

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

ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА ЮГА РОССИИ

№ 1 / 2016

Владикавказ 2016

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

Л.Н. Невский (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

Учредители:

Владикавказский научный центр РАН и РСО-А

Дагестанский научный центр РАН

Кабардино-Балкарский научный центр РАН

Южный научный центр РАН

Комплексный научно исследовательский институт РАН

Геофизический институт ВНЦ РАН

ISSN 2221-3198

Подписной индекс в Объединенном каталоге «Пресса России» – 29119

При перепечатке материалов ссылка на журнал обязательна.

© Геофизический институт ВНЦ РАН, 2016

© Заалишвили В.Б. (ред.), 2016

Фото на обложке: «Казбек» (К.С. Харебов).

СОДЕРЖАНИЕ

Бергер М.Г. НЕКОТОРЫЕ ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ИЗУЧЕНИЯ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ И ГАЗОГЛЯЦИОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ.....	5
Бурдзиева О.Г., Голик В.И. МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОСТИ СКАЛЬНЫХ МАССИВОВ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ ДОБЫЧЕ РУД МЕТОДОМ ФОТОУПРУГОСТИ.....	38
Заалишвили В.Б., Магкоев Т.Т., Мельков Д.А., Морозов Ф.С. МЕХАНИЗМЫ ФОРМИРОВАНИЯ НЕЛИНЕЙНО-НЕУПРУГИХ ЯВЛЕНИЙ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ НАНО-РАЗМЕРНЫМИ ЧАСТИЦАМИ СРЕДЫ ПРИ ИНТЕНСИВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ.....	48
Клещенков А.В., Парада С.Г. РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГАЗОГЕОХИМИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ РУДНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ В ВОСТОЧНОМ ДОНБАССЕ.....	60
Мкртычев О.В., Джинчвелашвили Г.А., Дзержинский Р.И. ФИЛОСОФИЯ МНОГОУРОВНЕВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ В СВЕТЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ СООРУЖЕНИЙ.....	71
Музаев И.Д. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ СИСТЕМЫ, СОСТОЯЩЕЙ ИЗ ДАМБЫ ОБВАЛОВАНИЯ ХВОСТОХРАНИЛИЩА, МАТЕРИАЛА ОТЛОЖЕНИЯ (ХВОСТЫ) И ПОДПОДОШВЕННЫХ ГРУНТОВЫХ СЛОЕВ.....	79
Овсяченко А.Н., Сысолин А.И. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭНДОГЕННЫХ ПРИРОДНЫХ ОПАСНОСТЕЙ ТАМАНСКОГО ПОЛУОСТРОВА.....	91
Певнев А.К. О РЕАЛЬНОМ ПУТИ К ОСУЩЕСТВЛЕНИЮ ПРОГНОЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ.....	102
Черкашин В.И., Газалиев И.М. ПЕРСПЕКТИВЫ ОСВОЕНИЯ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ДАГЕСТАНА (ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ).....	132
Чотчаев Х.О., Заалишвили В.Б., Невский Л.Н., Шемпелев А.Г. ГЕОМОРФОЛОГИЯ КАК ПРИЗНАК НАСЛЕДСТВЕННОСТИ СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ	141

ДИСКУССИИ, ОБСУЖДЕНИЯ

Жигалин А.Д., Попова О.Г. ПРОБЛЕМЫ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ В СВЯЗИ С ТЕЛЛУРИЧЕСКИМИ И КОСМИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ.....	159
--	-----

НАШИ ГОСТИ

Реквава П.А. НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ МНОГОУРОВНЕВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ В СЕЙСМОСТОЙКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ.....	169
---	-----

CONTENTS

Berger M.G. SOME COMMON QUESTIONS OF INVESTIGATION GAS-DYNAMIC AND GAS-GLACIAL-DYNAMIC PHENOMENA.....	5
Burdzieva O.G., Golik V.I. SIMULATION OF TENSION ROCKYMASSIF FTUNDERDGROUND EXTRACTION OF ORES PHOTOELASTICITY METHOD.....	38
Zaalishvili V.B., Magkoev T.T., Melkov D.A., Morozov F.S. NATURE OF NONLINEAR-INELASTIC EFFECTS CAUSED BY NANOSIZE OF PARTICLES AT INTENSIVE IMPACTS.....	48
Kleschenkov A.V., Parada S.G. RESULTS OF FIELD RESEARCH GEOCHEMICAL COMPONENTS OF ORE DEPOSITS IN THE EASTERN DONBASS.....	60
Mkrtychev O.V., Dzhinchvelashvili G.A., Dzerzhinskiy R.I. MULTILEVEL DESIGN PHILOSOPHY IN THE LIGHT OF PROVISION EARTHQUAKE RESISTANCE.....	71
Muzaev I.D. MATHEMATICAL SIMULATION OF THE SYSTEM SEISMIC FLUCTUATIONS, WHICH CONSISTS OF THE TAILINGS DUMP EMBANKMENT DAM, THE MATERIAL OF DEPOSIT (TAILS) AND UNDER BOTTOM GROUND LAYERS.....	79
Ovsyuchenko A.N., Sysolin A.I. GEOLOGICAL RESEARCHES FOR ENDOGENOUS NATURAL HAZARDS OF THE TAMAN PENINSULA.....	91
Pevnev A.K. ON THE WAY TO THE REAL IMPLEMENTATION OF EARTHQUAKE PREDICTION.....	102
Cherkashin V.I., Gazaliev I.M. ASPECTS OF DEVELOPMENT OF ORE DEPOSITS DAGESTAN (ENVIRONMENTAL ASPECTS).....	132
Chotchaev Kh.O., Zaalishvili V.B., Nevskiy L.N., Shempelev A.G. GEOMORPHOLOGY AS THE HEREDITY SIGN OF THE STRUCTURAL FEATURES OF THE EARTH'S CRUST.....	141

DISCUSSIONS, DISPUTES

Zhigalin A.D., Popova O.G. PROBLEMS OF SEISMIC HAZARD IN CONNECTION WITH TELLURIC AND COSMIC PROCESSES.....	159
--	-----

OUR GUESTS

Rekvava P.A. SOME QUESTIONS OF MULTILEVEL DESIGN IN THE EARTHQUAKE-ENGINEERING.....	169
---	-----

УДК 551.24(234.9)

НЕКОТОРЫЕ ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ИЗУЧЕНИЯ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ И ГАЗОГЛЯЦИОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

© 2016 М.Г. Бергер, д.г.-м.н., проф.

Северо-Кавказский инновационный центр «Устойчивое развитие горных территорий», 362021, Россия, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44,
e-mail: conf@skgmi-gtu.ru;
Геофизический институт Владикавказского научного центра РАН, Россия,
362002, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: berger7@rambler.ru

Рассмотрены некоторые вопросы изучения газодинамических и газогляциодинамических явлений. Отмечена общность многих особенностей этих явлений, указывающая на главную роль газового фактора при их подготовке, запуске, протекании и завершении. Выделена специфика газогляциодинамических явлений.

Ключевые слова: газодинамические явления, газогляциодинамика, газогляциодинамические явления, внезапные газодинамические выбросы, катастрофические взрывоподобные направленные газодинамические выбросы ледников, аномально высокое пластовое давление природных газов, выбросоопасность (газовыбросоопасность), ледник Колка, Колкинская катастрофа 2002 г., прогноз газовыбросоопасности ледника, предвестники выброса.

Природа проста, в ней нет места обилию излишних причин явлений. (*Natura enim simplex est & rerum causis superfluis non luxuriat* (лат.))

И. Ньютон

Newton I. Philosophiae Naturalis Principia Mathematica. 1686. P. 402.

Не следует приписывать разным причинам, особенно причинам неизвестным, то, что можно объяснить одной известной.

Ф. Вольтер

На каждом шагу, во всех окружающих нас явлениях на земной поверхности мы сталкиваемся с исключительной важностью природных газов, обуславливающих и химические, и физические процессы земной коры.

В.И. Вернадский

Главное – внезапность... Внезапность взрыва – самая существенная сторона взрывных процессов.

Л.К. Белопухов

Проблема внезапных выбросов угля, пород и газов – одна из наиболее сложных проблем горной науки.

В.В. Ходот

Сам процесс выброса подобен явлению взрыва, и основное влияние на его развитие оказывают большие инерционные силы.

С.А. Христианович, Р.Л. Салганик

Физическая суть механизма породных выбросов представляется как спонтанный взрыв породы.

П.Я. Галушко

Первопричиной внезапных выбросов является газовое давление.

К. Пауль

Газ представляет источник силы и энергии.

И.М. Петухов, А.М. Линьков

Даже минимальная энергия свободного газа... является очень большой. Как показывают выбросы пород, обладающих малой сорбционной способностью (песчаников, солей), ... ее вполне достаточно не только для сильного дробления материала, но и для его разлета с большой скоростью.

И.М. Петухов, А.М. Линьков

Газ, расширяясь при развитии выброса, способен совершить громадную работу.

И.М. Петухов, А.М. Линьков

С точки зрения совершения работы... газообразные продукты являются лучшими из реально существующих рабочих тел.

С.Г. Андреев, А.В. Бабкин, Ф.А. Баум и др.

При взрывах на сброс потери энергии на отделение выбрасываемой породы от массива и ее дробление оказываются незначительными по сравнению с той работой, которая совершается при перемещении этой породы в поле силы тяжести.

А.Н. Ромашов

Динамические явления, мощность которых существенным образом зависит от работы газа, – газодинамические явления.

В.В. Ходот

Основным носителем энергии, развязывающим газодинамические явления, может быть только газ в свободном состоянии.

А.Э. Петросян, М.Ф. Яновская, Б.М. Иванов, В.Г. Крупеня

...Лед является физически твердым телом и как таковое обладает ограниченной прочностью, т. е. при достижении напряжениями критических значений он испытывает хрупкое разрушение (отрывом или сколом), и это свойство важно – оно при определенных условиях проявляется в реальных ледниковых образованиях, приводя к наблюдаемым трещинообразованию и разрушению льда в них.

С.С. Григорян

Внезапные выбросы чаще всего происходят вблизи региональных или локальных геологических нарушений.

В.В. Ходот

Процесс разрушения породы при выбросе характеризуется бурным взрывоподобным разрушением... Выброс – это серия разрушений, непрерывно следующих одно за другим.

В.И. Николин, С.С. Меликсетов, И.М. Беркович

Внезапные выбросы угля и газа происходят не мгновенно – процесс выброса длится несколько минут. Акустическими и сейсмоакустическими способами оценки газодинамического состояния выбросоопасного массива установлено, что подготовка и развитие выброса происходят скачкообразно, причем интервал между отдельными скачками может быть относительно большим – до двух суток.

Ю.М. Бирюков

Все выбросы, независимо от выбрасываемого материала, имеют общую природу и характер протекания. Различия между ними сравнительно невелики и касаются не слишком существенных деталей явления.

И.М. Петухов, А.М. Линьков

Выше в многочисленных высказываниях, приведенных в качестве эпиграфов к этой работе, в концентрированном виде содержатся некоторые важнейшие сведения, полученные в ходе примерно двухсотлетних исследований внезапных взрывоподобных газодинамических выбросов в подземных горных выработках, а также техногенных направленных взрывов (взрывов на сброс). Все эти сведения в полной мере справедливы и для газогляциодинамических явлений – внезапных взрывоподобных направленных газодинамических выбросов ледников, безусловно, происходивших на Земле в течение многих предшествующих столетий и тысячелетий, но впервые диагностированных (идентифицированных в качестве газодинамических выбросов) лишь после гигантской Колкинской (Геналдонской, Кармадонской) природной катастрофы 20 сентября 2002 г., представлявшей собой в ее эпицентральной и сопредельной с ней области внезапный взрывоподобный направленный газодинамический выброс ледника Колка [Бергер, 2004]. (Наряду с широко известными, некоторые из приведенных выше высказываний, возможно, мало известны специалистам, занимающимся изучением этой катастрофы. Впрочем, напоминание некоторых широко известных высказываний в данном случае также, может быть, не лишено смысла.)

В соответствии со сказанным, *газодинамические и газогляциодинамические явления представляют собой геодинамические явления-аналоги*, причем имеющее почти двухвековую историю изучение первых из них и многие полученные в этой области результаты – важнейший фундамент пока лишь зарождающейся, находящейся в стадии становления, на самом начальном этапе развития, газогляциодинамики – новой области исследований в науках о Земле. Настоящая статья продолжает рассмотрение данного круга вопросов.

С учетом существующих определений понятия о внезапных газодинамических выбросах в подземных горных выработках и многочисленных сведений, содержащих описание этих явлений, *внезапный газодинамический выброс, в случае наиболее полного его проявления, представляет собой взрывоподобный, быстропротекающий (почти мгновенный), обычно направленный выброс угля, соли, песчаников, льда, вулканических и других горных пород, образующих газоупорные (практически непроницаемые) барьеры со свободной поверхностью, и газа (метана, углекислого газа, сернистых газов, азота, паров воды и др.), происходящий под энергетически-силовым воздействием аномально сверхвысокого пластового давления большого количества расширяющихся сжатых природных газов и большого градиента (перепада) газового давления вблизи свободной поверхности газоупорного барьера и сопровождающийся разрушением материала этого барьера и сопредельных с ним в первичном залегании пород с образованием обломков различного размера – от гигантских глыб до пыли (особенно характерно измельчение обломков до мелко- и тонкодисперсного состояния – так называемой бешеной муки) и их отбросом (разлетом, метанием), проявлением ударной воздушной волны и образованием полости выброса (воронки, кратера), а также постепенно затухающим посткатастрофическим поверхностным газовыделением в эпицентральной области.*

Газодинамические выбросы происходят в различных условиях и так или ина-

че связаны с различными природными факторами, одни из которых содействуют проявлению выбросов, другие препятствуют этому либо играют сложную, неоднозначную роль в их подготовке и проявлении. И лишь одно условие, действие лишь одного природного фактора является во всех случаях обязательным – *наличие достаточно высокого (аномально сверхвысокого) пластового давления достаточно большого количества природных газов* (в связи с чем эти явления с полным основанием именуется *газодинамическими*). Сказанное в полной мере справедливо и в отношении *газогляциодинамических явлений – внезапных взрывоподобных направленных газодинамических выбросов ледников*.

Обобщенно говоря, внезапный газодинамический выброс включает [Петухов, Линьков, 1978; и др.]:

- 1) различную по продолжительности подготовительную стадию, завершающуюся запуском выброса;
- 2) саморазвивающийся лавиннонепрерывный процесс разрушения части горно-породного массива;
- 3) выброс обломочных продуктов разрушения в потоке расширяющегося газа и их инерциальное движение под действием запасенной ими кинетической энергии;
- 4) постепенно затухающее газовыделение из полости выброса (проявляется обычно лишь в случаях выбросов большой мощности).

В качестве отдельной, особой (четвертой) стадии процесса И.М. Петухов и А.М. Линьков [там же] выделяют остановку волны разрушения и окончание динамического явления.

Как пишут далее И.М. Петухов и А.М. Линьков [там же], «деление на стадии, строго говоря, характеризует резкие последовательные (отчасти – для второй и третьей стадий – в какой-то мере накладывающиеся друг на друга, весьма сближенные по времени протекания. – М.Б.) изменения в деформировании фиксированного элемента среды при динамическом явлении. Однако разные элементы могут находиться в разных стадиях деформирования в один и тот же момент времени» (и это – важнейшее условие того, что внезапный выброс, при всей его взрывоподобности, – отнюдь не строго одномоментное, лишь относительно, *почти* мгновенное, а не полностью, не совершенно мгновенное явление, имеющее ту или иную, в разных случаях различную, продолжительность. – М.Б.). (См. также [Петухов, Линьков, 1983, с. 150, подстрочное примечание]). Это тем более вероятно, более того, неизбежно при столь гигантских размерах (в сравнении с размерами обнаженной поверхности забоя любой подземной горной выработки) такой подверженной газодинамическому воздействию среды, как ледник, даже сравнительно небольшой по площади (порядка 2,5 км² или даже менее) карово-долинный ледник Колка, особенно учитывая, безусловно, пульсационное проявление выброса и волнообразный характер его распространения на различные части площади поверхности ледника. Пульсационность развития выбросов (с остановками фронта волны послойного отрыва), иногда именуемая цикличностью, фиксируется сейсмоакустическими методами [Петухов, Линьков, 1976, с. 3].

Касаясь энергетически-силовых аспектов газодинамических выбросов, авторы [там же] пишут: «Внезапный выброс – динамическое явление, развивающееся главным образом путем последовательных отрывов газом частиц с обнаженных поверхностей. Отделение частиц происходит под действием силы, возникающей из-за перепада в давлении газа...». И далее: «Особенности протекания выброса в зна-

чительной мере определяются энергетическими показателями... Энергия, нужная для отрыва, значительно меньше энергии, необходимой для разрушения материала при сжатии (например, при взрыве с помощью аммонита или других взрывчатых веществ. – М.Б.) (более 25 кгм/м³) или при дроблении падающим грузом (например, обвальным ударом, в том числе «сосредоточенным». – М.Б.) (более 1000 кгм/м³). Поэтому с энергетической точки зрения послойный отрыв – наиболее выгодный способ разрушения... Энергия одного лишь свободного газа в угле (без учета сорбированного) превышает 10000 кгм/м³. Поэтому на отрыв расходуется лишь ничтожная ее доля, а газ, расширяясь при развитии выброса, способен совершить громадную работу» [Петухов, Линьков, 1976, с. 6–7].

Приведенные сравнительные количественные энергетически-силовые характеристики весьма показательны для оценки механизмов воздействия различных факторов на ледник Колка, предложенных для объяснения особенностей Колкинской катастрофы, и, безусловно, полностью опровергают все эти механизмы и факторы, за исключением газодинамического.

Все отмеченные выше газодинамические процессы в полной мере, совершенно явно и глубоко проявились при внезапном газодинамическом выбросе ледника Колка 20 сентября 2002 г. При всем его безусловном своеобразии (и, может быть, особенно, своеобразии вызванных им вторичных явлений, прежде всего, гигантского аномально высокоскоростного гляциального селя за Кармадонскими воротами), внезапный газодинамический выброс ледника Колка во всех основных его особенностях полностью укладывается в отмеченные выше рамки признаков газодинамических явлений, что однозначно указывает на газодинамический характер протекания и основной действующий фактор (причину) этого явления и подтверждает приведенное выше в качестве последнего эпиграфа к данной статье высказывание И.М. Петухова и А.М. Линькова [1983, с. 245], крупнейших специалистов в данной области. С учетом безусловной специфики данного выброса, определяемой гляциальными условиями подготовки и протекания внезапного выброса ледника Колка и эндогенным поствулканическим характером природных газов, вызвавших этот выброс, а также неизвестности (недиагностированности) до 2002 года внезапных взрывоподобных направленных газодинамических выбросов ледников, газодинамический выброс ледника Колка 20 сентября 2002 г. с достаточным основанием может считаться новым катастрофическим природным явлением [Бергер, 2004], а его изучение с газодинамических позиций представляет собой начало новой области исследований ледников и связанных с ними эндогенных опасных природных процессов катастрофического уровня, названной автором *газогляциодинамикой*. Особенности становления и современного этапа развития этой области рассмотрены в предыдущей работе автора [Бергер, 2015].

* * *

Выявлению причин того или иного события всегда, естественно, должно предшествовать установление его характера, точное, правильное и доказательное определение геодинамического типа происшедшего события, то есть, попросту говоря, определение того, что именно произошло, что представляло собой это событие.

В многочисленных предшествующих публикациях автора (первые из них вышли из печати еще в 2003 г.) было совершенно однозначно и вполне доказательно, на основе весьма многочисленных фактических данных (всего имеющегося в этой

области обширного и разнопланового эмпирического материала) показано, что катастрофа 20 сентября 2002 г. с эпицентром на леднике Колка представляла собой *внезапный взрывоподобный газодинамический выброс ледника*.

Соответственно, основной причиной, вызвавшей данную катастрофу, основным, решающим, определяющим, управляющим фактором, действие которого привело к этой катастрофе и определило ее основные особенности, является, безусловно, *газовый* – скопление огромного (и продолжавшего быстро увеличиваться) количества поствулканических газов в подледниковом пространстве, экранированном ледником Колка (представлявшим собой газоупорный барьер), и их аномально высокое пластовое давление, величина которого последовательно пульсационно быстро возрастала в течение нескольких недель вплоть до момента выброса.

Как известно, действием, главным образом, именно газового фактора вызывается проявление внезапных взрывоподобных газодинамических выбросов при экранировании газовых скоплений углями, аргиллитами, песчаниками, солями и другими газонепроницаемыми породами различного состава и генезиса. (Весьма различными по составу и происхождению являются и природные газы газобросоопасных горных массивов.)

Принципиально аналогичным образом, именно газовый фактор вызывает проявление внезапных взрывоподобных газодинамических выбросов ледников при экранировании газовых скоплений с аномально высоким и быстро возрастающим пластовым давлением газонепроницаемой ледниковой покрывкой, не уступающей в данном отношении самым эффективным природным газоупорам – солям.

Это определяет многие признаки сходства газогляциодинамических явлений с весьма многочисленными и сравнительно хорошо изученными газоугольными, газосолевыми и другими газодинамическими явлениями.

Вместе с тем, как отметил автор еще в 2008 г. [Бергер, 2008, с. 134], хотя проблемам выбросоопасности горных (горнопородных) массивов посвящены многие тысячи публикаций, выбросоопасность (газобросоопасность) *горноледниковых* массивов – совершенно новая область исследований, на которую не могут быть в полной мере распространены, просто перенесены многие полученные ранее в горной геомеханике результаты.

Нельзя не заметить, что несмотря на весьма многочисленные достаточно очевидные бесспорные факты, роль газового фактора в газодинамических явлениях, проявляющихся в подземных горных выработках, часто преуменьшается, искажается и даже практически отрицается или игнорируется. Подобные представления, однако, не соответствуют действительности и опровергаются многими фактами (прежде всего, послекатастрофическим поверхностным выделением газа в эпицентральной зоне особенно мощных внезапных выбросов и высокой эффективностью применения дегазационных методов предотвращения газодинамических выбросов).

Именно главной, определяющей и управляющей ролью скоплений свободного газа за непроницаемыми барьерами и величины его давления в этих скоплениях (а не свойств угля и находящихся в нем тех или иных форм связанного газа, как весьма часто полагают) объясняются отмеченные В.В. Ходотом [1973, с. 12] «новые формы выбросов угля и газа, поражающие своей неожиданностью», – в частности, выброс большой силы из тонкого пропластка угля мощностью всего 0,2 м; распространение выброса с образованием полости глубиной в несколько десятков метров; проявление поршневого действия газов – внезапный отжим, происходящий с необычно большой скоростью и обильным газовыделением.

* * *

В соответствии с изложенным ранее [Бергер, 2007а, с. 100–103], необходимо различать собственно взрывы, происходящие в результате химических или ядерных реакций превращения взрывчатого вещества, и взрывоподобные (по особенностям протекания) явления, причинами которых не являются какие-либо химические или ядерные превращения вещества. К числу последних принадлежат и взрывоподобные газодинамические выбросы.

Совершенно очевидно, что газогляциодинамические явления представляют собой весьма специфический, совершенно особый, но все же частный случай газодинамических явлений. Соответственно, изучение газогляциодинамических явлений (взрывоподобных внезапных газодинамических выбросов ледников) должно быть самым непосредственным образом связано с изучением газодинамических явлений в целом, представляя собой одну из областей (безусловно, весьма специфическую) газолитодинамики (или, более широко, газогеодинамики) и газовой геомеханики.

Исследования газодинамических явлений на ледниках (*газогляциодинамических явлений*, по данному автором их наименованию) находятся лишь в начальной стадии. Однако в целом газодинамические или газолитодинимические – газоугольные, газосоляные, газопесчаные и иные (происходящие, в основном, в условиях подземных горных выработок) явления в горных массивах различного литолого-петрографического состава известны и изучаются еще с первой половины XIX в. Поэтому в исследованиях газогляциодинамических явлений (газоледокаменных выбросов, учитывая состав выбрасываемого материала) естественно опираться на уже полученные в данной области результаты. В предшествующих публикациях [Бергер, 2005а, б, 2006в, 2007а, 2008 и др.] автор постоянно учитывал эти результаты и, в целом, состояние этой важной области наук о Земле (к сожалению, все еще далекое от совершенства). (В исследованиях газогляциодинамических явлений – взрывоподобных направленных газодинамических выбросов ледников – исключительно полезно, более того, необходимо привлечение также многочисленных сведений по техногенным взрывам на выброс и сброс, которые, как и изучаемые во многих странах мира внезапные газодинамические выбросы в подземных горных выработках, безусловно, в значительно большей мере могут служить аналогами, натурными моделями внезапных газодинамических выбросов ледников, чем гляциодинамические подвижки, обвалы, лавины, сели и другие экзогенные склоново-гравитационные природные явления, с которыми эти выбросы неправомерно и ошибочно отождествляются.)

В реестре природных катастроф газодинамические явления, происходящие в подземных условиях, не значатся. Это объясняется тем, что подобные явления, в том числе катастрофического, гигантского уровня, считаются, видимо, техногенными.

В действительности, однако, техногенным, антропогенным, да и то не в полной мере [Петухов, Линьков, 1983, с. 170–171], является лишь инициирование (запуск) этих явлений. Причиной же их является действие *природных* факторов, прежде всего, газового. Происхождение газов, обладающих необходимыми для проявления внезапного выброса количеством и аномально сверхвысоким давлением, во всех случаях природное, а не техногенное. Природной же является и геологически обусловленная локализация (пространственное размещение, местонахождение) ско-

плений значительных количеств высоконапорных газов, определяемая, прежде всего, фильтрационными и другими литофизическими свойствами пород и геотермодинамическими условиями, существующими или существовавшими ранее на соответствующих глубинах в зонах генерации, миграции и аккумуляции природных газов.

Из числа известных автору руководств по природным катастрофам лишь в работе Т. Уолтхэма [1982, с. 197] вскользь упоминаются «отдельные “выбросы” включений газа, находящегося под давлением, когда газ буквально взрывается, вырываясь из угольных пластов».

В плане уточнения содержащейся в этом кратком высказывании информации необходимо заметить, что численность подобных «отдельных» выбросов составляет многие десятки тысяч (давно уже превысила сотысячный рубеж) и, несмотря на широко проводимые мероприятия по предотвращению внезапных выбросов, ежегодно увеличивается на многие сотни, происходят они не только в угольных пластах, но и в соляных, песчаных и некоторых других и являются, с учетом состава выбрасываемого материала, соответственно, газозольными, газосоляными, газопесчаными и другими газопородными, а не просто газовыми.

* * *

Как отмечают Ф.А. Абрамов и Г.А. Шевелев [1973, с. 3], «при сопоставлении выбросов угля, песчаника, соли, гранита и других пород можно отметить их общую особенность – выбросы происходят в среде, способной к хрупкому разрушению». Не является исключением в этой отношении, как известно, и лед (см., например, высказывание С.С. Григоряна [1983, с. 102], приведенное в качестве одного из эпиграфов к данной статье). В этом плане существенно обратить внимание на то, что вообще горные породы в большинстве своем «если и являются пластичными при атмосферном боковом давлении, обнаруживают переход от пластичного поведения к хрупкому при увеличении скоростей деформирования» [Шок, 1981, с. 123], в связи с чем Р. Шок [там же] отмечает «уменьшение диапазона пластичности при увеличении скорости деформирования», что «повышает важность хрупкого разрушения при воздействии взрыва или удара на горные породы».

Согласно этим же авторам [Абрамов, Шевелев, 1973, с. 4], они учитывают «энергию метана, находящегося под избыточным давлением в поровом пространстве песчаника».

В этой связи важно подчеркнуть, что исследованиями В.И. Николина и ряда других авторов [Николин и др., 1967, 1969; Москаленко, Николин, 1981 и др.] установлено, что пористость (прежде всего, открытая) и проницаемость выбросоопасных пород газовых барьеров, в частности, песчаников, подвергающихся разрушению и выносу при газодинамических выбросах, *близки к нулю*. С учетом этого и других широко известных фактов, совершенно очевидно, что выбросоопасность пород (слагаемых ими пластов горных массивов) определяется количеством и давлением газа в поровом (или, более широко, емкостном, пустотном) пространстве пород, залегающих в глубине массива за газовым (газоупорным, непроницаемым) барьером со свободной поверхностью. Этот вопрос, имеющий принципиальное значение для понимания газодинамических выбросов ледника Колка [Бергер, 2008, с. 45; и др.] и, в целом, для понимания газодинамических явлений, будет подвергнут ниже более детальному рассмотрению.

* * *

В многочисленных работах по горной геомеханике указывается целый ряд эмпирически установленных геологических признаков выбросоопасности шахтопластов.

Эти признаки в большинстве своем имеют совершенно определенный газогеологический смысл: каждый из них так или иначе, тем или иным образом содействует *возникновению скоплений природного газа с аномально высоким пластовым давлением*, что является основным условием, необходимым для подготовки и последующего запуска газодинамического выброса. Выполнение этого условия, разумеется, далеко не достаточно для проявления газодинамического выброса, однако без выполнения этого условия газодинамических выбросов не бывает.

В геодинамической системе ледника Колка [Бергер, 2008] такие условия существуют, естественно, не всегда и, в зависимости от состояния ледника, его предшествующей истории, стадии, на которой находится его развитие, для появления самой возможности их возникновения могут потребоваться многие десятилетия.

Скажем, в настоящее время такие условия отсутствуют и будут отсутствовать еще, по крайней мере, в течение нескольких десятилетий (но, даже при длительном продолжении неблагоприятных для горного оледенения деградиационных климатических условий, не столетий, как полагают иногда).

Но периодически они возникают и это, учитывая поверхностное залегание локального непроницаемого барьера (ледника Колка) и высоконапорный характер периодически прорывающихся в его подледниковое пространство значительных количеств высоконапорных глубинных природных газов, с неизбежностью приводит к огромным по силе (мощности, величине энерговыделения) катастрофическим взрывоподобным внезапным газодинамическим выбросам ледника (всегда имеющим направленный характер), принципиально подобным по механизму проявления внезапным газодинамическим выбросам защитных газопорных барьеров (перемычек) со свободной поверхностью в угольных, соляных и других подземных горных выработках.

Именно этим, прежде всего, определяется необходимость систематических наблюдений за состоянием ледника и приледниковой зоны (отражающим состояние подледникового пространства ледника Колка и протекающие в нем процессы), с учетом установленных [Бергер, 2007а, в, 2008] предвестников катастрофических внезапных газодинамических выбросов этого ледника.

Крайне важны и в принципе возможны и непосредственные инструментальные геофизические, геохимические и другие (геодезические, гидрогеодинамические, гидрологические и др.) наблюдения и измерения. В газодинамическом отношении, пожалуй, особенно важно проведение бароконтроля состояния подледникового пространства, что также сближает газогляциодинамические исследования с традиционными газодинамическими исследованиями в подземных условиях.

Как известно, важнейшим инструментальным методом определения газовой выбросоопасности в подобных случаях является бароконтроль состояния горного массива в пределах не вскрытого выработками расположенного за непроницаемым барьером пространства, предусматривающий определение величины пластового давления газов и скорости его возрастания в породах-коллекторах вблизи непроницаемого барьера со свободной поверхностью. Соответствующие измерения на лед-

никах (в подледниковом пространстве) до сих пор, естественно, не проводились. Однако в связи с установлением взрывоподобного газодинамического характера (и соответствующей такому характеру основной причины) Колкинской катастрофы постановка подобных исследований в данном районе (и, возможно, на других потенциально выбросоопасных ледниках) весьма желательна.

* * *

Согласно глубоко разработанной в приложении к геомеханическим условиям подземных горных выработок энергетически-силовой теории внезапных газодинамических выбросов [Петухов, Линьков, 1983; Петросян и др., 1983], источником силы и энергии для этих выбросов является газ. Соответственно, необходимым условием проявления таких выбросов (включая их подготовительную стадию, весьма важную, в частности, в диагностическом и прогностическом отношениях) является наличие в пустотном пространстве пород достаточно большого количества высоконапорных, т.е. обладающих аномально высоким пластовым давлением, газов.

Реализации этого условия способствуют исключительно распространенные, постоянно протекающие на различных глубинных уровнях процессы дегазации Земли, включая процессы газогенерации, выделения природных газов в свободную фазу, вертикальной (восходящей), а отчасти и латеральной (особенно под непроницаемыми барьерами) миграции и аккумуляции газов.

Формы проявления дегазационных процессов, происходящих в широком диапазоне геологических условий, весьма разнообразны. Иногда эти процессы приобретают форму пароксизмальных взрывоподобных *газодинамических выбросов*, имеющих катастрофические последствия.

Вместе с тем, значительные по масштабам катастрофические природные и природно-техногенные проявления газодинамических процессов (внезапные газодинамические выбросы) в поверхностной и близповерхностной (первые 100–200 м от земной поверхности) зонах являются довольно редкими (известны, впрочем, и исключения из этого правила).

Причина этого состоит в необходимости выполнения ряда существенных, далеко не всегда и не повсеместно реализующихся в природе, условий, требующихся для возникновения возможности подготовки, запуска и протекания газодинамических явлений (внезапных выбросов). Важнейшими из этих условий являются:

1) наличие источников и геотермодинамических условий длительной интенсивной генерации или выделения в свободную фазу огромного количества природных газов;

2) наличие путей концентрированной миграции значительных количеств природных газов, образующих достаточно мощные сосредоточенные потоки; наиболее часто такими путями служат трещинно-разрывные зоны, в пределах которых горные породы обладают высокой проницаемостью и, особенно, узлы пересечения таких зон при их различной направленности;

3) наличие в поверхностной или близповерхностной зоне на путях концентрированной (струйной) миграции природных газов локального газоупорного (газонепроницаемого) барьера (экрана, покрышки) со свободной (открытой, обнаженной) поверхностью либо создание такой поверхности в процессе ведения горных работ;

4) наличие либо возможность возникновения в ходе концентрированной мигра-

ции природных газов в поверхностной или близповерхностной зоне пород-коллекторов и перекрытых локальными газонепроницаемыми барьерами ограниченных (сравнительно небольших) по объему емкостного пространства ловушек (резервуаров, природных емкостей) для поступления и накопления в них повышенных количеств природных газов;

5) наличие горно-геологических, газодинамических и иных условий для возникновения, поддержания и возрастания аномально высокого (сверхвысокого) пластового давления природных газов в их скоплениях за газоупорным барьером;

6) небольшая толщина локального газоупорного барьера со свободной поверхностью, определяющая его гравитационный потенциал (геостатическое давление) и силы его связи (сцепления) с вмещающими породами.

Самые верхние, приповерхностные горизонты земной коры, в силу их гипергенной измененности, литологического состава и структурно-текстурных особенностей пород, их обычно высокой пористости и трещиноватости, характеризуются, как правило, относительно высокой проницаемостью, не позволяющей накапливаться за или под ними значительным количествам природных газов, тем более, с аномально высоким пластовым давлением. Наиболее распространенными локальными исключениями в этом отношении являются застывшие лавовые образования в жерлах вулканов (способствующие подготовке и проявлению эксплозивных вулканических извержений, иногда справедливо считающихся по механизму газодинамическими выбросами) и ледники.

Без наличия газозкранирующих непроницаемых литологических (литолого-петрографических) барьеров формирование сколько-нибудь значительных скоплений природных газов, тем более, обладающих аномально высоким давлением, невозможно. При наличии же таких барьеров возможности формирования и конкретные места локализации газовых скоплений, с которыми могут быть связаны внезапные газодинамические выбросы, определяются наличием источников природных газов, путей их миграции, коллекторов и ловушек. Все перечисленные моменты в полной мере реализуются в подледниковом субстрате ледника Колка, и это принципиально отличает ледник Колка, всю эндогеодинамическую систему этого ледника [Бергер, 2008] (являющуюся, с учетом специфики основного действующего в ней фактора, *газогеодинамической* [там же, с. 12]), от подавляющего большинства других горных ледников.

Несмотря на наличие различного рода пустот в самом леднике и трещин на его поверхности и в приповерхностной зоне на заключительном предпароксизмальном этапе подготовки внезапного газодинамического выброса ледника 2002 г. и некоторых других этапах его развития (прежде всего, в 1969 г. в ходе подготовки и протекания его быстрой подвижки), имеются достаточные основания полагать, что ледник Колка, восстановленный после его предыдущих катастрофических газодинамических выбросов 1902 г., в течение последующего длительного этапа своего существования вполне мог выполнять экранирующую роль эффективного локального газопора, с учетом высокой пластичности и практически нулевой проницаемости льда, высокой степени монолитности основной несущей части ледника [Рототаев и др., 1983], а также роли некоторых специфических локальных особенностей залегания, строения и развития ледника и вмещающих его образований [Бергер, 2007а, с. 182 и 195–196].

* * *

Особую, несомненно, весьма важную роль в обеспечении условий для подготовки и последующего проявления газодинамических и газогляциодинамических явлений играет существование и в тех, и в других случаях непроницаемого (газоупорного, газозакрывающего) барьера со свободной поверхностью, обеспечивающего сохранение за ним, вплоть до момента выброса, залежи (скопления) природного газа с аномально высоким (сверхвысоким) пластовым давлением.

Наличие таких относительно изолированных, ограниченных непроницаемыми барьерами газовых залежей (скоплений) не только в газоносных осадочных (осадочно-породных) бассейнах подтверждается широко проводящимися в различных странах и в различных (особенно – угольных) бассейнах специальных газопоисково-разведочных, газодобычных и дегазационных работ.

В подземных условиях наиболее эффективными непроницаемыми барьерами являются соли и парагенетически связанные с ними прослои пелитовых пород.

По-видимому, могут быть газонепроницаемыми и угли в их естественном залегании и напряженно-деформированном состоянии в условиях значительного горного давления.

Во всяком случае, перед внезапным газоугольным выбросом метан в забое подземных выработок обычно не устанавливается.

Причины этого все еще обсуждаются.

Согласно распространенным представлениям, причиной этого является горное давление – считается, что в условиях существующего в подземных условиях горного давления уголь непроницаем («не фильтрует»).

Эта непроницаемость иногда объясняется кольматированием угля чрезвычайно тонкодисперсной угольной пылью (так называемой бешеной мукой), образующейся под воздействием очень высокого давления – горного и газового.

Существует распространенная точка зрения, согласно которой основное количество метана в углях находится в различных формах связанного состояния (в виде твердого углеметанового раствора, в составе газогидратов и пр.) и высвобождается лишь в процессе разрушения угля в ходе ведения горных работ.

Все эти и другие точки зрения по данному вопросу автор оставляет без обсуждения.

В близповерхностных условиях наиболее эффективными локальными непроницаемыми барьерами со свободной поверхностью, за исключением не затронутых интенсивным трещинообразованием лавовых пород в жерлах вулканов, являются ледники.

Важно отметить, что непосредственно на леднике Колка перед его газодинамическим выбросом (менее чем за 20 дней до него) никаких газовыделений не наблюдалось и не ощущалось находившимися на леднике людьми (хотя в непосредственной близости от ледника, в трещинно-разрывной зоне обвалов фумарольные проявления в это время уже были и зафиксированы на снимках туристами группы О. Неподобы). Это – явное свидетельство высокой эффективности ледника Колка как локального газоупорного (непроницаемого) барьера.

И лишь разрушение и исчезновение этого барьера в результате взрывоподобного газодинамического выброса ледника привело к продолжительному интенсивному поверхностному газовыделению в эпицентральной и сопредельной с ней зоне

выброса – истечению непосредственно в атмосферу скопившихся на различной глубине в литосферном субстрате ледника высоконапорных поствулканических газов, происходившему в затухающем режиме вплоть до исчерпания основного количества этих газов.

* * *

Несколько слов о роли прочностных свойств ледника в подготовке его газодинамического выброса (в дополнение к сказанному ранее [Бергер, 2007а, с. 177–181]).

Из теории газодинамических выбросов [Петухов, Линьков, 1983, с. 241] «следует, что малая прочность (материала, подвергающегося газодинамическому воздействию. – М.Б.) не является обязательным условием выбросов – при наличии достаточно высоких горного и газового давлений выбросы возможны и в весьма прочных материалах» (вопрос о роли горного давления в газодинамических выбросах обсуждается в работе [Бергер, 2008, с. 106–107]).

В случае ледника Колка, как и других горных ледников, речь может идти, естественно, лишь о достаточно высоком (сверхвысоком) *газовом* давлении в экранированном ледником подледниковом пространстве.

