hazard and risk assessment for the studied territory.

**Keywords:** active fault, surface and near-surface structures, GPR survey, anomaly.

### Introduction

The Republic of Armenia (RA) is located in the Arabian and Eurasian plates collision zone. The Pambak-Sevan-Syunik (PSSF) active fault extends almost throughout the whole territory of Armenia. In the Syunik segment of this fault there is a site called Karkar with a high hydrothermal potential, where the main segments of the active fault are known. However, the issue of geometry of the surface and near-surface structures existing in the surroundings of the main fault remains open. This issue is important for seismic hazard and risk assessment.

With the purpose of revealing and comprehensively studying the surface and near-surface structures, 2D and 3D ground penetrating radar (GPR) surveys were used in the Karkar site. During the survey, anomalous areas were identified, which need to be studied in detail. To determine the three-dimensional structure of the mentioned structures in the anomalous areas, 3D GPR survey was used. As a result of the survey disrupted, ruptured, deformed surface and near-surface zones were revealed and mapped. Based on these results, it becomes possible to more thoroughly examine and estimate the width of the active faults.

### Characteristics of the Karkar site

The Karkar site (Figure 1) is located in the south of the Republic of Armenia, in Syunik region. The site is a part of the Pambak-Sevan-Syunik active fault, which is the longest (490 km) active fault in Armenia [Trifonov et al., 1990; Philip et al., 1988; Karakhanyan et al., 1997; Rebai et al., 1993]. Numerous geological and geophysical investigations have been carried out in the Karkar site, among them being as follows: the Karkar

site is situated in the area, where the western branch of the pull-apart basin structure splits into seven subsegments. The total rightlateralstrike-slip fault displacement along all segments equals 600 m, and the vertical displacement is 47 m. [Karakhanyan et al., 2015]. We surveyed the western branch of Karkar site (Figure 1).

The seismic translucence implemented in Jermaghbyur area in 1988-1989 resulted in detection of two areas of low-velocity inhomogeneities: the first one was located in the area of the Jermaghbyurthermal spring and the other one was located in the area of the Karkar volcanic group.