При этом, с учетом поверхностного залегания ледника и необходимости возникновения гигантского сверхвысокого газового давления (сверхдавления газов) под ним для его выброса, есть основания полагать, что именно высокая прочность ледниковой крыши (в сочетании с ее газонепроницаемостью), предотвращая проявление эффекта гидро(газо)разрыва, прорыва и удаления огромного количества скопившихся под ледником высоконапорных газов, благоприятствует достижению газовым давлением величины, необходимой для газодинамического выброса ледника (естественно, при наличии всех других отмеченных выше необходимых для этого условий).

Именно при условии достаточной прочности ледниковой газонепроницаемой крыши и высокой скорости поступления природных газов в подледниковое пространство и возрастания их давления существуют наибольшие возможности превышения газовым давлением под ледником локального геостатического вертикального давления ледника (т. е. его гравитационной нагрузки) и сил сцепления ледника с вмещающими породами, что необходимо для его отрыва и взрывоподобного внезапного газодинамического выброса, сопровождающегося разрушением ледника, возникновением полости (воронки выброса) на месте ледника, разлетом (выносом, отбросом) ледово-каменных продуктов разрушения и образованием навала (завала) в зоне аккумуляции основного их количества на том или ином удалении от эпицентра выброса при наклонном (склоновом) залегании ледника и, соответственно, направленном характере его газодинамического выброса. Именно так было на леднике Колка в сентябре 2002 года.

Обладающий исключительно высокими газоупорными свойствами, высокой вязкостью разрушения и крайне низкой плотностью ($\rho < 1 \text{ г/см}^3$) ледниковый лед представляет собой, естественно, идеальный случай в данном отношении.

Это, в сочетании с наличием в данном районе глубинных источников высоконапорных поствулканических и постмагматических газов (с учетом геологически недавнего существования здесь четвертичного вулкана Казбек, в настоящее время, безусловно, давно потухшего, а не потенциально активного, его сателлитов и субвулканических гипабиссальных неопинтузий), а также пространственным по-

ложением основных путей восходящей струйной миграции и разгрузки этих газов непосредственно под ледником, делает неизбежным периодическое проявление катастрофических пароксизмальных взрывоподобных газодинамических выбросов ледника Колка.

Подобное уникальное сочетание природных условий в приповерхностной зоне наиболее вероятно под некоторыми сравнительно небольшими каровыми и карово-долинными ледниками в молодых вулканических областях, особенно на этапах угасания проявляющейся в их пределах газовой поствулканической деятельности, а также в областях с продолжающейся приповерхностной газовой постмагматической деятельностью. Слишком же высокая разогретость поствулканических и, тем более, собственно вулканических продуктов, поступающих в подледниковое пространство, как было отмечено [Бергер, 2007а, с. 161], способствует лишь развитию паводковых процессов, интенсивному таянию или локальному протаиванию ледников, иногда даже проявлению ледниковых подвижек, но не пароксизмальных взрывоподобных газодинамических выбросов ледников.

В современную геологическую эпоху к числу областей именно такого типа принадлежат, в частности, некоторые горно-ледниковые районы Центрального Кавказа и Закавказья и Тихоокеанского подвижного пояса, в частности, Анд и Кордильер.

* * *

Частую приуроченность выбросоопасных зон к местам тектонических нарушений, отмеченную, в частности, В.В. Ходотом [1973, с. 3] (см. приведенный выше один из эпиграфов к данной статье), но оставленную им в цитируемой работе без рассмотрения, обычно объясняют, главным образом, меньшей прочностью пород в этих местах. Так, И.М. Петухов и А.М. Линьков [1983, с. 241] по данному поводу, в частности, пишут: «Как правило, выбросы происходят в местах тектонических нарушений, где материал имеет большую трещиноватость (а зачастую и пустотность) и меньшую прочность, чем аналогичная невыбросоопасная порода». И в другом месте: «То обстоятельство, что особенно низкая прочность имеет место в областях тектонических нарушений, предопределяет частое возникновение в них выбросов» [Петухов, Линьков, 1983, с. 253]. И хотя «малая прочность не является обязательным условием выбросов...», понятно, однако, что первые и частые проявления (внезапных выбросов. – М.Б.) возникают в наиболее благоприятных условиях, каковыми являются зоны пониженной прочности, повышенных газосодержания и газового давления» [Петухов, Линьков, 1983, с. 241, подстрочное примечание]. Как можно с достаточным основанием полагать, места тектонических нарушений, особенно зоны их пересечения, наиболее благоприятны во всех этих (а также в некоторых других, сопутствующих им и во многом определяющих и объясняющих их) отношениях.

Это обусловлено, в частности, тем, что наиболее интенсивная миграция природных газов в ловушки и образующиеся в них под непроницаемыми барьерами газовые скопления зачастую происходит по зонам повышенной трещиноватости, локализирующимся в местах тектонических нарушений и, особенно, в узлах их пересечения. Как отмечают И.М. Петухов и А.М. Линьков [1983, с. 59], «рост и раскрытие трещин сказывается и на фильтрации, сильно увеличивая газопроницаемость в плоскости раскрывающихся трещин».

Это обстоятельство, как неоднократно было отмечено автором [Бергер, 2007а,

с. 51–52, 126–128, 182; Бергер, 2008, с. 19–20 и др.], во многом предопределяет выбросоопасность ледника Колка, его «избирательность» (но, безусловно, не единичность) в данном отношении, легко объясняемую именно с позиций газодинамической природы Колкинской катастрофы 2002 г. и более ранних геодинамически и генетически, несомненно, аналогичных пароксизмальных катастрофических событий 1902, 1752 гг., а по всей видимости, и еще более ранних, эпицентр (и очаг поражения) которых находился на этом леднике.

В этом плане вновь обратим внимание на отмеченное еще в 2004 г. Л.В. Десиновым [2004, с. 15] (хотя и никак не использованное им для раскрытия характера и причин Колкинской катастрофы) «расположение тыловой зоны ледника в месте пересечения двух разломов земной коры». Газогеодинамический смысл такого расположения ледника Колка, вытекающие из этой структурно-тектонической особенности литосферного субстрата ледника газогеодинамические следствия совершенно очевидны и отмечены в многочисленных геологических публикациях. В частности, в работе А.И. Кравцова [1980, с. 198], как и во многих других работах, отмечается, что «узлы пересечений или сопряжений поперечных структур отличаются повышенной проницаемостью, облегчающей проникновение газопаровых эманаций от их глубинных источников к местам газонакопления (к ловушкам)».

Относительно высокой проницаемости литосферного субстрата ледника Колка, способствующей восходящей миграции высоконапорных глубинных природных газов в подледниковое пространство, благоприятствуют и особенности залегания пород субстрата, их сланцеватость и разбитость трещинами кливажа. Как отмечают У. Файф и др. [1981, с. 361], «в породах, претерпевших метаморфические реакции (даже еще на стадии апокатагенеза, предшествующей собственно метаморфизму. – М.Б.), часто появляется сланцеватость, аспидный кливаж или близкие к ним формы анизотропии. Если такие плоскости анизотропии круто наклонены, они создают пути относительно легкой миграции и в сильной мере способствуют восходящему движению флюидов».

В соответствии с представлениями этих (и многих других [Валукоис, Ходьков, 1973; Аникиев, 1980; Остапенко, 2005; Жатнуев, 2005; Киссин, 2009; и др.]) авторов, активизации, раскрытию трещинно-разрывных зон в литосферном субстрате ледника Колка во многом содействовало сверхвысокое пластовое давление самих глубинных природных газов, прорывавшихся по ослабленным зонам в верхние горизонты. Это полностью согласуется с фактически наблюдавшимся, многократно зафиксированным, хорошо известным, но редко принимающимся во внимание исключительно мощным постпароксизмальным поверхностным струйным газовыделением в эпицентральной зоне газодинамического выброса ледника Колка и в непосредственной близости от нее, еще долго продолжавшимся после того, как основное количество скопившихся под ледником высоконапорных природных газов было выброшено в атмосферу вместе с ледово-каменными продуктами разрушения ледника Колка при его взрывоподобном газодинамическом (газо-ледо-каменном) выбросе.

В связи с выражаемыми иногда сомнениями на этот счет важно подчеркнуть, что в горно-ледниковых областях высокая степень трещиноватости (и, соответственно, проницаемости) горных пород отнюдь не исключает существования локальных ледниковых пластических газопорных барьеров со свободной поверхностью, которые вполне могут быть газовыбросоопасными при наличии источников природных га-

зов в литосферном субстрате ледников, достаточно высокой скорости (интенсивности) газогенерации и выполнении других условий, необходимых и достаточных для газодинамического выброса ледника, основные из которых были рассмотрены ранее [Бергер, 2007а, с. 191–204] и кратко отмечены выше в данной работе.

Одним из геологических признаков, считающихся благоприятствующими газовыбросоопасности горного массива, является также присутствие в его строении магматических тел. Данный факт обычно констатируется без какого-либо раскрытия и объяснения его причинного (каузального, детерминистического) значения, генетического смысла, его конкретной роли (непосредственной или опосредованной) в повышении газовыбросоопасности.

Как можно полагать, генетический смысл взаимосвязи между газовыбросоопасностью и присутствием в строении горного массива магматических тел (т. е. проявлением магматизма в геологической истории горного массива) состоит, прежде всего, в том, что магматизм, особенно в геологическом смысле молодой, является источником выделения значительных количеств высоконапорных глубинных природных газов (магматических и постмагматических). Выделение, восходящая миграция этих газов (особенно концентрированная) и их аккумуляция в экранированных непроницаемыми барьерами ловушках, естественно, обуславливают повышенную выбросоопасность сопредельных с этими ловушками газоупорных барьеров со свободной поверхностью – природной, изначально существующей либо искусственно образованной при процессах антропогенного (техногенного) воздействия на газосодержащий (газопородный) горный массив.

Магматическая деятельность, фиксируемая присутствием магматических тел в геологическом разрезе, содействует и процессам интенсивной термokatалитической газогенерации за счет содержащегося во вмещающих осадочных и метаосадочных породах (особенно обладающих значительным газоматеринским, газопродуктивным потенциалом) углеродистого органического вещества, находящегося на различной стадии углефикации, в частности, нерастворимого рассеянного углеродистого органического вещества (керогена). Возникающие и скапливающиеся в ловушках природные газы такого происхождения могут быть связаны не только с геологически молодыми, но и с достаточно древними магматическими образованиями, особенно в случаях наличия весьма эффективных локальных газопорывов, обеспечивающих высокую сохранность скоплений природного газа, препятствующих процессам его фильтрации и диффузии, т. е. истечения и рассеяния газа.

Изложенное имеет самое непосредственное отношение к геодинамической системе ледника Колка (мегасистеме, включающей и литосферный субстрат ледника) и некоторых других ледников Казбекской группы, а также ко многим другим природным системам, в пределах которых установлено или возможно проявление катастрофических газодинамических и газогляциодинамических процессов.

* * *

Во многих работах по механике газодинамических выбросов отмечается, что «в выбросоопасных условиях низкая газопроницаемость обеспечивает сохранение высокого давления газа, заключенного в материале» [Петухов, Линьков, 1983, с. 241; и др.].

В плане уточнения этого утверждения и некоторого прояснения заключенного в нем смысла, в соответствии с изложенным выше, необходимо отметить, что в вы-

бросоопасных условиях низкая газопроницаемость материала обеспечивает сохранение высокого давления газа, *содержащегося в пустотном пространстве коллекторов, расположенных за этим материалом, экранированных этим материалом* (образующим, соответственно, газовый или, лучше сказать, газоупорный барьер, газонепроницаемую перемычку между этими газосодержащими коллекторами и открытым пространством, расположенным перед этим материалом (перед его свободной внешней поверхностью)).

Именно поэтому уменьшение толщины этого газонепроницаемого барьера в ходе проведения горных работ (и, соответственно, снижение величины его литостатического давления, прочности и сил сцепления с вмещающими породами) или же возрастание количества газа и величины газового давления за газонепроницаемым барьером в условиях концентрированного прорыва огромного количества высоконапорных природных газов (как в случае эндогеодинамической системы ледника Колка и его подледникового пространства) делает возможным (а с некоторого момента неизбежным) проявление газодинамического выброса.

Изложенное полностью объясняет значительное (многократное) превышение количества природных газов, выделяющихся при газодинамических выбросах, над его количеством, содержащимся в выброшенных породах, в том числе углях (этот вполне естественный общеизвестный факт в настоящее время интенсивно обсуждается). При этом источники (генезис) газов могут быть различными – от автохтонных биогенно-осадочных (преимущественно в угленосных и высокоуглеродистых, обогащенных рассеянным углеродистым органическим веществом отложениях) до различного рода глубинных, абиогенных, играющих основную роль в неугленосных отложениях, в том числе ледниках и их подледниковом пространстве. Автор [Бергер, 2008, с. 93 и далее] в какой-то мере уже касался этого вопроса.

С учетом изложенного вполне естественно, что одним из применяемых в настоящее время эффективных способов предотвращения внезапных газодинамических выбросов на угольных шахтах является дренирование газов не только из углей, но и из углевмещающих пород (в частности, залегающих в непосредственной близости от подошвы угольного пласта [Wang Dong-sheng, 2010 и др.]), где газ находится, безусловно, в свободной фазе, а не в составе углеметанового твердого раствора, газогидратных (клатратных) соединений, сорбированной или других формах связанного состояния.

* * *

Учитывая важность рассматриваемого круга вопросов и их недостаточную проясненность в горной геомеханике, а нередко существующую ошибочность их решения при изучении подземных внезапных газодинамических выбросов, постараемся несколько уточнить содержащиеся в данной области утверждения, что потребует повторного обращения к некоторым из них.

В специальной главе своей обобщающей монографии И.М. Петухов и А.М. Линьков [1983, с. 241 и далее] подчеркивают общность внешних проявлений и механизма газодинамических выбросов угля (песчаника, соли) и газа и дают краткий обзор «наиболее характерных особенностей, существенных для понимания механизма выбросов».

В качестве первой из этих особенностей авторы отмечают: «как правило, выбросы происходят в местах *тектонических нарушений*, где материал имеет

большую трещиноватость (а зачастую и пустотность) и меньшую прочность, чем аналогичная невыбросоопасная порода». Но тут же (в подстрочном примечании на с. 241) замечают, что «малая прочность не является обязательным условием выбросов – при наличии достаточно высоких горного и газового давлений выбросы возможны и в весьма прочных материалах», и добавляют также (на той же странице), что и «фильтрационная способность материалов в выбросоопасных условиях мала. В частности, под действием опорного давления на некотором удалении от обнажения газопроницаемость углей становится очень небольшой. При этом именно нарушенные выбросоопасные угли характеризуются пониженной способностью к фильтрации при сжатии. Способность к фильтрации песчаников и особенно солей сравнительно невелика даже в разгруженном состоянии. В выбросоопасных условиях низкая газопроницаемость обеспечивает сохранение высокого давления газа, заключенного в материале» [Петухов, Линьков, 1983, с. 241].

Все это правильно. Приведенные (цитированные) утверждения, однако, не позволяют понять, где именно локализуются и каким путем образуются зоны повышенного газосодержания, являющиеся одним из наиболее благоприятных условий для проявления газодинамических выбросов, как справедливо отмечают И.М. Петухов и А.М. Линьков.

При этом остается все же не вполне проясненным и то, почему, «как правило, выбросы происходят в местах тектонических нарушений» [там же (выделено мной. – М.Б.)].

А дело как раз в том, что именно тектонические нарушения определяют, где именно находятся (локализуются) зоны повышенного газосодержания, а они находятся *не в материале с низкой газопроницаемостью, а за ним, «в местах тектонических нарушений, где материал имеет большую трещиноватость (а зачастую и пустотность)...*» [Петухов, Линьков, 1983, с. 241 (выделено мной. – М.Б.)]. *Места расположения материала с повышенным газосодержанием (коллекторы) и материала с низкой газопроницаемостью (газоупоры), конечно, соседствуют, но, безусловно, не совпадают. Это, безусловно, разные по местоположению и литофизическим свойствам материалы.*

Даже в случаях их возможного минералого-петрографического сходства они существенно различаются по структурно-текстурным особенностям, трещиноватости, пустотности, проницаемости, определяющим их фильтрационно-емкостные параметры.

* * *

Теория газодинамических явлений, наиболее глубоко разработанная в приложении к внезапным газоугольным выбросам, в значительной мере имеющая общий характер и приложимая к внезапным газодинамическим выбросам и иного по литолого-петрографическому составу материала, во многом помогает теоретическому осмыслению, пониманию и объяснению взрывоподобного газодинамического (газо-ледо-каменного) выброса ледника Колка, а также подобных ему газогляциодинамических явлений.

В то же время, изучение газодинамического выброса ледника Колка, в свою очередь, содействует развитию теории газодинамических явлений – как общей теории, так и ее специальных (частных) приложений к внезапным газо-ледовым и газо-ледо-каменным, а также газо-каменным (обычно именуемым газопородными), в част-

ности, газопесчаным, газосоляным и другим, и даже к газоугольным выбросам.

Ниже, в дополнение к уже сказанному в данной статье и ранее [Бергер, 2008, с. 91–110; и др.], рассматриваются некоторые общие вопросы теории газодинамических явлений, остающиеся, по мнению автора, недостаточно проясненными. При этом имеют существенное значение и должны учитываться результаты изучения внезапных газодинамических выбросов различного по составу материала, происшедших в весьма различных горно-геологических условиях. Одновременно это даст некоторые дополнительные основания, важные для понимания и объяснения катастрофической пульсации (внезапного взрывоподобного направленного газодинамического выброса) ледника Колка 2002 г., а также других пароксизмальных катастрофических пульсаций этого ледника и, возможно, некоторых других горных ледников. При этом, в соответствии с вышеизложенным, в качестве важнейшего исходного положения необходимо подчеркнуть следующее.

В подготовке и проявлении внезапных газодинамических выбросов ту или иную (по характеру и степени значимости) роль могут играть различные факторы. В частности, горное давление в некоторых случаях может приводить к локальному разрушению горных пород. Но это далеко не всегда приводит к их выбросу. Физико-механические свойства пород в некоторых случаях могут содействовать такому разрушению. В этом же направлении могут действовать и некоторые другие природные и антропогенные факторы. Однако *в газодинамическом выбросе* (выносе, отбросе) горных пород, их лавинообразном отрыве и инерциальном разлете во всех случаях *главная, первостепенная роль принадлежит находящимся в свободной фазе высоконапорным природным газам*, независимо от их химического состава и происхождения.

Причиной, вызывающей взрывоподобные (внезапные) газодинамические выбросы, действующим фактором, определяющим их основные характерные особенности, являются расширяющиеся сжатые (обладающие высоким давлением) газы. Именно они являются источником силы и энергии, под действием которых происходят такие выбросы.

Все другие факторы (горное давление, напряженно-деформированное состояние пород, их физико-механические свойства и др.), со времени работ акад. А.А. Скочинского по проблеме внезапных выбросов в подземных горных выработках обычно также считающиеся определяющими в данном отношении, могут лишь содействовать, благоприятствовать либо противодействовать, препятствовать подготовке и проявлению выбросов, но не являются их причиной в отмеченном обычном смысле этого слова.

Для газогляциодинамических явлений, непосредственная подготовка которых протекает в подледниковых условиях вблизи земной поверхности, это особенно очевидно.

В этой связи, прежде всего, следует отметить, что проявления внезапных газодинамических выбросов возможны и происходят (установлены) в горных породах *различного состава и происхождения*, обладающих во многом различными свойствами (углях, солях, песчаниках и др.), при наличии газового скопления с аномально высоким пластовым давлением газов, экранированного газупорным барьером со свободной поверхностью. При этом состав вызывающих выброс высоконапорных газов может быть самым разным и метан в их составе может вообще отсутствовать либо содержаться в незначительном количестве и, соответственно, при любой

форме его нахождения не играть сколько-нибудь существенной роли в подготовке и проявлении выброса.

Это опровергает распространенные представления об обусловленности таких выбросов присутствием газа именно в виде твердого углеметанового раствора, сорбционными или некими «суперсорбционными» свойствами углей, наличием в углях значительных содержаний клатратных соединений – газогидратов (метангидратов) и т.п. (в подвергшихся многочисленным газодинамическим выбросам соляным и другим горным породам не угольного состава ничего этого заведомо нет; вопросы же, касающиеся возможной роли газогидратов в подготовке и проявлении газодинамического выброса ледника Колка, рассмотрены в работе [Бергер, 2007а, с. 171–176]).

Вместе с тем, как уже подчеркивалось выше, это полностью согласуется с отмеченным во многих публикациях, но так и не получившим удовлетворительного объяснения известным фактом значительного (на порядки) превышения количества газа, выбрасываемого при внезапных газугольных выбросах, над количеством газа, содержащимся в выброшенном угле, и полностью объясняет этот факт.

В многочисленных работах по внезапным газодинамическим выбросам в подземных горных выработках нередко приводятся данные о количественном содержании, формах нахождения и давлении природных газов в образцах подвергшихся выбросу пород (в том числе угля) и на этом основании делаются выводы (иногда позитивные, а иногда негативные [Глушко и др., 1971; и др.]) о роли свободного газа в газодинамических выбросах. Подобный подход к решению данного вопроса представляется необоснованным и неправильным.

Подвергшиеся выбросу породы экранирующую газовую залежь газоупорного барьера в основной своей части обладают обычно крайне низкими значениями величин открытой пористости и проницаемости и, соответственно, крайне низким содержанием в них свободного газа.

Но именно это-то и является важнейшим условием, необходимым для подготовки газодинамического выброса, обеспечивающим саму возможность накопления значительного количества свободного газа за этими породами (в направлении горного массива от свободной поверхности выбрасываемых пород) и возникновения аномально высоких пластовых давлений газа в его природных скоплениях опять же за этими породами.

Соответственно, именно там, в газоносных породах-коллекторах, за газоупорным барьером выбрасываемых пород (а не в слагающих этот барьер породах), существовали и, по возможности, должны определяться и учитываться все основные характеристики газового фактора, энергетически-силовое воздействие которого на горные породы привело к их внезапному газодинамическому выбросу, – количество газа, его состав, формы нахождения, вероятные источники, время и интенсивность его поступления в ловушку, величина давления газа и скорость его нарастания до момента выброса (что должно быть объектом инструментального бароконтроля и краткосрочной оценки газовыбросоопасности) и т.д.

При всей специфике выбросоопасности угольных пластов, «часто, особенно на больших глубинах, газопроницаемость выбросоопасных пластов является нулевой (или практически нулевой)» [Москаленко, Николин, 1981, с. 28–29], что сближает природную картину выбросоопасности в этих пластах с картиной, существующей в соляных и ледовых отложениях. Дополнительную роль в сохранении высокого

давления свободного газа и возрастания его величины в газоугольных и, возможно, других природных системах может играть и эффект Клинкенберга, согласно которому «газопроницаемость угольного пласта должна в значительной степени зависеть от величины давления газа, уменьшаясь с увеличением давления» [Айруни, 1981, с. 96]. Вполне вероятно при этом и отмечаемая иногда «запечатывающая» (кольматирующая) роль тонкодисперсных углистых (углеродистых) частиц (так называемой «бешеной муки»), в огромном количестве образующихся в результате измельчения (диспергирования, милонитизации) углистого и иного по составу материала, главным образом, под действием высокого (сверхвысокого) давления газа (см. ниже).

В дополнение к изложенному в данной статье (и ранее [Бергер, 2008, с. 93 и далее]) необходимо сделать также некоторые замечания относительно роли (и вообще участия) сорбированного и других форм связанного газа в газодинамических выбросах, поскольку, в отличие от существовавших ранее (и ни в какой их части не опровергнутых, никем даже не поставленных под сомнение до сих пор) глубоко обоснованных детально разработанных представлений [Петухов, Линьков, 1983; Петросян и др., 1983 и др.], в последнее время в отечественной литературе преобладающими являются представления об основной роли в этих выбросах газа, находящегося в связанном состоянии и переходящего в свободное состояние непосредственно в момент выброса, после его запуска под действием горного давления и, возможно, других факторов.

1. К газодинамическим выбросам пород, обладающих крайне низкой сорбционной способностью (соли, песчаники и др., в том числе лед), эти представления неприменимы.

2. Количество свободного газа в угольных пластах (в приложении к которым разработаны эти представления) и сопутствующих углям породах весьма значительно [Бергер, 2008, с. 96–97; и др.] и этот газ, безусловно, самым непосредственным образом участвует в газодинамических явлениях.

3. В условиях лабораторных экспериментов количество свободного газа в угольных пластах неопределимо, что признается и исследователями газоносности углей [Эттингер, Шульман, 1975, с. 64].

4. Внезапным газодинамическим выбросам всегда предшествует различная по продолжительности подготовительная стадия, многие проявления которой также имеют газодинамический характер, т. е. обусловлены активным воздействием на горный массив высоконапорных (сжатых), безусловно, свободных природных газов. Находящийся же в связанном состоянии газ не может в качестве активного, действующего фактора принимать участие в подготовительной стадии газодинамических выбросов, не может обусловить ее протекание и определить ее особенности.

5. Причины, условия, продолжительность и количественные масштабы перехода газа из связанного состояния в свободное малоизучены и обычно не рассматриваются.

6. Что касается скорости такого перехода, то известно [Эттингер, Шульман, 1975, с. 62], что «сорбированному метану, для того чтобы выделиться из угля, необходимо затратить определенное время для перехода из сорбированной фазы в газовую... Задержка во времени между переходом из сорбированного в свободное состояние может быть иногда значительной...» (см. также [Петросян и др., 1978, с. 47]). Соответствующие данные получены в результате проведения специальных

экспериментальных исследований. Совершенно очевидно, что такой газ не может быть причиной запуска и весьма скоротечного, почти мгновенного протекания газодинамических выбросов.

Все приведенные замечания весьма существенны, имеют принципиальный характер и должны в полной мере учитываться при разработке теории газодинамических и газогляциодинамических явлений.

* * *

В дополнение к сказанному выше можно отметить, в частности, следующее.

Как показало изучение газодинамического выброса ледника Колка 2002 г. и предшествующих ему событий [Бергер, 2007а, с. 31 и 54–55; Бергер, 2007в и др.], важнейшим краткосрочным предвестником такого выброса является сопровождающееся интенсивным поверхностным и близповерхностным трещинообразованием быстрое и значительное устойчивое (не сопровождающееся оттоком льда) локальное поднятие уровня поверхности ледника, его «вздутие», особенно в его тыльной части, главным образом, вследствие резко возросшего, устойчиво сохранявшегося и пульсационно увеличивавшегося давления природных газов в подледниковом пространстве, экранированном пластическим газоупорным ледниковым барьером.

Так что устойчиво сохраняющееся вплоть до выброса ледника значительное вздутие, вспучивание, выдавливание, выжимание ледника вверх (в сторону открытой поверхности), а также связанное с этим интенсивное трещинообразование внешней поверхности и приповерхностной зоны ледника, эпизодические, в том числе очень мощные, акустические и сейсмоакустические эффекты (гул, треск, удары) в преддверии катастрофы на леднике Колка – не признаки, свидетельствующие о подвижке ледника, как полагают некоторые гляциологи, а предвестники, предупредительные признаки его газодинамического выброса. По данному автором [там же и др.] определению и введенному обозначению, это – весьма характерное для подготовительной стадии газодинамических выбросов проявление *эффекта газового дамкрата* (специальное рассмотрение данного вопроса предпринято в отдельной работе).

Собственно говоря, подобное явление, только гораздо интенсивнее и быстрее, происходит и при выбросе породы взрывом [Покровский, 1973, с. 136–140].

Подобное же, принципиально аналогичное по своей сути явление хорошо известно и многократно описано в горной геомеханике (в области изучения подземных внезапных газодинамических выбросов) и его газодинамическая природа (как и предвестниковое значение) не вызывает сомнений.

В частности, В.И. Николин с соавторами [1967, с. 5] еще около полувека тому назад отмечали, что предвестниками («предшественниками») газодинамических выбросов пород в угольных шахтах Донбасса считаются наблюдающиеся при проходке стволов шахт *быстрые поднятия пород* (плитчатых аргиллитов, известняков и др.), сопровождающиеся их растрескиванием, при приближении забоя на 2–5 м к газоносным угольным пластам или пропласткам. Подобные явления известны, естественно, и в других угольных бассейнах, в том числе за рубежом.

Весьма показательны и другие предвестники газодинамических явлений. Вот, например, как описывают А.М. Морев и др. [1992, с. 9] предупредительные признаки некоторых из них: «Характерными признаками, предшествующими внезапно-му разрушению толщи пород, залегающих в подошве выработки или почве пласта,

следует считать кратковременные глухие удары в глубине массива, переходящие в сильный шум или нарастающий гул с последующим поднятием почвы горных выработок. Внезапное разрушение пород сопровождается звуковым эффектом, аналогичным взрыву или пушечному выстрелу, упругими колебаниями почвы выработок и воздушным толчком. При этом в почве выработок образуется одна или несколько зияющих трещин...». Свидетельства принципиально подобных явлений зафиксированы и на подготовительной стадии внезапного газодинамического выброса ледника Колка в 2002 г. [Десинов, 2004 и др.] (хотя принимаемые гляциологами объяснения этих явлений, естественно, не предполагают их газодинамической природы).

Весьма важным и показательным предвестником газодинамического выброса ледника является появление еще за несколько недель до него фумарольных газовыделений, но, естественно, не над самим ледником, выполнявшим в это время функцию пластического газупорного барьера, а за его пределами – в выходящей на земную поверхность трещинно-разрывной разломной зоне во вмещающей ледник приледниковой «раме». Для весьма специфических, пространственно ограниченных условий подземных горных выработок проявления аналогичного предвестника неизвестны, тем не менее, как отметил еще В.В. Ходот [1961, с. 338], и в этих условиях наблюдается усиление газовыделения, что является одним из важных предвестников внезапного выброса. Впрочем, в силу пульсационного, неравномерного характера развития подготовительных процессов и специфики подземных условий, в некоторых случаях внезапных выбросов отмечался предвестник противоположного характера – уменьшение газовыделения [Ходот, 1961, с. 339].

Зато на посткатастрофическом этапе весьма близкая аналогия газодинамических (особенно – наиболее масштабных, наиболее сильных из них) и газогляциодинамических явлений совершенно очевидна: она выражается в проявлении и в том, и в другом случаях постепенно затухающих поверхностных струйных газовыделений в эпицентральной зоне выброса и в непосредственной близости от нее.

* * *

При оценке возможной выбросоопасности (газовыбросоопасности) ледника (в частности, ледника Колка), определении литофизических свойств (в частности, газозкранирующей способности) ледника, как и любого пласта или его части со свободной поверхностью, и его способности выполнять функции газового (газонепроницаемого) барьера имеет значение его проницаемость, разумеется, не на внешней (свободной) поверхности («кромке пласта»), соприкасающейся со свободным воздушным пространством, и вблизи от нее, а на внутренней поверхности (или вблизи от нее), соприкасающейся со скоплением природных газов (разумеется, свободных), обладающих тем или иным, в том числе в некоторых случаях аномально высоким, пластовым давлением.

При этом наличие поверхностной (наблюдаемой на внешней поверхности) трещиноватости льда и перекрытие его слоем рыхлообломочных отложений, естественно, не исключают выполнение ледником функции непроницаемого барьера для поступающих снизу природных газов в результате их восходящей миграции, в том числе концентрированного, сосредоточенного прорыва потока газов из нижних горизонтов коры и подкорового пространства. Происходящие (особенно при газодинамическом локальном вздутии ледника) процессы трещинообразования, локального разрушения верхней части ледника не снимают экранирующего (газо-

упорного) действия его основной по мощности (толщине) нижней части, не ведут к падению давления газа в подледниковом пространстве, а лишь утоняют «газовый барьер», уменьшают его вес, силы его сцепления с боковыми породами и прочность на разрыв. И дальнейшее развитие этих процессов (особенно в условиях пульсационного возрастания количества и давления газов в подледниковом пространстве) неизбежно приводит к газодинамическому выбросу ледника. Совершенно очевидно, что действие именно газового фактора, именно газовое давление – основной фактор, основная причина взрывоподобного внезапного газодинамического выброса ледника.

Аналогичным образом, высокая проницаемость пласта (в частности, угольного) у его кромки не означает отсутствие газонепроницаемого барьера на том или ином удалении от нее и не исключает наличия газовых скоплений за этим барьером. В этих условиях, соответственно, существует возможность проявления газодинамического выброса при приближении к газовому скоплению, утоньшении непроницаемого барьера, экранирующего это скопление (перемычки между этим скоплением и свободным пространством), уменьшении сил сцепления непроницаемого барьера с вмещающими породами либо при достаточно быстром возрастании в этом скоплении количества газа и величины газового давления.

В свете изложенного, высокая фильтрационная способность поверхностной части ледника и его перекрытие («бронирование») даже значительным по толщине слоем обломочного (в том числе рыхлообломочного) материала поверхностной морены не исключают возможности подготовки и проявления газодинамического выброса ледника и ледник Колка уже неоднократно демонстрировал это в своей истории [Бергер, 2007б]. Сказанное имеет аналогию и с газоугольными выбросами.

Уже давно было установлено [Лидин, Айруни, 1963, с. 5; и др.], что угольный массив в прилегающей к очистному забою зоне разбит трещинами, раздавлен, и метан из угля выделяется по трещинам в призабойное пространство лав и выработанное пространство участка.

Какая-то часть выделившегося метана изначально (до техногенного воздействия на угольный массив) могла находиться в виде свободной фазы, какая-то – в той или иной связанной форме и выделиться в свободную фазу лишь в процессе разрушения угля либо после него.

Но в данном случае это не имеет сколько-нибудь существенного значения: выделившийся таким образом метан не находится в сжатом состоянии, не является высоконапорным, не обладает аномально высоким давлением и, естественно, не может быть причиной внезапного газодинамического (газоугольного) выброса.

Для возникновения выбросоопасной ситуации существенное значение имеет лишь сжатый газ, находящийся в трещинно-поровом или ином пустотном пространстве *за газонепроницаемым барьером*, отделяющим это пространство от нарушенной горными работами газопроницаемой трещиноватой зоны со свободной поверхностью.

При этом важнейшее значение, во многом определяющее газовыбросоопасность пласта, имеют величина градиента (перепада) газового давления между двумя поверхностями газопорного барьера и его «кромки» – внешней, открытой (обнаженной) и внутренней, находящейся внутри массива, закрытой (необнаженной), а также скорость изменения величины этого градиента, в частности, в ходе подвигания забоя, количество свободного газа и величина его давления за газонепроницаемым

барьером, толщина и литостатическое давление барьера, его напряженно-деформированное состояние, физико-механические свойства и силы его сцепления с вмещающими породами.

Ограничиваясь рассмотрением лишь угольных пластов, И.М. Петухов и А.М. Линьков [1983, с. 255 и др.] приводят многочисленные факты, свидетельствующие о резком снижении и устранении выбросоопасности при дегазации угля (уменьшении количества свободного газа в угольном пласте), снижении газового давления и уменьшении его градиента вне зависимости от горного давления и о повышении выбросоопасности при повышении газового давления и создании большого градиента газового давления также вне зависимости от горного давления, в том числе вообще без всякого участия горного давления, при его отсутствии (в лабораторных экспериментах). При этом они замечают [Петухов, Линьков, 1983, с. 243], что «для отделения частиц более прочного материала нужны более высокие градиенты давления газа». В целом же, «для механизма выброса весьма существенна роль газа в процессе отделения и выноса частиц, обуславливающая в значительной степени специфические черты выбросов» [Петухов, Линьков, 1983, с. 246]. Об этом, как отмечают авторы [Петухов, Линьков, 1983, с. 257], свидетельствуют не только приведенные ими факты, но и «многие другие сведения, касающиеся особенностей выбросов», которые «являются наглядным свидетельством участия газа не только в выносе материала, но и в процессе его дробления».

В этом плане один из признаков, наглядно свидетельствующих о сходстве механизма взрывоподобного газодинамического выброса ледника Колка с внезапными газодинамическими выбросами в подземных условиях, – образование при выбросе ледника огромного количества углеродистой пыли и ледяной крошки – безусловно-го полного аналога так называемой «бешеной муки» внезапных выбросов. Авторы [Петухов, Линьков, 1983, с. 243], в частности, пишут: «Важными отличительными особенностями выбросов являются высокая степень диспергирования материала и участие газа в его дроблении и выносе. При выбросах угля, например, материал дробится до «бешеной муки» – частиц размером до 0,01 мм и менее; при выбросах более прочной породы – песчаника основная масса отрывааемых элементов представляет собой чешуйки толщиной 1–2 мм; сильному дроблению подвергаются при выбросах и соли». Глубокое измельчение (диспергирование) ледово-каменного материала (но, разумеется, не всего) при взрывоподобном газодинамическом выбросе ледника Колка также хорошо известно. При этом, в силу специфики конкретных локальных условий, в частности, местоположения и особенностей залегания отдельных частей горного массива, некоторые части подвергшегося газодинамическому выбросу пласта могут быть не затронуты («обогнуты») волной послойного отделения частиц либо затронуты волной разрушения и выброса лишь в небольшой степени, что приводит к сохранению или лишь к небольшому смещению местоположения этих частей (некоторых так называемых останцов в случае выброса ледника Колка, к которым в наибольшей мере подходит такое определение). Предшествующий же многим выбросам, особенно большой силы (интенсивности), горный удар производит сотрясательное воздействие на массив и может инициировать выброс, в том числе с тем или иным запаздыванием. Именно такой случай, по-видимому, имел место 20 сентября 2002 г., примерно за 18 часов до газодинамического выброса ледника Колка, с учетом событий этого дня в данных автором [Бергер, 2007а, с. 38–42] их расшифровке и интерпретации.

Сам же газодинамический выброс, при всей его крайней скоротечности, даже в масштабах горной выработки, несравнимо меньших масштабов ледника Колка, представляет собой, как правило, нестационарное движение смеси газа и частиц из-за неоднородности материала, изменчивости величины сил его сцепления с вмещающими породами, колебаний давления и плотности за фронтом волны дробления, в силу чего процесс затухает в одних местах поверхности фронта и охватывает другие участки [Петухов, Линьков, 1983, с. 245 и 263].

В качестве других особенностей газодинамических выбросов И.М. Петухов и А.М. Линьков [1983, с. 243–245] выделяют ударную воздушную волну, опережающую поток смеси частиц и газа, и своеобразные формы образующихся при выбросах полостей, весьма различные, особенно для пород различного литологического типа. Безусловно, весьма специфической по своей морфологии (но, конечно, вполне естественной и закономерной) является и полость выброса ледника Колка, несущая следы газодинамического воздействия на массив [Бергер, 2012а, б].

Согласно энергетически-силовой теории внезапных газодинамических выбросов [Петухов, Линьков, 1976, 1978, 1983; Петросян и др., 1983], для проявления таких выбросов существенное значение имеет не только аномально высокое (сверхвысокое) давление природных газов, но и наличие достаточного количества высоконапорных газов. При этом, как отмечают А.Э. Петросян и др. [1983, с. 72] (со ссылкой на работу [Бувич, Минаев, 1975]), «при расходе газа, меньшем критического, со стороны свободной поверхности отрывается элемент породы конечной длины, а при расходе, большем критического, – вся масса породы» (слагающей газоупорный барьер. – М.Б.). В случае газодинамического выброса ледника Колка это соответствует практически основной части ледника, отделенной от ледникового ложа силлоподобной залежью высоконапорных поствулканических газов, прорвавшихся непосредственно под ледник в августе-сентябре 2002 г. на заключительных этапах подготовки взрывоподобного газодинамического выброса ледника [Бергер, 2007а, с. 54; Бергер, 2008, с. 37 и 43].

Согласно И.М. Петухову и А.М. Линькову [1983, с. 246], 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».

В этой связи необходимо заметить, что взрыв, точнее, взрывоподобный внезапный газодинамический выброс ледника Колка 2002 г., как известно [Бергер, 2006а,б; 2007а; 2008, с. 119 и др.], в течение, по меньшей мере, двух месяцев интенсивно готовился, в том числе и в отношении образования достаточно больших начальных трещин в леднике, и в отношении сильных сотрясательных сейсмо-ударных и обвально-ударных внешних воздействий на ледник, способствующих образованию и распространению трещин в леднике. Этому же способствовали и интенсивно проявившиеся в тыльной зоне ледника на заключительном этапе подготовительной стадии выброса процессы куполообразования [Тутубалина и др., 2005; и др.].