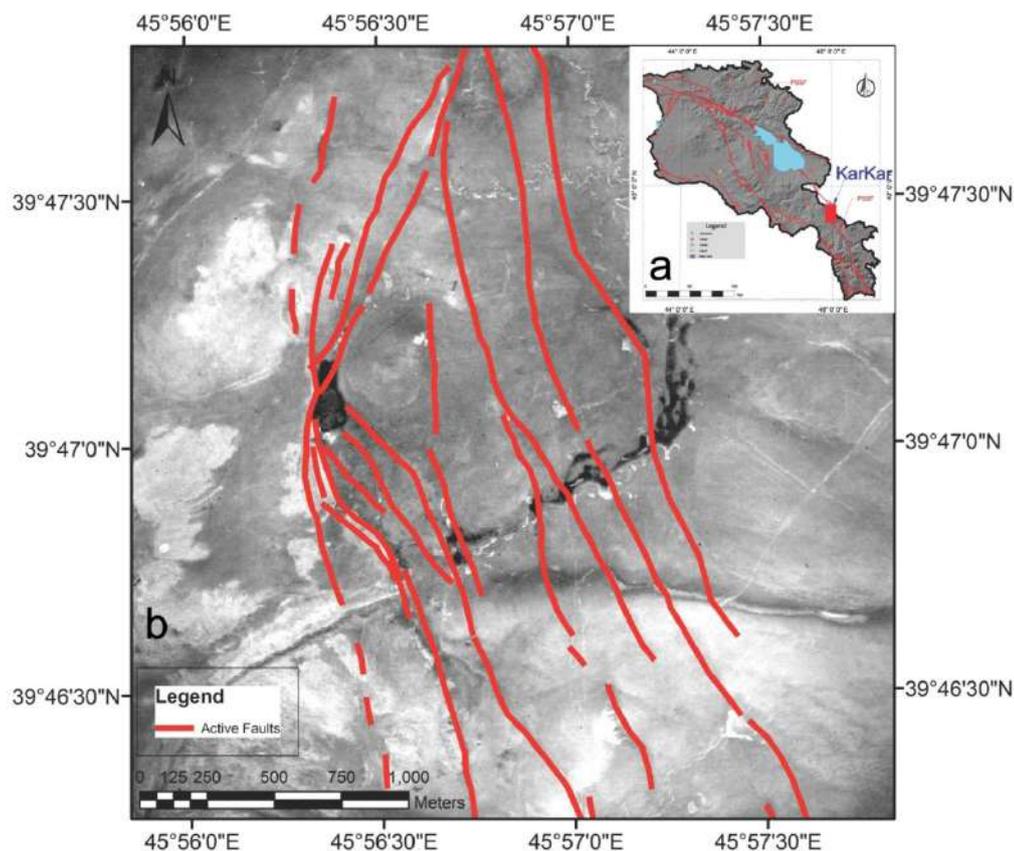


Fig. 1. a) Map of Armenia, b) The area under study

The identified seismic inhomogeneities are located above the refraction boundary, which is at a depth of 2,0-2,5 km., and represent bodies, in which velocities of propagation of electromagnetic waves are much lower as compared to covering medium and their filling substance is characterized by a higher attenuation factor. According to the seismic characteristics these bodies might represent near-surface magma chambers filled with still substance [Independent..., 2012].

The main out come of the structural-geological and volcanological investigations conducted in the Karkar site was the identification of a major structure of pull-apart basin on the southern flank of the Pambak-Sevan-Syunik active fault [Karakhanyan et al., 2002].

Based on the structural-geological investigations conducted in 2004 the map of faults in the Karkar site was compiled at a scale of 1:25.000, which served a basis for the development of the «conceptual model of the geothermal site [Independent..., 2012]. In the same year, a magnetotelluric (MT) sounding was conducted in the site by «Nord-West»

Company (Moscow) in cooperation with the Institute of Geophysics and Engineering Seismology of the National Academy of Sciences of Armenia [Independent..., 2012].

The critical analysis of the MT survey results of 2004, 2009 and 2011 indicates that they are fully compatible and can be used for interpretation, in particular for assessment of the geothermal potential of the Karkar site [Independent..., 2012].

The results of 3-dimensional inversion of gravity data provide key inputs into a hydrothermal circulation model of the system and associated hot springs, which is used to evaluate possible geothermal system configurations. Hydraulic and thermal properties are specified using maximum a priori estimates. Limited constraints provided by temperature data collected from an existing down-gradient borehole indicate that the geothermal system can most likely be classified as low-enthalpy and liquid dominated [White et al., 2015].

### The results of the conducted ground penetrating radar survey

The most important task was to detect, study and map the surface and surface structures. Then made for them the three-dimensional models. For this purpose, a 2D and 3D GPR survey was implemented for the first time, using GSSI SIR 3000 GPR equipment, and the data were processed using «Radan 6,5» software [Lehmann, Green, 2000].

For the 2D survey a 100 MHz antenna was used, which enabled to study the Earth's crust to a depth of 30 m, and for the 3D GPR survey a 200 MHz antenna was used to study the Earth's crust to a depth of 10 m. The anomalous areas and zones revealed as a result

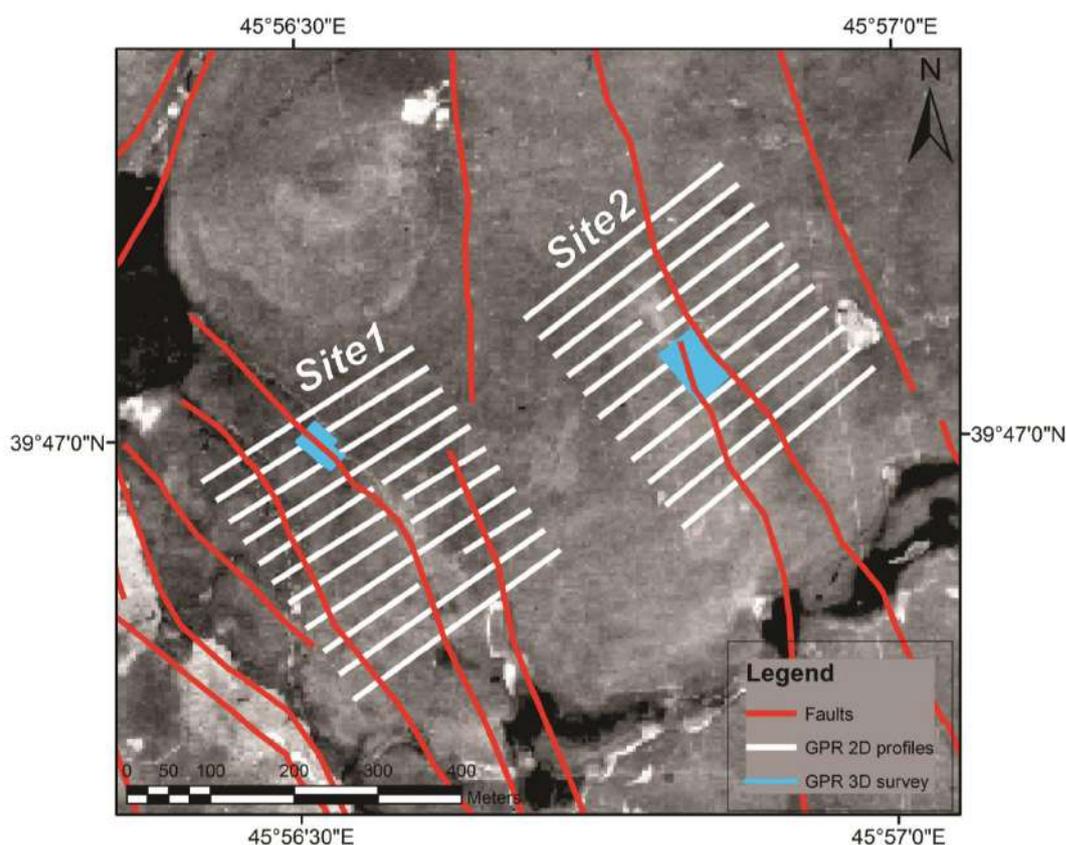


Fig. 2. Factual evidence sketch: first and second sites

of the 2D survey were subject to quantitative and qualitative processing, during which the nature of the anomalies was identified and the tectonic elements were separated.

To obtain the image of tectonic structures in the anomalous areas 3D GPR survey was conducted and the model of tectonic elements was compiled as a result.

Based on the characteristics of the relief, the site was divided into two parts during the studies (Figure 2).

In the first site, rectangular grid 2D GPR survey was conducted, which included 11 profiles. Conditioned with the roughness of relief, 4 profiles of the survey have interruptions of up to 10 m length. This area coincides with the main disruption of the active fault, which is well manifested on the terrain.

Figure 3 represents the radargram of Profile 10 and its processing results. The first 0,3 m layer of the profile is the top soil layer, followed by tectonic structures. In the 15 to 100 m segment of the Profile, there is a ruptured and disrupted zone, which is 85 m long and 20 m deep. Such deformations represent by-products of the active fault.

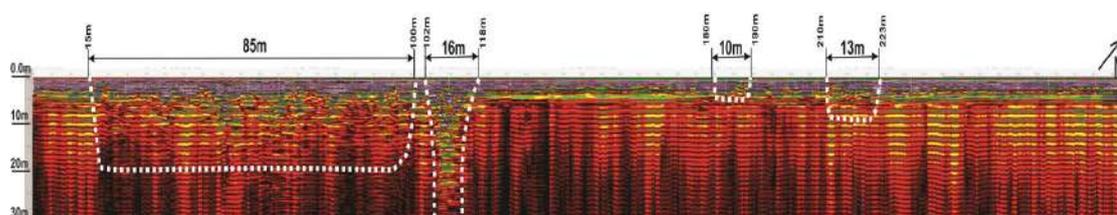


Fig. 3. Quantitative and qualitative interpretation of Profile 10 of GPR 2D survey

In the 102-118 m segment of the Profile an anomaly is distinguished, which is more than 30 m deep. The structure swidth is decreasing with the depth and becomes 8 m at 30 m (Figure 4). The anomaly revealed in the 180-190 m segment of the Profile is 5 m deep, however it is not linked to the active tectonics in any way. Presumably, it is connected with a cultural and historical heritage site, since this area was a settlement in the late Bronze Age; there are many historical and cultural heritage sites here. A similar structure is also present in the 210-223 segment of the Profile.