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) совершенно мгновенным гигантский по захваченной им площади, объему выброшенного материала, дальности его выброса, протяженности зоны аккумуляции в пределах Геналдонского ущелья, площади и объему образовавшегося навала, а также некоторым другим показателям газодинамический выброс ледника Колка. Все это (а также отмечаемый Ю.М. Бирюковым [там же] скачкообразный (пульсационный) характер подготовки и развития (протекания) выбросов с различными по продолжительности интервалами между скачками), естественно, не могло не отразиться, в частности, на сейсмических записях Колкинской катастрофы [Заалишвили и др., 2004, 2005, 2007, 2012, 2014 и др.; Заалишвили, Мельков, 2012; Процесс схода..., 2009; Годзиковская и др., 2004; и др.] (многочисленные полученные в этой области сведения наиболее полно представлены в сборнике [Ледник Колка..., 2014]). Отметим также, что происходящая в ходе подготовки выброса трансформация состояния, структуры и свойств расположенного за газоупорным барьером полупространства и внешней, приповерхностной зоны этого барьера (в частности, повышение трещиноватости горных пород на предкатастрофическом этапе выброса ледника) неизбежно ведет к снижению амплитуды регистрируемых при выбросе сейсмических волн [Родионов и др., 1971, с. 103].

В исключительно важной области расшифровки и интерпретации сигналов сейсмического сопровождения взрывоподобных газодинамических и газогляциодинамических явлений, как и собственно взрывных явлений различного типа и генезиса, при всей значительности полученных к настоящему времени результатов, существует еще большой простор для исследований.

* * *

Наряду с взрывоподобными, безусловно, невулканическими природно-техногенными газодинамическими явлениями в подземных горных выработках и поствулканическими (и, вероятно, собственно постмагматическими) поверхностными чисто природными взрывоподобными газогляциодинамическими явлениями, в природе, как известно, существуют геодинамически и, в какой-то мере, генетически, каузально (по характеру основного действующего фактора – высоконапорных природных газов) близкие им вулканические газодинамические явления – также взрывоподобные (взрывные, эксплозивные) вулканические извержения, имеющие иногда направленный характер.

Г. Макдоналд [1975, с. 125] следующим образом генетически характеризует эти явления: «мгновенные или длительные, слабые или сильные – все вулканические эксплозии являются результатом выделения газа, который находился под давлением».

В геодинамическом же отношении, «согласно наиболее распространенному представлению, эксплозия – это внезапный очень непродолжительный сильный взрыв, по существу один короткий импульс, подобный взрыву, который выбрасывает снаряд из орудия. Некоторые вулканические эксплозии имеют именно такой характер, но многие гораздо продолжительнее и представляют собой непрерывные взрывы стремительно выделяющегося газа, которые продолжаются несколько секунд или минут, а иногда даже несколько часов» [там же].

В плане развития газогляциодинамической сейсмологии, заложенной трудами В.Б. Заалишвили и его сотрудников [2014 и др.], представляется весьма важным и

перспективным сопоставление результатов сейсмологических исследований взрывоподобного направленного газодинамического выброса ледника Колка 2002 г. (по другим подобным газогляциодинамическим явлениям сейсмологические данные отсутствуют) с имеющимися многочисленными данными вулканической сейсмологии, характеризующими сейсмическое сопровождение подготовки и проявления вулканических извержений, особенно эксплозивных извержений различного типа (прежде всего, направленных), включая фреатические.

При таком сопоставлении, естественно, необходимо учесть и длительную подготовительную стадию газодинамического выброса ледника Колка, и запечатленную, в частности, на многочисленных снимках также довольно продолжительную стадию его постпароксимального завершения, выразившегося, прежде всего, в интенсивном многодневном пульсационном поверхностном газовыделении в эпицентральной зоне выброса и вблизи от нее.

Что же касается непроницаемых барьеров, то их роль в подобных случаях выполняют молодые лавовые образования жерловой фации, более древние (резургентные) вулканогенные породы, а иногда и ледники. В последнем случае есть основания говорить о вулканических газогляциодинамических явлениях. Соответственно, при этом в какой-то мере фактически смыкаются газогляциодинамика и вулканология.

* * *

Таковы лишь некоторые (но наиболее существенные или одни из наиболее существенных) общие вопросы изучения газодинамических и газогляциодинамических явлений, определяемые значительной общностью многих условий подготовки и протекания этих явлений, вытекающей из принципиального сходства их многочисленных особенностей (диагностических признаков), фактуально подтверждающего значительную общность этих условий.

Не повторяя известные положения механики внезапных газодинамических выбросов [Петухов, Линьков, 1983; и др.], отметим лишь, что, в своей основе, многие из этих положений, как в какой-то мере показано выше, так или иначе, с теми или иными коррективами, безусловно, приложимы и в области изучения газогляциодинамических явлений – взрывоподобных внезапных газодинамических выбросов ледников.

Изложенное показывает важнейшие особенности геологического строения и функционирования сложных полиэлементных выбросоопасных газодинамических и газогляциодинамических природных систем и функциональную роль их различных элементов в процессах подготовки и проявления взрывоподобных газодинамических выбросов, принципиально сходные при всех различиях конкретных геологических условий протекания динамических процессов и состава выбрасываемого материала. Осознание этого сходства чрезвычайно важно для выявления газогляциодинамических явлений, их доказательной идентификации, прогнозирования и успешного углубленного изучения.

Главное же состоит в том, что вышеизложенное, в соответствии со сформулированными ранее положениями [Бергер, 2015], переводит пароксимальные взрывоподобные направленные газодинамические выбросы ледников из числа экзогенных склоново-гравитационных явлений гляциального генезиса, к которым их до сих пор ошибочно причисляли, в категорию эндогенных газодинамических явлений по-

ствулканического (или, более широко, постмагматического) генезиса.

При этом совершенно иными оказываются геомеханические и многие другие аспекты их изучения, а изучающая эти явления газогляциодинамика, выделенная в качестве новой области исследований в науках о Земле лишь в XXI в., обнаруживает много общего с широко проводимыми в течение уже около двух столетий исследованиями газодинамических явлений и, соответственно, в какой-то мере может опираться на некоторые полученные при их исследовании результаты.

Изложенное дает основание для последующего более расширенного, детального и углубленного рассмотрения затронутых вопросов и содержит предпосылки для постановки и решения многих других вопросов в данной области.

Литература

1. Абрамов Ф.А., Шевелев Г.А. Исследование фильтрационных и газодинамических процессов в выбросоопасных породах // Вопросы теории выбросов угля, породы и газа / Материалы семинара (Днепропетровск, июнь 1970 г.). Киев: Наукова думка, 1973. С. 167–175.
2. Айруни А.Т. Теория и практика борьбы с рудничными газами на больших глубинах. М.: Недра, 1981. 335 с.
3. Аникиев К.А. Геодинамическая теория сверхвысокой пластовой энергии разбуриваемых нефтегазоносных недр Земли // Дегазация Земли и геотектоника. М.: Наука, 1980. С. 205–217.
4. 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.
5. Бергер М.Г. Геологические предпосылки внезапных газодинамических выбросов в подземных горных выработках // Горно-добывающий комплекс России: состояние, перспективы развития. Материалы III Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 100-летию Героя Социалистического труда, академика Михаила Ивановича Агошкова. Владикавказ, 2005а. С. 43–47.
6. Бергер М.Г. О газовом факторе как основной причине внезапных газодинамических выбросов // Горно-добывающий комплекс России: состояние, перспективы развития. Материалы III Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 100-летию Героя Социалистического труда, академика Михаила Ивановича Агошкова. Владикавказ, 2005б. С. 47–50.
7. 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: Изд-во Олимп, 2006а. С. 41–49.
8. Бергер М.Г. Газодинамический выброс ледника Колка 20 сентября 2002 г. // Вестник Владикавказского научного центра РАН и РСО-А. 2006б. Т. 6. № 2. С. 33–37.
9. Бергер М.Г. Об условиях выбросоопасности горных пород (К теории внезапных газодинамических выбросов) // Сборник научных трудов Северо-Осетинского отделения АН ВШ РФ. № 4. Владикавказ: Терек, 2006в. С. 3–9.
10. Бергер М.Г. Ледник Колка: Катастрофа 20 сентября 2002 года – внезапный

газодинамический выброс ледника. М.: Изд-во ЛКИ, 2007а. 248 с.

11. Бергер М.Г. Три гляциодинамические подвижки и четыре газодинамических выброса ледника Колка. Малоизвестные страницы и дискуссионные вопросы истории развития пульсирующего ледника. М.: КомКнига, 2007б. 120 с.

12. 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, 2007в. С. 194–208.

13. Бергер М.Г. Геодинамическая система ледника Колка и вопросы прогнозирования и регулирования ее развития. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 264 с.

14. Бергер М.Г. О воронке выброса ледника Колка // Геология и геофизика Юга России. 2012а. № 2. С. 55–64.

15. Бергер М.Г. О некоторых следах, оставшихся на месте ледника Колка, как показателях характера Колкинской катастрофы 2002 года // Геология и геофизика Юга России. 2012б. № 4. С. 75–85.

16. Бергер М.Г. Газогляциодинамика – новая область исследований ледников и связанных с ними эндогенных опасных природных процессов катастрофического уровня // Геология и геофизика Юга России. 2015. № 4. С. 18–46.

17. Бирюков Ю. М. Техногенная газодинамика. Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2011. 159 с.

18. Бувевич Ю.А., Минаев Г.А. О переходе зернистого слоя в псевдооживленное состояние (теория) // Инженерно-физический журнал. 1975. № 5. С. 773–780.

19. Валуконис Г.Ю., Ходьков А.Е. Геологические закономерности движения подземных вод, нефтей и газов. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1973. 304 с.

20. Глушко В.Т., Зорин А.Н., Рубан Д.Б. К вопросу влияния некоторых факторов на выбросы пород // Выбросы породы и газа. Киев: Наукова думка, 1971. С. 63–67.

21. Годзиковская А.А., Бугаевский А.Г., Габсатарова И.П. Сейсмологическая составляющая в катастрофическом движении ледника Колка // URL: <http://zeus.wdcb.ru/sep/kolka/index.ru.html>. Last revision. November, 11, 2004.

22. Григорян С.С. Механика ледников // Механика и физика льда. Серия «Прочность и вязкоупругопластичность». М.: Наука, 1983. С. 101–107.

23. Десинов Л.В. Результаты реконструкции последней подвижки ледника Колка // Предупреждение опасных ситуаций в высокогорных районах: Тезисы докладов Международной конференции, г. Владикавказ, 23–26 июня 2004 г. Владикавказ: Изд-во «РЕМАРКО», 2004а. С. 15–16.

24. Десинов Л.В. Пульсация ледника Колка в 2002 году // Вестник Владикавказского научного центра РАН и РСО-А. 2004б. Т. 4. № 3. С. 72–87.

25. Жатнуев Н.С. Трещинные флюидные системы в зоне пластических деформаций // Доклады Академии наук. 2005. Т. 404. № 3. С. 380–384.

26. 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.

27. 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. 2005. Т. 5. № 3. С. 43–54.

28. 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.

29. Заалишвили В.Б. К 10-летию схода ледника Колка: результаты анализа инструментальных сейсмических данных // Опасные природные и техногенные геологические процессы на горных и предгорных территориях Северного Кавказа: Труды III Международной научно-практической конференции, приуроченной к 10-летию схода ледника Колка 20 сентября 2002 г. / ред. В.Б. Заалишвили. Владикавказ: ЦГИ ВНИЦ РАН и РСО-А, 2012. С. 15–31.

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

31. Заалишвили В.Б., Харебов К.С. Исследование процесса схода ледника Колка 20 сентября 2002 г. по динамическим характеристикам инструментальных записей // Ледник Колка: вчера, сегодня, завтра / [отв. ред. акад. Ю.Г. Леонов, В.Б. Заалишвили]; Центр геофиз. исслед. Владикавказ. науч. центра РАН и РСО-А. – Владикавказ, 2014. С. 159–174.

32. Киссин И.Г. Флюиды в земной коре: геофизические и тектонические аспекты. М.: Наука, 2009. 328 с.

33. Кравцов А.И. Геология и геохимия природных газов в зонах глубинных разломов и формирование месторождений горючих газов и нефти // Дегазация Земли и геотектоника. М.: Наука, 1980. С. 189–199.

34. Ледник Колка: вчера, сегодня, завтра / [отв. ред. акад. Ю.Г. Леонов, В.Б. Заалишвили]; Центр геофиз. исслед. Владикавказ. науч. центра РАН и РСО-А. – Владикавказ, 2014. 429 с.

35. Лидин Г.Д., Айруни А.Т. О теории дегазации угольных пластов // Вопросы дегазации угольных пластов. М.: Госгортехиздат, 1963. С. 3–69.

36. Макдоналд Г. Вулканы. М.: Мир, 1975. 432 с.

37. Мейер М. Опыт определения терминов бюджета массы ледников // Вопросы динамики и современной эволюции ледников. Сборник статей. М.: Прогресс, 1964. С. 114–125.

38. Морев А.М., Скляр Л.А., Большинский И.М., Клойзнер С.М., Водолазский В.Т., Шерсткин В.В. Внезапные разрушения почвы и прорывы метана в выработки угольных шахт. М.: Недра, 1992. 174 с.

39. Москаленко Э.М., Николин В.И. Борьба с внезапными выбросами. Учеб. пособие. Ч. II. М.: Изд-во МГИ, 1981. 94 с.

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

41. Николин В.И., Лысиков Б.А., Ярембаш И.Ф. Газоносность пород больших глубин. Донецк: Изд-во «Донбасс», 1969.

42. Остапенко Н.С. Саморазвитие экранированных гидротермальных систем и гидроразрыв в структуро- и рудообразовании (общая модель формирования гидротермальных месторождений) // Доклады Академии наук. 2005. Т. 400. № 6. С. 789–792.

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

44. Петросян А.Э., Яновская М.Ф., Иванов Б.М., Крупеня В.Г. Исследование процессов возникновения внезапных выбросов угля и газа. М.: Наука, 1978. 112 с.
45. Петухов И.М., Линьков А.М. Теоретические предпосылки предупреждения внезапных выбросов и мер борьбы с их вредными последствиями // Выбросы угля, породы и газа. Киев: Наукова думка, 1976. С. 3–18.
46. Петухов И.М., Линьков А.М. Механизм развязывания и протекания выбросов угля (породы) и газа // Основы теории внезапных выбросов угля, породы и газа. М.: Недра, 1978. С. 62–91.
47. Петухов И.М., Линьков А.М. Механика горных ударов и выбросов. М.: Недра, 1983. 280 с.
48. Покровский Г.И. Взрыв. 3-е изд. М.: Наука, 1973. 182 с.
49. Процесс схода ледника Колка 20 сентября 2002 г. / Отв. ред. В. Б. Заалишвили. Владикавказ: ВНИЦ РАН и РСО-А, 2009. 165 с.
50. 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.
51. Рототаев К.П., Ходаков В.Г., Кренке А.Н. Исследование пульсирующего ледника Колка. М.: Наука, 1983. 169 с.
52. 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.
53. Уолтхэм Т. Катастрофы: неистовая Земля. Л.: Недра, 1982. 223 с.
54. Файф У., Прайс Н., Томпсон А. Флюиды в земной коре. М.: Мир, 1981. 436 с.
55. Ходот В.В. Основные направления научного поиска в области борьбы с газодинамическими явлениями в шахтах // Вопросы теории выбросов угля, породы и газа. Киев: Наукова думка, 1973. С. 3–18.
56. Ходот В.В. Внезапные выбросы угля и газа. М.: Госгортехиздат, 1961. 363 с.
57. Шок Р. Поведение горных пород под действием больших напряжений // Механика. Новое в зарубежной науке. Вып. 26. Удар, взрыв и разрушение. Сб. статей. М.: Мир, 1981. С. 116–130.
58. Эттингер И.Л., Шульман Н.В. Распределение метана в порых ископаемых углей. М.: Наука, 1975. 112 с.
59. Wang Dong-sheng. Meitan jishu // Coal Technol. 2010. V. 29. № 10. P. 88–89.

SOME COMMON QUESTIONS OF INVESTIGATION GAS-DYNAMIC AND GAS-GLACIAL-DYNAMIC PHENOMENA

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

North-Caucasian innovation center «Sustainable development of mountain areas»,
362021, Russia, RNO-Alania, Vladikavkaz, Nikolaev street, 44,
e-mail: conf@skgmigtu.ru; GPI VSC RAS, Russia;
Geophysical Institute of VSC RAS, 362002, Vladikavkaz, Markov street, 93a,
e-mail: berger7@rambler.ru

Some aspects of investigation gas-dynamic and gas-glacial-dynamic phenomena are considered. There was a community of the many features of these phenomena, indicating a major role of gas ratio in their preparation, launch, flow and ending. The specifics of gas-glacial-dynamic phenomena is obtained.

Keywords: gas-dynamic phenomena gas-glacial-dynamics, gas-glacial-dynamic phenomena, sudden gas-dynamic emissions, catastrophic explosive directed gas-dynamic emissions of glaciers, abnormally high strata pressure of natural gases, emission hazard (gas emission hazard), Kolka glacier, Kolka catastrophe of 2002, forecast of gas emission hazard of glacier, precursors of emission

УДК 622.274

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОСТИ СКАЛЬНЫХ МАССИВОВ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ ДОБЫЧЕ РУД МЕТОДОМ ФОТОУПРУГОСТИ

© 2016 О.Г. Бурдзиева, к.г.н., В.И. Голик, д.т.н., проф.

Геофизический институт Владикавказского научного центра РАН, Россия,
362002, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а; e-mail: cgi_ras@mail.ru

Статья посвящена исследованию состояния рудовмещающих массивов, сложенных несвязанными между собой элементами дискретной среды, в которых под воздействием горных работ развиваются техногенные напряжения. Приведены результаты моделирования поведения массива при изменении параметров напряженности методом фотоупругости. Осуществлено ранжирование напряжений в рудовмещающем массиве по степени опасности разрушения от критических напряжений. Подтверждена эффективность использования геофизических методов прогнозирования поведения массивов, как инструмента природоохранной и ресурсосберегающей разработки рудных месторождений.

Ключевые слова: массив, техногенные напряжения, моделирование, фотоупругость, разрушение, геофизические методы, прогнозирование, месторождение, руда.

Введение

Разработка месторождений полезных ископаемых сопряжена с техногенным воздействием на земную кору [Бурдзиева, 2009; Бурдзиева, Заалишвили, 2009; Заалишвили и др., 2013а; 2013б]. Большие объемы перемещаемых пород и концентрация добычи на ограниченных площадях способствует формированию напряженно-деформированного состояния земной коры вплоть до ее разрушения с эффектом землетрясения [Бурдзиева и др., 2012].

Техногенная сейсмика – реакция массива на происходящие в его недрах технологические процессы. Соседство наведенных геомеханических процессов с естественными геодинамическими процессами нарушает первоначальное равновесие в верхней части земной коры, что активизирует на земной поверхности оползни, обвалы, просадку грунтов, создает условия для формирования селей и снежных лавин и т.д. [Бурдзиева, 2010; Бурдзиева и др., 2010].

Между масштабами горных работ и параметрами проявления горного давления существует корреляция. При ее определении применяют моделирование поведения горных пород в напряженном состоянии.

При добыче руды в целиках, разделяющих очистные камеры, проявляются остаточные деформации горных пород, способные привести к разубоживанию руды закладочным материалом, и возникают критические напряжения, угрожающие потерей устойчивости целиков и разрушением массива вплоть до выхода на земную поверхность.

Среди технологий подземной разработки до недавнего времени лидировали варианты с обрушением налегающих пород, обеспечивающие высокие темпы разра-

ботки при сравнительно небольших затратах. Для многих регионов эти технологии оказались неприемлемыми, так как они выводят из сельскохозяйственного оборота земли, которые являются основой продовольственной безопасности России.

Максимальная сейсмическая безопасность обеспечивается при закладке пустот твердеющими смесями. Такие технологии характеризуются хорошими показателями качества руд, но требуют высоких затрат на изготовление твердеющих закладочных смесей. Критическим звеном диверсификации производства становится обеспечение твердеющими смесями для заполнения технологических пустот.

Исследованиями состояния рудовмещающих массивов установлено, что в условиях сложного трехосного сжатия, структурные блоки слагающих массивы пород ведут себя как несвязанные между собой элементы дискретной среды. При изменении величины тензора главных напряжений в незначительных диапазонах угол внутреннего трения адекватно изменяется, что говорит о подвижности и неустойчивости массива.

Такое состояние нарушенного породного массива не отвечает требованиям надежности управления состоянием массива и делает разработку месторождений полезных ископаемых подземным способом технологически некорректной.

Устойчивость скальных массивов определяется уровнем напряжений на контуре очистных выработок. Одно из направлений повышения надежности управления массивом – заполнение пустот равнопрочным монолитным материалом, например, твердеющими смесями.

Выбор параметров твердеющей закладки в каждом конкретном случае требует обоснования, в том числе, геомеханического. Задачей такого рода исследований является определение эффективности технологии с закладкой по сравнению с базовой технологией с открытым выработанным пространством. Одним из методов решения задачи является моделирование поведения массива при изменении параметров напряженности методом фотоупругости [Зуев, 2014].

Объекты и методы исследования

Наиболее сложна отработка запасов руд, локализованных в мощных месторождениях, имеющих выход на земную поверхность. Такие месторождения нередко разрабатывают комбинированным способом, совмещая во времени и пространстве открытый и подземный способы разработки. Основным критерием совмещения является исключение развития напряжений в массивах до критических значений [Golik et al., 2015].

Методика организации исследования включала этапы:

- подбор оптически активных материалов для моделирования и низко модульного материала для имитации закладки в моделях незаложенных камер для установления механизма выхода воронки разрушения в дно карьера;

- разработка устройств, позволяющих нагружать модели под различными углами наклона главного силового вектора, что дает возможность изучать влияние рельефа местности на напряжения в зоне очистных камер и других выработок. Нагрузочные устройства позволяют создавать в моделях различные боковые распоры;

- разработка методики исследования моделей из низкомолекулярных материалов без разрушения при их нагрузке с фоторегистрацией результатов моделирования.

Модели изготавливали из оптически активного материала – полиуретана с це-

ной 1 полосы 7,6 МПа на одну полосу для условий: глубина заложения выработки от дневной поверхности 350 м, объемный вес налегающих пород 3,02 т/м³. Для измерения нормального напряжения на контуре выработки σ_1 или σ_2 достаточно номер порядка полосы умножить на цену полосы. Для выявления устойчивости заданной точки контура анализируется условие прочности:

$$\sigma_1 - \sigma_2 \geq \sin\delta(\sigma_1 + \sigma_2) + \sigma_{сж} + (1 - \sin\delta),$$

где σ_1, σ_2 – напряжения в точке контура; δ – угол внутреннего трения, 30°; $\sigma_{сж}$ – прочность породы, 1400-1600 МПа при коэффициенте крепости пород 14-16 по Протодьяконову.

Нагрузку моделей производили с учетом коэффициентами бокового распора, что учитывает природные и техногенные особенности залегания месторождений. Так, Тырнаузское месторождение находится в зоне активности системы Эльбруса.

Бока камер испытывают влияние естественных напряжений массива, особенно при соотношении высоты камеры к ее ширине, превышающем 1 (в модели это соотношение принято 70/35=2). На контуре выработки одно из главных напряжений, нормальное к контуру, равно нулю, а другое, касательное к контуру, оценивается количественно.

Напряжения измерены в проекции на вертикальную плоскость и вертикальном разрезе камеры.

Напряжение в натуре:

$$G_H = \gamma H \frac{G_H}{\sigma_E},$$

где γ – плотность руды и вмещающих пород, т/м³; H – глубина залегания точки от дневной поверхности, м.; σ_E – напряжение в модели.

Для определения напряжений в любой точке модели используется выражение:

$$\sigma_M = \sigma^{1.0} \times n,$$

где $\sigma^{1.0} = 0,1$ кгс/см² на одну полосу; n – номер полосы в интересующей точке модели.

В характерных точках модели цифрами указаны номера полос.

Для получения напряжений в модели и в натуре используется выражение:

$$G_H = \gamma H \frac{G_M}{k},$$

где G_H – напряжение в натуре, МПа; G_M – напряжение в модели, МПа; k – коэффициент подобия; γ – плотность руды и пород, кг/м³; H – глубина залегания точки от дневной поверхности.

Исследовали состояние массива при условии:

- боковой распор 0,5; 1,0; 1,5;
- угол наклона главного силового вектора к вертикальной оси $\alpha = 0$ при каждом

значении бокового распора;

- модуль закладки $E = 0,1$ МПа, вмещающих пород – 1,4 МПа;
- камеры без закладки и с закладкой.

Анализ нормальных растягивающих или сжимающих напряжений выполняется для свободного контура выработки. На поле изохром в этих местах одно из максимальных напряжений, нормальное к контуру, равно нулю, другое, касательное к контуру, равно номеру полосы, умноженному на цену полосы.

При моделировании состояния выемочных камер без закладки пустот преследуется цель – получить максимальные значения напряжений для обеспечения безопасности совместной разработки. Такой подход правомерен, так как на ряде месторождений заложенная сухой закладкой камера при кусковатости до 200 мм может образовать полость высотой около 25 м, т.е. 30% высоты камеры, что грозит опасностью [Амвросов, 2014].

Результаты исследований

Исследованные варианты управления массивом характеризуются величиной напряжений, измеренных в двух направлениях: камеры и междукамерный целик опытного блока и на вертикальном разрезе камеры.

При коэффициенте бокового распора $\lambda = 0,5$ (рис. 1) максимальные напряжения в зонах замков свода и стенках камер равны $7,6 \times 7,5 = 57$ МПа, а вершине свода потолочины $7,6 \times 2 = 15$ МПа.

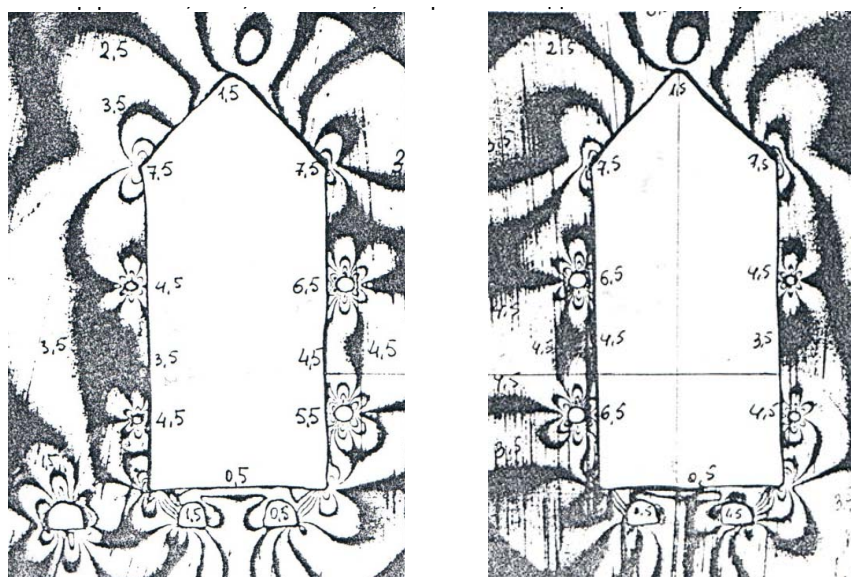


Рис. 1. Поля изохром при коэффициенте бокового распора 0,5:
слева – открытая камера; справа – заложенная камера

В междукамерном целике максимальные сжимающие напряжения: $7,6 \times 6,5 = 49$ МПа.

При коэффициенте бокового распора $\lambda = 1,0$ в зонах замков свода, потолочине и стенках камеры (рис. 2) напряжения составляют: $7,6 \times 6,5 = 49$ МПа. Такие же напряжения и в своде потолочины камеры. В междукамерном целике (МКЦ) макси-

мальные напряжения снижаются: $7,6 \times 5,5 = 42$ МПа.

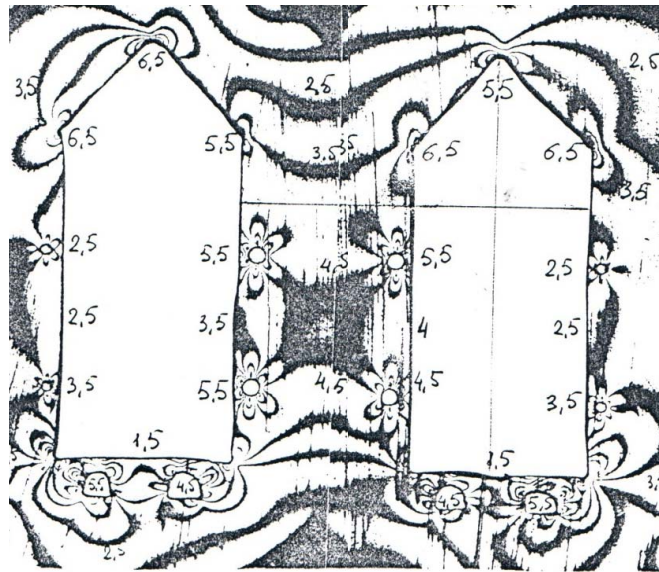


Рис. 2. Поля изохром при коэффициенте бокового распора 1,0: слева – открытая камера; справа – заложенная камера

При коэффициенте бокового распора $\lambda = 1,5$ в зонах замков свода потолочины и стенки камеры (рис. 3) напряжения составляют $7,6 \times 6,5 = 49$ МПа, а в своде потолочины до $7,6 \times 8,5 = 64$ МПа против 15 при коэффициенте бокового распоре 0,5.

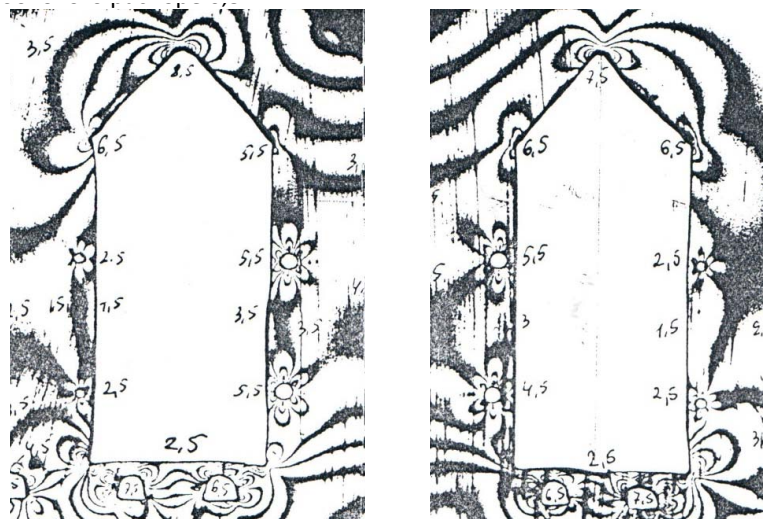


Рис. 3. Поля изохром при коэффициенте бокового распора 1,5: слева – открытая камера; справа – заложенная камера

Характерными зонами максимальных напряжений являются свод потолочины и днище. Измеренные напряжения составили:

- при коэффициенте бокового распора $\lambda = 0,5$ $7,6 \times 5,5 = 41$ МПа;
- при коэффициенте бокового распора $\lambda = 1,0$ $7,6 \times 13,5 = 102$ МПа;
- при коэффициенте бокового распора $\lambda = 1,5$ $7,6 \times 18,5 = 140$ МПа.

Максимальные напряжения развиваются при коэффициенте бокового распора 1,5. На этом основании можно утверждать, что конфигурация выемочных полостей

важна при выборе наиболее безопасных условий их эксплуатации.

Это подтверждает проверка по условию прочности в зоне максимального напряжения при $\sigma_{ср} = 140$ МПа при коэффициенте прочности по Протодыяконову 14:
 $1400 = \sin 30^\circ \times 1400 + 1400 \times (1 - \sin 30)$

Такие напряжения могут привести к разрушению массива.

В табл. 1 приведены количественные значения измеренных напряжений на контурах камеры и в замках потолочины.

Таблица 1

Напряжения в элементах геомеханической системы, МПа

Коэффициент распора	Открытое выработанное пространство	Заложено твердеющей смесью
потолочина блока		
0,5	3	2
1,0	7	5
1,5	13	9
левый замок свода		
0,5	5	6
1,0	4	5
1,5	3	4
правый замок свода		
0,5	5	5
1,0	5,5	6,5
1,5	6	8

Моделировали состояние двух очистных камер без закладки и одной камеры с закладкой. На рис. 4 изображены поля напряжений в массиве в зоне свода пород над очистной камерой.

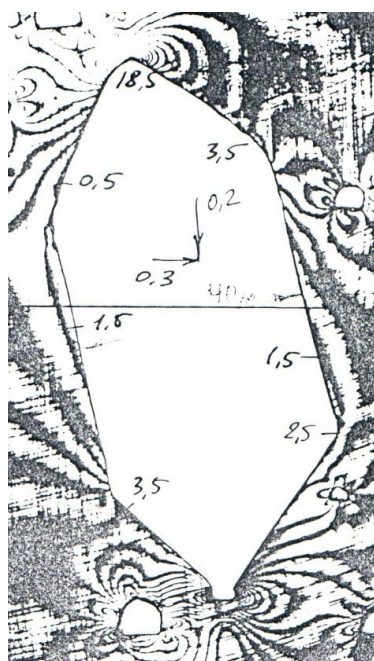


Рис. 4. Изохромы напряжений в своде очистной камеры

Обсуждение результатов

Количественные параметры сейсмического действия горных работ устанавливаются на основании закономерностей распространения сейсмических колебаний по допустимой скорости смещения (табл. 2).

Таблица 2

Допустимая скорость смещения сооружений для основных типов пород

Наименование горных пород	Скорость продольных волн, м/с*10 ³	Допустимая скорость смещения для сооружений по классам, см/с			
		I	II	III	IV
Рыхлообломочные отложения и наносы	1-2	4	8	12	20
Сильно трещиноватые с глиной и высокой пористостью	2-3	7	14	20	34
Скальные с естественной трещиноватостью	3-4	10	19	30	47
Относительно монолитные с отдельными трещинами	4-5	12	25	37	60
Монолитные, слабо-трещиноватые	5-6	15	30	45	75
Очень крепкие и монолитные без трещин	6-7	18	35	53	90

Наиболее эффективным методом управления параметрами сейсмических волн является изменение параметров поля напряжений путем заполнения техногенных пустот твердеющими смесями. Это сопряжено с повышенными затратами, поэтому в каждом конкретном случае обосновывается исследованиями [Голик и др., 2014].

Сейсмическое действие горных работ на сооружения оценивают по допустимой скорости колебаний, при которой сохранность сооружений гарантирована, а локальные деформации не превышают прогнозируемые. При возбуждении в массиве пород скорости колебаний выше допустимой величины сохранность зданий или сооружений не гарантируется. Критической считается такая скорость колебаний, выше которой сохранность сооружений реализуется с вероятностью менее 0,5 [Ляшенко, Кислый, 2015].

Допустимая деформация горных пород в пределах упругости устанавливается в соответствии с классификацией защищаемых сооружений по их ответственности и сроку эксплуатации (табл. 3).

Таблица 3

Допустимая деформация земной поверхности

Класс	Характеристика сооружений и срок эксплуатации	Срок службы	Допустимая деформация	Уровень надежности	Коэффициент надежности
I	Особо ответственные сооружения: стволы шахт, капитальные штольни, камеры водоотлива, ЦПП, руддворы	≥20	0,0001	0,99	1,52
II	Ответственные сооружения со сроком эксплуатации более 5-10 лет: целики, капитальные квершлагги, борты и уступы карьеров	10÷12	0,0002	0,94	1,44
III	Кратковременно эксплуатируемые сооружения (от 1 до 5 лет): камеры, уступы, штреки	5÷7	0,0003	0,89	1,36
IV	Неответственные сооружения со сроком эксплуатации до 1 года	1÷3	0,0005	0,84	1,3

Приемлемые скорости смещения: 1 см/с – для нарушенных зданий и комфортного проживания населения, 3 см/с – для жилых зданий, находящихся в хорошем состоянии, 5 см/с – для сохранения водного объекта.

Сейсмически безопасная технология включает элементы [Никитин и др., 2012]:

- сейсмические сотрясения не должны превышать допустимые пределы скорости смещения: для зданий в хорошем состоянии – 3,0 см/с; в удовлетворительном – 2,0 см/с; в неудовлетворительном и ветхом – 1,0 см/с;

- очистные блоки располагают так, чтобы ветхие здания на поверхности находились по отношению к плоскости сейсмических волн или с фронтальной стороны, или с фланга;

- экранирование сейсмозрывных волн при отбойке руд;

- ограничение массы заряда на одновременное взрывание;

- обеспечение интервала замедления между взрывами.

Выводы

Исследование моделей из низкомолекулярных материалов с фоторегистрацией результатов моделирования позволяет оценить уровень техногенных напряжений и позволяет оптимизировать параметры горных работ по фактору сохранения земной поверхности от разрушения.

По результатам исследований возможно ранжирование напряжений в окрестностях очистных выработок и рудовмещающем массиве по степени опасности разрушения:

1. Наиболее напряжены потолочины и днища камер.

2. Закладка камер снижает уровень напряжений до 2 раз.

3. При вариантах без закладки в зоне междукамерного целика концентрация напряжений близка к критической, поэтому излечение целиков опасно деформацией массива вплоть до разрушения массива и земной поверхности над ним.

Геофизические методы прогнозирования поведения массивов в условиях развития техногенных напряжений являются инструментом природоохранной и ресурсосберегающей разработки рудных месторождений подземным и комбинированным способом.

Литература

1. Амвросов А.Ф. Мониторинг опасных геологических процессов при недропользовании. ГИАБ. 2014. №7. С.45-50.

2. Бурдзиева О.Г. Механизм влияния хвостов обогащения на окружающую среду // В сборнике: Сейсмическая опасность и управление сейсмическим риском на Кавказе. Труды III Кавказской международной школы-семинара молодых ученых. Центр геофизических исследований ВНИЦ РАН и РСО-А; под ред.: Николаев А.В., Заалишвили В.Б.. 2009. С. 361-365.

3. Бурдзиева О.Г., Заалишвили В.Б. Исследование влияния хвостохранилища на окружающую среду в условиях высокой сейсмической опасности // В сборнике: Сейсмическая опасность и управление сейсмическим риском на Кавказе. Труды III Кавказской международной школы-семинара молодых ученых. Центр геофизических исследований ВНИЦ РАН и РСО-А; под ред.: Николаев А.В., Заалишвили В.Б.. 2009. С. 355-360

4. Бурдзиева О.Г. Рациональное недропользование в регионе РСО – Алания (проблемы и пути их решения) // Уголь. 2010. № 7 (1011). С. 70-71
5. Бурдзиева О.Г., Шевченко Е.В., Ермишина Е.Б. Механизм возникновения техногенных катастроф под влиянием горного производства // В сборнике: Опасные природные и техногенные геологические процессы на горных и предгорных территориях Северного Кавказа. Труды Центра геофизических исследований; под ред. Заалишвили В.Б. 2010. С. 157-161.
6. 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
7. Голик В.И., Заалишвили В.Б., Бурдзиева О.Г. Геофизический мониторинг подземной разработки месторождений. М.ГИАБ. 2014. №2. С.34-39.
8. Заалишвили В.Б., Бериев О.Г., Бурдзиева О.Г., Закс Т.В., Кануков А.С. Онкозаболеваемость населения г. Владикавказа и его взаимосвязь с различными факторами // Геология и геофизика Юга России. 2013а. № 3. С. 29-38.
9. Заалишвили В.Б., Бекузарова С.А., Бурдзиева О.Г. Оценка техногенного загрязнения территории // В сборнике: Сейсмическая опасность и управление сейсмическим риском на Кавказе. Труды V Кавказской международной школы-семинара молодых ученых; под ред. В. Б. Заалишвили. 2013б. С. 353-355
10. Зуев Б.Ю. Физическое моделирование геомеханических процессов в блочно-иерархических массивах на основе единого комплексного условия подобия. ГИАБ. М. 2014. №4. С.67-73.
11. Ляшенко В.И., Кислый П.А. Обоснование сейсмобезопасных параметров взрывов при подземной разработке приповерхностных запасов месторождения под городской застройкой // Известия вузов. Горный журнал. 2015. №2. С.54-93.
12. Никитин Р.Я., Васильев А.В., Хон В.И., Черных Е.Н. Сейсмометрические исследования воздействия массовых взрывов в карьере на охраняемые объекты рудника «Интернациональный». М. Горный журнал. 2012. №2. С.79-85.
13. Golik V., Komashchenko V., Morkun V. Geomechanical terms of use of the mill tailings for preparation. Metallurgical and Mining Industry, 2015, No.4. pp. 321-324.