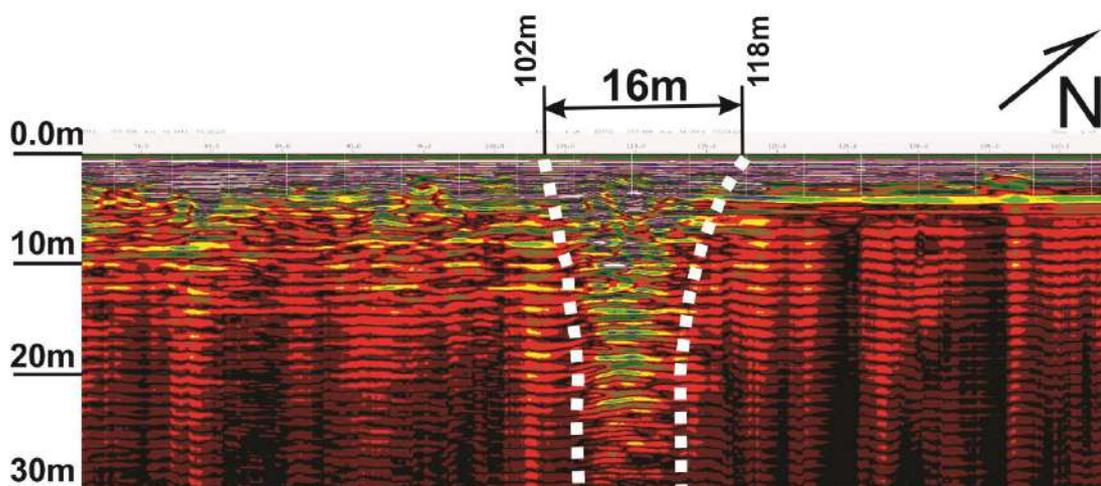


Fig. 4. A flower-type structure

Taking into consideration the fact of the tectonic origin of the structure, it can be argued that the revealed structure has a flower-type shape. As a result of the GPR 2D