SIMULATION OF TENSION ROCKYMASSIF FTUNDERDGOUNDEXTRACTION OF ORESPHOTOELASTICITY METHOD

**© 2016 O.G. Burdzieva, Sc. Candidate (Geog.), V.I. Golik,
Sc. Doctor (Tech.), prof.**

Geophysical Institute of Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of
Sciences; e-mail: cgi_ras@mail.ru

The article investigates the state of the ore-bearing massifs composed unrelated elementami discrete medium in which under the influence of mining activities are develop-

ing man-made stress. The results of the simulation of the behavior of the array when you change the parameters of tension metodomphotoelasticity. Implemented rankings stresses in the ore-hosting an array of the degree of danger of destruction of critical stress. It confirmed the effectiveness of use of geophysical methods for predicting the behavior of arrays, as a tool for environmental protection and resource development of ore deposits.

Keywords: solid, man-made stress modeling, photoelasticity, destruction, geophysical methods, forecasting, deposit, ore.

УДК 550.34 +538.951

МЕХАНИЗМЫ ФОРМИРОВАНИЯ НЕЛИНЕЙНО-НЕУПРУГИХ ЯВЛЕНИЙ ОБУСЛОВЛЕННЫХ НАНО-РАЗМЕРНЫМИ ЧАСТИЦАМИ СРЕДЫ ПРИ ИНТЕНСИВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

© 2016 В.Б. Заалишвили¹, д.ф.-м.н., проф., Т.Т. Магкоев^{1,2}, д.ф.-м.н., проф.,
Д.А. Мельков¹, к.т.н., Ф.С. Морозов¹

¹Геофизический институт Владикавказского научного центра РАН, Россия,
362002, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: cgi_ras@mail.ru;

²Северо-Осетинский Государственный университет им. К.Л. Хетагурова, Россия
362025, г. Владикавказ, ул. Ватутина, 44-46

В работе проведено сравнительное исследование характера механического отклика двух материалов – алмаза и кварца – на воздействие острия нанометрового размера с помощью атомно-силового микроскопа NTegra-Aura (NT-MDT). Описана связь нелинейно-неупругих явлений в грунтах, выражающихся в высокочастотном сейсмическом излучении в ближней зоне, изменении площади спектра колебаний, бимодальностью и постоянной составляющей поля смещений, с особенностями строения сред на атомном уровне и характером межатомного и межмолекулярного взаимодействия.

Ключевые слова: нелинейность, неупругость, дислокации, грунт, сканирующий зондовый микроскоп (СЗМ)

Рассмотрим особенности поведения грунтов различной плотности при внешних интенсивных воздействиях, в том числе, сейсмических. Так как грунт в зависимости от его вида и физического состояния подвержен в той или иной степени пластической деформации, способной поглощать упругую энергию при землетрясении, то интересен вопрос о ее природе на микроскопическом уровне.

Пластическую деформацию осуществляют особые дефекты – дислокации – линейные дефекты кристаллической решетки (атомные ряды). Дислокации изначально существуют в любых материалах и при приложенных нагрузках изменяют его свойства. Дислокации влияют почти на все макроскопические свойства материала – вязкость, электросопротивление, магнитные качества. Если бы не существовало этих дефектов, то для деформирования материала нужно было бы приложить напряжения, равные теоретической прочности. Коль скоро реальные напряжения деформирования незначительны, то должен существовать какой-то концентратор, сосредотачивающий приложенное усилие в небольшой части материала.

Процесс пластической деформации, предвещающий разрушение, можно представить как соскальзывание одного слоя атома по другому, подобно тому, как сдвигается стопка листов чистой бумаги. Из-за того, что процесс этот идет одновременно по всей плоскости листа, то вынужденно рвутся межатомные связи сразу между всеми атомами по обе стороны плоскости скольжения. Между слоями бумаги силы притяжения ничтожно малы. Но между слоями атомов они велики. Поэтому попытка сдвинуть два атомных слоя – один по отношению к другому – хотя и возможна, но потребует очень большого усилия. Это есть так называемая теоретическая прочность материала. В.М. Финкель пересчитал это усилие на привычные нам напряжения и оказалось, что прочность в этом случае достигает очень больших

значений, превышающих обычные в 1000 раз [Финкель, 1989]. Если дислокация неподвижна, то пластической деформации быть не может. Когда множество дислокаций сплетаются, они мешают друг другу двигаться, делая материал сопротивляющимся пластической деформации, то есть более прочным. Следовательно, избыток дислокаций ведет к подавлению пластичности. Размеры дислокаций – длина в несколько миллиметров (сантиметров), а толщина в один атом (стоимиллионные доли сантиметра).

Таким образом, те или иные проявления материала при внешних сейсмических воздействиях определяются особенностями его строения на атомном уровне и характером межатомного и межмолекулярного взаимодействия. В связи с этим, в настоящей работе проведено сравнительное исследование характера механического отклика двух материалов – алмаза и кварца – на воздействие острия нанометрового размера с помощью атомно-силового микроскопа NTegra-Aura (NT-MDT) (рис. 1).

Это сканирующий зондовый микроскоп (СЗМ) для работы в условиях контролируемой атмосферы или низкого вакуума. В вакууме повышается добротность колебаний кантилевера, а значит, увеличивается чувствительность, надежность и достоверность в измерениях слабых сил между зондом и образцом. При этом переход от атмосферного давления к вакууму 10^{-2} Торр обеспечивает почти десятикратное возрастание добротности. При дальнейшем увеличении вакуума величина добротности быстро выходит на плато и изменяется минимально. [Заалишвили, Тотиева-Туева, 2010; Grigorkina et al, 2016]/



Рис. 1. Зондовая нанолaborатория NTegra-Aura (NT-MDT)

Прибор оснащен емкостными датчиками обратной связи по всем трем координатным осям, оптикой с разрешением до 1 мкм и возможностью проведения измерений в более чем 40 методиках. В частности, он позволяет нанотопографическое построение рельефа поверхности и распределения локальных напряжений. Зависимость частоты колебаний острия от его местоположения определяет локальный модуль Юнга материала в области единиц нанометров.

Примечательно то, что даже при относительно небольших воздействиях острия на кварц появляются линейные дислокации, напряжения и трещины вдоль соответствующих кристаллографических направлений кристалла SiO_2 , а именно (100) и (110) (рис. 2). В алмазе подобного не наблюдалось. Излом кварца следует ожидать именно вдоль наблюдаемых линий. Это означает, что даже незначительное локальное воздействие, но в нужном направлении, может привести к разрушению объекта.

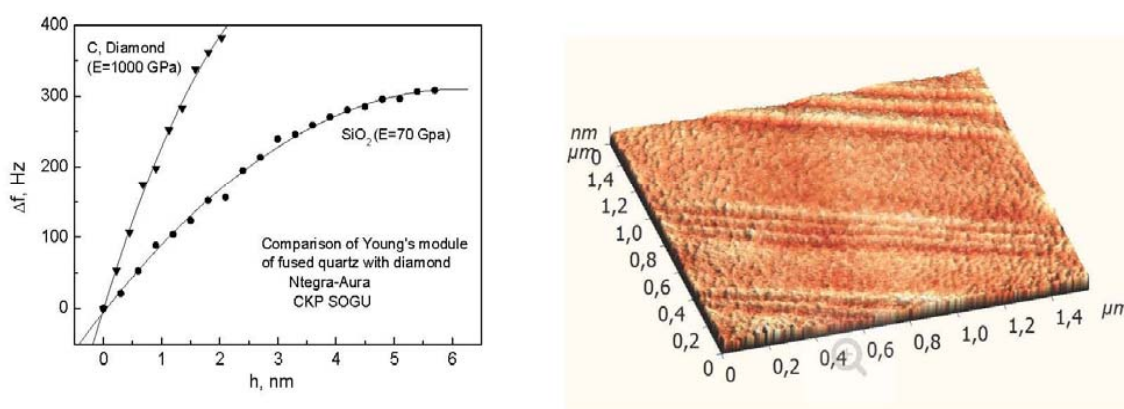


Рис. 2. Величины модуля Юнга для кварца и алмаза и микротопография поверхности кварца после воздействия острия СЗМ радиуса закругления 10 нм

В связи с этим, при строительстве сооружений для повышения сейсмостойчивости материалов конструкции следует перемешивать направления кристаллографических плоскостей соответствующего материала.

Внутренние остаточные напряжения, которые «хранит» в себе среда, нередко являются источниками возникновения трещин и, следовательно, внезапных непредвиденных разрушений. На этом этапе разрушения преобладает пластическая деформация, которая излучает высокочастотные колебания и сопровождается дальнейшее развитие трещины. Волны в скальном грунте подчиняются принципу суперпозиции и заставляют трещину подчиниться ему. В рыхлых грунтах проявляются нелинейные свойства, и волны различной природы взаимодействуют друг с другом. Здесь трудно заранее предсказать траекторию трещины, а значит, и саморазрушение.

Любое разрушение сопровождается акустическим излучением. Среди объектов неживой природы, способных испускать звук, трещина обладает едва ли не самым высокочастотным звучанием. Это связано с тем, что разрушение – процесс, в котором одновременно происходят упругая и пластическая деформации. Сложное их сочетание сопутствует всем этапам развития явления при зарождении трещины, продвижении и после разрыва. Естественно, что все стадии сопровождаются сложным взаимодействием волновых процессов. Услышать трещину невозможно, поскольку основной тон звучания трещины лежит в ультразвуковой области.

В 1987 г. В.Б. Заалишвили изучалось поведение слабых грунтов (искусственная глинистая насыпь мощностью 40 м, составляющая новую объездную дорогу в г. Тбилиси) при больших динамических нагрузках. Датчики находились на глубинах 1,0 м и 5,0 м. На поверхность толщи производилось импульсное воздействие движущейся частью скрепера. На сейсмограмме (рис. 3) хорошо виден преобладающий пик высокой частоты (ВЧ), который с глубиной быстро затухает.

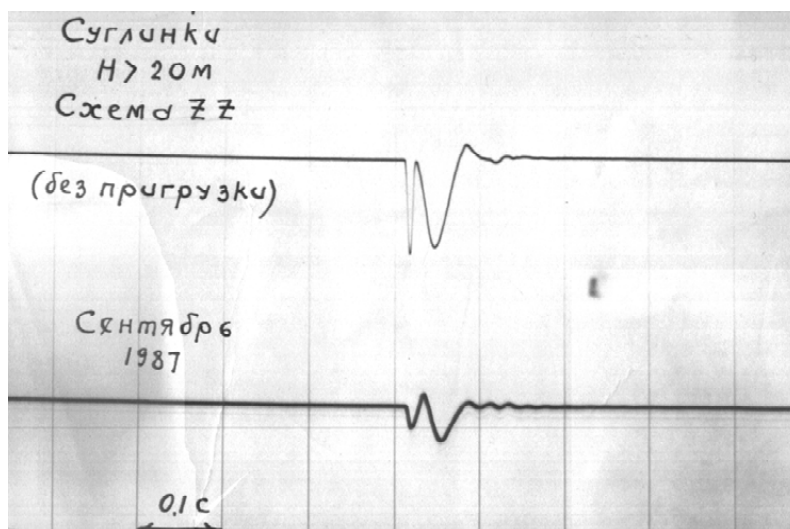


Рис. 3. Нелинейные явления в слабых грунтах при интенсивных нагрузках

В 2005 году аппарат Гюйгенс Европейского космического агентства сел на поверхность спутника Сатурна Титан. Данные акселерометра и пенетрометра позволили определить характер поверхности, на которую опустился зонд. Она оказалась не твердой и не слишком мягкой. То есть это не лед, но и не толстый слой осевшего аэрозоля. По механическим свойствам поверхность напоминает мягкую глину, слегка утрамбованный снег или песок. Титан больше похож на Землю, чем любое другое тело в Солнечной системе, несмотря на огромные отличия в температурных и других климатических условиях. Роль воды в гидрологическом цикле на Титане исполняют метан и этан – они выпадают в виде дождя и снега.

Акустические данные, полученные на последних 90 м полета, показали, что подстилающая поверхность относительно ровная, но не совершенно гладкая. После посадки аппарат зарегистрировал признаки испарения метана. Это говорит о том, что почва могла быть пропитана метаном. Например, это могло оказаться побережье метанового моря или реки. Впрочем, данные не противоречат возможности, что поверхность состоит из очень мелкого, но сухого песка. Пока окончательно выбрать между этими вариантами нельзя, поскольку анализ наличия в почве жидкости еще не завершен.

Анализ соответствующей сейсмограммы (рис. 4) показывает, что и здесь наблюдается излучение ВЧ составляющей в начале процесса деформирования. Это позволяет предположить, что по аналогии с предыдущей сейсмограммой (рис.3) грунт участка, несомненно, весьма непрочен и должен быть сформирован рыхлыми грунтами или грунтами значительно флюидонасыщенными (мягкая глина, слегка утрамбованный снег или песок).

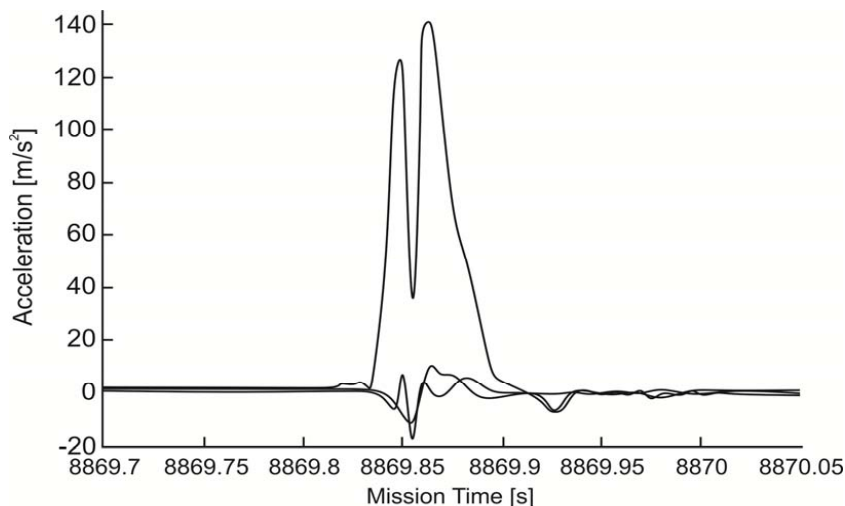


Рис. 4. Данные акселерометра зонда «Гюйгенс» при посадке на поверхность Титана. Скорость в момент посадки составляла 4,6 м/с [сайт www.esa.int]: по горизонтальной оси – время в секундах от включения зонда, а по вертикальной – ускорение

При импульсном воздействии на поверхность толщи песков (Воронеж) в ближней зоне мощного источника ГСК-6М появилась ВЧ область, с расстоянием быстро затухающая (рис. 5).

В основе формирования ВЧ излучения лежат явления, проявляющиеся, несомненно, хотя бы на молекулярном уровне. При интенсивных воздействиях среда переходит в напряженно-деформированное состояние. Состояние это не только внешнее проявление реакции вещества (среды), а интегральный результат колебаний молекул около положения равновесия. При этом, амплитуда колебаний прямо пропорциональна температуре среды, которая будет расти по мере увеличения уровня воздействия. В связи с этим еще раз отметим, что размеры дислокаций – длина в несколько миллиметров (сантиметров), а толщина в один атом (стоимиллионные доли сантиметра).

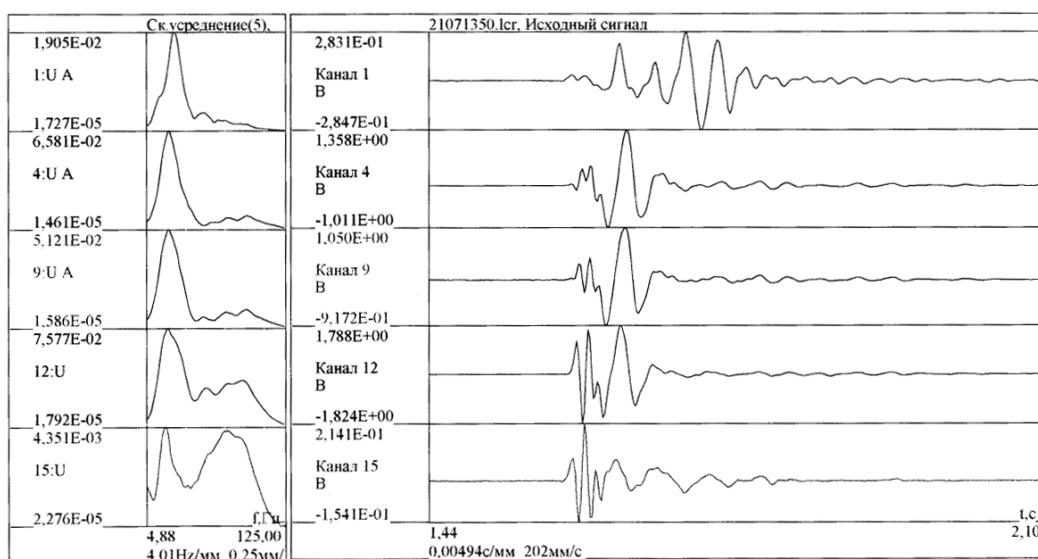


Рис. 5. Появление значительной ВЧ составляющей в ближней зоне мощного невзрывного импульсного источника ГСК- 6М

Площадь реального спектра колебаний – важный показатель нелинейного поведения грунта при различных уровнях воздействия. Она представляет собой надежный индикатор физического состояния среды и характеризует ее деформируемость или степень отклонения ее поведения от линейно-упругого закона Гука. По результатам исследований сильных землетрясений, полученных с помощью системы SMART1 значительная нелинейность на графиках проявляется, начиная с ускорений $a = 0,1g$ (рис. 6). В связи с тем, что значительная нелинейность проявляется для величин ускорений порядка $0,1g$, именно для таких уровней воздействий, несомненно, следует ожидать ВЧ излучение, которое быстро затухает при удалении от источника и, поэтому, не регистрируется при сильных землетрясениях.

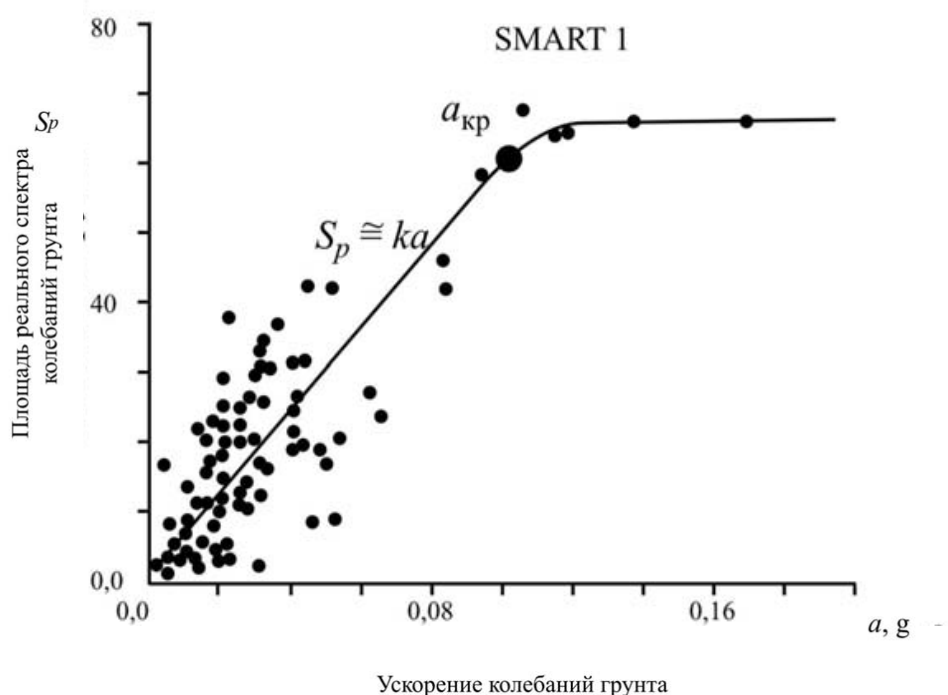


Рис. 6. Зависимость площади реального спектра колебаний от ускорения (Тайвань)

При ускорениях, достигающих значений $a = 0,1g$, начинается «излом» кривой зависимости площади реального спектра от ускорения для ст. Земобари (рис. 7б), расположенной на рыхлых грунтах. На скальных грунтах указанное явление отсутствует (рис. 7а). Поглощение при малом уровне воздействия по мере увеличения последнего растет линейно до ускорения $a = 0,08-0,1g$, далее стремительно уменьшается и при ускорении $a > 0,2g$ поглощение вновь начинает увеличиваться, характеризуя тем самым переход физической системы в новое напряженно-деформированное состояние.

Вся теория колебаний, построенная на законе Гука, является приближенной, поскольку в ее основе лежит разложение упругой энергии в ряд по степеням тензора деформации, причем оставляются члены до второго порядка включительно [Ландау, Лифшиц, 1987]. Соответственно компоненты тензора деформации и уравнения движения – линейны. При переходе к следующим приближениям линейные свойства исчезают, возникают ангармонические эффекты – это геометрическая не-

линейность. Эффекты следующих приближений хотя и являются малыми, но в некоторых случаях могут играть основную роль. Эффекты ангармоничности третьего порядка приводят к тому, что на совокупность основных монохроматических волн с частотами ω_1 и ω_2 накладываются некоторые «волны» слабой интенсивности с комбинационными частотами $\omega_1 \pm \omega_2$. Другой тип нелинейности физический – выражается в нелинейности связи «напряжение-деформация».

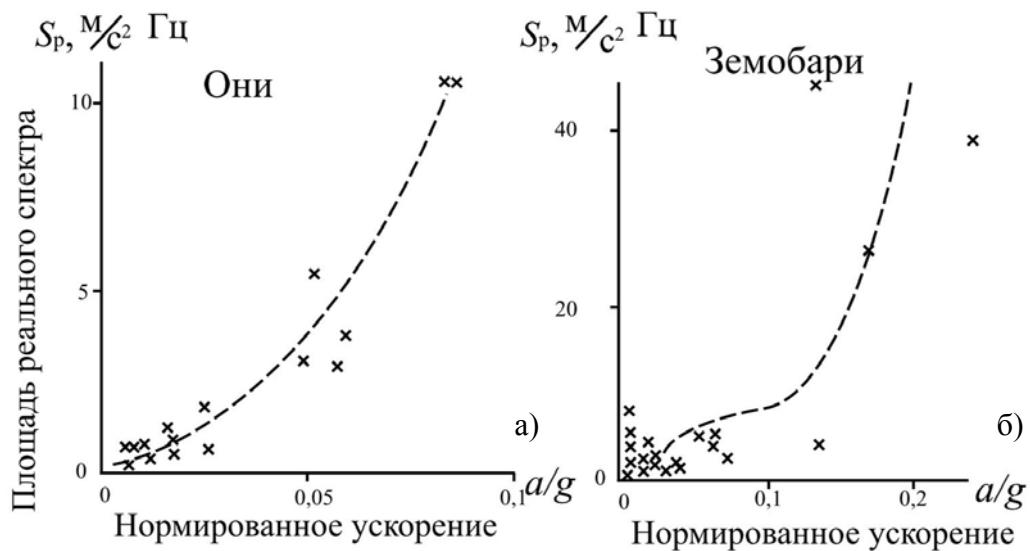


Рис. 7. Зависимость площади реального спектра колебаний от ускорения, *СМАСН (Грузия, 1991)*

При интенсивных нагрузках, когда наблюдается увеличение поглощения сейсмической энергии, рассматриваемые процессы уже не могут предполагаться изотермическими. Если предположить процессы адиабатическими (т.е. без теплообмена с другими участками среды), то упругие «константы» становятся зависимыми от температуры [Ландау, Лифшиц, 1987].

Тепловое движение заставляет ионы решетки колебаться вокруг своих положений равновесия. Удерживающими силами являются силы химической связи. Все упругие свойства, сжимаемость и распространение сейсмических волн определяются этими свойствами. Причем эти свойства, обычно описываются в рамках континуальной теории, в которой не учитывается атомная структура [Маделунг, 1980]. Континуальное приближение соответствует фонному спектру, взятому при волновом векторе $K \rightarrow 0$ ($\lambda \rightarrow \infty$), и также называется «длинноволновым приближением». Рассмотрение процессов на более детальном уровне должно дать ответы на многие вопросы и, в частности, увеличение поглощения сейсмической энергии с увеличением интенсивности воздействия (рис. 5-6), представляющее собой не что иное как переход энергии в «тепловой диапазон».

Для простоты рассмотрим потенциал Леннарда Джонса (рис. 8), обычно применяемый для описания простейших молекулярных кристаллов [Ашкрофт, Мерлин, 1979]:

$$\phi(r) = -\frac{A}{r^6} + \frac{B}{r^{12}}, \quad (1)$$

где A и B – положительные коэффициенты, r – расстояние между атомами.

Таким образом на больших расстояниях потенциал является «притягивающим», а на малых расстояниях «сильно отталкивающим» (показатель степени выбран равным 12 из соображения удобства вычислений и требования, чтобы это число было больше 6).

Особенности потенциала взаимодействия атомов и молекул вещества также объясняют известное явление «бимодульности», т.е. различного вида зависимости напряжений от деформаций при сжатии и растяжении [Заалишвили, 2009].

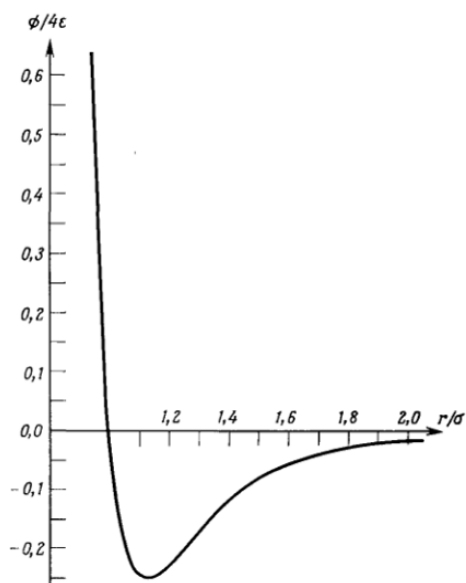


Рис. 8. Потенциал Леннарда-Джонса [Ашкрофт, Мерлин, 1979].

Особое место среди нелинейных эффектов занимает возникновение постоянной составляющей поля смещений грунта в зоне интенсивных динамических воздействий [Заалишвили, 2000]. Из-за ярко выраженной нелинейной связи напряжение–деформация на границе полупространства имеет место неодинаковость фаз разрежения и сжатия. Это выражается в возникновении т.н. сейсморадиационной силы, приводящей к характерному приподнятию грунта. Исследования показали, что при воздействии вибрационного источника на грунт в нем создается постоянная составляющая, которая может быть измерена по величине наклона поверхности толщи, который уменьшается с удалением от источника (рис. 9).

Изменение интенсивности воздействия также существенно изменяет величину наклона (рис. 10). И, наконец, эффект непосредственно зависит от литологического состава грунта. Более слабым грунтам соответствуют более высокие значения угла наклона, т.е. если для более плотных (скальных) грунтов изменение давления в цилиндре вибратора приводит к еле заметному эффекту, то для более рыхлых – он весьма ощутим. При максимальном давлении системы гидроцилиндра (180 атм) для песка и асфальта, перекрывающего указанный песок, грунтовые разрежения весьма резко увеличиваются.

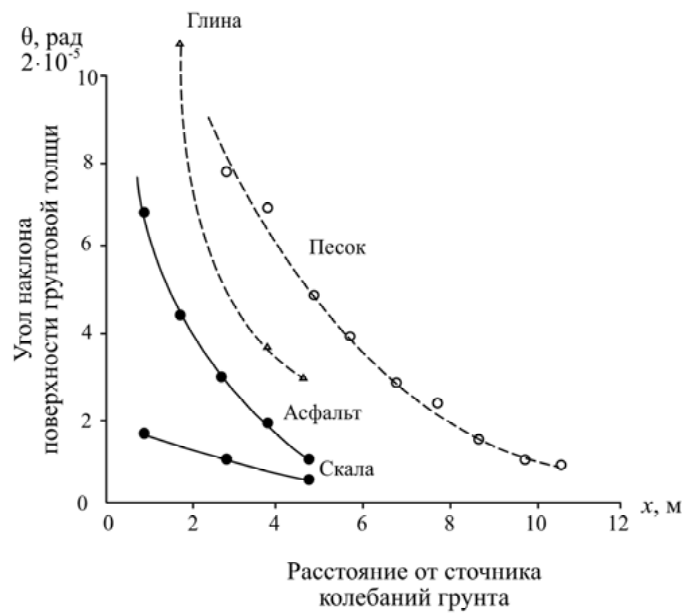


Рис. 9. Зависимость наклона грунта от расстояния до источника (с. Узнож, Белоруссия, 1992; г. Дедоплисакаро, Грузия, 1992)

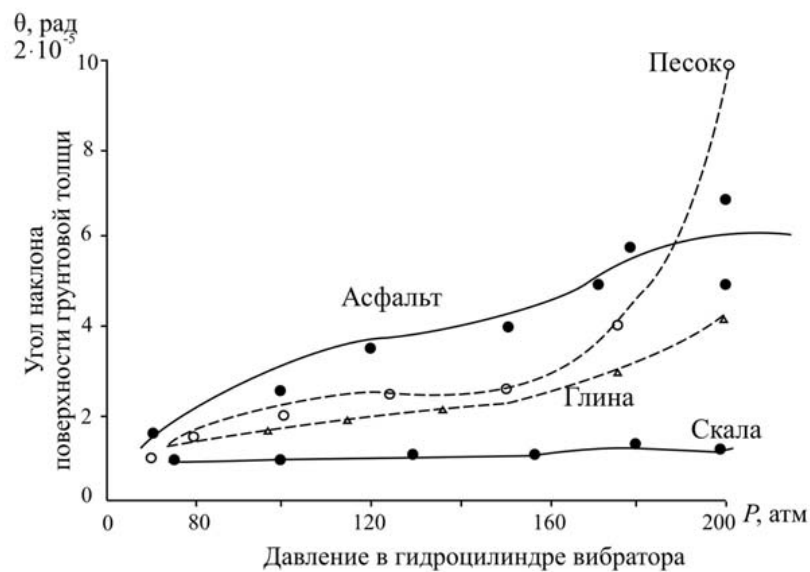


Рис. 10. Влияние давления в гидроцилиндре вибратора на «сейсморадиационный» эффект наклона грунта от расстояния до источника (с. Узнож, Белоруссия, 1992; г. Дедоплисакаро, Грузия, 1992)

Дисперсность означает, что грунт состоит из отдельных частиц различной крупности, либо не связанных между собой, либо связанных, но с прочностью связей намного меньшей прочности самих частиц грунта. Между частицами имеются поры, которые могут быть заполнены либо газом, либо жидкостью. Структурированная вода, как показывают результаты экспериментальных исследований, существенно влияет на различные свойства строительных материалов [Родионов, 2006]. Структура воды и её свойства определяются взаимосвязями и формой кластеров, в которые объединяются атомы воды под влиянием внешних активирующих воз-

действий. По размерам атома (0,3 нм) и кластеров воды (несколько нм) технологии использования структурированной воды следует отнести к классу нанотехнологий.

Дисперсные горные породы являются специфической средой распространения сейсмических волн. Этот факт недостаточно учитывается современной сейсмологией. Между тем практическое значение этого вопроса велико, т.к. грунтами основаниями зданий и сооружений по большей части являются дисперсные породы [Кригер и др., 1994].

Физико-химические и сейсмоакустические процессы в дисперсных породах взаимодействуют. Упругие волны могут вызывать физико-химические процессы. Поэтому сейсмические характеристики дисперсных пород и интенсивность сейсмических эффектов в них в значительной мере зависят не только от состава пород, но и изменяющейся термодинамической обстановки.

Кристаллическая решетка твердых частиц грунта образована химическими элементами – ионами, несущими тот или иной электрический заряд. Внутри кристаллической решетки заряды ионов различных знаков уравниваются, а на поверхности твердой частицы ионы уравниваются только частично. Таким образом, такая частица не является нейтральной и ведет себя как заряженное тело. Теоретически заряд должен распространяться по всей поверхности частицы одинаково, однако, как отмечает С.С. Вялов [1978], базальные плоскости глинистых частиц заряжены отрицательно, а кромки (торцы) – положительно.

Обычно при диаметре зерен $> 0,1$ мм влияние структуры дисперсных пород на их сейсмические свойства выражены слабо [Кригер и др., 1994], такой крупности соответствуют мелкие пески. Пылеватые частицы (пылеватые пески) имеют размер частиц 0,05–0,005 мм [Абуханов, 2006] и по характеристикам занимают промежуточное между песчаными и глинистыми частицами положение. По крупности к глинистым частицам относятся частицы с размерами $< 5 \cdot 10^{-6}$ м, т.е. фактически исследуемые процессы рассматриваются на наноуровне (частицы размерами от 1 до 1000 нм обычно называют нано частицами). Многими исследователями отмечено, что свойства глинистых частиц значительно отличаются от песчаных. Глинистые частицы имеют вид чешуек, пластин или иголок неправильной угловатой формы, при этом толщина их в 10–50 и даже 100 раз меньше максимального размера. В результате этого глинистые частицы имеют большую удельную поверхность по сравнению с песчаными.

Как известно, один из важнейших вопросов, стоящих перед нанотехнологией – это заставить молекулы группироваться определенным способом, самоорганизовываться, чтобы в итоге получить новые материалы с новыми свойствами. Одновременно приведенные примеры показывают, что при интенсивных сейсмических нагрузках происходит изменение структуры грунтов. Указанные явления в грунтах также представляют интерес для супрамолекулярной химии, изучающей более сложные, чем молекулы, химические системы связанных в единое целое посредством межмолекулярных (нековалентных) взаимодействий.

Таким образом, при интенсивных воздействиях поведение напряженно-деформированной среды определяется интегральным результатом колебаний молекул около положения равновесия. При этом амплитуда колебаний прямо пропорциональна температуре среды, которая будет расти по мере увеличения уровня воздействия.

При сильных сейсмических воздействиях резко падает прочность рыхлых грун-

тов, их структурные связи ослабевают, а скорости поперечных волн уменьшаются. Это опять же обусловлено свойствами среды на молекулярном и атомном уровне. Скорости упругих волн зависят от свойств среды на молекулярном и атомном уровне, что обусловлено энергией кристаллохимических связей.

Это впервые констатировали в 1959 г. М. Борн и Х. Кунь, а также позже О. Андерсон и Р. Либерман (1970), Кригер (1984), Заалишвили В.Б.(1987) [Кригер и др., 1994; Заалишвили, 1997; Заалишвили, Тотиева–Туаева, 2010].

Исследование механизмов поглощения энергии сейсмических колебаний на наноуровне позволит на физической основе объяснить явления, наблюдаемые при интенсивных сейсмических нагрузках в средах с различными свойствами.

Заключение

При интенсивных воздействиях в слабых средах имеют место пластические деформации. Пластические деформации сопровождаются высокочастотным излучением, величина которого хотя и превосходит т.н. основные колебания, но с расстоянием быстро затухает из-за сильнейшего поглощения и, как правило, не сейсмическими станциями не регистрируется.

При интенсивных воздействиях поведение напряженно-деформированной среды определяется интегральным результатом колебаний молекул около положения равновесия. При этом амплитуда колебаний прямо пропорциональна температуре среды, которая будет расти по мере увеличения уровня воздействия.

При сильных сейсмических воздействиях резко падает прочность рыхлых грунтов, их структурные связи ослабевают, а скорости поперечных волн уменьшаются. Это опять же обусловлено свойствами среды на молекулярном и атомном уровне.

Исследование механизмов формирования нелинейно-неупругих свойств среды и поглощения энергии сейсмических колебаний на наноуровне позволит на физической основе объяснить явления, наблюдаемые при интенсивных сейсмических нагрузках в средах с различными физико-механическими и иными свойствами.

Литература

1. Абуханов А.З. Механика грунтов. Ростов н/Д: Феникс, 2006. 352 с.
2. Ашкрофт Н., Мерлин Н. Физика твердого тела. М.: Мир, 1979. Т.1, 2.
3. Вялов С.С. Реологические основы механики грунтов. М.: Высшая школа, 1978. 447 с.
4. Заалишвили В.Б. Инструментальный метод сейсмического микрорайонирования. Владикавказ: Изд-во СОГУ, 1997. 76 с.
5. Заалишвили В.Б. Физические основы сейсмического микрорайонирования. М.: ОИФЗ РАН, 2000. 367с.
6. Заалишвили В.Б. Сейсмическое микрорайонирование территорий городов, населенных пунктов и больших строительных площадок. М, Наука, 2009, 350 с.
7. Заалишвили В.Б., Тотиева-Туаева Ж.Д. Механизмы формирования нелинейно-неупругих явлений, обусловленных наноразмерными частицами среды при интенсивных воздействиях // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – М.: ВНИИСТПИ, №2. 2010. С.26-30.
8. Кригер Н.И., Кожевников А.Д., Миндель И.Г. Сейсмические свойства дисперсных пород (сейсмолитологический подход). М.: Инжэко, 1994, 196с.

9. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т. VII. Теория упругости.- 4-е изд. – М.: Наука, 1987. – 248 с.

10. Маделунг О. Теория твердого тела. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1980.

11. Родионов Р.Б. Инновационный потенциал нанотехнологий в производстве строительных материалов. Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века”, № 8 (91), 2006.

12. Финкель В.М. Портрет трещины. М.: Metallurgia, 1989, 192 с.

13. Grigorkina G.S., Tvauri I.V., Kaloeva A.G., Burdzieva O.G., Sekiba D., Ogura S., Fukutani K., Magkoev T.T. Reduction of nitric oxide with carbon monoxide on the Al–Mo(110) surface alloy // Solid State Communications 233 (2016) 11–14. P. 11-14.

NATURE OF NONLINEAR-INELASTIC EFFECTS CAUSED BY NANOSIZE OF PARTICLES AT INTENSIVE IMPACTS

© 2016 V.B. Zaalishvili¹, Sc. Doctor (Phys.-Math.), prof., T.T. Magkoev^{1,2}, Sc. Doctor (Phys.-Math.), prof.1, D.A. Melkov¹, Sc. Candidate (Tech.), F.S. Morozov¹

¹Geophysical Institute of VSC RAS, 93a, Markova Str., Vladikavkaz, 362002 Russia, e-mail: cgi_ras@mail.ru

²North-Ossetian State University named after K.L. Khetagurov, 44-46, Vatutina Str., Vladikavkaz, 362025, Russia.

Comparative study of the nature of the mechanical response of the two materials – diamond and quartz on the impact of nanosized tip is performed with atomic-force microscope NTegra-Aura (NT-MDT). Relationships of nonlinear-inelastic soil effects appearing in the form of high-frequency seismic radiation in the near field zone, changes in vibrations spectrum area, elastic coefficient bimodularity and constant component of displacement field with medium structural features at the atomic level and the character of interatomic and intermolecular interaction are described.

Keywords: nonlinearity, inelasticity, dislocation, soil, scanning probe microscopy (SPM).

УДК 550.84:553.441

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГАЗОГЕОХИМИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ РУДНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ В ВОСТОЧНОМ ДОНБАССЕ

© 2016 А.В. Клещенко, С.Г. Парада, д.г.-м.н.

Институт аридных зон Южного научного центра РАН, Россия, 344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова. 41, e-mail: geo@ssc-ras.ru, parada@ssc-ras.ru.

Проанализированы результаты исследования газогеохимических ореолов, создаваемых золоторудными залежами, расположенными в пределах Керчикского рудопроявления в Восточном Донбассе. Предложен индекс газовых аномалий, отражающий поглощение кислорода и выделение углекислого газа при окислении рудных компонентов под толщей перекрывающих пород. Установлена устойчивость во времени газогеохимических аномалий, обусловленных рудными объектами. Обоснована целесообразность и необходимость применения данных дистанционного зондирования Земли, т.к. газы способствуют изменению спектральной отражательной способности ландшафта.

Ключевые слова: газогеохимия, почвенный воздух, золото, руда, Восточный Донбасс.

Введение

В современных условиях, характеризующихся сокращением фонда залежей полезных ископаемых, близко расположенных или выходящих на дневную поверхность становится очевидным, что перспективы приращения минерально-сырьевой базы связаны прежде всего с прогнозированием погребенных рудных объектов, скрытых под толщей перекрывающих отложений. Достижение этой цели возможно на основе комплексного подхода к изучению геофизических и геохимических аномалий, обусловленных рудными объектами, фиксируемыми по результатам обработки материалов дистанционного зондирования Земли [Матишов и др., 2010, 2011], а также разработкой новых методов поисков, позволяющих обнаруживать рудные объекты под перекрывающими их осадками. К ним следует отнести незаслуженно забытые атмогеохимические методы.