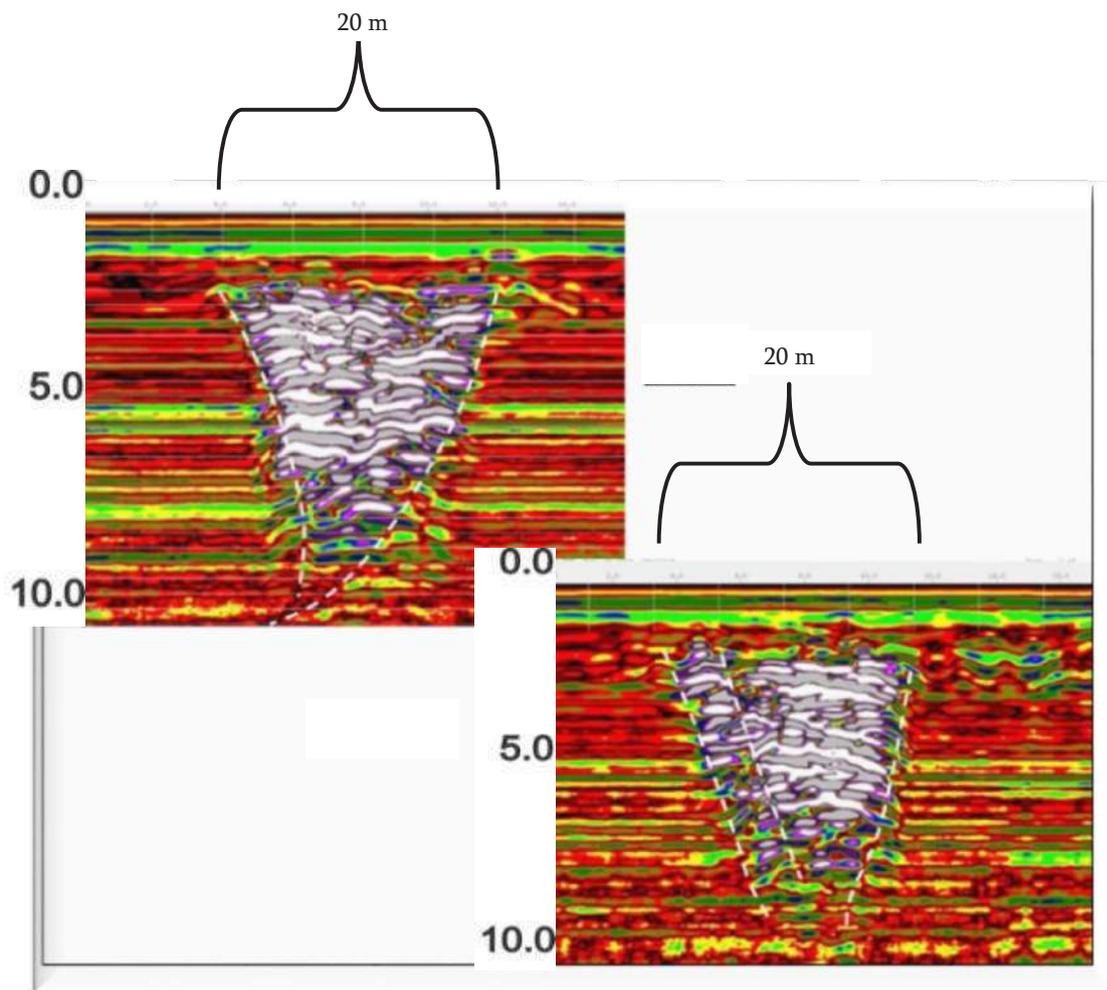


Fig. 5. An identified flower-type structure

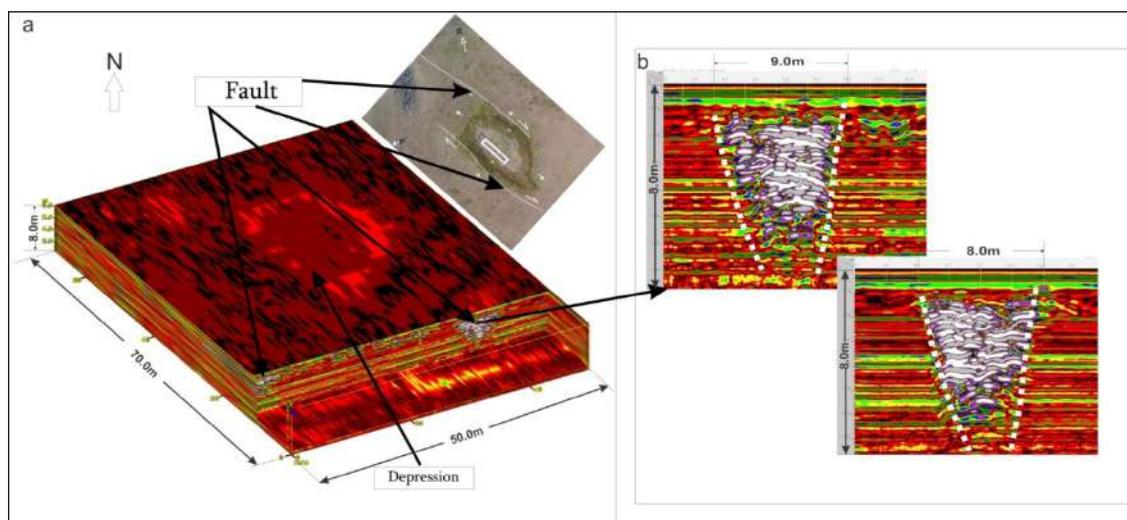


Fig. 6. Analysis of GPR 3D survey and compilation of 3D model

survey conducted with antennas of up to 30 m penetration depth, numerous flower-type structures were revealed.

All profiles in the site were subject to similar processing and the anomalies were plotted on the factual evidence sketch (Figure 8).

With the purpose of more detailed studies, GPR 3D survey was used in the anomalous sites revealed during the GPR 2D survey (Figure 2). The survey was conducted with a rectangular grid. It composed of 11 profiles, with 3 m distance between them. The findings of the GPR 3D survey fully confirmed the ones of the GPR 2D survey. As a result of quantitative and qualitative interpretation of the survey, the presence of the flower-type structures was identified and confirmed (Figure 5).

Let us consider the findings obtained in the second site (Figure 2). The length of the rectangular grid GPR 2D survey profiles was 300 m and the distance between them was 30 m. As a result of the survey data interpretation, anomalous areas conditioned by tectonic elements were identified that were also conditioned by disrupted and ruptured zones, as well as tectonic elements with flower-type structure.

There is a natural depression in this site. However, targeted studies to verify the conditions of its origin have not been conducted. Taking into account the GPR 2D survey data, as well as the presence of the natural depression in the site, GPR 3D survey was conducted in the site (Figure 2). The survey was conducted with rectangular grid. It consisted of 24 profiles 50 m in length, and the distance between the profiles was 3 m. The data processing revealed that the natural depression was more than 8 m deep and it was bounded by active faults of flower-type structure along its two flanks (Figure 6).

Taking into consideration the presence of the natural depression and the active faults bounding it along two flanks, as well as the flower-type structure of the faults, it is argued that the natural depression is a pull-apart basin (Figure 6). The obtained data were placed

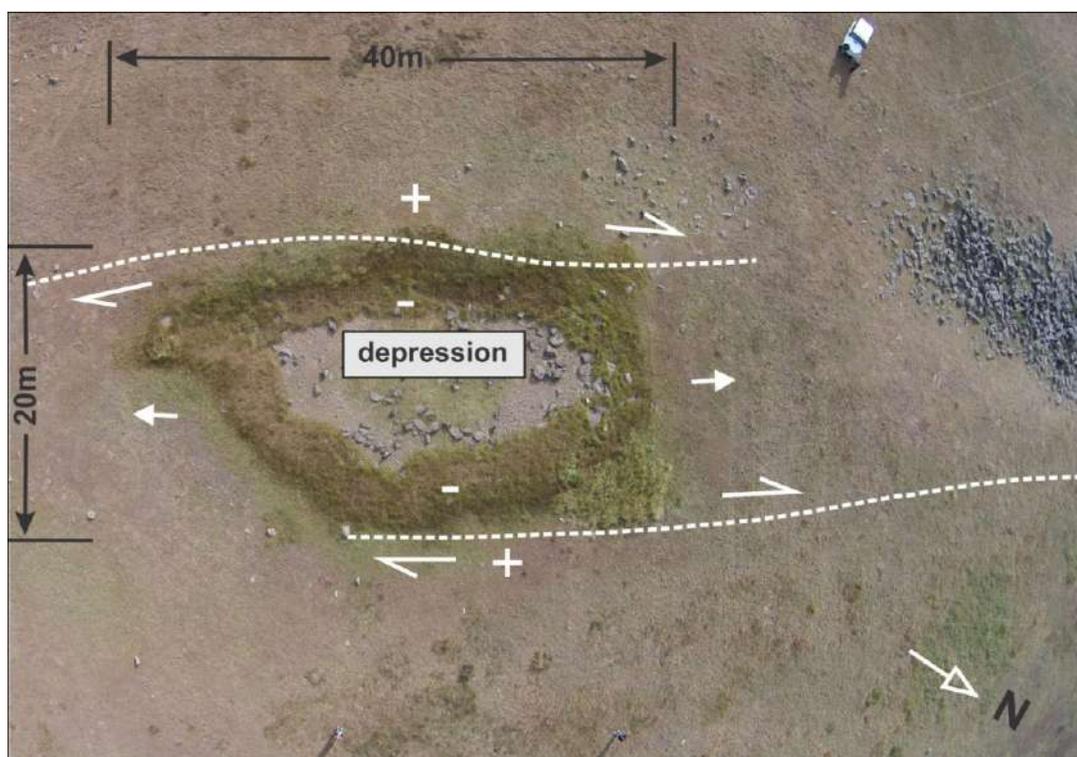


Fig. 7. Pull-apart basin model and active faults

on aerial photograph (Figure 7) and the model of the pull-apart basin was built [McClay, Bonora, 2001], which has 20 m width and 40 m length.

### Discussion

Based on the GPR survey in the area under study various surface and near-surface tectonic elements were identified and mapped. The depleted and ruptured structures comprise zones that extend to 20 m depth and are 50 to 230 m wide. They are interrupted by tectonic elements of flower-type structure with different widths varying in a range of 8-9 m to 30 m. Regional expansion forces are present in this site, and therefore the tectonic elements are subjected to a stretching process, resulting in the negative flower-type structures. The latter coincide with high accuracy with the flower-structure model proposed by Sylvester in 1988 [Sylvester, Brown, 1988].

A pull-apart basin was identified in the second site, its 2D and 3D tectonic models were developed. The developed model coincides with high accuracy with the McClay and Masimomodel [McClay, Bonora, 2001]. All surface and near-surface structures were mapped (Figure 8).

A pull-apart basin was identified in the second site, in the center of which low values of the MT survey were registered.

During the field work were in detail studied surface and sub-surface structures in the active fault zone, which leads to the assessment width of the active fault. These results could evaluate the width of active fault zones. This allows to develop an adequate seismotectonic model of the investigated site, improve accuracy of seismic hazard assessment, thus reducing the seismic risk. Based on the GPR survey data a paleoseismological trench was excavated. The tectonic structures, which were exposed in the trench almost fully confirm the GPR survey results, which confirms the accuracy of the latter [Karakhanyan et al., 2015].