Возобновление их широкого применения может быть основано на возрожденных в современных условиях представлениях об эндогенном источнике рудного вещества, что подтверждается обширными данными петрологических, структурно-геологических, геофизических и изотопно-геохимических исследований в пределах крупных рудных провинций, районов и отдельных рудных месторождений. Тектоно-магматические системы, расположенные на участках с высокой проницаемостью земной коры и верхней мантии определяют структурные позиции рудогенерирующих глубинных магматических очагов и рудоподводящих каналов. Следы прошедшего в предыдущие геологические эпохи процесса рудообразования отображаются в геохимических и геофизических полях. Эти следы проявляются в виде повышенного флюидонасыщения рудоподводящих и рудовмещающих структур и изменениями надпродуктивной толщи над рудными залежами еще не вскрытыми эрозией, но уже затронутыми процессом гипергенеза. При этом самыми подвижными компонентами геохимических полей являются природные газы.

Исследованиями природных газов рудных месторождений при проведении поисково-разведочных работ, для решения отдельных вопросов геологического строения месторождений, а также в контексте прогноза газоопасности рабочей зоны горнодобывающих предприятий в различные годы занимались Н.Н. Куликова [Куликова, 1960], А.И. Фридман [Фридман, 1970], М.А. Карасик [Карасик и др., 1986], Г.И. Войтов [Войтов, 1991] и другие. Положительный опыт применения атмогеохимических методов с целью локализации рудных тел был получен в различных геолого-структурных условиях. Одной из проблем, препятствующих активному внедрению атмогеохимических методов, являются трудности в разделении газовых компонент почвенного воздуха на «автохтонные», сформированные процессами газового дыхания почвы (газообмен с атмосферой, деятельность микроорганизмов и т.д.) и «аллохтонные», привнесенные из недр в почву как в депонирующую среду. При этом «аллохтонные» газы также можно разделить на «глубинные» сингенетичные, обусловленные миграцией по ослабленным рудоконтролирующим структурам и «приповерхностные» эпигенетичные, связанные с вторичными преобразованиями рудного вещества в зоне гипергенеза.

В настоящее время атмогеохимические методы незначительно применяются при поиске и разведке рудных полезных ископаемых, вместе с тем в условиях необходимости поиска погребенных объектов их развитие становится насущной необходимостью.

Характеристика эталонного объекта

К одной из территорий Юга России, обладающей перспективой на обнаружение погребенных золоторудных месторождений, является Восточный Донбасс (в пределах Ростовской области), что установлено по данным прогнозных и геолого-поисковых работ последних лет. Однако большая часть перспективных территорий перекрыта мощной толщей неоген четвертичных отложений, что серьезно затрудняет применение традиционных методов поисков. Это диктует необходимость разработки и применения новых методов поисков, позволяющих обнаруживать рудные объекты под перекрывающими их осадками. Одним из таких погребенных объектов является Керчикское рудопроявление золота, залегающее под 70-метровой толщей неогеновых отложений. Поэтому оно выбрано в качестве эталонного объекта. К тому же оно является наиболее изученным в геологическом отношении. На нем проведены поисковые работы методом бурения, подсчитаны прогнозныe ресурсы золота в количестве, соответствующем крупному золоторудному месторождению, положительно оценены обогатимость руд и возможность их рентабельной добычи.

Другие, выявленные в Восточном Донбассе золоторудные проявления (Барило-Крепинское, Галутинское, Чернореченское и др.) располагаются в открытой части Восточного Донбасса, изучались традиционными методами и являются менее перспективными.

Формирование золотоносных руд Восточного Донбасса связывают с позднепермско-юрской и раннемеловой тектоно-магматическими активизациями Донецкого складчатого сооружения [Государственная..., 2000].

По данным [Зеленщиков и др., 2001; Невалённый, 2005; Парада, 2014] Керчикское рудопроявление располагается в висячем крыле Персиановского ступенчатого взброса. Оно приурочено к северному флангу куполовидной складки, образованной в результате осложнения широтной антиклинали первого порядка поперечным (меридиональным) валообразным поднятием. С запада рудное поле ограничено ме-

ридиональным взбросом. Севернее рудопрооявления этот взброс не прослеживается. Особенности структурной позиции Керчикского проявления свидетельствуют о формировании структуры рудного поля в обстановке тектонического сжатия по продольной (широтной) оси, что типично для районов развития сульфидно-вкрапленной минерализации в углеродисто-терригенных толщах.

Рудовмещающий разрез представлен чередованием углистых аргиллитов, алевролитов и песчаников с редкими маломощными прослоями известняков и каменных углей среднекаменноугольного возраста. В основании этого разреза залегает относительно мощный пласт известняка; венчает его пласт угля. Среднекаменноугольные породы рудного поля с угловым несогласием перекрыты платформенными отложениями палеогеновой и неогеновой систем, суммарная мощность которых в пределах рудопрооявления составляет от 40 до 80 м.

В строении рудного поля принимает участие близвертикальное трубообразное тело трахиандезитов субвулканического облика несветаевского магматического комплекса. Площадь его горизонтального сечения чуть более 0,3 кв. км. К югу от него и вниз по стратиграфической вертикали закартированы силлы андезито-базальтов. Калий-аргоновый возраст трахиандезитов и андезито-базальтов 165-188 млн. лет [Терентенко и др., 1987]. Среднекаменноугольные осадочные образования и среднеюрские магматические породы прорваны дайками биотитовых андезитов, мончикитов, камптонитов и спессартитов раннемелового миусского лампрофирового комплекса.

Внедрение трахиандезитов сопровождалось интенсивными метасоматическими преобразованиями вмещающих терригенных и карбонатных пород на расстояние до 1000 м к северу и югу и до 250 м к западу и востоку от интрузива. Характер метасоматических преобразований зависит от состава эпипород. По аргиллитам и алевролитам развиваются типичные березиты пирит-кварц-серицит-карбонат-хлоритового состава, переходящие по мере удаления от контакта интрузива в кварц-серицитовые или в кварц-альбит-серицитовые с пиритом образования. Песчаники вблизи контакта с трахиандезитами преобразуются в сливные кварциты. Затем степень окварцевания песчаников постепенно уменьшается. По известнякам развиваются гранатовые скарны с пирит-пирротиновой минерализацией, а по углям – халькопирит-пирит-пирротиновые руды с новообразованиями амфибола и пироксена. Калий-аргоновый возраст метасоматитов составляет 165-180 млн. лет, совпадая с возрастом интрузий миусского комплекса.

Золоторудные тела представлены многократными брекчиями, сцементированными сульфидно-кварцевыми, сульфидно-кварц-карбонатными и сульфидно-карбонатными гидротермалитами, которые распространены еще и в виде скопления прожилков, пересекающих ранние метасоматиты, не измененные интрузивные и осадочные породы. Возраст этих гидротермалитов 91-97 млн. лет. По данным [Грановская, 1992] в них выделяются в качестве главных рудных минералов пирит, галенит, сфалерит, марказит; второстепенных – халькопирит, арсенопирит, блеклые руды, бурнонит, айкинит, самородное золото, самородный висмут, самородный мышьяк, мельниковит, гематит, лимонит, аурипигмент и киноварь. В андезитах иногда отмечаются молибденито-кварцевые прожилки и вкрапленность пирротина. Нерудные минералы представлены кварцем, кальцитом, анкеритом, доломитом, дикситом, гидрослюдами и цеолитами. Полученные по результатам испытания технологической пробы средние содержания золота 1,8 г/т и серебра 7,6 г/т, позволяют отнести руды Керчикского проявления к золото-серебряному типу.

Таким образом, известные на сегодняшний день рудные тела Керчикского проявления морфологически представлены двумя относительно изометричными штокверками, приуроченными к метасоматически измененным осадочным и магматическим породам в северном и южном экзо- и эндоконтактах интрузива трахиандезитов. Охарактеризованные выше геолого-структурные условия их локализации в совокупности с особенностями минерального состава оруденения более всего соответствуют эпитермальным месторождениям золото-серебряных руд, пространственно связанных с вулcano-тектоническими постройками.

Материалы и методы

В 2014 г нами были проведены полевые исследования на Керчикском золоторудном проявлении с целью изучения распределения газовых компонент почвенного воздуха. В газогеохимическом отношении рудопроявление приурочено к локальной газогеохимической аномалии индекса флюидонасыщения легкими углеводородами (ИФЛ), выделенной методом математических преобразований многозональных космических снимков и являющейся частью Керчикского ареала эндогенной флюидизации [Парада и др., 2011; Клещенков, Зеленщиков, 2012; Давыденко и др., 2014].

Определение газового состава почвенного воздуха над рудопроявлением осуществлялось вдоль пяти ранее пройденных буровых профилей, четыре из которых были расположены вкрест простирания штокверкного тела (профили 1-1', 2-2', 3-3', 4-4'), а один субмеридианально (профиль ABCD) (рис. 1). Шаг опробования изменялся от 30 до 10 м на четырех секущих профилях и составлял 100 метров на субмеридианальном.

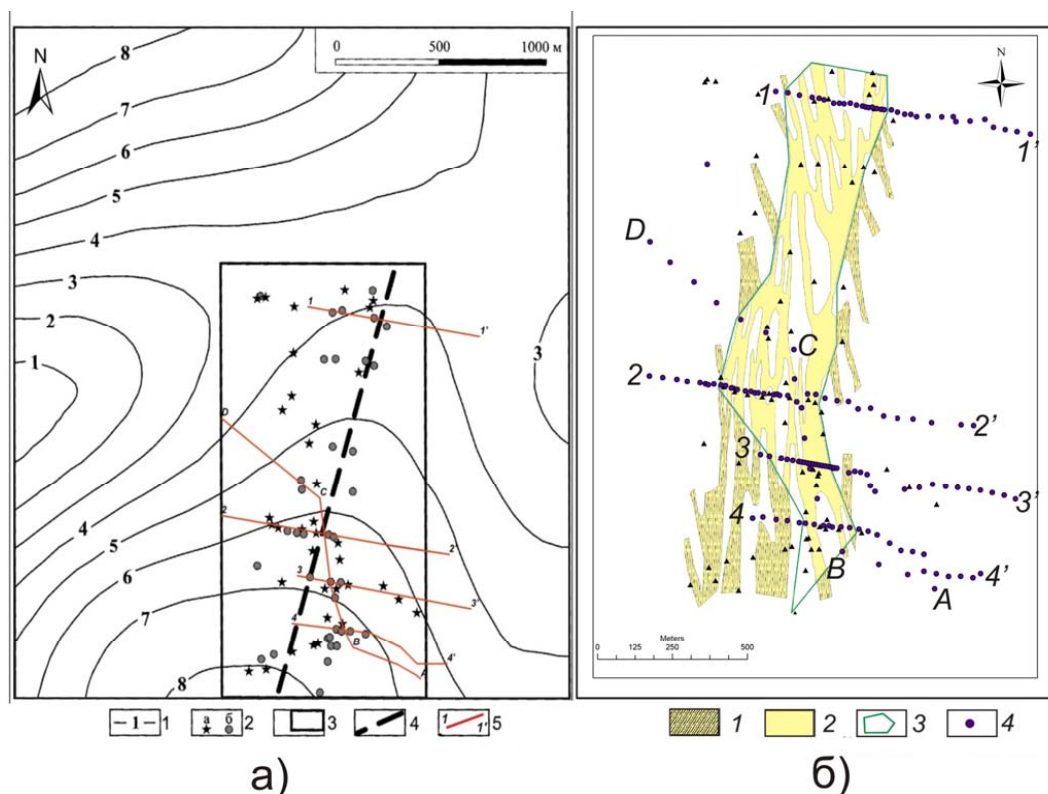


Рис. 1. Схематические карты результатов поисковых работ на Керчикском рудопроявлении золота

а) – совмещенная с локальными аномалиями индекса флюидонасыщения легкими углеводородами и положением профилей атмогеохимических работ 2014 года: 1 – изолинии флюидонасыщения (интенсивность в условных единицах), 2 – поисковые скважины, не вскрывшие (а) и вскрывшие (б) золотое оруденение, 3 – граница Керчикского рудопроявления, 4 – ось штокверка, 5 – профили наземных газогеохимических работ и их номер; б) – совмещенная со схемой рудоносности керчикского рудопроявления и точками газогеохимического опробования: 1 – предполагаемые границы рудоносного штокверка с прожилковым и прожилково-вкрапленным золото-сульфидно-кварцевым оруденением, 2 – установленные границы штокверка, 3 – контур подсчета прогнозных ресурсов золота по категории P1, 4 – точки газогеохимического опробования

Отбор проб почвенного воздуха проводился из шпуров глубиной 0,6 м с герметизацией устья. На каждой точке одновременно измерялись концентрации в почвенном воздухе углекислого газа, кислорода и метана – газоанализатором АНКАТ, водорода – газоанализатором ВГ-2 и радона – газоанализатором РРА-01М Альфа-рад. В общей сложности опробование было проведено на 149 точках наблюдений.

Результаты и обсуждение

В ходе проведенного анализа полученных результатов измеренные газы были подразделены на две группы: сингенетичные и эпигенетичные. К первой группе отнесены газы, рассматриваемые как глубинные компоненты общего потока дегазации породного массива (H_2 , CH_4), а также радон (Rn), поступающий с глубины по проницаемым зонам. Во вторую группу вошли углекислый газ (CO_2), интенсивно выделяющийся в результате окисления и бактериального разложения сульфидов, и кислород (O_2), который при этом поглощается [Hale, 2000].

В целях усиления полезного сигнала и гашения помех было произведено центрирование и нормирование измеренных концентраций кислорода и углекислого газа. Для учета влияния суточного хода концентраций исследуемых газов в ходе полевых исследований были проведены опытно-методические работы. По их результатам было установлено, что наибольшая суточная изменчивость за время проведения работ была характерна для водорода и кислорода, в связи с чем, для дальнейшего анализа мы использовали значения локальных остатков этих газов, полученных путем вычитания из измеренных значений тренда в данной точке.

Ниже в качестве примера приведены результаты по профилю 1-1'. Общая протяженность 865 метров. Опробовано 33 точки наблюдения. На представленных графиках (рис. 2) показана изменчивость измеренных газов по профилю, отдельно выделена проекция контура подсчета прогнозных ресурсов золота (по фондовым материалам, см. рис. 1).

Как видно, на приведенных графиках в выделенном интервале, соответствующем проекции контура подсчета прогнозных ресурсов золота наблюдается область повышенных значений радона (с 2 по 20 пикет, с отдельными локальными пиками на 3, 9, 15 и 16 пикетах), концентрации водорода демонстрируют минимальные значения, обнаруживая максимумы на флангах, изменчивость метана имеет неоднородный характер, что не позволяет однозначно выделить в пределах профиля аномалиегенерирующий объект или объекты. Вместе с тем, в пределах оконтуренной области на графиках хода кислорода и углекислого газа на интервале с 8 по 18 пи-

кет четко выделяется зона повышенных концентраций углекислого газа и пониженных концентраций кислорода, что может указывать на наличие сульфидизации в данном интервале.

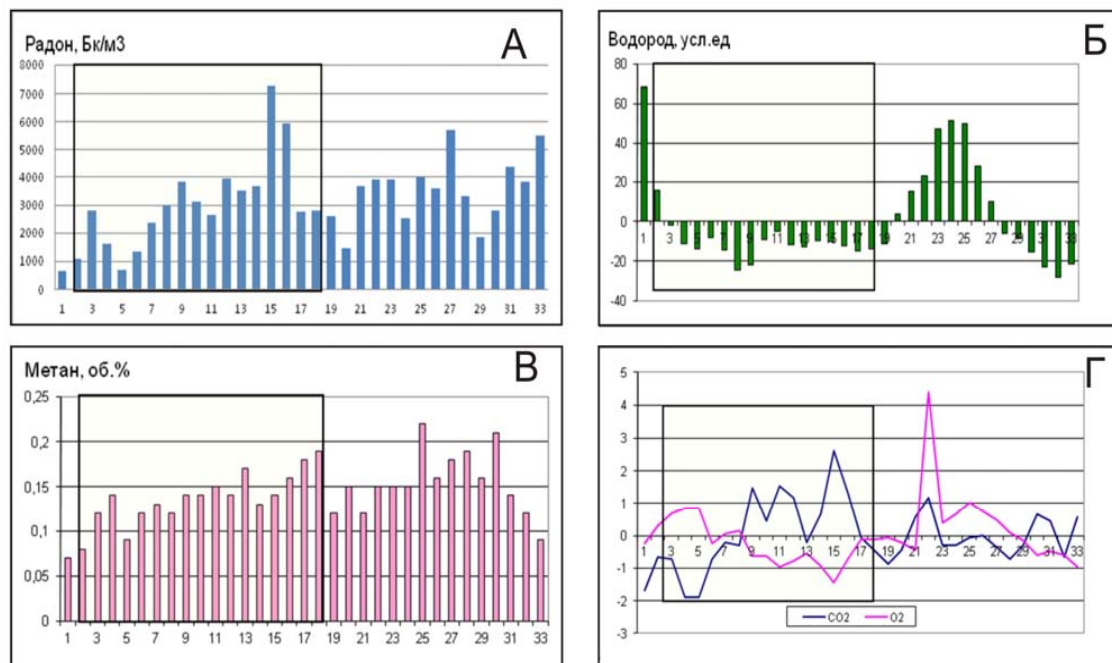


Рис. 2. Содержание газовых компонентов в почвенном воздухе по профилю 1-1'
 А – радона, Б – водорода, В – метана, Г – распределение нормированных
 и центрированных значений концентраций кислорода и углекислого газа
 по профилю 1-1'

В пределах профиля 2-2' максимумы радона находятся вне пределов границ подсчетного плана, и приурочены к разломам, в пределах самого профиля изменчивость концентраций не высокая, и находится в интервале 1000-2500 Бк/м³. Содержание метана в почвенном воздухе изменяется от 0,21 до 0,02% об. со значительной областью повышенных значений в западной части профиля. Максимумы водорода фиксируются на трех пикетах за пределами границ штокверка и на шести точках в границах подсчетного плана. Распределение кислорода и углекислого газа характеризуется высокой степенью изменчивости.

Профили 3-3' и 4-4' выделяются повышенными значениями радона и пониженными значениями водорода в пределах контура подсчета прогнозных ресурсов золота. Отмечаются максимумы метана в краевых частях рудоносного штокверка. На обоих профилях контрастно выделяются участки с понижением концентраций кислорода и одновременным повышением концентраций углекислого газа, что более четко видно при рассмотрении результатов в плане. Для отображения максимумов и минимумов содержаний газов в почвенном воздухе использован критерий стандартного отклонения.

Наиболее значительны локальные максимумы водорода располагаются за пределами рудоносной области (рис. 3).

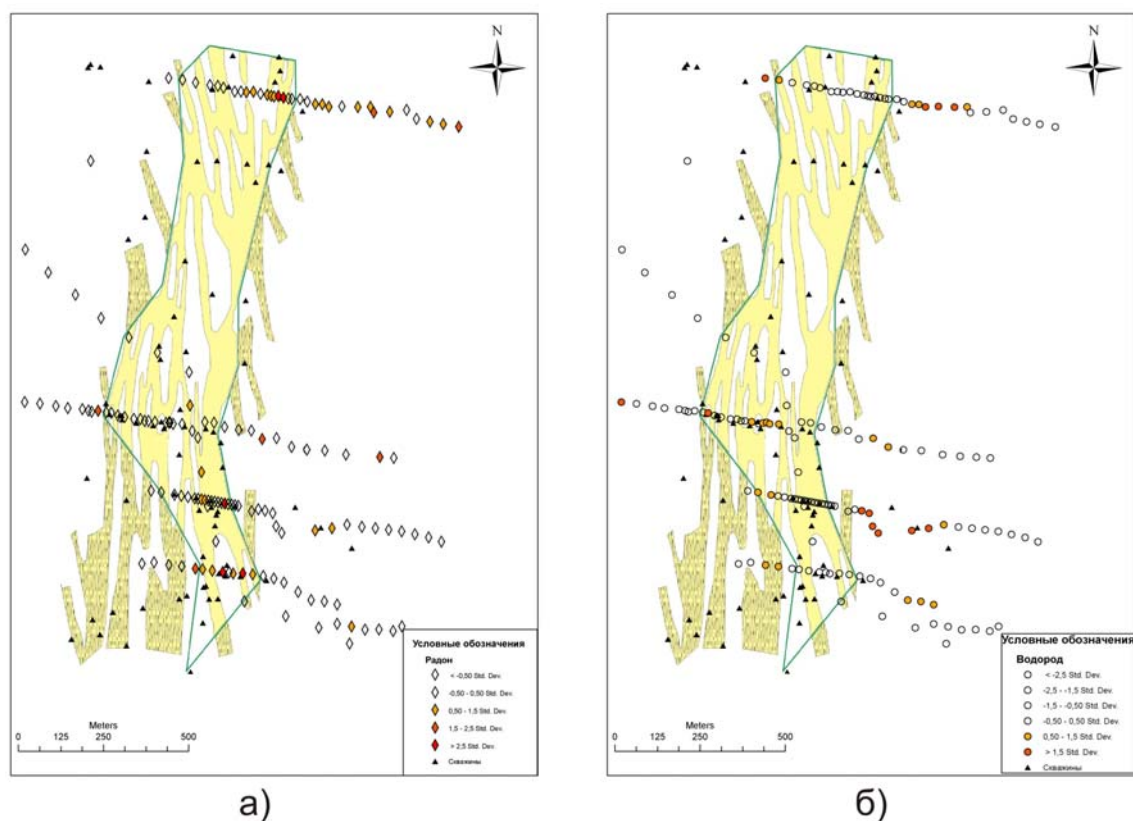


Рис. 3. Схема распределения содержания а) радона и б) водорода в почвенном воздухе на Керчикском золоторудном проявлении

Лишь в пределах второго профиля и западной части третьего профиля они сосредоточены в границах подсчетного плана. Распределение радона указывает на повышенную раздробленность северной и южной части исследуемой территории (см. рис. 3), и, по-видимому, их большую по сравнению с прилегающими участками геодинамическую активность.

Распределение на изученном участке концентраций метана в почвенном воздухе в целом согласуется с ориентировкой аномалий ИФЛ (см. рис. 1). Максимальные концентрации приурочены к северо-северо западному простиранию, что также соответствует оси штокверка (рис. 4а).

Анализ взаимной изменчивости распределения кислорода и углекислого газа по профилям привел нас к выводу, что наблюдаемый здесь эффект формирования повышенных концентраций углекислого газа в подпочвенном воздухе с одновременным контрастным понижением содержания кислорода, описанный на целом ряде рудных месторождений, может выступать в качестве критерия рудоносности исследуемого участка. Это наглядно прослеживается при рассмотрении в площадном варианте. Для удобства визуализации данных эффектов мы вычли из централизованных и нормированных значений углекислого газа таковые для кислорода. Полученную разницу обозначили как индекс газовых аномалий (GA) и вынесли на схему (см. рис. 4б).

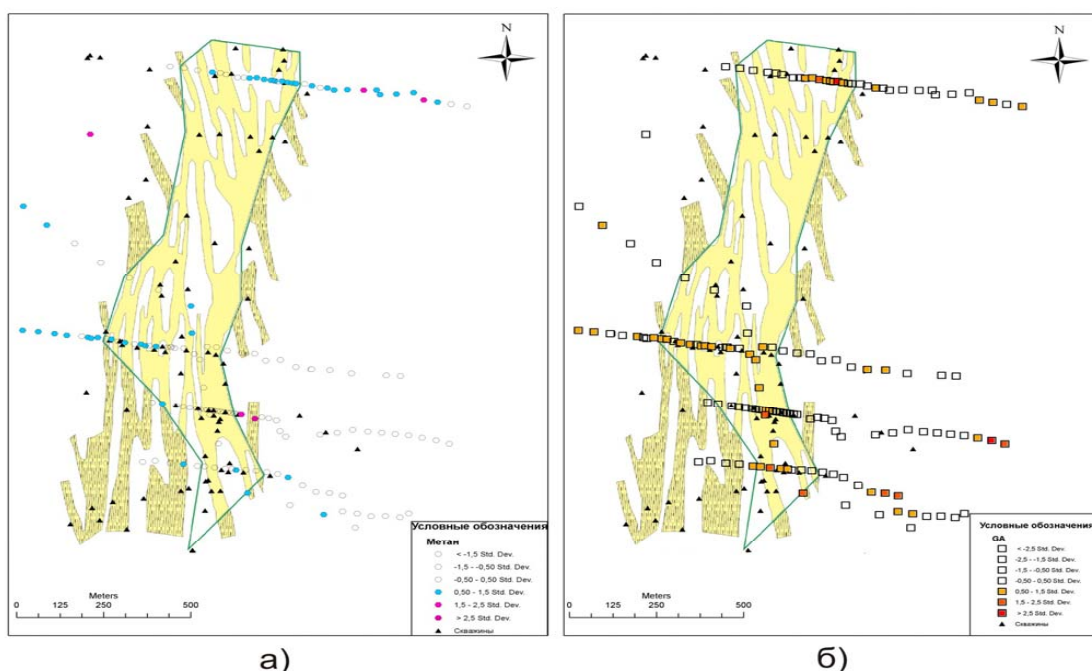


Рис. 4. Схемы распределения а) содержаний метана и б) индекса газовых аномалий (GA) в почвенном воздухе на Керчском золоторудном проявлении

Очевидно, что участки положительных значений индекса GA отражают интервалы профилей, на которых происходит поглощение кислорода и выделение углекислого газа, что соответствует участкам с повышенным содержанием рудных компонентов.

Проведено сопоставление значений индекса GA полученных по результатам работ 2014 года с результатами наших предыдущих исследований [Клещенков, Зеленщиков, 2012] в пределах третьего профиля (рис. 5).

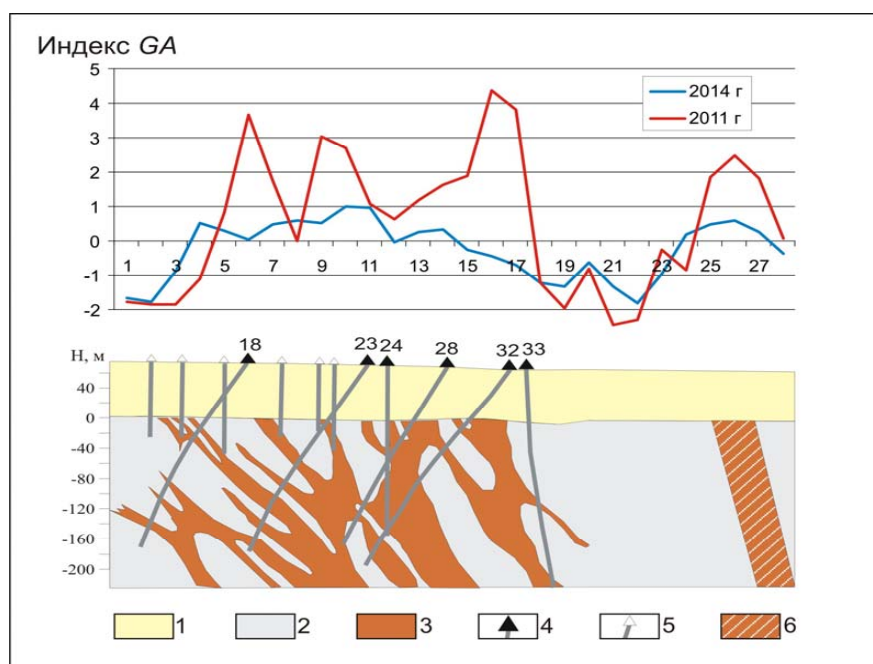


Рис. 5. Результаты сопоставления индекса газовых аномалий в почвенном воздухе по профилю 3-3' по результатам полевых работ 2011 г. и 2014 г.

- 1 – рыхлые отложения палеоген-неогенового возраста;
- 2 – метасоматически измененные терригенные породы среднекаменноугольного возраста;
- 3 – намеченный по результатам бурения рудоносный штокверк с прожилково-вкрапленным золото-сульфидно-кварцевым оруденением;
- 4 – скважины поисковые;
- 5 – скважины картировочные;
- 6 – прогнозируемое по результатам газогеохимических работ рудное тело

Результаты сопоставления показывают, что интенсивность проявления рудных объектов в газогеохимических полях с течением времени подвержена изменчивости. Вместе с тем, локализация интервалов перспективных на обнаружение рудных объектов четко подтверждается. По данным 2011 года было высказано предположение о наличии не известного ранее рудного тела в районе пикетов 25–27. Данные 2014 года подтвердили это предположение. Следовательно, результаты газогеохимических исследований позволяют прогнозировать новые рудные тела.

Выводы

Проведенные газогеохимические исследования позволили установить особенности распределения природных газов в почвенном воздухе в пределах Керчикского золоторудного проявления и на прилегающих участках. Результаты интерпретации содержания газовых компонент (радона, углекислого газа, кислорода и водорода) по наземным профилям позволяют выделять атмогеохимические аномалии, взаимосвязанные с контуром выявленного буровыми работами золоторудного тела. Наиболее информативным в этом отношении выступает индекс газовых аномалий, отражающий поглощение кислорода и выделение углекислого газа при окислении рудных компонентов под толщей перекрывающих пород. В связи с чем он может выступать в качестве косвенного признака рудоносности.

Установленная устойчивость во времени газогеохимических аномалий, обусловленных рудными объектами подтверждает обоснованность и необходимость применения данных дистанционного зондирования Земли, т.к. газы в таком случае способствуют изменению спектральной отражательной способности ландшафта.

Миграцию природных газов рудных месторождений предлагается рассматривать по аналогии с миграцией углеводородов от залежей к земной поверхности в том смысле, что в обоих случаях происходит формирование газогеохимических аномалий в приповерхностном слое. Это подтверждает необходимость продолжения работ по развитию разработанного поискового комплекса, включающего в себя наземные газогеохимические работы, который основан на выявлении в приповерхностных породах признаков миграции первичных (сингенетических) и вторичных (эпигенетических) газовых компонент от рудных тел к поверхности. Основная задача, решаемая таким поисковым комплексом – выявление в ландшафтах следов устойчивых флюидных потоков, связанных с наличием в недрах рудных полезных ископаемых.

Литература

1. Войтов Г.И. О химической и изотопно-углеродной нестабильностях свободных газов (газовых струй) в Хибинах // Геохимия. 1991. № 6. С. 769-780.

2. Государственная геологическая карта Российской Федерации. 2000. Масштаб 1:200000. Изд. 2-е. Серия Донецкая. лист L-37-V (г. Шахты). Объяснительная записка. Санкт-Петербург, изд-во ВСЕГЕИ: 183 с.
3. Грановская Н.В. Минералогия и термобарогеохимия золота в Юго-Восточном Донбассе // Записки ВМО. 1992. №4. С.29–42.
4. Давыденко Д.Б., Давыденко Е.Д., Исаев В.С., Клещенков А.В., Мохов А.В., Парада С.Г. Опыт выявления и изучения зон эндогенной флюидизации комплексом дистанционных и газогеохимических методов // Вестник Южного научного центра. 2014. Т.10. №1. С.25-34.
5. Зеленщиков Г.В., Курбанов Н.К., Кучеревский П.Г., Радаева Т.П. Перспективы золотоносности Припятско-Днепровско-Донецкого авлакогена // Руды и металлы. 2001. №2. С.26–35.
6. Карасик М.А., Кирикилица С.И., Герасимова Л.И. Атмогеохимические методы поисков рудных месторождений. М.: Недра, 1986. 246 с.
7. Клещенков А.В., Зеленщиков Г.В. Опыт изучения газогеохимических эффектов от рудных залежей на примере Керчикского рудопроявления в Восточном Донбассе, Ростовская область // Руды и металлы. 2012. №4. С.24–28.
8. Куликова Н.Н. О применении газокерновой съемки для обнаружения слепых рудных зон в районе Балейского месторождения // Известия вузов. Геология и разведка. 1960. №12. С.78-82.
9. Матишов Г.Г., Парада С.Г., Давыденко Д.Б. Выбор рудоперспективных площадей по результатам дистанционной флюидоиндексации как фактор рационального недропользования в условиях горных территорий // Устойчивое развитие горных территорий. 2010. №3 (5). С.57-62.
10. Матишов Г.Г., Парада С.Г., Давыденко Д.Б. Технологии прогнозирования залежей углеводородов и минеральных месторождений будущей России (на примере южного региона) // Геология и геофизика Юга России. 2011. №1. С.20-31.
11. Невалённый Ю.В. Ресурсы металлических полезных ископаемых / В кн.: Проблемы и перспективы комплексного освоения минеральных ресурсов Восточного Донбасса. Ростов н/Д., изд-во ЮНЦ РАН. 2005. С.71–84.
12. Парада С.Г. Перспективные геолого-промышленные типы рудопроявлений золота в Ростовской области // Вестник Южного научного центра. 2014. Т.10. №4. С.53-60.
13. Парада С.Г., Зеленщиков Г.В., Давыденко Д.Б.. Опыт применения дистанционной флюидоиндексации для поиска руд благородных металлов и их спутников на юге России // Руды и металлы. 2011. №3-4. С.134-135.
14. Терентенко Н.А., Лихачев В.А., Зеленщиков Г.В., Кузнецов Ю.А. Литолого-структурные условия локализации цветных и благородных металлов на Керчикском рудопроявлении / В кн.: Геологическое строение и полезные ископаемые Ростовской области. Ростов н/Д., изд-во РГУ. 1987. С.90–95.
15. Фридман А.И. Природные газы рудных месторождений. М.: Недра, 1970. 192 с.
16. Hale M. (ed.). 2000. Geochemical Remote Sensing of the Subsurface. Handbook of Exploration Geochemistry. Amsterdam, Elsevier, 7: 550 p.

RESULTS OF FIELD RESEARCH GEOCHEMICAL COMPONENTS OF ORE DEPOSITS IN THE EASTERN DONBASS

© 2016 A.V. Kleschenkov, S.G. Parada, Sc.Doctor (Geol.-Min.)

Institute of Arid Zones Southern Scientific Center RAS 344006, Rostov-on-Don, pr.
Chehova, 41, e-mail: geo@ssc-ras.ru, parada@ssc-ras.ru.

The results of the study geochemical halos of gold deposits located within Kerchik ore in the Eastern Donbass. A gas anomaly index, which reflects the oxygen reduce and increase of carbon dioxide in the oxidation of ore components under the thickness of the overburden. It is stable over time geochemical anomalies caused by ore objects. The expediency and the need for the use of remote sensing data, as gases contribute to a change in the spectral reflectance of the landscape.

Keywords: gas geochemistry, soil gas, gold, ore, East Donbass.

УДК 699.841

ФИЛОСОФИЯ МНОГОУРОВНЕВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ В СВЕТЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ СООРУЖЕНИЙ

© 2016 О.В. Мкртычев¹⁾, д.т.н., проф., Г.А. Джинчвелашвили¹⁾, д.т.н., проф.,
Р.И. Дзержинский²⁾, к.т.н.

¹⁾НИУ Московский государственный строительный университет, Россия, 129337,
г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, e-mail: mkrtychev@yandex.ru,
guram2004@yandex.ru;

²⁾Московская государственная академия водного транспорта, Россия, 117105,
г. Москва, Новоданиловская наб. д.2, к.1., e-mail: 9015111295@rambler.ru

В настоящей статье предложен новый подход к выбору исходных воздействий и методов расчета сооружений на сейсмостойкость. Приведено обоснование для назначения периода повторяемости проектного и максимального расчетного землетрясений. Кратко рассмотрены особенности карт ОСР и ДСР. Показано, что необходим учет возможных погрешностей, обусловленных выбором вида карты.

Рассматриваются положения новой концепции норм сейсмостойкого строительства, которая заключается в проектировании зданий и сооружений с заданной обеспеченностью сейсмостойкости и необходимым уровнем безопасности для жизни и здоровья людей.

Ключевые слова: уровень сейсмостойкости сооружений, уровень воздействия, проектное землетрясение, максимальное расчетное землетрясение, заданная обеспеченность, период повторяемости.

Инженерный анализ последствий сильных землетрясений, произошедших в период действия СНиП II-7-81*, свидетельствует о том, что действующие нормы не всегда обеспечивают сейсмостойкость зданий и сооружений, выполненных в полном соответствии с проектом. В ряде случаев, когда уровень сейсмического воздействия был близок к прогнозируемому воздействию или несколько превышал его, надежность некоторых зданий обеспечивалась не в полной мере.

Это связано со следующими обстоятельствами.

В действующих нормах нелинейность учитывается путем введения лишь одного интегрального коэффициента редукции¹ в линейно-спектральном методе.

Расчет ведется фактически в детерминированной постановке. Сейсмическое воздействие является ярко выраженным случайным процессом и применение детерминированных подходов в любом случае приводит к неопределенной сейсмостойкости запроектированных зданий и сооружений.

Обеспечение требуемого уровня сейсмостойкости возможно только с привлечением методов теории вероятностей, теории случайных процессов и теории надежности строительных конструкций.

В настоящее время назрела необходимость внедрения новой концепции сейсмостойкости зданий и сооружений, основные положения которой разработаны в

¹ В СНиП II-7-81* используется величина, обратная коэффициенту редукции – коэффициент учета допускаемых повреждений K_1 .

МГСУ и широко обсуждались научной общественностью на различных площадках².

Основная особенность данной концепции заключается в проектировании зданий и сооружений с заданной обеспеченностью уровня сейсмостойкости. Причем нелинейный характер работы конструкций учитывается в явном виде при использовании нелинейного статического и динамического методов.

В течение последних десятилетий ученые в своих публикациях, докладах на различных форумах высказывают идею о целесообразности перехода от одно- к двухуровневому расчету. Эта идея основана на признании вероятностной природы землетрясений, интенсивность которых зависит (по физическим причинам) от их частоты (повторяемости) [Уломов, Шумилина, 1999; Заалишвили и др, 2011; Заалишвили, Рогожин, 2011; Перетокин, 2015]. При этом в условиях относительно слабых землетрясений, которые случаются чаще в зданиях и сооружениях, не следует допускать никаких разрушений. В то же время, при сильных, но редких землетрясениях, целесообразно планировать локальные разрушения без глобальных обрушений, опасных для жизни и здоровья людей.

Средняя повторяемость землетрясений данной интенсивности для определенного района определяется по картам общего сейсмического районирования (ОСР) [Уломов, Шумилина, 1999] (табл. 1).

Таблица 1.

**Средняя повторяемость землетрясений по картам
Общего сейсмического районирования (ОСР-2012)**

Карта Общего сейсмического районирования	Период повторяемости, лет
ОСР-2012 А	100
ОСР-2012 В	500
ОСР-2012 С	1000
ОСР-2012 D	2500
ОСР-2012 Е	5000
ОСР-2012 F	10000

В Европе [Eurocode..., 2003; Фардис и др., 2013] и во многих других странах принято рассчитывать сооружения на максимальное расчетное землетрясение (МРЗ), которое может произойти с вероятностью 0,1 в течение 50 лет. Иными словами, в большинстве стран Евросоюза³, США, Канады, Японии и др., период повторяемости для МРЗ, принимается $T_{МРЗ} = 475$ лет.

В то же время конструкция здания или сооружения должна быть запроектиро-

² на Объединенных научно-практических семинарах «Надежность и безопасность зданий и сооружений при сейсмических и аварийных воздействиях» в МГСУ и РУДН (см. сайт научно-исследовательской лаборатории «Надежность и сейсмостойкость сооружений» НИУ МГСУ <http://seismostroy.ru>);

- на заседаниях Научного Совета РААСН по сейсмологии и сейсмостойкому строительству;

- на сайте НИУ МГСУ www.mgsu.ru опубликован Стандарт организации СТО НИУ МГСУ 2015 «Сейсмостойкость зданий и сооружений. Расчетные положения» [СТО НИУ МГСУ, 2015; Мкртычев, Джинчвелашвили, 2012].

³ В Великобритании принято $T_{МРЗ} = 475$ лет.

вана таким образом, чтобы выдержать сейсмическое воздействие, имеющее более высокую вероятность возникновения, чем МРЗ, называемое проектным землетрясением (ПЗ), которое может произойти с вероятностью 0,1 в течение 10 лет. Период повторяемости ПЗ $T_{ПЗ} = 95$ лет⁴.