### Conclusions

Summing up the results of the conducted studies, the following conclusions can be drawn:

- During study were identified, studied and mapped surface and near-surface structures in the zone of active fault.
- As a result of GPR 2D and 3D surveys surface and near-surface disrupted and ruptured tectonic zones were identified, a part of which have flower-type structures.
- There is evidence that the natural depression in the second site is a pull-apart basin; the 2D and 3D models of the pull-apart basin were built.
- The widths of the Karkar sections of the active Pambak-Sevan-Syunik Fault correspond to about 800 m.

### References

1. Independent interpretation of the results of the 3D MT, gravity and CO<sub>2</sub> surveys conducted at the Karkar Site «Georisk». Final Report. – Yerevan. – 2012. – P. 175.
2. Karakhanyan A. S., Djrbashyan R. T., Trifonov V. G., Philip H., Ritz J. F. 1997. Active faults and strong earthquakes of the Armenian Upland. In: Giardini, D., Balassanian, S. (Eds.), Historical and Prehistorical Earthquakes in the Caucasus // Kluwer Academic Publishing. – Dordrecht, Netherlands. – Pp. 181-187.

3. Karakhanyan A., Djr bashian R., Trifonov V., Philip H., Arakelian S., Avagian A. Holocene-historical volcanism and active faults as natural risk factor for Armenia and adjacent countries. – 2002. – JVGR 113 (1-2). – Pp. 319-344.
4. Karakhnayan A., Badalyan R., Harutyunian A., Avagyan A., Philip H., Davtyan V., Alaverdyan G., Makaryan K., Martirosyan M. «Archaeoseismological Studies at the Pambak-Sevan-Syunik Fault System, Armenia» // The Geological Society of America Special Paper spe 525-15. – 2015. – Pp. 1-21.
5. Lehmann, F., and Green A. G., Topographic migration of georadar data: Implications for acquisition and processing // Geophysics. – 2000. – 65. – Pp. 836-848.
6. McClay K., Bonora M. AAPG Bulletin. – 2001. – Vol. 85. №2. – Pp. 233-260.
7. Philip H., Rogozhin E., Cisternas A., Bousquet B., Borisov B. and Karakhanyan A. 1992. The Armenian earthquake of 1988 December 7: Faulting and folding, neotectonics and paleoseismicity // Geophys. J. Int., 110. – Pp. 141-158.
8. Rebai S., Philip H., Dor bath L., Borissoff B., Haessler H., Cisternas A. 1993. Active tectonics in the Lesser Caucasus: coexistence of compressive and extensional structures // Tectonics. – 12 (5). – Pp. 1089-1114.
9. Sylvester A. G. and Brown G. C. Santa Barbara and Ventura Basins – Tectonics, Structure, Sedimentation, and Oilfields along an East-West Transect // Coast Geological Society Field Guide – 1988. – №64. – Pp. 1-52.
10. Trifonov V. G., Karakhanyan A. S., Kozhurin A. I. 1990. The Spitak earthquake as a manifestation of active tectonics // Geotectonika. – №6. – Pp. 46-60.
11. White J. T., Karakhanyan A., Connor C. B., Connor L., Hughes J. D., Malservisi R., Wetmore P. «Coupling geophysical investigation with hydrothermal modeling to constrain the enthalpy classification of a potential geothermal resource» // Journal of Volcanology and Geothermal Research. – 2015. – 298. – Pp. 59-70.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ СТРУКТУР В ЗОНЕ АКТИВНЫХ РАЗЛОМОВ ПРИ ПОМОЩИ ГЕОРАДАРНОЙ СЪЁМКИ

© 2017 А. А. Игитян, к.геол.н., М. Р. Геворгян, Е. Е. Саакян, Г. Е. Бабаян

Институт Геологических Наук НАН РА (ИГН НАН РА), Республика Армения, 0019, г. Ереван, пр. Маршала Баграмяна, 24а, e-mail: Igityanhayk@gmail.com

Территория Республики Армения (РА) расположена в центральной части зоны коллизии Арабской и Евразийской плит. Памбак-Севан-Сюникский активный разлом проходит почти через всю территорию Армении. Вопрос геометрии поверхностных и приповерхностных структур в большинстве сегментов Памбак-Севан-Сюникского разлома остается открытым. В Сюникском сегменте этого разлома находится участок под названием Каркар, с высоким гидротермальным потенциалом. Впервые в Армении при помощи георадарного профиля были выявлены и изучены поверхностные и приповерхностные структуры разлома на участке Каркар. Выявлены разрушенные зоны, представляющие вторичные поверхностные деформации активного разлома.

На начальном этапе для различных участков была проведена двухмерная георадарная съемка (2D). Затем, для выявленных аномальных участков была проведена трёхмерная георадарная съемка. В результате построенные 3D модели поверхностных и приповерхностных структур (структура цветка, бассейна присдвигового растяжения и др.) позволяют более точно определить ширину зоны активного разлома, разработать адекватную сейсмотектоническую модель территории. Проведенные исследования будут иметь важное значение для оценки сейсмической опасности и риска изучаемой территории.

**Ключевые слова:** активный разлом, поверхностные и приповерхностные структуры, георадарная съемка, аномалия.

### References

1. Independent interpretation of the results of the 3D MT, gravity and CO<sub>2</sub> surveys conducted at the Karkar Site «Georisk». Final Report. Yerevan, 2012. 175 p.
2. Karakhanyan A.S., Djrbashyan R.T., Trifonov V.G., Philip H., Ritz J.F. 1997. Active faults and strong earthquakes of the Armenian Upland. In: Giardini, D., Balassanian, S. (Eds.), Historical and Prehistorical Earthquakes in the Caucasus. Dordrecht, Netherlands, Kluwer Academic Publishing. pp. 181–187.
3. Karakhanyan A., Djrbashian R., Trifonov V., Philip H., Arakelian S., Avagian A. Holocene-historical volcanism and active faults as natural risk factor for Armenia and adjacent countries. *JVGR*, 2002, 113 (1-2), pp. 319–344.
4. Karakhnayan A., Badalyan R., Harutyunian A., Avagyan A., Philip H., Davtyan V., Alaverdyan G., Makaryan K., Martirosyan M. Archaeoseismological Studies at the Pambak-Sevan-Syunik Fault System, Armenia. *The Geological Society of America Special Paper*, 2015, 525-15, pp. 1–21.
5. Lehmann, F., and Green A. G., Topographic migration of georadar data: Implications for acquisition and processing. *Geophysics*, 2000, 65, pp. 836–848.
6. McClay K., Bonora M. *AAPG Bulletin*, 2001, Vol. 85, No. 2, pp. 233–260.
7. Philip H., Rogozhin E., Cisternas A., Bousquet B., Borisov B. and Karakhanyan A. 1992. The Armenian earthquake of 1988 December 7: Faulting and folding, neotectonics and paleoseismicity. *Geophys. J. Int.* 110, pp. 141–158.
8. Rebai S., Philip H., Dorbath L., Borissoff B., Haessler H., Cisternas A. 1993. Active tectonics in the Lesser Caucasus: coexistence of compressive and extensional structures. *Tectonics*, 12 (5), pp. 1089–1114.
9. Sylvester A.G. and Brown G.C. Santa Barbara and Ventura Basins – Tectonics, Structure, Sedimentation, and Oilfields along an East-West Transect. *Coast Geological Society Field Guide*, 1988, No. 64, pp. 1–52.
10. Trifonov V.G., Karakhanyan A.S., Kozhurin A.I. 1990. The Spitak earthquake as a manifestation of active tectonics. *Geotectonika*, 1990, No. 6, pp. 46–60.
11. White J.T., Karakhanyan A., Connor C.B., Connor L., Hughes J.D., Malservisi R., Wetmore P. Coupling geophysical investigation with hydrothermal modeling to constrain the enthalpy classification of a potential geothermal resource. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2015, 298, pp. 59–70.

**ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА  
ЮГА РОССИИ  
(№3. 2017 г.)**

Подписано в печать 20.09.2017 г. Формат 60×84 1/8.

Дата фактического выхода 25.09.2017 г.

Усл. печ. лист 17,2. Гарнитура «Times».

Бумага офсетная. Печать цифровая. Тираж 100 экз. Заказ №84.

Свободная цена.

**Издание зарегистрировано в Министерстве РФ по делам печати, телерадиовещания и средств  
массовых коммуникаций. Свидетельство ПИ № ФС77-63229 от 06 октября 2015 г.**

Издатель:

**Геофизический институт Владикавказского научного  
центра Российской академии наук**

Адрес издателя и редакции:

362002, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркова 93а

тел. 8 (8672) 764084; факс 8(8672) 764056

e-mail: southgeo@mail.ru

<http://cgiras.ru/southgeo>

Отпечатано ИП Цопановой А.Ю.

362000, г. Владикавказ, пер. Павловский, 3