Необходимо отметить, что в 2009 году впервые в России для территории Северной Осетии были разработаны карты детального сейсмического районирования (ДСР) в масштабе 1:200 000, которые, являясь в отличие от рассматриваемой карты Общего сейсмического районирования (ОСР) (М 1:2000000), более детальными, позволяют получать более обоснованные данные о сейсмичности исследуемой территории и повторяемости сейсмических событий [Бондырев, Заалишвили, 2003; Заалишвили и др., 2011; Заалишвили, Рогожин, 2011]. Более того, внедрение вероятностного подхода включает также использование впервые разработанных вероятностных карт сейсмического микрорайонирования (СМР), т.е. непосредственный учет конкретных грунтовых условий [Заалишвили, 1986; 1996; Заалишвили и др., 2011; Zaalishvili, 2015]. При этом, в зависимости от характеристик конкретного сейсмического источника (разлома) и его пространственного расположения относительно исследуемой площадки, с помощью развитых в последние годы в Геофизическом институте ВНИИ РАН современных зарубежных разработок рассчитываются сейсмические воздействия, генерируемые данным разломом, для уровней ПЗ и МРЗ [Заалишвили и др., 2014а], в которых зоны различной сейсмичности будут определяться путем ухода от в той или иной степени формальных в принципе коэффициентов, повышающих либо понижающих сейсмичность, а независимый расчет будет производиться на каждый уровень воздействия с учётом нелинейных свойств грунтов, приводящим к значительным искажениям исходных спектрально-амплитудных характеристик воздействий [Заалишвили, 2014а; 2014б; 2014в; Заалишвили и др., 2006, 2008а,б]. При этом соответствующие сейсмические зоны рассчитываются в единицах максимальных горизонтальных ускорений и величинах дробных значений сейсмической интенсивности как интегральной вероятностной характеристики проявления землетрясений, являющейся основой защиты сооружений [Заалишвили и др., 2014б].

В то же время для предлагаемого метода многоуровневого проектирования в свете обеспечения сейсмостойкости сооружений выбор того или иного уровня сейсмической опасности, или той или иной карты сейсмического районирования (или детального сейсмического районирования), на первый взгляд (традиционный), в целом ограничивается трудоемкостью реализации и временными рамками необходимыми для проектирования, т.е. почти полностью определяется потребностями практики. Но углубление в проблему показывает, что даже при поверхностных оценках сопутствующих погрешностей различия не исключаются такими безобидными факторами, вполне заметны и должны безо всякого сомнения учитываться. Указанная проблема выбора той или иной карты сейсмического районирования требует специального рассмотрения.

Итак, продолжим. Ниже приводится предлагаемый нами подход, который представляется наиболее обоснованным.

⁴ В японских нормах $T_{ПЗ} = 30-50$ лет [Marino et al., 2005].

Проектное землетрясение

В течение срока службы (50–100 лет для большинства промышленных и гражданских зданий и сооружений) на данной строительной площадке с вероятностью, близкой к 1, следует ожидать «частое» землетрясение.

Из этого следует, что сейсмическая нагрузка данной интенсивности с периодом повторяемости, раз в 100 лет, стоит в одном ряду, например, с максимальными пиковыми значениями снеговой и ветровой нагрузок, которые имеют близкие периоды повторяемости. Поэтому принципы назначения сейсмических нагрузок на здания и сооружения должны быть такими же, как для снеговой и ветровой нагрузок.

Предлагается выполнять расчеты на данную интенсивность сейсмического воздействия по I группе предельных состояний без учета коэффициента reductions (фактически принимая $K_1 = 1$), как это делается для эксплуатационных⁵ нагрузок.

Выполнение расчетов при сейсмических воздействиях по II группе предельных состояний с требованием сохранения эксплуатационных свойств сооружения является нецелесообразным. После каждого землетрясения в любом случае необходимо проводить обследование состояние несущих конструкций сооружения.

Так как условия I группы предельных состояний предполагают в основном упругое поведения конструкций, то вполне приемлемым методом расчета может быть линейно-спектральный метод.

Максимальное расчетное землетрясение

В течение срока службы сооружения на данной строительной площадке с определенной вероятностью следует ожидать «редкое» землетрясение с некоторым обоснованно назначенным периодом повторяемости. Здания и сооружения должны перенести землетрясения данной интенсивности без местного и общего обрушения несущих конструкций.

Период повторяемости максимального расчетного землетрясения может быть назначен по следующим соображениям.

В теории надежности определяется фоновая вероятность наступления неблагоприятного события для человека в течение года (значительный ущерб здоровью, летальный исход). Данная вероятность составляет порядка $3000 \cdot 10^{-7}$ чел/год (табл.2) [Аугусти и др., 1988].

Примем данную вероятность летального исхода в качестве нормативной предельно допустимой, т.е. $[P_{ли}] = 3 \cdot 10^{-4}$ чел/год.

Тогда проектирование должно вестись из условия, что

$$P_1 \leq [P_{ли}], \quad (1)$$

где P_1 – вероятность летального исхода для человека в год при максимальном расчетном землетрясении для данного района строительства и данного типа сооружения.

Определим вероятность P_1 при исходном среднем периоде повторяемости максимального расчетного землетрясения $T_{1 \text{ эк}} = 500$ лет.

⁵ Ветровой, снеговой и др.

Таблица 2.

Вероятность летального исхода для человека в год

Условия и вид деятельности	10^{-7} чел/год
Аварии автомашин	2700
Огонь и взрывы	400
Водоемы	280
Обращение с механизмами	100
Воздушное сообщение	75
Электричество	51
Молния	5,5
Общественный транспорт	0,45
Радиоактивное излучение	0,05

Вероятность того, что на данной строительной площадке произойдет максимальное расчетное землетрясение в течение 1 года, равна:

$$P_{\text{год}} = \frac{1}{500} = 0,002. \quad (2)$$

По результатам масштабного анализа последствий сильных землетрясений [Шахраманьян, 2000], проведенного на основании обобщения опыта работы МЧС РФ, приемлемая вероятность обрушения сооружения $P_{\text{обр}}$ при катастрофическом землетрясении (уровня МРЗ), может быть принята равной 0,1:

$$P_{\text{обр}} = 0,1. \quad (3)$$

Вероятность нахождения человека в здании составляет, ориентировочно, $P_{\text{на}} = 0,6$, а вероятность того, что он пострадает при условии обрушения здания – $P_{\text{пострад}} = 0,8$.

Тогда вероятность летального исхода для человека в год при МРЗ будет равна:

$$P_1 = P_{\text{год}} \cdot P_{\text{обр}} \cdot P_{\text{на}} \cdot P_{\text{пострад}} = 0,002 \cdot 0,1 \cdot 0,6 \cdot 0,8 = 96 \cdot 10^{-6} \approx 1 \cdot 10^{-4} \text{ чел/год}. \quad (4)$$

Таким образом,

$$P_1 = 1 \cdot 10^{-4} \text{ чел/год} < [P_{\text{ли}}] = 3 \cdot 10^{-4} \text{ чел/год}. \quad (5)$$

Иными словами, если принять средний период повторяемости $T_{\text{вс}} = 500$ лет и вероятность обрушения сооружения при максимальном расчетном землетрясении равной 0,1, то вероятность летального исхода для человека в год будет близка к фоновой и не будет ее превышать.

Расчет на уровень воздействия МРЗ

Расчеты на МРЗ должны выполняться на особые предельные состояния. Так как исследуются состояния сооружения, близкие к предельным, с возникновением

существенных неупругих пластических деформаций, то нелинейный характер работы конструкций должен учитываться явным способом. Это возможно только при использовании нелинейного статического и динамического методов.

В настоящее время использование этих методов возможно при расчете уникальных зданий и сооружений, для которых предусмотрено научно-техническое сопровождение, которое выполняется организациями, обладающими соответствующими компетенциями.

Для зданий и сооружений массового строительства, проектирование которых выполняется обычными проектными организациями, возможен следующий подход при расчете на МРЗ.

По результатам расчета на землетрясение интенсивности ПЗ выявляются наиболее нагруженные элементы. Расчеты на уровень МРЗ выполняются с учетом выключения этих элементов из расчетной схемы подобно тому, как это делается при расчете на устойчивость к прогрессирующему обрушению. Этот метод большинством проектировщиков благополучно освоен.

Следует отметить, что в данном случае расчет на МРЗ – это и есть расчет на прогрессирующее обрушение при исходных сейсмических нагрузках и соответствующих сценариях локальных разрушений. Если в сооружении не реализуется прогрессирующее обрушение, то следует считать критерий необрушения выполненным.

Данный подход обеспечит необходимый уровень сейсмостойкости и безопасности для зданий и сооружений, строящихся в сейсмических районах.

Заключение

В настоящей статье предложен подход к выбору исходных воздействий и методов расчета сооружений при землетрясениях уровня ПЗ и МРЗ при проектировании с заданной обеспеченностью сейсмостойкости и необходимым уровнем безопасности для жизни и здоровья людей.

Литература

1. Аугусти Г., Баратта А., Кашиати Ф. Вероятностные методы в строительном проектировании. Перевод с английского. М. Стройиздат, 1988. - 584с.
2. Бондырев И.В., Заалишвили В.Б. Опасность активизации геодинамических процессов на Северном Кавказе // Вестник Владикавказского научного центра. 2003. Т. 3. №2. С. 39-46.
3. Заалишвили В.Б. Сейсмическое микрорайонирование по данным искусственного возбуждения колебаний грунтовой толщи // Автореферат кандидатской диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук Институт Геофизики АН ГССР. Тбилиси, 1986
4. Заалишвили В.Б. Сейсмическое микрорайонирование на основе изучения нелинейных свойств грунтов искусственными источниками // Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математических наук // Москва, 1996
5. Заалишвили В.Б. Некоторые проблемы практической реализации сейсмического микрорайонирования. Факторы, формирующие интенсивность землетрясения // Геология и геофизика Юга России. 2014а. №3. С. 3-39.

6. Заалишвили В.Б. Зависимость спектральных характеристик сейсмических волн от строения верхней части разреза // Геология и геофизика Юга России. 2014б. №4. С. 15-44.

7. Заалишвили В.Б. Корреляционные взаимосвязи между линейными и нелинейными характеристиками грунтов по инструментальным данным // Геология и геофизика Юга России. 2014в. №4. С. 45-57.

8. Заалишвили В.Б., Габеева И.Л., Гогмачадзе С.А. Оценка сейсмической опасности грунтов при сильных землетрясениях в условиях пересеченного рельефа в горных районах // Системные исследования современного состояния и пути развития Юга России (природа, общество, человек). Тезисы докладов международной научной конференции. 2006. С. 135-136.

9. Заалишвили В.Б., Мельков Д.А., Дзеранов Б.В. Особенности динамического поведения грунтов территории г. Владикавказа // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2008а. №2. С. 67-71.

10. Заалишвили В.Б., Мельков Д.А., Отинашвили М.Г. Использование метода конечных элементов при оценке сейсмической опасности горных территорий // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2008б. №3. С. 49-52.

11. Заалишвили В.Б., Рогожин Е.А. Оценка сейсмической опасности территории на основе современных методов детального районирования и сейсмического микрорайонирования // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2011. №3. С. 31-43.

12. Заалишвили В.Б., Етирмишли Г., Маммедли Т., Мельков Д.А., Харебов К.С., Шепелев В.Д. Проектные сейсмические воздействия для строительной площадки проектируемой Чири-Юртской ГЭС в Чеченской республике в виде ансамбля инструментальных акселерограмм и акселерограмм – аналогов Вестник Академии наук Чеченской Республики. 2014а. №3(24). С. 86-95.

13. Заалишвили В.Б., Мельков Д.А., Дзеранов Б.В., Шепелев В.Д. К вопросу использования дробных значений величин сейсмической интенсивности и ускорений // Вестник Академии наук Чеченской Республики. 2014б. №4(25). С. 86-95.

14. Мкртычев О.В., Джинчвелашвили Г.А. Проблемы учета нелинейностей в теории сейсмостойкости (гипотезы и заблуждения). – М.: МГСУ, 2012. – 192 с.

15. Перетокин С.А. Использование программно-алгоритмического аппарата методики оср-97 в задачах детального сейсмического районирования // Геология и геофизика Юга России. №1. 2015. С. 61-64.

16. СТО НИУ МГСУ 2015. Стандарт организации. Сейсмостойкость зданий и сооружений. Расчетные положения. – М.: МГСУ, 2015. – 37 с.

17. Уломов В.И., Шумилина Л.С. Проблемы сейсмического районирования территории России. – М.: ВНИИГТИ Госстроя России, 1999. – 56 с. Интернет-ресурс: <http://seismos-u.ifz.ru/zoning.htm>.

18. Фардис М., Гульванесян Х. и др. Руководство для проектировщиков к Еврокоду 8: Проектирование сейсмостойких конструкций к EN 1998-1 и EN 1998-5. Еврокод 8: Общие нормы проектирования сейсмостойких конструкций, сейсмические воздействия, правила проектирования зданий и подпорных сооружений /научный редактор пер. с англ. Г.А. Джинчвелашвили. – М.: МГСУ, 2013. – 484 с.

19. Шахраманьян М.А. Оценка сейсмического риска и прогноз последствий

землетрясений в задачах спасения населения: (Теория и практика). – 2-е изд., перераб. и доп. — М.: ВИИ ГОЧС, 2000. – 189 с.

20. Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance – Part 1: General Rules, Seismic actions and Rules for Buildings. European Committee for Standardization. – Brussels – 2003. – 229 p.

21. Marino Edoardo M., Nakashima Masayoshi, Mosalam Khalid M. Comparison of European and Japanese seismic design of steel building structures // Engineering Structures 27 (2005) 827–840 pp.

22. Zaalishvili V. Assessment of Seismic Hazard of a Territory // Earthquake Engineering - From Engineering Seismology to Optimal Seismic Design of Engineering Structures Edited by Abbas Moustafa, ISBN 978-953-51-2039-1, 408 pages, Publisher: InTech, Chapters published May 20, 2015 under CC BY 3.0 license DOI: 10.5772/58499 P. 74-109

MULTILEVEL DESIGN PHILOSOPHY IN THE LIGHT OF PROVISION EARTHQUAKE RESISTANCE

© 2016 O.V. Mkrtychev¹), Sc.Doctor(Tech.), prof., G.A.Dzhinchvelashvili¹),
Sc.Doctor (Tech.), prof., R.I. Dzerzhinskiy²), Sc.Candidate(Tech.)

¹National Research University Moscow State University of Civil Engineering, 129337,
Yaroslavl highway, 26, Moscow, Russia,
e-mail: mkrtychev@yandex.ru, guram2004@yandex.ru;

²Moscow State Academy of Water Transport, 117105, Novodanilovskaya emb. 2.,
building 1, Moscow, Russia, e-mail: 9015111295@rambler.ru

The new approach for the choice of initial impacts and methods for calculation of seismic stability of structures is proposed. The feasibility for recurrence period definition of the project and the maximum design earthquake is given. The features of the GSZ and DSZ maps are briefly considered. It is shown that account of possible errors due to selection of the map type is required

The provisions of the new concept of earthquake engineering standards, which assumes the design of buildings and structures with defined seismic resistance and necessary level of security for population life and health, are considered.

Keywords: level of seismic resistance of structures, the level of impact, design earthquake, the maximum design earthquake, defined security, return period.

УДК 550.34.013.4

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ СИСТЕМЫ, СОСТОЯЩЕЙ ИЗ ДАМБЫ ОБВАЛОВАНИЯ ХВОСТОХРАНИЛИЩА, МАТЕРИАЛА ОТЛОЖЕНИЯ (ХВОСТЫ) И ПОДПОДОШВЕННЫХ ГРУНТОВЫХ СЛОЕВ

© 2016 И.Д. Музаев, д.т.н., проф.

Геофизический институт Владикавказского научного центра РАН, Россия,
362002, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а;
Владикавказский филиал Финансового университета при Правительстве
Российской Федерации, 362002, г. Владикавказ, ул. Молодежная, 7,
e-mail: muzaevid@mail.ru

Разработана математическая модель совместных сейсмических колебаний системы, состоящей из дамбы обвалования хвостохранилища, материала отложения (хвосты) и под подошвенных слоев грунтового массива. Модель представляет собой контактную краевую задачу для дифференциального уравнения сдвигово-вязких поперечных колебаний тела дамбы с материалами отложений, а также для дифференциальных уравнений сдвигово-вязких поперечных колебаний слоев массива грунта. Эти уравнения взаимосвязаны через граничные условия на контактных поверхностях. Краевая задача решена аналитически. Получены расчетные формулы для вычисления перемещений, скорости и ускорения тела дамбы при распространении падающей на систему сейсмической волны в слоях грунта и в теле дамбы.

Ключевые слова: математическое моделирование, хвостохранилище, дамба обвалования.

Введение

При активном воздействии атмосферных осадков, оползнях и при сильных сейсмических воздействиях в горных регионах особую потенциальную опасность представляют хвостохранилища отходов переработки горнодобывающей деятельности, как правило, представляющей собой значительный объем токсических веществ, создающий непосредственную угрозу населению [Бурдзиева, 2009; Заалишвили и др., 2013]. Это предполагает создавать сооружения по инженерной защите территории и производить выбор участков с определенными грунтовыми условиями (рельеф, инженерно-геологическое строение, вид грунтовых слоев, обводненность и др.) для исключения различных опасных явлений вплоть до техногенных катастроф [Бурдзиева, Заалишвили, 2009; Бурдзиева и др., 2010]. Детальное изучение проблемы позволяет производить адекватную оценку возможного экологического загрязнения территории [Бурдзиева и др., 2012; Заалишвили, Бекузарова, Бурдзиева, 2013] в условиях напряженно-деформированного состояния горных пород. Это позволяет на основе глубокого изучения ситуации управлять риском путем выбора соответствующего участка для будущего хвостохранилища и разработки специальных мероприятий по исключению, каких либо нештатных ситуаций, вплоть до его последующей реабилитации участка. Собственно это и есть основа рационального недропользования [Бурдзиева, 2010]. Особое значение при этом имеет изучение

всех элементов «сооружения», включающего природную грунтовую толщу или горный массив с искусственной дамбой (стеной и др.) в их естественном залегании.

Математическая модель системы

Ниже рассматривается достаточно сложная инженерная система, состоящая из дамбы обвалования хвостохранилища, материала отложения (хвосты) и подподшвенных грунтовых слоев. На рис. 1а и 1б представлены схематический чертеж и расчетная схема системы, состоящей из дамбы обвалования хвостохранилища, материала отложения (хвосты) и двух подфундаментальных слоев грунта, подвергающихся поперечным колебаниям, обусловленных падающей на нижнем слое поперечной сейсмической волны.

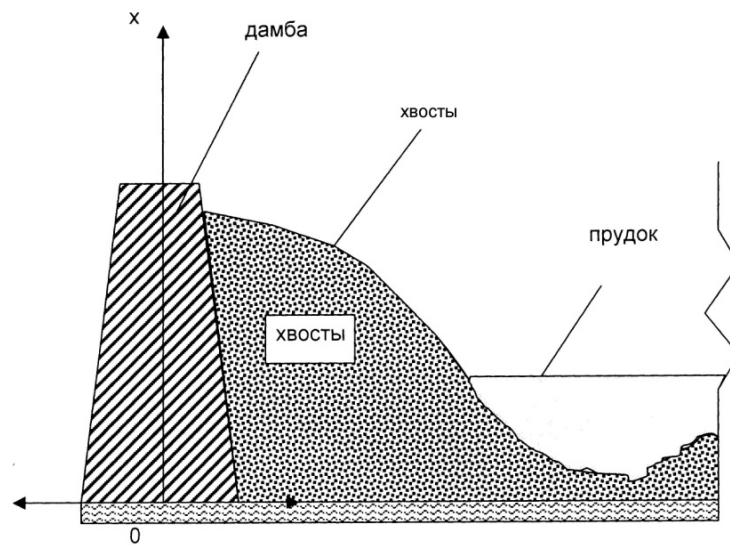


Рис. 1а). Схематический чертеж хвостохранилища

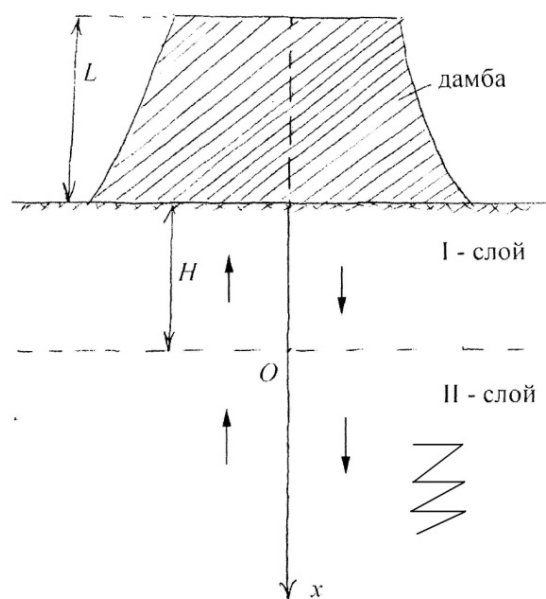


Рис. 1б). Расчетная схема сейсмических колебаний дамбы

Математическую модель колебания всей системы представляет следующая контактная краевая задача математической физики [Ворович и др., 1999; Заалишвили и др., 2007; Музаев И. и др., 2014; Хачиян, 2009; Bonnet, Heize, 1995; Окомото, 1980]:

$$\rho B \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} - G \frac{\partial}{\partial x} \left(B \frac{\partial w}{\partial x} \right) - G \beta^* \frac{\partial}{\partial x} \left(B \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial t} \right) = 0, \quad 0 < x < L, \quad (1)$$

$$\rho_1 \frac{\partial^2 u_1}{\partial t^2} - G_1 \frac{\partial^2 u_1}{\partial x_1^2} - \beta^* G_1 \frac{\partial^3 u_1}{\partial x_1^2 \partial t} = 0, \quad 0 < x_1 < H, \quad (2)$$

$$\rho_2 \frac{\partial^2 u_2}{\partial t^2} - G_2 \frac{\partial^2 u_2}{\partial x_2^2} - \beta^* G_2 \frac{\partial^3 u_2}{\partial x_2^2 \partial t} = 0, \quad 0 < x_2 < \infty, \quad (3)$$

$$\left. \frac{\partial w}{\partial x} \right|_{x=0} = 0, \quad (4)$$

$$w(x, t)|_{x=L} = u_1(x_1, t)|_{x_1=0}, \quad G \left. \frac{\partial w}{\partial x} \right|_{x=L} = G_1 \left. \frac{\partial u_1}{\partial x_1} \right|_{x_1=0}, \quad (5)$$

$$u_1|_{x_1=H} = u_2|_{x_2=0}, \quad G_1 \left. \frac{\partial u_1}{\partial x_1} \right|_{x_1=H} = G_2 \left. \frac{\partial u_2}{\partial x_2} \right|_{x_2=0}, \quad (6)$$

где приняты следующие обозначения: t – время, x, x_1, x_2 – вертикальные координаты, $w(x, t)$ – поперечные сдвиговые перемещения центральной оси тела, состоящей из дамбы и хвостов, $B(x)$ – толщина тела, ρ и G – плотность и модуль сдвига материала тела, ρ_1, G_1 и ρ_2, G_2 – плотности и модули сдвига в верхнем и нижнем слое, соответственно, β^* – коэффициент вязкого трения в соответствии с гипотезой Кельвина–Фойгта, H – толщина верхнего слоя грунта, u_1 и u_2 – сдвиговые перемещения слоев грунта.

Легко заметить, что краевая задача (1)-(6) записана в разных параллельных координатных системах. Для первой системы начало отсчета взято на гребне дамбы ($x=0=0$). Для второй системы начало отсчета на месте контакта дамбы и верхнего слоя грунта, а для третьей системы на месте контакта слоев грунта. Такой подход существенно облегчает решение поставленной краевой задачи.

Толщину тела (дамба с хвостами) $B(x)$ аппроксимируем экспоненциальной функцией следующего вида:

$$B(x) = B_0 e^{Sx}, \quad S > 0, \quad (7)$$

где B_0 – толщина тела на его гребне (вершине), формпараметр S вычисляется следующим образом:

$$B(x)|_{x=L} = B(L) = B_0 e^{Sx},$$

$$S L = L \ln \frac{B(L)}{B_0}, \quad (8)$$

$$S = \frac{1}{L} \ln(B(L))$$

$$\frac{1}{B_0}$$

Плотность ρ и модуль сдвига тела вычисляются в соответствии с весовыми формулами

$$\rho = \frac{\rho_d \cdot Q_d + \rho_{xs} \cdot Q_{xs}}{Q_d + Q_{xs}}, \quad G = \frac{G_d \cdot Q_d + G_{xs} \cdot Q_{xs}}{Q_d + Q_{xs}}, \quad (9)$$

где ρ_d, Q_d, G_d и $\rho_{xs}, Q_{xs}, G_{xs}$ – плотность, объем и модуль сдвига дамбы и хвостов соответственно.

При аппроксимации толщины $B(x)$ тела по зависимости (7) дифференциальные уравнения (1)-(3) приводятся к следующим видам:

$$\frac{\partial^2 w}{\partial t^2} - C^2 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - C^2 S \frac{\partial w}{\partial x} - \beta^* C^2 \frac{\partial^3 w}{\partial x^2 \partial t} - \beta C^2 S \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial t} = 0, \quad 0 < x < L, \quad (10)$$

$$\frac{\partial^2 u_1}{\partial t^2} - a_1^2 \frac{\partial^2 u_1}{\partial x_1^2} - a_1^2 \beta^* \frac{\partial^3 u_1}{\partial x_1^2 \partial t} = 0, \quad 0 < x_1 < H_1, \quad (11)$$

$$\frac{\partial^2 u_2}{\partial t^2} - a_2^2 \frac{\partial^2 u_2}{\partial x_2^2} - a_2^2 \beta^* \frac{\partial^3 u_2}{\partial x_2^2 \partial t} = 0, \quad 0 < x_2 < \infty, \quad (12)$$

где

$$C = \sqrt{\frac{G}{\rho}}, \quad a_1 = \sqrt{\frac{G_1}{\rho_1}}, \quad a_2 = \sqrt{\frac{G_2}{\rho_2}}. \quad (13)$$

При затухающих гармонических колебаниях системы неизвестные функции

$w(x, t)$, $u_1(x_1, t)$ и $u_2(x_2, t)$ можно искать в следующем виде:

$$w(x, t) = e^{(-\beta^* \frac{\omega^2}{2} + i\gamma\omega)t} v(x), \quad (14)$$

$$u_1(x_1, t) = e^{(-\beta^* \frac{\omega^2}{2} + i\gamma\omega)t} \left(A_1 e^{i\omega \frac{x_1}{a_1}} + B_1 e^{-i\omega \frac{x_1}{a_1}} \right), \quad (15)$$

$$u_2(x_2, t) = e^{(-\beta^* \frac{\omega^2}{2} + i\gamma\omega)t} \left(A_2 e^{i\omega \frac{x_2}{a_2}} + B_2 e^{-i\omega \frac{x_2}{a_2}} \right), \quad (16)$$

где $v(x)$ – заранее неизвестная функция,

$$\gamma = \sqrt{1 - \beta^{*2} \frac{\omega^2}{4}},$$

где A_1, B_1, A_2 и B_2 – также заранее неизвестные постоянные величины. При этом A_2 – амплитуда падающей на нижнем слое сейсмической волны. Легко можно про-

верить, что функции (15) и (16) автоматически удовлетворяют дифференциальным уравнениям (11) и (12) соответственно.

В результате подстановки выражения (14) в дифференциальном уравнении (10) для неизвестной функции $v(x)$ получается следующее обыкновенное дифференциальное уравнение второго порядка:

$$\frac{d^2v}{dx^2} + S \frac{dv}{dx} + \frac{\omega^2}{C^2} v = 0. \quad (17)$$

Общее решение уравнения (2.17) имеет следующий вид:

$$v(x) = \begin{cases} e^{\alpha x} (C_1 \sin \beta x + C_2 \cos \beta x) & \text{при } \frac{\omega^2}{C^2} > \frac{S^2}{4}, \\ e^{\alpha x} (C_1 \operatorname{sh} \beta x + C_2 \operatorname{ch} \beta x) & \text{при } \frac{\omega^2}{C^2} < \frac{S^2}{4}, \\ e^{\alpha x} (C_1 x + C_2) & \text{при } \frac{\omega^2}{C^2} = \frac{S^2}{4}, \end{cases} \quad (18)$$

где

$$\alpha = -\frac{S}{2}, \quad \beta = \sqrt{\frac{\omega^2}{C^2} - \frac{S^2}{4}}. \quad (19)$$

Сперва рассмотрим первый случай, когда имеет место неравенство

$$\frac{\omega^2}{C^2} > \frac{S^2}{4}. \quad (20)$$

$$v(x) = e^{\alpha x} (C_1 \sin \beta x + C_2 \cos \beta x) v(x) = e^{\alpha x} (C_1 \sin \beta x + C_2 \cos \beta x).$$

Постоянные $C_1, C_2, A_1, B_1, A_2, B_2$ определяются в процессе удовлетворения граничным условиям (4)-(6). Для них получается следующая система линейных алгебраических уравнений:

$$\begin{cases} \beta C_1 + \alpha C_2 = 0, \\ e^{\alpha L} (C_1 \sin \beta L + C_2 \cos \beta L) = A_1 + B_1, \\ G[\beta(C_1 \cos \beta L - C_2 \sin \beta L) + \alpha(C_1 \sin \beta L + C_2 \cos \beta L)]e^{\alpha L} = G_1 \frac{i\omega}{a_1} (A_1 - B_1), \\ A_1 e^{i\omega \frac{H}{a_1}} + B_1 e^{-i\omega \frac{H}{a_1}} = A_2 + B_2, \\ G_1 \frac{i\omega}{a_1} (A_1 e^{i\omega \frac{H}{a_1}} - B_1 e^{-i\omega \frac{H}{a_1}}) = G_2 \frac{i\omega}{a_2} (A_2 - B_2). \end{cases} \quad (21)$$

В системе (21) число уравнений 5, а число неизвестных постоянных равно 6. В связи с этим система недоопределена.

В дальнейшем будем задавать амплитуду падающей на нижнем слое сейсмической волны A_2 . Тогда система (21) становится определенной системой относительно постоянных C_1, C_2, A_1, B_1 и B_2 . Решение системы (21) получается в следующем виде:

$$A_1 = 2A_2 \frac{r_2}{\Delta^*}, \quad B_1 = -2A_2 \frac{r_1}{\Delta^*}, \quad C_1 = -4A_2 \frac{\alpha}{\Delta} e^{-\alpha L} \frac{i\omega}{K_0 C \Delta^*}, \quad C_2 = 4A_2 \frac{\beta}{\Delta} e^{-\alpha L} \frac{i\omega}{K_0 C \Delta^*}, \quad (22)$$

$$A_1 = 2A_2 \frac{r_2}{\Delta^*}, \quad B_1 = -2A_2 \frac{r_1}{\Delta^*}, \quad C_1 = -4A_2 \frac{\alpha}{\Delta} e^{-\alpha L} \frac{i\omega}{K_0 C \Delta^*}, \quad C_2 = 4A_2 \frac{\beta}{\Delta} e^{-\alpha L} \frac{i\omega}{K_0 C \Delta^*}, \quad (22)$$

где приняты следующие обозначения:

$$\Delta = \beta \cos \beta L - \alpha \sin \beta L, \quad \Delta^* = (1 + K_1) r_2 e^{i\omega \frac{H}{\alpha_1}} - (1 - K_1) r_1 e^{-i\omega \frac{H}{\alpha_1}}, \quad (23)$$

$$r_1 = -S_1 \frac{\alpha}{\Delta} + S_2 \frac{\beta}{\Delta} - \frac{1}{K_0} \frac{i\omega}{C}, \quad r_2 = -S_1 \frac{\alpha}{\Delta} + S_2 \frac{\beta}{\Delta} + \frac{1}{K_0} \frac{i\omega}{C}, \quad (24)$$

$$S_1 = \beta \cos \beta L + \alpha \sin \beta L, \quad S_2 = -\beta \sin \beta L + \alpha \cos \beta L, \quad (25)$$

$$K_0 = \frac{G a_1}{G_1 C} = \frac{\rho C}{\rho_1 a_1}, \quad K_1 = \frac{G_1 a_2}{G_2 a_1} = \frac{\rho_1 a_1}{\rho_2 a_2}. \quad (26)$$

Подставив значения S_1 и S_2 из (25) в (24), получим

$$r_1 = -\frac{\omega^2 \sin \beta L}{C^2 \Delta} - \frac{1}{K_0} \frac{i\omega}{C}, \quad r_2 = -\frac{\omega^2 \sin \beta L}{C^2 \Delta} + \frac{1}{K_0} \frac{i\omega}{C}. \quad (27)$$

Подставим значения r_1 и r_2 из (27) в (23)

$$\Delta^* = (1 + K_1) \left(-\frac{\omega^2 \sin \beta L}{C^2 \Delta} + \frac{1}{K_0} \frac{i\omega}{C} \right) e^{i\omega \frac{H}{\alpha_1}} - (1 - K_1) \left(-\frac{\omega^2 \sin \beta L}{C^2 \Delta} - \frac{1}{K_0} \frac{i\omega}{C} \right) e^{-i\omega \frac{H}{\alpha_1}}.$$

В результате использования формулы Эйлера выражение для $\Delta \cdot \Delta^* K_0 \Delta \cdot \Delta^* K_0$ упрощается и приводится к следующему виду:

$$K_0 \Delta \Delta^* = -2 \left[K_1 \left(\frac{K_0 \frac{\omega^2}{C^2} \sin \beta L \cos \frac{\omega H}{\alpha_1} + \frac{\omega}{C} \Delta \sin \omega H}{\alpha_1} \right) + \left(\frac{K_0 \frac{\omega^2}{C^2} \sin \beta L \sin \frac{\omega H}{\alpha_1} - \frac{\omega}{C} \Delta \cos \omega H}{\alpha_1} \right) i \right]. \quad (28)$$

Подставив значения C_1 и C_2 из (22) в выражение (20) для $v(x)$, получим

$$v(x) = 2A_2 \frac{i\omega (\alpha \sin \beta x - \beta \cos \beta x)}{C \operatorname{Re} \tilde{\Delta} + i \operatorname{Im} \tilde{\Delta}},$$

$$\operatorname{Re} \tilde{\Delta} = K_1 \left(\frac{K_0 \frac{\omega^2}{C^2} \sin \beta L \cos \frac{\omega H}{\alpha_1} + \frac{\omega}{C} \Delta \sin \omega H}{\alpha_1} \right), \quad (29)$$

$$\operatorname{Im} \tilde{\Delta} = K_0 \left(\frac{K_0 \frac{\omega^2}{C^2} \sin \beta L \sin \frac{\omega H}{\alpha_1} - \frac{\omega}{C} \Delta \cos \omega H}{\alpha_1} \right)$$

Первоначально неизвестная функция $w(x, t)$ получается в следующем комплексном виде:

$$w(x, t) = 2A_2 \frac{i\omega (\alpha \sin \beta x - \beta \cos \beta x)}{C \operatorname{Re} \tilde{\Delta} + i \operatorname{Im} \tilde{\Delta}} e^{-\alpha(L-x)} e^{\left(-\beta^* \frac{\omega^2}{2} + i\gamma\omega\right)t}, \quad (30)$$

Действительная часть выражения (30) будет решением поставленной краевой задачи (1)-(7) при условии $\frac{\omega^2}{c^2} > \frac{s^2}{4}$.

$$w(x, t) = 2A_2 \frac{i\omega (\alpha \sin \beta x - \beta \cos \beta x)}{C \operatorname{Re} \tilde{\Delta} + i \operatorname{Im} \tilde{\Delta}} e^{-\alpha(L-x)} e^{(-\beta^* \frac{\omega^2}{2} + i\gamma\omega)t}, \quad (31)$$

Для амплитуды сейсмических колебаний тела дамбы получается следующее выражение:

$$y_1 = 2A_2 \frac{\omega |\alpha \sin \beta_1 x - \beta_1 \cos \beta_1 x|}{C \sqrt{(\operatorname{Re} \tilde{\Delta}_1)^2 + (\operatorname{Im} \tilde{\Delta}_1)^2}} e^{-\alpha(L-x)} e^{-\beta^* \frac{\omega^2}{2} t}. \quad (32)$$

Во втором случае когда имеет место неравенство

$$\frac{\omega^2}{c^2} < \frac{s^2}{4} \quad (33)$$

для амплитуды колебания тела дамбы получают следующие выражения:

$$y_2 = 2A_2 \frac{\omega |\alpha \operatorname{sh} \beta_2 x - \beta_2 \operatorname{ch} \beta_2 x| e^{-\beta^* \frac{\omega^2}{2} t}}{C \sqrt{(\operatorname{Re} \tilde{\Delta}_2)^2 + (\operatorname{Im} \tilde{\Delta}_2)^2}} e^{-\alpha(L-x)}, \quad (34)$$

$$\beta_2 = \sqrt{\frac{s^2}{4} - \frac{\omega^2}{c^2}}$$

$$\operatorname{Re} \tilde{\Delta}_2 = K_1 \left(K_0 \frac{\omega^2}{c^2} \operatorname{sh} \beta_2 L \cos \frac{\omega H}{a_1} + \frac{\omega}{c} \Delta_2 \sin \frac{\omega H}{a_1} \right), \quad (35)$$

$$\operatorname{Im} \tilde{\Delta}_2 = K_0 \frac{\omega^2}{c^2} \operatorname{sh} \beta_2 L \sin \frac{\omega H}{a_1} - \frac{\omega}{c} \Delta_2 \cos \frac{\omega H}{a_1},$$

$$\Delta_2 = \beta_2 \operatorname{ch} \beta_2 L - \alpha \operatorname{sh} \beta_2 L. \quad (36)$$

Для третьего случая, когда выполняется равенство $\frac{\omega^2}{c^2} = \frac{s^2}{4}$, для вычисления амплитуды колебания тела дамбы получают следующие формулы:

$$y_3 = 2A_2 \frac{\omega |\alpha x - 1|}{C \sqrt{(\operatorname{Re} \tilde{\Delta}_3)^2 + (\operatorname{Im} \tilde{\Delta}_3)^2}} e^{-\alpha(L-x)} e^{-\beta^* \frac{\omega^2}{2} t}, \quad (38)$$

$$\operatorname{Re} \tilde{\Delta}_3 = K_1 \left(K_0 L \frac{\omega^2}{c^2} \cos \frac{\omega H}{a_1} + \frac{\omega}{c} (1 - \alpha L) \sin \frac{\omega H}{a_1} \right), \quad (39)$$

$$\operatorname{Im} \tilde{\Delta}_3 = K_0 L \frac{\omega^2}{c^2} \sin \frac{\omega H}{a_1} - \frac{\omega}{c} (1 - \alpha L) \cos \frac{\omega H}{a_1}.$$

Показатель затухания сейсмической волны равен $\beta \frac{\omega^2}{2}$. Для грунтового массива $\beta^* \approx 0,02$ (сек) [Bonnet, Heize, 1995]. Круговая частота падающей сейсмической волны $\omega = 2\pi\nu$, где ν – частота в герцах. Полученные формулы (34)-(38) показывают, что высококачественные сейсмические волны в теле дамбы практически не

распространяются. Так, например, при частотах $\nu = 6 - 10$ герц показатель затухания в системе СИ изменяется в пределах $14-40 \text{ с}^{-1}$ и, следовательно, волна за доли секунды затухает. Низкочастотные сейсмические волны с незначительным затуханием распространяются в теле дамбы. Перемещения скорости и ускорения в теле дамбы можно вычислить с помощью полученных формул (34)-(38).

В частном случае, когда высота дамбы равна нулю, $L = 0$, полученные формулы сильно упрощаются и приводятся к следующему виду:

$$y = \frac{2A_2}{\sqrt{\frac{K_1^2 \sin^2 \omega H}{a_1} + \frac{\cos^2 \omega H}{a_1}}} e^{-\beta \frac{\omega^2}{2} t}. \quad (40)$$

Эта формула показывает, что при выходе низкочастотной сейсмической волны из однородной грунтовой среды на дневную поверхность ее амплитуда в начальный момент в два раза усиливается, а затем затухает по экспоненциальному закону с показателем степени $\beta \frac{\omega}{2}$.

На рис. 2–5 представлены зависимости относительной амплитуды и относительного ускорения гребня дамбы от ее высоты при различных значениях частоты сейсмических колебаний местности возведения дамбы. На оси ординат отмерены отношения амплитуды колебания гребня дамбы к амплитуде падающей сейсмической волны. На оси абсцисс отмерены высоты дамбы до 150 м. Точно такие же зависимости получают для относительного ускорения гребня дамбы. Как показывают эти графики, указанные относительные характеристики существенно зависят от высоты дамбы. Например, при частоте падающей сейсмической волны 1 Гц дамба высотой от 65 м до 110 м представляется менее сейсмостойкой, чем дамба высотой от 110 м до 150 м.

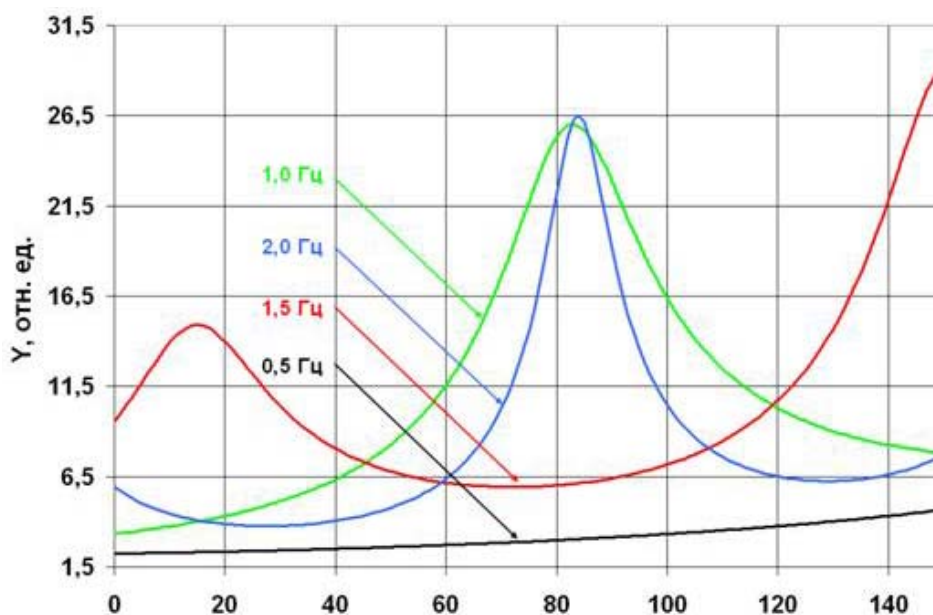


Рис. 2. Зависимости относительных амплитуд смещений и ускорений гребня дамбы от ее высоты для разных частот падающей волны (0,5 Гц–2,0 Гц).

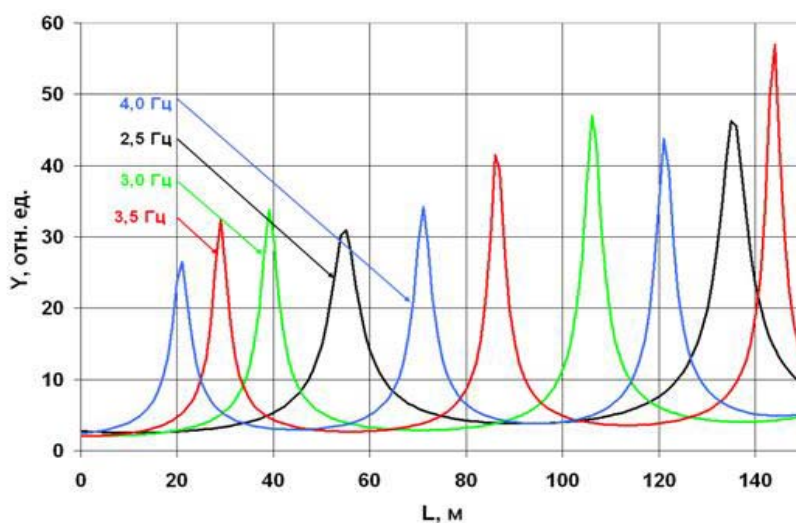


Рис. 3. Зависимости относительных амплитуд смещений и ускорений гребня дамбы от ее высоты для разных частот падающей волны (2,5 Гц–4,0 Гц).

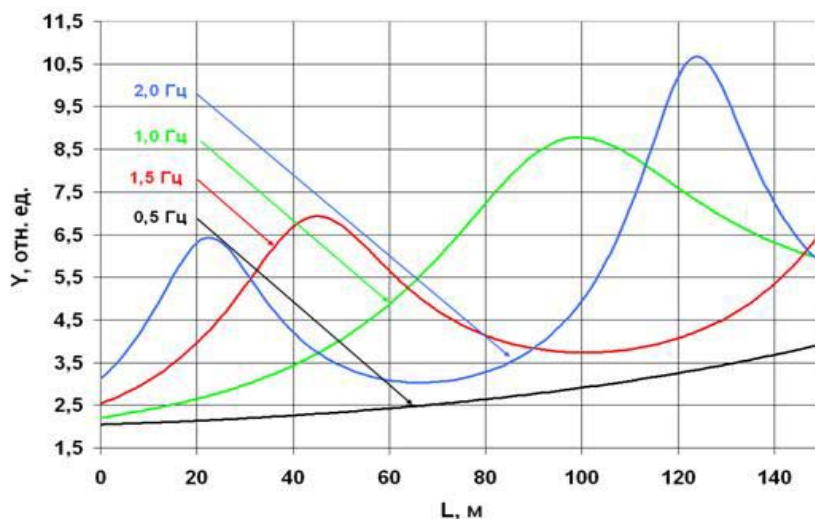


Рис. 4. Зависимости относительных амплитуд смещений и ускорений гребня дамбы от ее высоты для разных частот падающей волны (0,5 Гц–2,0 Гц).

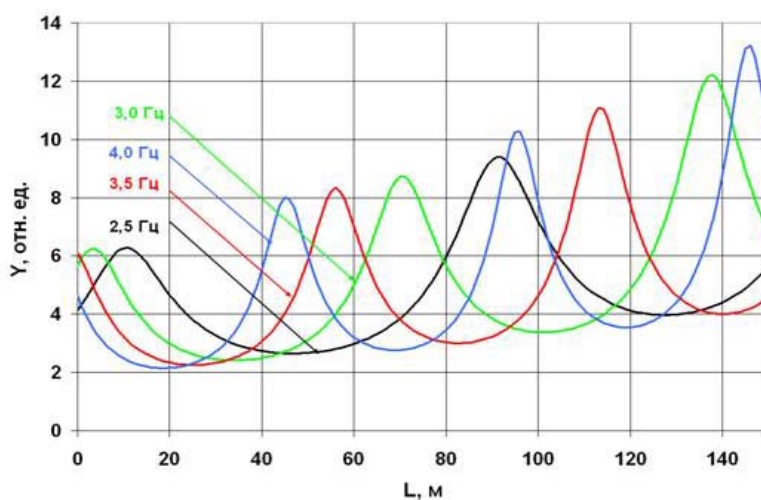


Рис. 5. Зависимости относительных амплитуд смещений и ускорений гребня дамбы от ее высоты для разных частот падающей волны (2,5 Гц–4,0 Гц).

Выводы

1. Составлена математическая модель сейсмических колебаний системы, состоящей из дамбы обвалования хвостохранилища, хвостов и слоев грунтовой толщи под подошвой дамбы. Модель представляет контактную краевую задачу для трех дифференциальных уравнений поперечных сдвиговых колебаний тела дамбы с хвостами и двух подподошвенных слоев грунтовой толщи с разными физико-механическими и мощностными характеристиками.

2. В результате решения поставленной краевой задачи в явном виде получены расчетные формулы для вычисления относительных амплитуд перемещений, скоростей и ускорений тела дамбы от ее высоты и от частоты сейсмических колебаний местности.

3. Полученные теоретические результаты позволяют на стадии проектирования хвостохранилища так подобрать габаритные размеры ограждающей хранилища дамбы, чтобы при сейсмических ситуациях ускорения и смещения тела дамбы не превышали предельно допустимые значения.

Литература

1. Бурдзиева О.Г. Механизм влияния хвостов обогащения на окружающую среду // 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; ред.: Николаев А.В., Заалишвили В.Б.. 2009. С. 361-365.

2. Бурдзиева О.Г., Заалишвили В.Б. Исследование влияния хвостохранилища на окружающую среду в условиях высокой сейсмической опасности // 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; ред.: Николаев А.В., Заалишвили В.Б. 2009. С. 355-360.

3. Бурдзиева О.Г. Рациональное недропользование в регионе РСО – Алания (проблемы и пути их решения) Уголь. 2010. №7 (1011). С. 70-71

4. Бурдзиева О.Г., Шевченко Е.В., Ермишина Е.Б. Механизм возникновения техногенных катастроф под влиянием горного производства // В сборнике: Опасные природные и техногенные геологические процессы на горных и предгорных территориях Северного Кавказа Центр геофизических исследований, Заалишвили В.Б. (редактор). 2010. С. 157-161.

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. Ворович И.И., Бабешко В.А., Пряхина О. Динамика массивных тел и резонансные явления в деформируемых средах. М.: Научный Мир, 1999. 246 с.

7. Заалишвили В.Б., Музаев И.Д., Туаева Ж.Д. Математическое моделирование сейсмических колебаний грунтовой толщи в основании застройки // Труды международной научно-практической конференции «Опасные природные и

техногенные геологические процессы на горных и предгорных территориях Северного Кавказа». Владикавказ, 2007. С. 290-298.

8. Заалишвили В.Б., Бекузарова С.А., Бурдзиева О.Г. Оценка техногенного загрязнения территории // В сборнике: Сейсмическая опасность и управление сейсмическим риском на Кавказе. Труды V Кавказской международной школы-семинара молодых ученых; ред.: В. Б. Заалишвили. 2013. С. 353-355.

9. Заалишвили В.Б., Бериев О.Г., Бурдзиева О.Г., Закс Т.В., Кануков А.С. Онкозаболеваемость населения г. Владикавказ и его взаимосвязь с различными факторами // Геология и геофизика Юга России. 2013. № 3. С. 29-38.

10. Музаев И.Д., Музаев Н.И., Харебов К.С. Постановка и решение многослойной краевой задачи сейсмических колебаний высотного сооружения // Сейсмическое строительство, безопасность сооружений. 2014. №1. С. 22-25.

16. Окамото М. Сейсмостойкость инженерных сооружений. М., 1980. 342 с.

11. Хачиян Э.Е. Задача усиления или ослабления эффекта сейсмического воздействия на поверхности земли // Вестник ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко «Исследования по теории сооружений» №1 (XXVI). М., 2009. С. 67-80.

12. Bonnet G., Heize J.F. Non linear seismic response of a soft layer // 10-th European conference on Earthquake Engineering. Duma (et). 1995, Balkema, Rotterdam. P. 361-364.

MATHEMATICAL SIMULATION OF THE SYSTEM SEISMIC FLUCTUATIONS, WHICH CONSISTS OF THE TAILINGS DUMP EMBANKMENT DAM, THE MATERIAL OF DEPOSIT (TAILS) AND UNDER BOTTOM GROUND LAYERS

© 2016 I.D. Muzaev, Sc (Doct.Techn.), Prof.

Geophysical Institute of Vladikavkaz Scientific Center of RAS, 93a, Markov st.,
Vladikavkaz, 362002, Russia
Vladikavkaz branch of the Federal State Budget Institution of Higher Education
“Financial University under the Government of the Russian Federation”, 7,
Molodezhnaia st., Vladikavkaz, 362002, Russia,
e-mail: muzaevid@mail.ru

The mathematical model of the system seismic vibrations, which consists of the tailings dump embankment dam, the material of deposit (tails) and under bottom ground layers is developed. Model is contact boundary-value problem for the differential equation of the dam body shift- viscous lateral oscillations with the materials of deposits, and also for the differential equations of the shift- viscous lateral oscillations of the ground layers. These equations are interconnected through the

boundary conditions on the contact surfaces. Boundary-value problem is solved analytically. Calculation formulas for enumerating of displacements, velocity and acceleration calculation of the dam body with the seismic wave propagation in the ground layers and into in the dam body.

Keywords: mathematical simulation, tailings dump, the dam of banking up.

УДК 551.24

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭНДОГЕННЫХ ПРИРОДНЫХ ОПАСНОСТЕЙ ТАМАНСКОГО ПОЛУОСТРОВА

© 2016 А.Н. Овсяченко, к. г.-м. н., А.И. Сысолин

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

Кроме землетрясений, существенную опасность на Таманском полуострове представляют грязевые вулканы. Помимо медленного выделения газа, воды и грязи, грязевые вулканы демонстрируют и мощные взрывные извержения. На примере грязевого вулкана г. Карabetова показано, что на поверхности при таких извержениях образуются разрывы, обнаруживающие большое сходство с сеймотектоническими. Опасность представляют также смещения по разломам, к которым приурочены грязевые вулканы. Эти разломы имеют небольшую длину (сотни метров – первые километры), но отличаются высокой современной подвижностью и трассируются за пределы грязевулканических построек.

Ключевые слова: Таманский п-ов, грязевые вулканы, активные разломы, природные опасности.

Введение

Таманский п-ов – сейсмоактивный регион, однако в настоящее время уровень сейсмической активности здесь низкий. За период инструментальных сейсмологических наблюдений во всём Керченско-Таманском регионе было зарегистрировано лишь несколько слабых сейсмических событий с магнитудой не более 4,0. Но, на азовском побережье Керченского и Таманского п-овов, в зоне Южно-Азовского разлома, были обнаружены выразительные сеймотектонические разрывы и другие палеосейсмодислокации, образовавшиеся при сильных землетрясениях несколько сотен и тысяч лет назад [Овсяченко и др., 2015].

Кроме сейсмичности, существенную опасность в Керченско-Таманском регионе представляют грязевые вулканы, чем определяется региональная специфика изучения эндогенных природных опасностей. Деятельность грязевых вулканов демонстрирует большое разнообразие динамических процессов, варьирующих от извержений взрывного характера до незначительных пульсирующих излияний воды и грязи с медленной дегазацией. Очевидную опасность для любых инженерных сооружений представляют катастрофические извержения вулканов, сопровождающиеся взрывами, выбросами крупных кусков шлака и грязи, излияниями грязевых потоков, образованием трещин и изгибными деформациями обширных участков земной поверхности. В статье кратко изложены результаты сеймотектонических исследований проведённых в 2015 г. в районе Карabetовской антиклинальной гряды, на которой расположен широко известный одноимённый грязевой вулкан.

Методика исследований

Полевые сеймотектонические исследования включили маршрутные геолого-геоморфологические наблюдения и проходку горных выработок (канал и шурфов) с целью выявления и детального изучения активных тектонических деформаций. В качестве активных рассматриваются тектонические нарушения, отчётливо вы-

раженные в рельефе в виде линейных уступов, рвов, ложбин или валов различной протяженности, которые пересекают и смещают различные формы рельефа позднеплейстоцен-голоценового возраста, а также синхронные им отложения [Трифонов, Кожурин, 2010].

При заложении канав и шурфов тщательно выбирались участки лишённые оползневых форм рельефа, распашки, активного проявления эрозионных и склоновых процессов. Однако рельеф рассматриваемого района почти полностью изменён человеческой деятельностью, что сильно затрудняет прослеживание опорных геоморфологических уровней. Этому также препятствует широкое развитие мощного покрова лёссовидных суглинков. Суглинки имеют смешанное происхождение, представляя собой продукт выветривания и переноса коренных глинистых пород; не имеют чёткой стратификации, подвержены приповерхностным просадкам и вымыванию, что препятствует отчётливому выражению и сохранению в них следов тектонических смещений. Все эти обстоятельства представляют собой естественные ограничения в изучении молодых тектонических деформаций по разломам основными методами тектоники – анализом фаций и мощностей и структурным анализом.

Тектоническое строение района исследований

Основную роль в оформлении стиля тектонических деформаций Таманского п-ова сыграла олигоцен-раннемиоценовая майкопская серия, сложенная нефтеносными глинистыми осадками. Мощность серии достигает 6 км [Корсаков, Зарубин, 2001]. Толща кайнозойских осадков накопилась в условиях предгорного прогиба вдоль окраины зарождающихся горных сооружений Крыма и Большого Кавказа. Этот этап тектонического развития получил наименование раннеорогенного [Милановский, 1968]. С началом позднеорогенного этапа в позднем миоцене регион был вовлечён в интенсивные тектонические деформации. Появление в четвертичном периоде выраженной в рельефе возвышенности Керченского и Таманского п-овов объединило Крым и Кавказ в единую гряду орогенических поднятий. Возраст значительной части складок Тамани – позднеплиоценовый – нижнечетвертичный, а некоторые из них деформируют отложения вплоть до самых молодых (позднеголоценовых) [Несмеянов, Измайлов, 1995].

Широко развитые на Тамани пологие куполовидные возвышенности, вытянутые в гряды, являются поверхностным выражением складчатой структуры региона (рис. 1). Ориентированные в близширотном направлении, они образуют девять холмистых гряд, между которыми расположены плоские низменности, соответствующие широким синклинальным понижениям [Шарданов, 1962]. Выраженные в рельефе складки имеют общие черты, представляя собой овальные в плане брахиантиклинали по большей части диапирового типа, в ядрах которых обнажаются сильно перемятые глины майкопской серии, протыкающие более молодые слои. Большинство грязевых вулканов Таманского п-ова обнаруживает чёткую структурную приуроченность к осям таких антиклинальных складок. Разрывные нарушения на современном эрозионном срезе практически отсутствуют, за исключением коротких разрывов в пределах антиклинальных гряд [Корсаков, Зарубин, 2001].

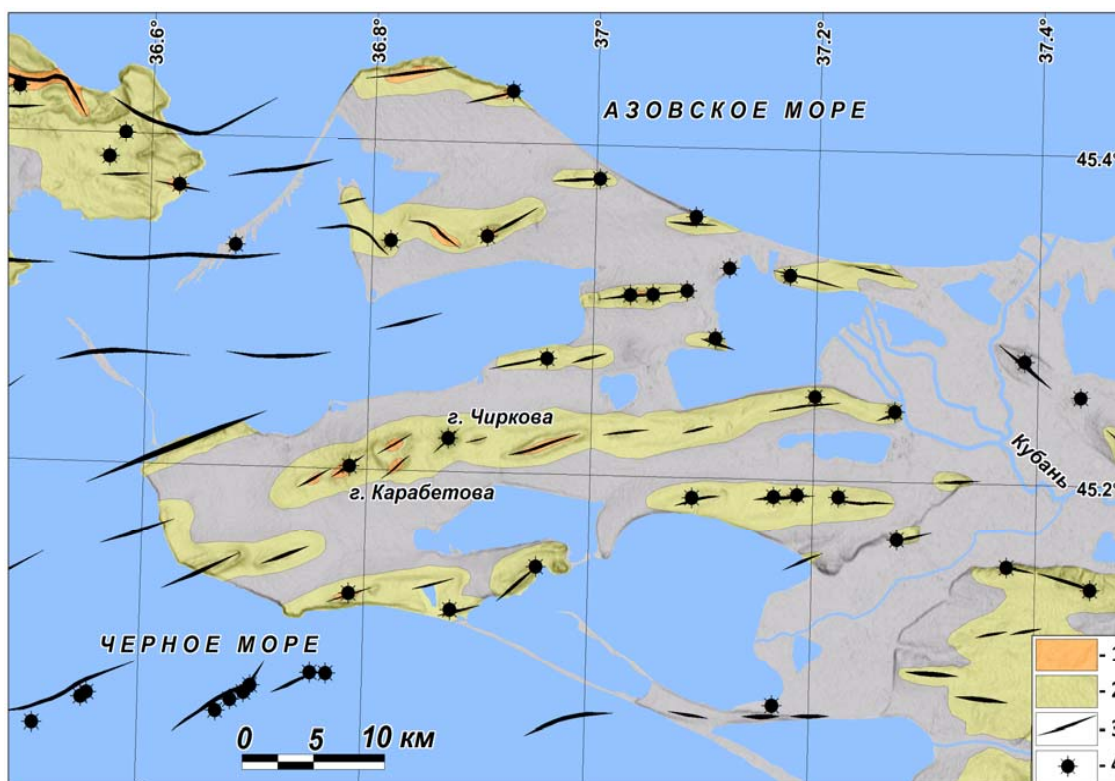


Рис. 1. Тектоническая схема Таманского п-ова. Составлена с использованием данных: [Шарданов, 1962; Самулева и др., 1970; Шнюков и др., 1981; Корсаков, Зарубин, 2001]

1 – майкопская серия (олигоцен-нижний миоцен); 2 – неогеновые (верхнемиоцен-плиоценовые) отложения; 3 – оси антиклинальных складок деформирующих верхнемиоцен-плиоценовые отложения; 4 – грязевые вулканы.

Для познания глубинного строения Таманского п-ова чрезвычайно важны фундаментальные исследования грязевого вулкана г. Карабетова методом микросейсмического зондирования (ММЗ) [Собисевич и др., 2008]. Основная область питания вулкана была выявлена на глубине 4,5-9 км, а на глубине примерно 0,8-1,5 км – приповерхностный флюидный резервуар. Аномалия, ассоциируемая с областью питания, возможно, продолжается до глубины около 14 км. В свете полученных результатов образование ядра диапировой Карабетовской антиклинали и одноименного грязевого вулкана можно интерпретировать как результат глубинных процессов – давления флюидов, проникающих вдоль относительно узкой зоны с большой глубины, приводящего к разуплотнению и течению глин майкопской серии. Образование антиклинальной структуры связывается в таком случае не столько с региональным сжатием, сколько с изгибом перекрывающих майкопскую серию осадков под давлением проникающих из глубины разуплотнённых подвижных масс.

Результаты полевых исследований

Карабетовская антиклинальная гряда образована отдельными мелкими диапировыми складками северо-восточной ориентировки, сгруппированными в эшелонированный ряд субширотного простирания. На западе гряды расположена Кара-

бетовская антиклиналь, имеющая ярко выраженную диапировую структуру – её сводовая часть прорвана интенсивно дислоцированными глинами майкопского возраста; облегающие ядро складки миоценовые слои залегают под углами до 60-70°, а на крыльях складки они быстро выполаживаются.

К Карабетовской антиклинали приурочен один из самых активных грязевых вулканов региона, демонстрирующий частые взрывные извержения. Извержения вулкана происходили в 1818, 1835, 1856, 1862, 1882, 1908, 1952 и 1982 гг. [Шнюков и др., 2006]. Последнее мощное извержение вулкана случилось 6 мая 2001 г. Оно сопровождалось сильным гулом, выбросами пламени и столбов дыма и пыли. Вокруг центра извержения были разбросаны крупные куски глины с бородами скольжения, обожжённой до кирпично-красного крепкого шлака, а на поверхности грязе-вулканического плато образовалась система трещин, имеющих много общего с поверхностными сейсмотектоническими разрывами [Кухарев и др., 2002; Овсяченко, 2005]. Основными элементами этой системы являются эшелонированные ряды открытых разрывов (рис. 2). Главный эшелонированный ряд поверхностных разрывов имеет северо-восточную ориентировку. Отдельные разрывы этой системы открыты на 0,3-0,5 м и образуют левосдвиговый эшелон. Амплитуда левого сдвига, измеренная по смещению микроформ рельефа, составила 0,2-0,3 м [Овсяченко, 2005].



Рис. 2. Поверхностные разрывы, образовавшиеся в результате взрыва горы Карабетова 6 мая 2001 г., фото 2003 г. [Овсяченко, 2005]

Новообразованные сдвиговые разрывы оказались вложены в запыленные линейные ложбины прослеживаемые вдоль всего грязе-вулканического плато, которые, очевидно, являются следами прежних катаклизмов. По всей видимости, при прошлых извержениях разрывообразование сопровождалось смещениями с той же кинематикой, что и в 2001 году. Система поверхностных нарушений была закартирована в детальном масштабе (рис. 3).

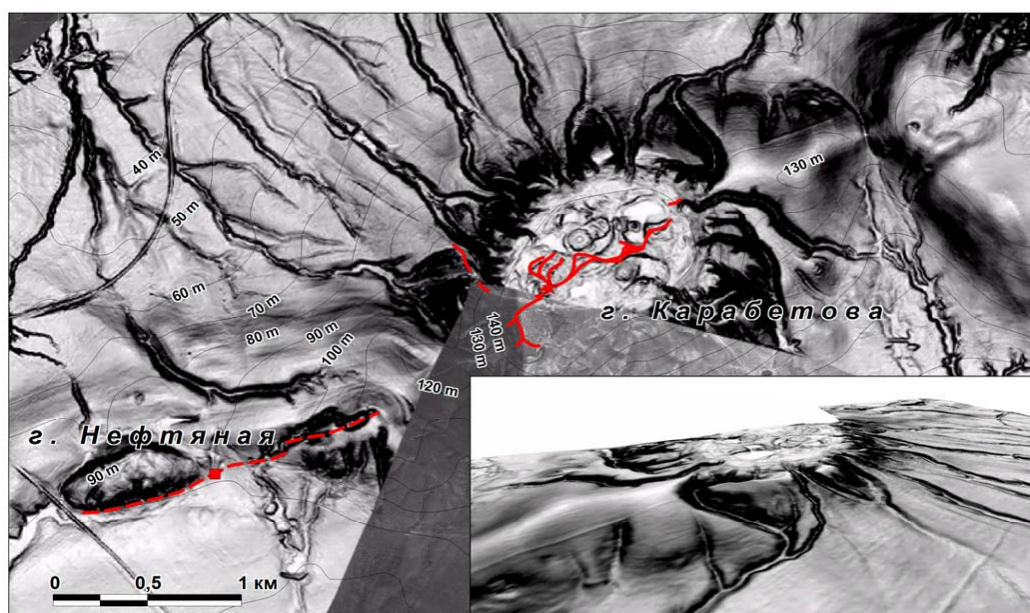


Рис. 3. Схема морфотектоники района г. Карabetова, построенная на основе материалов лазерного сканирования выполненного ЗАО «НИПИ «ИнжГео» и космоснимка Ресурс-ДК. Красными сплошными линиями показаны грязе-вулканические поверхностные разрывы, штриховыми – зона разлома, прослеженная в молодых и коренных отложениях, квадратом – канава, звездочкой – центр взрывного извержения 2001 г. На врезке – трёхмерная модель рельефа грязе-вулканического плато г. Карabetова

В западном направлении, на простирании поверхностных разрывов грязе-вулканического плато г. Карabetова, в коренных породах сарматского яруса прослеживается тектонический разрыв с разнонаправленными бороздами скольжения (рис. 4). Он вытянут вдоль глубоко врезанной, спрямленной балочной долины, в днище и бортах которой расположено четыре небольших действующих грязевых грифона.



Рис. 4. Борозды скольжения вдоль плоскости тектонического разрыва в породах сарматского яруса.

По простиранию разрыва прослеживается серия ложбин, выделяющаяся среди окружающей степи красноватой растительностью, характерной для грязевых вулканов и солёных источников. Западнее, эта ложбина трассируется к основанию крутого южного склона Нефтяной горы, где протягивается извилистый уступ высотой до 2 м (рис. 5). У подножия уступа происходит отложение конусов выноса глубоко врезанных временных водотоков, что указывает на его постоянное подрастание.



Рис. 5. Тектонический уступ (между стрелками) в южном подножии Нефтяной горы

Внутреннее строение уступа было изучено в канаве, пройденной вкrest его простирания (рис. 6, 7). В канаве, под маломощным суглинистым покровом вскрыты перемятые глинистые отложения майкопской серии с запахом нефти, нарушенные разрывами взбросо-надвигового типа с бороздами скольжения. Разрывы имеют пологое ($20-45^{\circ}$) падение в северном направлении. Они изгибают подошву покровных суглинков, а в двух случаях разрывают и почвенный покров, выходя на дневную поверхность. К бровке уступа приурочен диапир сложенный голубыми, пластичными глинами с запахом сероводорода. Он имеет пространственные параметры аналогичные разрывам взбросо-надвигового типа. Можно полагать, что диапир развит вдоль основного сместителя. В его опущенном, северном крыле резко нарастает мощность покровных суглинков. Здесь они содержат многочисленные обломки песчаников и фрагменты глин и аргиллитов, переотложенные с поднятого крыла. Горизонты погребённых палеопочв в переотложенных слоях отсутствуют, что свидетельствует о медленном характере движений по разлому, без резких вертикальных подвижек. В то же время, смещения современной почвы и покровных отложений свидетельствует о высокой современной подвижности разлома.

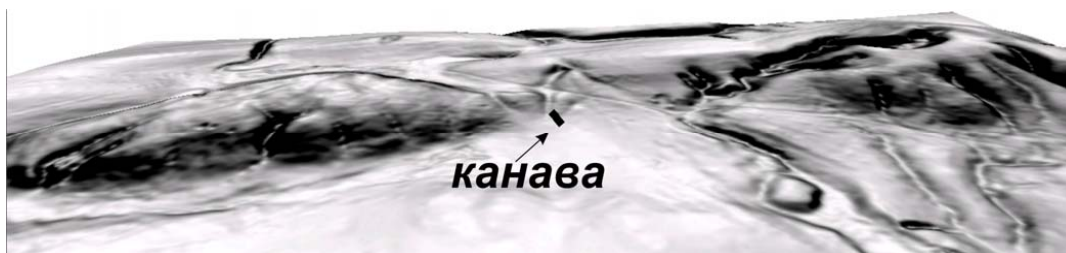


Рис. 6. Трёхмерная цифровая модель рельефа района проходки канавы, построенная на основе материалов лазерного сканирования выполненного ЗАО «НИПИ «ИнжГео»

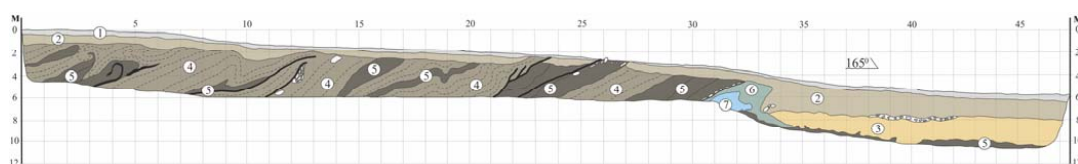


Рис. 7. Зарисовка стенки канавы пройденной вкрест простирания тектонического уступа в южном подножии Нефтяной горы

- 1 – почвенный покров (серозём); 2 – светло-серые пылеватые покровные суглинки; 3 – переотложенные буровато-коричневые, тяжелые, тугопластичные суглинки с щебней и дресвой песчаников; 4 – черные аргиллиты с примазками ярозита и запахом нефти, штриховыми линиями показана слоистость (майкопская серия); 5 – черные, тёмно-серые пластичные слоистые глины (майкопская серия); 6 – пёстрые (бурые, голубые) глины с щебнем, дресвой песчаников и примазками охры; 7 – голубые, пластичные глины с запахом сероводорода.
Черные линии – сместители с плоскостями скольжения.

На востоке Карабетовской антиклинальной гряды выделено три коротких разрыва, также тесно связанных с грязевым вулканизмом и диапировыми складками (рис. 8).

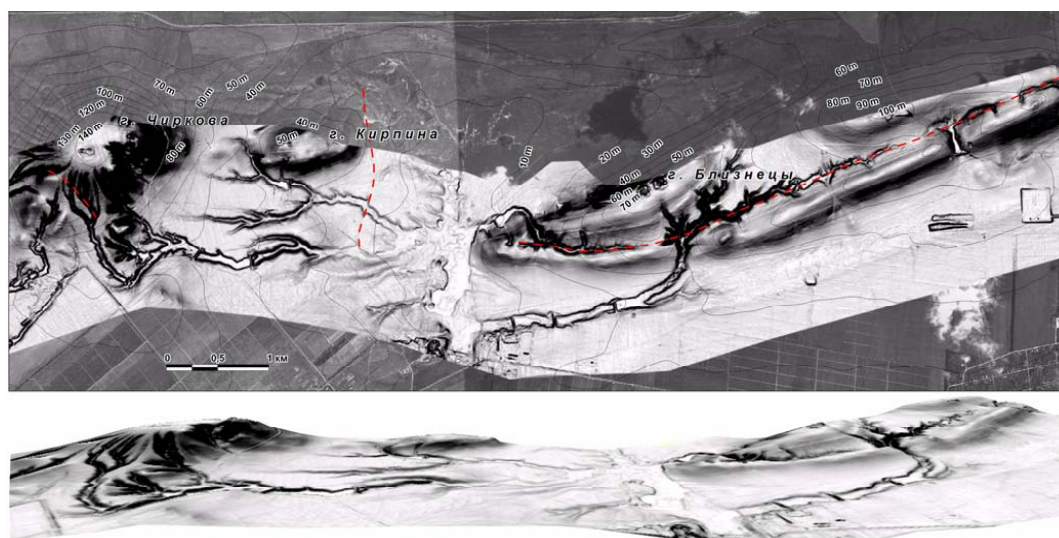
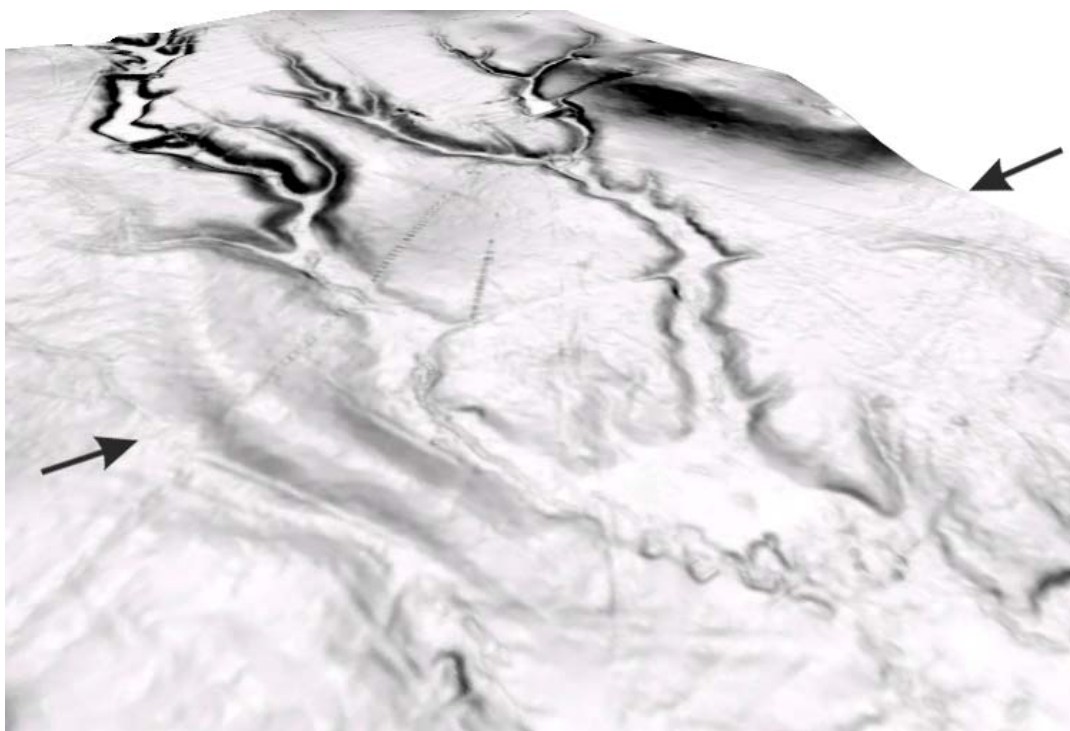


Рис. 8. Плоская и трёхмерная модели рельефа восточной части Карабетовской антиклинальной гряды, построенные на основе материалов лазерного сканирования выполненного ЗАО «НИПИ «ИнжГео» и космоснимка Ресурс-ДК. Штриховыми линиями показаны разломы.

В осевой части антиклинали г. Близнецы расположен разрыв взбросового типа нарушающий отложения от майкопских до позднемиоценовых [Кандауров и др., 2000]. Вдоль него прослежен тектонический контакт майкопских аргиллитов (обожжённых глин) и сарматских алевролитов. К нему приурочены грязевые источники и активные бугры пучения высотой от 0.5 до 2 м. О современном росте бугров свидетельствует задирание почвенного покрова вдоль их окраин.

В районе г. Кирпина по предположительному правосдвиговому смещению осевой плоскости Карабетовской антиклинальной гряды величиной около 1 км выделен предполагаемый (погребённый) разлом [Кандауров и др., 2000]. На поверх-

ности он проявлен линейной ложбиной, вдоль которой долины временных водотоков испытывают резкий правосторонний изгиб (рис. 9). Эта линейная ложбина прослеживается на плоской поверхности котловины, сложенной мощной (10 м и более) толщей покровных лёссовидных суглинков, которая разделяет антиклинали г. Кирпина и г. Близнецы. Поверхность котловины обнаруживает признаки опускания – здесь преобладает аккумуляция материала, сносимого с окружающих антиклинальных возвышенностей. Долины временных водотоков в пределах котловины имеют широкие, плоские днища, заполненные песчано-глинистыми осадками, без активных эрозионных врезов. Вкрест простирания ложбины была пройдена канава, в которой под мощным (до 1 м) степным серозёмом вскрыты лёссовидные суглинки со столбчатой отдельностью. Явных признаков тектонических деформаций в них не обнаружено, что может быть связано с вышеописанными обстоятельствами. Таким образом, несмотря на очевидные признаки сдвиговых смещений, природа этой ложбины осталась не ясной.



*Рис. 9. Трёхмерная модель рельефа, построенная на основе материалов лазерного сканирования выполненного ЗАО «НИПИ «ИнжГео» в районе г. Кирпина.
Между стрелками – поверхностное выражение предполагаемого разлома*

На юго-западном склоне грязе-вулканической горы Чиркова по дистанционным данным выделен короткий разлом северо-западного простирания (рис. 10). Здесь прослеживается линейный вал с поднятым юго-западным крылом, расположенным ниже по склону. Вдоль вала прослеживается линейная взрыхленная и растресканная полоса. Часто вдоль трещин наблюдаются небольшие бугры пучения высотой до 0,5 м. Длина трещин – до 3 м, ориентировка системы трещин – ССЗ. Не явно выраженная полигональная структура системы трещин указывает на их происхождение в основном в результате усыхания. Однако, по смещению краёв одной тре-

щины наблюдается правый сдвиг до 5 см. Также вдоль трещин наблюдаются следы временных грязевых источников. Судя по отсутствию растительности вдоль трещин, вода была солёной. Все эти признаки указывают на медленные современные смещения по короткому разрыву.

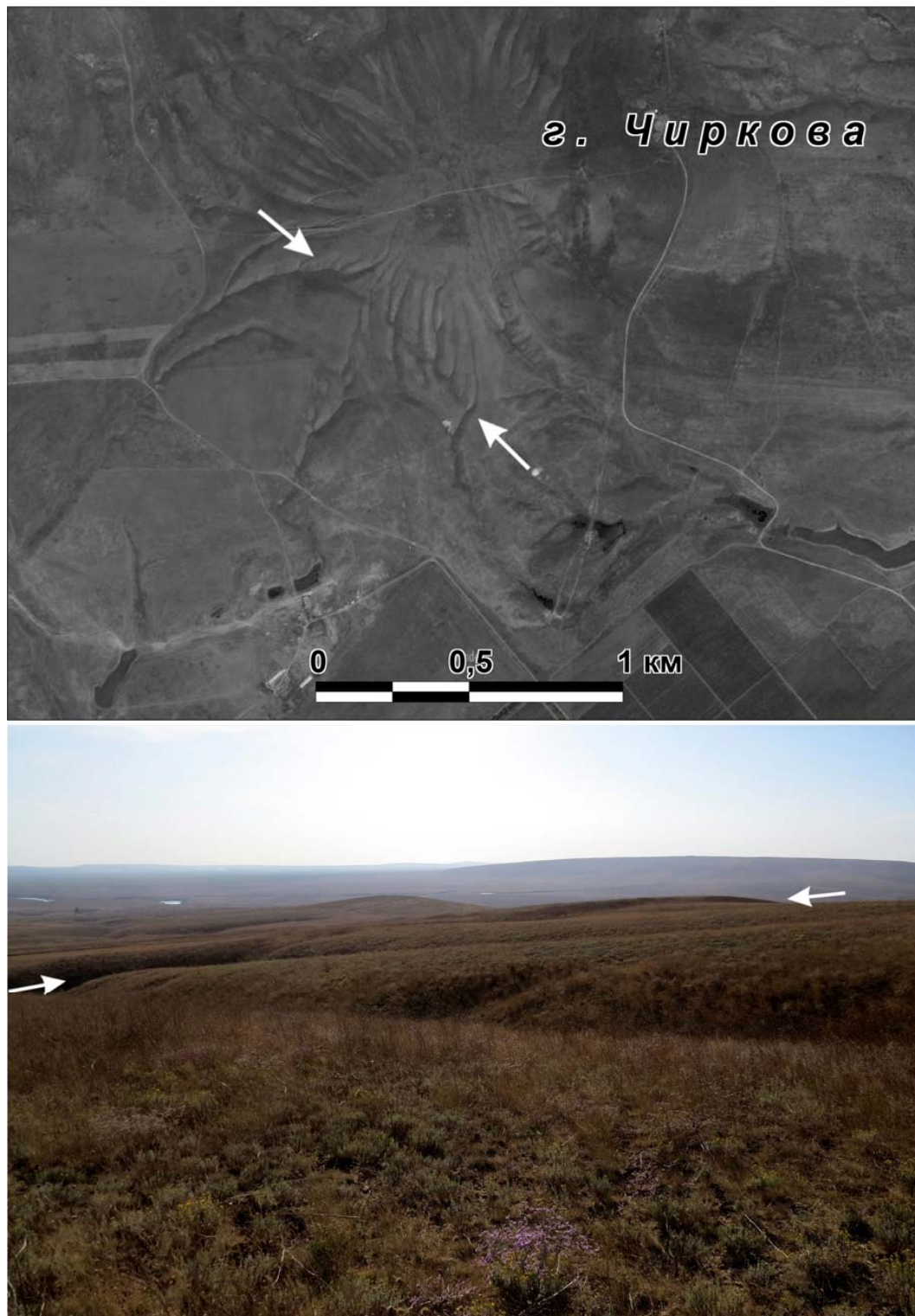


Рис. 10. Космоснимок QuickBird района горы Чиркова и фото вала на юго-западном склоне (между стрелками)

Таким образом, разлом на горе Чиркова имеет очень небольшую длину (около 600 м), но выразительно проявлен в рельефе. Этот короткий разрыв, по всей видимости, тесно связан с грязе-вулканической деятельностью и порождёнными ею изгибами поверхности горы Чиркова.

Заключение

Традиционно к опасным сейсмическим и тектоническим явлениям относятся собственно сейсмические сотрясения, вторичные эффекты (порожденные землетрясением оползни, обвалы и разжижения грунта), сеймотектонические разрывы, возникающие моментально, и медленные смещения по разломам. В процессе сеймотектонических исследований на Таманском п-ове выяснилось, что помимо этих явлений серьёзную опасность представляют также деформации связанные с грязе-вулканической деятельностью. Помимо медленного выделения газа, воды и грязи, грязевые вулканы демонстрируют и мощные взрывные извержения, сопровождаемые не только катастрофическими выбросами шлака и грязи, но и деформациями обширных участков земной поверхности. На поверхности при таких извержениях образуются разрывы, обнаруживающие большое сходство с сеймотектоническими. Сходство заключается, прежде всего, в импульсном характере подвижки и смещениях земной поверхности с устойчивой кинематикой вдоль всего разрыва.

Грязевые вулканы безусловно являются неблагоприятными участками для размещения любых инженерных сооружений. Кроме того, при исследованиях на Таманском п-ове выяснилось, что опасность представляют смещения по разломам, к которым приурочены грязевые вулканы. Эти разломы имеют небольшую длину в сотни метров – первые километры и трассируются за пределы грязе-вулканических построек. Они отличаются высокой современной подвижностью, с ними связаны разнообразные деформации земной поверхности, включая активные бугры пучения неясной природы.

Благодарности

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

Литература

1. Кандауров А.С., Молчанов Е.Г., Брижатая Н.П. и др. Геологическая карта Таманского полуострова масштаба 1:100 000. Краснодар: ГУП «Кубаньгеология», 2000.
2. Корсаков С.Г., Зарубин В.В. Геологическая карта РФ масштаба 1:200 000. Изд. 2-ое. Серия Кавказская, листы L-37-XIX, L-37-XXV (Тамань). Ессентуки: Кавказгеолсъёмка, 2001.
3. Кухарев И.Л., Соколов А.А., Шереметьев В.М., Лозовой С.П. Геологическое описание последствий взрыва вулкана Карабетова. // V международный семинар «Стихия –2002», Севастополь, 2002. С. 112-114.
4. Милановский Е.Е. Новейшая тектоника Кавказа. М.: Недра, 1968. 483 с.
5. Несмеянов С. А., Измайлов Я. А. Тектонические деформации черноморских террас Кавказского побережья России. М.: ПНИИИС, 1995. 239 с.
6. Овсяченко А.Н. Проявления молодой тектонической активности в структуре грязевых вулканов Тамани и Северо-Западного Кавказа. // Современные методы

геолого-геофизического мониторинга природных процессов на территории Северного Кавказа. М.: ИФЗ РАН, 2005. С. 235-248.

7. Овсюченко 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.

8. Самулева В.И., Балакина А.А., Алейникова П.К. Геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Серия Крымская, листы L-37-XIX/XXV (Керчь). Ред. М.В. Муратов. К.: Киевгеология, 1970.

9. Собисевич А.Л., Горбатиков А.В., Овсюченко А.Н. Глубинное строение грязевого вулкана горы Карabetова. // Доклады АН, 2008. Т. 422, № 4. С. 542-547.

10. Трифонов В.Г., Кожурин А.И. Проблемы изучения активных разломов. // Геотектоника. 2010. № 6. С. 79-98.

11. Шарданов А.Н. Тектоническая карта Краснодарского края. // Вопросы тектоники нефтегазоносных областей. М.: Изд-во АН СССР, 1962. С. 149-157.

12. Шнюков Е.Ф., Аленкин В.М., Путь А.Л. и др. Геология шельфа УССР. Керченский пролив. Киев: Наукова думка, 1981. 160 с.

13. Шнюков Е.Ф., Шереметьев В.М., Маслаков Н.А., Кутний В.А., Гусаков И.Н., Трофимов В.В. Грязевые вулканы Керченско-Таманского региона. Краснодар: Глав-Медиа, 2006. 176 с.

GEOLOGICAL RESEARCHES FOR ENDOGENOUS NATURAL HAZARDS OF THE TAMAN PENINSULA

© 2016 A.N. Ovsyuchenko, Sc. Candidate (Geol.), A.I. Sysolin

Schmidt Institute of Physics of the Earth of RAS, 123995, Moscow, B. Gruzinskaya 10,
e-mail: ovs@ifz.ru

Except for the earthquakes, essential hazard on Taman peninsula is represented with mud volcanoes. Besides slow liberation of gas, water and a mud, volcanoes show also powerful explosive eruptions. On an example of a Karabetova mud volcano it is shown, that on a surface at such eruptions the fissures which are finding out the big similarity with seismic ruptures are formed. Hazard is represented also with displacement on faults for which mud volcanoes are dated. These faults have small length (hundreds meters – the first kilometers), but differ high modern activity and are traced for limits of mud-volcanic constructions.

Keywords: Taman peninsula, mud volcanoes, active faults, natural hazards.

УДК 550.34.01

О РЕАЛЬНОМ ПУТИ К ОСУЩЕСТВЛЕНИЮ ПРОГНОЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

© 2016 А.К. Певнев, д.т.н.

Институт физики Земли РАН им. О.Ю. Шмидта, Россия,
123995, г. Москва, ул. Б. Грузинская, 10, e-mail: an.pevnev@yandex.ru.

Прогноз землетрясений является одной из актуальнейших проблем человечества, которая со временем возрастает. В XX веке были предприняты попытки решить проблему без использования каких-либо моделей подготовки и реализации очагов землетрясений а элементарно – методами обратных задач (распознавание образа) с помощью измерения и анализа разнородных аномалий в различных геофизических и других полях. Однако эти попытки успехом не увенчались из-за того, что эти задачи оказались некорректными. В силу этого возникла необходимость поиска новых путей решения этой проблемы. Наиболее реальный путь решения проблемы был предложен создателем первой научно обоснованной программы прогноза землетрясений академиком АН СССР Григорием Александровичем Гамбурцевым, реализовать который ему не позволила преждевременная трагическая кончина. Опираясь на указанные соображения Г.А. Гамбурцева, была разработана деформационная модель подготовки очага корового землетрясения, из которой следует, что осуществление точных прогнозов места и максимальной силы очага готовящегося землетрясения вполне реально. Реализация этих прогнозов возможна с помощью геодезических прогнозных систем, которые позволяют определять смещения и деформации блоков земной коры на базах в десятки и более километров.

К сожалению, и в настоящее время бытует мнение о геодезии лишь как о ремесле. Это, конечно же, заблуждение: грамотно поставленные геодезические исследования изучают современную тектонику. Достаточно вспомнить тектонику литосферных плит: современные скорости и направления их смещений получены именно методами динамической геодезии. Отмечено, что первая геодезическая прогнозная система была организована на сейсмогенном разломе Империял в Мексике. Рассмотрены разные аспекты создания Владикавказского геодинамического прогнозного полигона в Северной Осетии.

Ключевые слова: прогноз землетрясений, упругость, сейсмогенная деформация.

*Посвящается памяти академика
Григория Александровича Гамбурцева.*

Наука изучает только то, что можно измерить, это совершенно правильно; следует, однако, выделить то, что заслуживает быть измеренным.

Ремю Шовен.

Введение

Прогноз землетрясений является древнейшей и пока все еще не осуществленной мечтой человечества. Решительные шаги для решения этой проблемы были предприняты международным сообществом ученых лишь в 20-м веке. Наиболее масштабные и длительные исследования проводились в СССР, США и Японии. Но, к сожалению, эти исследования проблемы не решили.

Если говорить о причинах этой неудачи, то основной и определяющей из них, очевидно, является ошибочно выбранная стратегия решения проблемы прогноза

места, готовящегося очага землетрясения. Она зиждется на идеях обнаружения места очага не с помощью методов поиска прямых достоверных признаков его существования, а на решении проблемы методами обратных задач (распознавание образа) по разрозненным косвенным признакам – аномалиям в различных полях: сейсмических, деформационных, гидрогеологических, геохимических, электромагнитных и многих др.

Однако для такого решения задачи необходимо не только измерить порождаемые готовящимся очагом аномалии, но и, самое главное, однозначно их опознать. И вот почему.

Как известно обратные задачи подразделяются на два класса – корректные (корректно поставленные) и некорректные (некорректно поставленные). Одним из непеременимых условий для корректного решения подобной задачи является гарантированное выделение из всех фиксируемых аномалий лишь тех, которые порождены одним и тем же искомым объектом (условие существования решения), в нашем случае очагом готовящегося землетрясения. Только в этом случае обратная задача имеет положительное решение при любых допустимых исходных данных.

Так как использование различных разрозненных аномалий для «распознавания искомого образа» положительных результатов не дало, то из этого следует однозначный вывод – эти обратные задачи являются некорректно поставленными. Если предположить, что готовящийся очаг землетрясения действительно порождает рассматриваемые разрозненные аномалии и они действительно бывают измеренными, то возможная причина некорректности кроется в системе выбора этих необходимых данных – для этого нет надежных фильтров, с помощью которых можно было бы избавляться от фоновых помех, как региональных, так и глобальных, т.е. из «шума» выделять только лишь полезный сигнал.

Следует отметить, что с конца 20-го века критические оценки «стратегии аномалий» начинают звучать все отчетливее. Так известный российский сейсмолог О.К. Кондратьев, при рассмотрении вопроса о стратегии решения проблемы прогноза землетрясений, принятой после смерти в 1955 г. директора Геофизического института (ГЕОФИАН) академика Г.А. Гамбурцева, написал следующее: «... начатые работы по прямому изучению разломов земной коры (по терминологии Г.А. Гамбурцева – сейсмических швов) были свернуты. В 1971 г. в Институте физики Земли (бывший ГЕОФИАН) утверждается «Программа работ по поискам предвестников землетрясений», и в 1980 г. новая «Научная программа исследований по прогнозу землетрясений». Эти документы на несколько десятилетий утвердили примат поиска разрозненных сопутствующих явлений, более того, в них была заложена мысль, что наиболее быстрый успех может быть получен при изучении именно косвенных факторов...

Разрушительное Спитакское землетрясение 1988 г. инициировало попытку проанализировать состояние дел с краткосрочным прогнозом и породило определенные сомнения в эффективности ретроспективного анализа разнородных параметров в качестве предвестников землетрясений» [Кондратьев, 1995, с.23].

И еще одно соображение российских сейсмологов о сомнительности использования «аномалий» для обнаружения очагов готовящихся очагов землетрясений:

«Считается, что характеристики среды должны изменяться на различных стадиях «подготовки» сильного землетрясения, что в свою очередь может найти от-

ражение в изменениях наблюдаемых геофизических величин. Попытки отождествления этих вариаций с «аномалиями», предваряющими возникновение сильного землетрясения, и составляют, согласно традиционной методологии, суть поиска предвестников землетрясений. При этом молчаливо предполагается существование детерминированной причинно-следственной связи между указанными явлениями...Необходимость поиска новых подходов продиктована тем кризисом, в котором оказалась современная геофизика на пути решения проблемы прогноза землетрясений» [Мушкетов, 1899, с.7].

Итак, время показало, что господствующая в сейсмологии парадигма решения проблемы прогноза землетрясений оказалась несостоятельной и, следовательно, на повестку дня встал вопрос о поисках новых подходов её решения.

Такие исследования целесообразно было начать с тщательного изучения идей Григория Александровича Гамбурцева – творца первой в СССР научно обоснованной программы решения проблемы прогноза землетрясений. В этой программе наряду с рассмотренной методикой «аномалий» предложен и более фундаментальный путь решения проблемы прогноза землетрясений, основанный на изучении прямых предвестников подготовки очага землетрясения – смещений и деформаций земной коры в сейсмогенных зонах.

Рассмотрим эти соображения Г.А.

К истории вопроса

На территории СССР первое катастрофическое землетрясение произошло в 1948 г. Это было Ашхабадское землетрясение полностью разрушившее город и лишившее жизни более 100 тысяч человек. И именно оно сделало проблему прогноза этих грозных природных явлений одной из актуальнейших в нашей стране. К тому же судьбе было угодно для решения этой поставленной самой жизнью проблемы выбрать достойнейшего человека. Таким человеком оказался директор Геофизического института АН СССР академик Григорий Александрович Гамбурцев. Но, к сожалению, на занятие этой проблемой ему Проведением было отпущено всего лишь около пяти лет. Однако и за столь короткий срок, начав практически с нуля (до 1949 года работы в этом направлении в нашей стране почти не велись) Григорий Александрович по существу совершил в проблеме настоящую революцию. Ему удалось создать столь всеобъемлющую, глубоко продуманную и научно обоснованную программу исследований по проблеме прогноза землетрясений, что и по сей день она не только не утратила своего значения как руководства к осуществлению практически значимого прогноза землетрясений, а даже наоборот, прошедшие десятилетия лишь открывают новые для многих из нас блестящие грани творения академика Гамбурцева.

Без сомнения, Григорий Александрович обладал недюжинными способностями выдающегося ученого. Изучая его немногочисленные и немногословные работы по проблеме прогноза землетрясений нельзя не восхищаться его удивительной интуицией и даром научного предвидения. Около полувека тому назад он первым в мире предложил модель процессов зарождения и развития очагов сильных землетрясений, которая оказалась удивительно адекватной действительным природным процессам. Обратимся к первоисточнику:

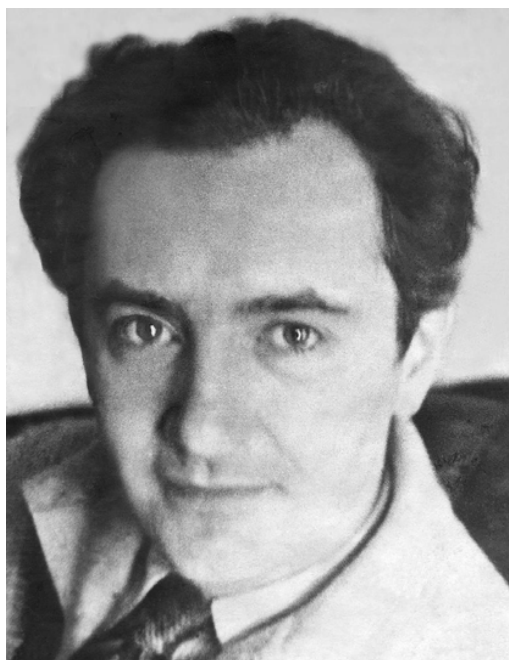


Рис. 1. Григорий Александрович Гамбургцев.

«Программа базируется на следующих представлениях о механизме возникновения землетрясений и о существовании закономерных пространственных и временных связей между слабыми сейсмическими толчками, медленными движениями земной коры и сильными землетрясениями.

В процессе своего развития земная кора расчленялась на относительно прочные блоки, разделенные ослабленными зонами – сейсмическими швами. Медленные относительные смещения этих блоков приводят к накоплению сдвиговых напряжений и их концентрации в определенных местах шва. Там, где напряжения превосходят предел прочности, возникают очаги землетрясений. Энергия самых сильных землетрясений в 10^{17} и более раз превосходит энергию слабых сейсмических толчков. Так как напряжения разрыва не могут меняться в очень широких пределах, то отсюда следует, что энергия землетрясения в основном определяется не напряжением, а размерами очага, т.е. размерами той области, внутри которой в результате землетрясения исчезают сдвиговые напряжения. Таким образом, крупные землетрясения имеют очаги большого объема, а слабые землетрясения – очаги малого объема» [Гамбургцев, 1960, с.437–438].

«Наряду с процессом разрушения – уменьшения прочности отдельных участков сейсмических швов, – может идти обратный процесс “залечивания” разрушенных мест, образования новых “спаек” между соседними блоками. Таким образом, происходит закономерная смена взаимосвязанных процессов медленных и быстрых движений, накопления и разрушения напряжений, увеличения и уменьшения прочности» [Развитие идей..., 1982, с. 306].

Из приведенных соображений Григория Александровича однозначно следует, что в процессах подготовки и реализации землетрясений пальму первенства он вслед за нашими выдающимися основоположниками сейсмологии и сейсмогеологии А.П. Орловым [1887], И.В. Мушкетовым [1899], Б.Б. Голицыным [1960] и известным американским ученым Рейдом [Reid, 1911] и др. отдавал глубинным

тектоническим процессам. Однако никто из предшественников Г.А. не предложил столь наглядного и достоверного механизма формирования очагов землетрясений. Первым это сделал Григорий Александрович, который ввел емкие понятия “сейсмического шва” и “спайки” и предсказал, что концентрация сдвиговых напряжений, порождаемая медленными смещениями блоков, происходит не на всем протяжении сейсмического шва (сейсмогенного разлома в современной терминологии), а лишь на тех его участках, на которых возникают “спайки” блоков земной коры.

Истинное восхищение вызывает удивительно простое и физически обоснованное решение Григорием Александровичем вопроса о функциональной связи энергии землетрясения не с напряжением, а с размерами его очага. Эти отмеченные соображения Г.А. являются основополагающими в вопросах точного прогноза места формирования очага будущего землетрясения и его максимально возможной силы.

В дополнении к вышеизложенному приведем крайне важные для рассматриваемой нами проблемы соображения Г.А.

«Частые слабые и редкие сильные землетрясения вместе с медленными движениями земной коры образуют единый глубинный процесс, изучение которого должно лечь в основу развития методов прогноза землетрясений» [Гамбурцев, 1960, с.437].

«Землетрясения происходят в результате быстрого разрешения напряжений, относительно медленно нарастающих в земной коре. Таким образом, первая часть задачи предвидения землетрясений состоит в обнаружении этих напряжений. Вторая часть её состоит в определении таких особенностей в процессе подготовки напряжений, которые непосредственно предшествуют их разрешению» [Научное наследие..., 2003, с. 228].

Анализ приведенных соображений Г.А. позволяет сделать следующие выводы.

1. Причина коровой сейсмичности (очаги землетрясений находятся в земной коре) обусловлена тектонической активностью Земли, а именно смещениями блоков земной коры по разделяющим их сейсмогенным разломам, т.е. подготовка и разрушение очагов коровых землетрясений являются процессами механическими.

2. Обоснован механизм накопления упругих напряжений в очагах готовящихся землетрясений – возникновение «гамбурцевской спайки» (концентратора напряжений), препятствующей в месте ее возникновения взаимному смещению бортов сейсмогенного разлома и тем самым порождающей в этом месте разлома локальное поле упругих напряжений, которое и провоцирует начало процесса подготовки очага землетрясения.

3. Намечен путь к осуществлению прогноза места готовящегося землетрясения: «первая часть задачи предвидения землетрясений состоит в обнаружении этих напряжений» [Научное наследие..., 2003, с. 228].

4. Намечен путь к осуществлению прогноза силы готовящегося землетрясения – «Таким образом, крупные землетрясения имеют очаги большого объема, а слабые землетрясения – очаги малого объема» [Гамбурцев, 1960, с.437–438].

5. Намечен путь к осуществлению прогноза времени готовящегося землетрясения – «Вторая часть её состоит в определении таких особенностей в процессе подготовки напряжений, которые непосредственно предшествуют их разрешению» [Научное наследие..., 2003, с. 228].

Таким образом, прямой путь к прогнозу землетрясений Г.А. видел в исследова-

ниях, позволяющих изучать закономерности взаимных смещений блоков земной коры по разделяющим их разломам, а также деформации этих блоков.

Определяя опытным путем величины смещений блоков по разломам, а также и возникающие при этом упругие деформации в этих блоках можно определить вид деформационного признака подготовки очага землетрясения, а также длину участка сейсмогенного разлома, на котором этот признак имеет место. Именно так можно осуществить два прогноза – прогноз места и силы готовящегося очага землетрясения.

Осуществление прогноза времени совершенно обоснованно Г.А. видел в исследовании особенностей «в процессе нарастания напряжений, которые непосредственно предшествуют их разрешению», т.е. в аномалиях нарастания напряжений, которые должны наблюдаться при переходе от стадии созидания очага к стадии его разрушения.

Так как размеры очагов сильных землетрясений измеряются десятками и более километров, то для осуществления прогнозов места и силы пригоден лишь геодезический метод, который позволяет изучать смещения и деформации земной коры на больших базах.

Вполне естественно, что для осуществления необходимых геодезических исследований Г.А. привлек Центральный Научно Исследовательский Институт Геодезии, Аэросъемки и Картографии (ЦНИИГАиК). Таким образом, благодаря Г.А. геодезия как наука впервые официально была привлечена к решению проблемы прогноза землетрясений [Вопросы советской науки..., 1954]. К сожалению, приходится констатировать, что ЦНИИГАиК с этой задачей не справился. Без сомнения, одной из главных причин этого явилась преждевременная трагическая смерть Г.А. – проблема оказалась без лидера, который мог бы направить геодезические исследования в нужное русло, а достойной замены ему ни среди геофизиков, ни среди геодезистов не нашлось. Есть все основания считать, что из-за этого путь определения реальных и значительных возможностей геодезии в проблеме прогноза землетрясений оказался очень долгим.

Говоря об отсутствии возможного геодезического лидера в решении рассматриваемой проблемы, хочется вспомнить следующие.

Выдающийся советский геодезист Феодосий Николаевич Красовский высказал следующие провидческие соображения:

«Существует взгляд, что дело геодезистов собирать материалы, которые используют другие ученые, то есть в самой геодезии нет научных проблем. Думается, что когда ежегодно в течение десятков лет сотни ученых геодезистов собирают точнейшие материалы на огромной территории, то уже сама программа собирания этого материала требует весьма тщательной научной разработки...

Почти всегда в научной геодезии имеют дело с установлением очень малых величин, которые, однако, свидетельствуют о мощных грандиозных процессах в жизни Земли. Конечно, дело заключается не в том, чтобы отвести геодезистов от интерпретации колебаний земных полюсов, уклонений отвесных линий, аномалий силы тяжести, колебаний уровней морей и т.п., а дело именно заключается в том, чтобы вовлечь геодезистов в научную работу по интерпретации и выяснению физического знания этих явлений в мощном научном центре.

Нам, расходуя ежегодно огромные средства на картографию и геодезию, необходимо усвоить взгляд, что научная картография и геодезия есть часть, и со-

всем немаловажная, науки о Земле, от развития которой зависит и развитие других частей этой важнейшей науки» [Мазмишвили и др., 1938].

Этот призыв поиска действительного места геодезическим исследованиям в науках о Земле прозвучал как набат на фоне успокоительных и расхолаживающих представлений о геодезии лишь как о ремесле. К сожалению, эти представления и сейчас еще живучи.

Однако судьба не позволила Феодосию Николаевичу быть причастным к решению проблемы прогноза землетрясений; он умер в 1948 г., т.е. незадолго до того как Григорием Александровичем было угадано место геодезических исследований в этой проблеме.

Очень и очень жаль, что этим двум выдающимся ученым не пришлось вместе решать проблему прогноза землетрясений. Из-за этого геодезические исследования того времени (после смерти Г.А.) по существу соответствовали пресловутым «поисками пятака под фонарем», так как в подражание другим методам геодезисты считали своей главной задачей лишь поиски различных разрозненных аномалий в смещениях и деформациях земной поверхности, которые тем или иным образом пытались связывать с прогнозом. Десятилетия исследований показали ошибочность этого пути.

Рассуждения на тему тернистости пути познания невольно рождают мысли о том, что Природа не всегда охотно раскрывает свои тайны, но и даже может ставить преграды на пути их решения. В нашем случае это безвременная смерть двух выдающихся ученых, которые могли бы приблизить решение проблемы прогноза землетрясений.

Это небольшое лирическое отступление о роли лидера в науке хочется закончить поэтическими строками русского философа В. Соловьева:

Природа с красоты своей
Покровы снять не позволяет.
И ты машинами не выудишь у ней
Чего твой дух не угадает.

Следует заметить, что начало геодезическим исследованиям было положено на Гармском геодинатическом полигоне. Вот как это описано Г.А. «С 1944 г. в районе Гарм-Сталинобад Гармской экспедицией Геофизического института АН СССР начаты нивелировки высшего класса; установлены репера, высоты которых будут периодически определяться. Результаты работ в этом направлении еще не получены» [Научное наследие..., 2003, с. 228].

Здесь уместно еще раз отметить прозорливость Г.А. – вопреки бытовавшим представлениям о возможности быстрого решения проблемы прогноза землетрясений он понимал, что решение этой сложной многогранной проблемы не может быть скорым. Очень ярко об этом поведала его жена Люся Самуиловна Вейцман:

«Нельзя сказать, что Г.А. не был мечтателем. Он удивительно сочетал в себе ясную необходимость работать на сегодняшний день и в то же время отдавал много сил мечтам, говоря, что всё большее в науке рождается из мечты и труда... Он иногда в своих мечтах намного опережал своё время, и только теперь можно с удивлением видеть, как далеко в завтра заходили его мечты.

Однажды в Щели Дальней (геофизическая обсерватория вблизи Алма-Аты в

подножии хребта Заилийский Алатау. А.П.) к Г.А. пришёл один из сотрудников. Он установил свою аппаратуру для проведения стационарных наблюдений и должен был уехать в Москву. Он был очень озадачен и встревожен: “Что же мы вкалывали, вкалывали, а плоды пожинать будут другие”? Г.А. улыбнулся и сказал: “Если хотите пожинать плоды, не включайтесь в работу по прогнозу землетрясений. Если наши дети или внуки пожнут плоды – это будет просто великолепно» [Григорий Александрович..., 1998, с.143-144].

О небыстром и сложном решении проблемы прогноза землетрясений говорят и следующие провидческие соображения Г.А.

«Превалирование сейсмостатистики при современном состоянии сейсмологии и сейсмогеологии является вынужденным. В дальнейшем, по мере накопления наших знаний о природе землетрясений и об их возникновении, роль сейсмостатистики должна уменьшаться и соответственно главное значение должны получить твердо обоснованные физические и геологические критерии сейсмичности. В этом основная задача развития методов сейсмического районирования (Г.А. прогнозы места и силы землетрясения отнес к сейсмическому районированию)» [Гамбурцев, 1960, с.431].

Даже трудно представить себе сколь архисовременны эти соображения, высказанные много десятков лет назад.

Когда читаешь у наших классиков такие намного опережающие время мысли, то испытываешь чувство безмерной радости и гордости, так как воочию убеждаешься в том “что может собственных Платонов и быстрых разумом Невтонов Российская земля рождать”.

И еще раз приходится посетовать на то, что судьба не отпустила Григорию Александровичу времени на реализацию этих идей, а у принявших от него эстафету, эти идеи, к сожалению, не стали определяющими. Здесь крайне уместно процитировать сына Г.А. – А.Г.Гамбурцева – “С тех пор начались работы по прогнозу, о которых много написано в трудах отца и к которым, к сожалению, мало сейчас обращаются” [Григорий Александрович..., 1998, с.151].

В подтверждение слов А.Г. Гамбурцева приведем соображения двух известных советских сейсмологов Н.В. Шебалина и А.В. Друмя:

“Теперь нам известно, что искать будущие землетрясения нужно там, где в недрах литосферы копится энергия деформации сдвига и где есть подходящие разломы для её выделения... Но как узнать, где напряжения могут копиться, а где они тихо и незаметно рассасываются в результате спокойных, тихих процессов ползучести?... Итак, первая неудача: нет простого способа узнать, где в литосфере копится упругая энергия перекося. Нет общих явных признаков таких мест” [Друмя, Шебалин, 1985, с.132-133].

Таким образом, даже во второй половине прошлого века некоторые сейсмологи были уверены в отсутствии возможных методов изучения деформационных процессов, происходящих в готовящихся очагах коровых землетрясений. А так как первую скрипку в проблеме прогноза сейсмологи оставляют за собой, то до тех пор, пока они не избавятся от своих заблуждений, проблема прогноза землетрясений будет пребывать в состоянии кризиса [Болт, 1981; Лукк и др., 1996].

Итак, в решении проблемы прогноза землетрясений настало время вернуться на путь, намеченный Григорием Александровичем Гамбурцевым. С этой целью была разработана деформационная модель подготовки очага корового землетрясения, ко-

торая полностью подтвердила правильность Гамбургцевского пути к прогнозу коровых землетрясений.

Ниже описаны основные положения этой модели и подтверждающие их выводы.

1. О причине зарождения и подготовки очагов коровых землетрясений

Рассматривая проблему прогноза землетрясений следует иметь в виду, что Земля подвержена двум видам сейсмичности: коровой и глубокофокусной. Коровые землетрясения происходят в земной коре, а глубокофокусные в расположенной под земной корой мантии Земли. Основная масса мантийных землетрясений происходит на глубинах 100–300 км, однако отмечены землетрясения и на глубине 700 км. В предлагаемой статье речь идет о прогнозе коровых землетрясений. Вопрос о интервале глубин расположения коровой сейсмичности в земной коре (ее сейсмогенном слое) рассмотрен следующем параграфе.

Опираясь на вышеизложенные соображения Г.А., есть основания считать, что коровая сейсмичность является следствием тектонической активности Земли, порождаемой глубинным эндогенными процессами, которые на земной поверхности проявляются в ее непрерывном движении. Энергией этих процессов создаются горы и впадины, движутся континенты и огромные участки океанического ложа. Они разбили земную кору (литосферу) на множество блоков и заставляют смещаться эти блоки относительно друг друга по разделяющим их глубинным разломам. Скорости относительных смещений систем блоков по указанным разломам существенно различаются для различных тектонических структур Земли. Наибольшую скорость смещения имеют блоки в тектонически активных горных структурах Земли – в орогенах. Здесь скорости измеряются сантиметрами в год. Так на разломе Сан-Андреас в Калифорнии (рис. 2) эта скорость составляет 5 см/год, а в зоне сочленения Памира и Тянь-Шаня (Вахшский надвиг) – 2,5 см/год. С максимальной, измеренной геодезическими методами, скоростью – 10 см/год смещается ложе Тихого океана.



Рис. 2. Разлом Сан-Андреас, как гигантский шрам, пересекает равнину Карризо в Калифорнии, по [Ботт, 1974].

С существенно меньшими скоростями смещаются блоки земной коры в **тектонически менее активных структурах Земли**. К таким структурам относятся обширные равнинные участки земной коры – платформы. Скорости смещений блоков на платформах примерно на порядок меньше чем в орогенах и измеряются миллиметрами и даже десятками долями мм/год.

Структуры, отличающиеся большими скоростями смещений в разломах, являются и наиболее сейсмоопасными, в то время как тектонически малоактивные структуры являются менее сейсмоопасными. Это позволяет сделать обоснованный вывод о существовании прямой корреляционной зависимости между сейсмической активностью тектонических структур и скоростями смещений блоков земной коры в этих структурах и, следовательно, причину сейсмичности следует искать в особенностях поведения этих скоростей. Вид возможных вариаций скоростей, при которых в том или ином участке разлома возможно зарождение очага землетрясения определить достаточно просто: если поверхности разделенных разломом блоков не препятствуют их перемещению, т.е. блоки как бы «скользят» относительно друг друга, то эта ситуация исключает возможность зарождения очага сильного корового землетрясения на этом участке разлома. Если же возникает ситуация, мешающая на каком-либо участке сейсмогенного разлома свободному перемещению блоков, т.е. если на этом участке разлома появится так называемый концентратор напряжений, то лишь в этом случае возникают условия для накопления в этом участке упругих напряжений – зарождение очага землетрясения.

Таким образом, рассматривая возможные причины зарождения очага землетрясения, т.е. старта процесса накопления сейсмогенных деформаций в этом очаге, можно прийти к выводу, что начало этих процессов обусловлено уменьшением (вплоть до полного прекращения) тектонических движений в том или ином конкретном участке сейсмогенного разлома.

Среди причин, порождающих концентраторы напряжений в разломе можно назвать следующие: вариации локальных и региональных полей напряжений, изменяющие величину коэффициента трения в разломе; влияние температуры и давления; вариации флюидных процессов; механические «зацепы» блоков из-за неровностей их соприкасающихся поверхностей и др.

Теоретические соображения о реальности возникновения участков задержек смещений в сейсмогенных разломах сводятся к следующему. Тектоническое коровое землетрясение – это порождающее сдвиговые волны быстрое (сейсмическое) разрушение некоторого объема горных пород (очага землетрясения), вызванное накопленными в этом очаге упругими сдвиговыми деформациями (напряжениями). А это означает, что непременным условием подготовки очага землетрясения является наличие в зоне разлома механически прочной, консолидированной среды (жесткого включения), обладающей упругими свойствами, благодаря чему способной накапливать потенциальную упругую энергию.

Таким образом, очаг в стадии накопления потенциальной упругой энергии (в фазе созидания) должен представлять собой стабильное, пластически мало деформируемое включение в сейсмогенном слое земной коры.

Таким видится путь зарождения и формирования очага корового землетрясения.

Как отмечено ранее, Г.А. Гамбурцев, рассматриваемые консолидированные участки в сейсмогенных разломах очень метко назвал «спайками».

Следует отметить, что реальность существования «гипотетических спаек Гамбурцева» подтверждается самим фактом существования коровой сейсмичности. Возникновение сильных землетрясений в верхнем слое земной коры говорит о том, что в сейсмогенных разломах этого слоя, в тех или иных их участках, по тем или иным причинам возникают условия для накопления в том или ином объеме горных пород предельных упругих сейсмогенных деформаций.

Таким образом, можно считать, что главным условием зарождения очага корового землетрясения является возникновение концентратора напряжений, препятствующего тектоническим смещениям в месте его образования и приводящее к формированию в той или иной зоне разлома механически прочного, консолидированного объема горных пород (спайки).

Эта спайка, означающая остановку смещений блоков в том или ином участке разлома при непрекращающемся движении двух протяженных, взаимно смещающихся систем блоков и породит на этом участке поле упругих напряжений, т.е. этот участок явится зародышем очага землетрясения. Теоретическое объяснение возникновения такого поля упругих напряжений сводится к следующему: импульс силы, возникающий из-за образования концентратора напряжений в той или иной части системы, является ничтожно малым в сравнении с количеством движения всей системы и поэтому он не повлияет на скорость смещения всей системы.

Таким видится путь зарождения и формирования очага корового землетрясения.

Таким образом, очаг в начальной фазе должен представлять тело, преобладающими деформациями которого являются упругие деформации – **это условие является необходимым и достаточным для зарождения и формирования очага сильного землетрясения.**

Следует еще раз сослаться на то, что сам факт существования коровой сейсмичности является бесспорным подтверждением тому, что указанный процесс «закачки» упругой энергии в некоторый объем горных пород вокруг остановившегося участка разлома: в очаг землетрясения, имеет место в действительности.

Итак, мы имеем полное право заключить, что причиной коровой сейсмичности, порождаемой взаимными тектоническими смещениями блоков земной коры, является полная (или частичная) задержка этих смещений блоков в том или ином участке сейсмогенного разлома. Возможен и другой механизм возникновения коровых землетрясений. Это так называемые обвальные землетрясения, которые могут иметь место в зонах растяжения, в зонах раздвига земной коры, например, в Байкальской рифтовой зоне. Однако сведений о сильных коровых землетрясениях пока нет.

Следует заметить, что выделяемая при землетрясениях сейсмическая энергия является очень незначительной долей тектонической энергии, затрачиваемой на тектонические смещения систем блоков по разделяющим их разломам. По оценкам ученика Г.А. члена-корреспондента АН СССР Ю.В. Ризниченко [Ризниченко, 1985] для района Кавказа эта доля не превышает 1%. Даже трудно себе представить, что творилось бы на Земле, если бы эта доля была бы равна, например, 40–60%. Можно считать, что система тектонических смещений блоков земной коры к счастью для нас работает с очень небольшим «браком», который, тем не менее, для Земли весьма ощутим.

2. Сейсмогенный слой земной коры.

В свете рассматриваемой проблемы крайне важно знать сейсмична ли вся толща земной коры или нет, так как чем на меньшей глубине в земной коре расположен очаг готовящегося землетрясения, тем больше вероятность его обнаружения.

В сейсмологии традиционно считают, что коровые землетрясения происходят на глубинах до 70 км. Однако это не соответствует действительности. Как теперь установлено упругим, способным накапливать значительные упругие деформации и хрупко разрушаться при достижении накопленными упругими напряжениями предела прочности пород, т.е. сейсмогенным, является верхний слой земной коры мощностью 10–25 км [Каталог..., 1977; Певнев, 2003; Рогожин, 2013]. Причина этого явления кроется в реологической неоднородности горных пород земной коры по вертикали.

В свете решаемой нами проблемы земную кору в первом приближении можно разделить на два слоя – упругий и пластичный [Ботт, 1974; Жарков, 1983; Шерман, 1977; Николаевский, 1982, Тёркот, Шуберт, 1985; Павленкова, 1988 и др]. Таким образом, упругим или сейсмогенным является верхний холодный слой земной коры. Горные породы, слагающие более низкие горизонты литосферы более разогреты, менее прочны (пластичны и вязкопластичны) и поэтому в них не могут формироваться очаги сильных землетрясений. В качестве обоснования этого утверждения приведем имеющиеся теоретические соображения и экспериментальные данные.

Вот что о состоянии пород в верхней части земной коры можно прочесть в книге английского геофизика М. Ботта:

“Результаты экспериментальных исследований показали, что механические свойства пород на глубине 10-25 км претерпевают два существенных изменения. Во-первых, совершается переход от хрупкого состояния к пластическому; Григгс, Тернер и Хирд ... не наблюдали внезапного появления трещин в любых породах, кроме кварцита, при давлениях выше 5 кбар и температуре выше 500°C, что соответствует условиям на глубине примерно 20 км. Во-вторых, следует ожидать, что предел прочности на сжатие уменьшается с глубиной под преобладающим воздействием температуры; например, предел прочности дунита, пироксенита и гранита при всестороннем сжатии 5 кбар уменьшается от 20 кбар при 25°C до 10 кбар при 500°C и до 7 кбар при 800°C”. [Ботт, 1974, с. 280]. И далее:

“Есть основания полагать, что нижняя часть коры – при условии достаточно высокой температуры и больших разностей напряжений – может испытывать заметные деформации в виде неустановившейся и установившейся ползучести ” [Ботт, 1974, с. 281].

Разделение в вертикальном разрезе вещества литосферы на слои с различными упругими характеристиками подтверждается так же распределением в ней механической добротности (Q_{μ}). Обратимся к работе В.Н. Жаркова:

«Величину Q_{μ} можно также рассматривать как «меру идеальности» упругости среды. Чем больше значение Q_{μ} , тем меньшая часть механической энергии при колебаниях рассеивается и переходит в тепло, тем ближе среда к идеально упругой» [Жарков, 1983, с.90]. И далее:

«Наружный жёсткий слой Земли (её литосфера) разделяется на три зоны: повышенной добротности (0–19 км), $Q_{\mu} \sim 600$; средней добротности (19–38 км) $Q_{\mu} \sim 300$, и пониженной добротности (38–90 км), $Q_{\mu} \sim 150$ ». [Жарков, 1983, с. 92] (рис. 3).

Обращает на себя внимание хорошее совпадение между обоснованной Боттом границей перехода пород коры в пластическое состояние на глубине около 20 км и мощностью слоя земной коры с наиболее высокой добротностью: 0–19 км. Следует отметить, что это максимальная добротность не только в литосфере, но и мантии Земли (рис. 3).

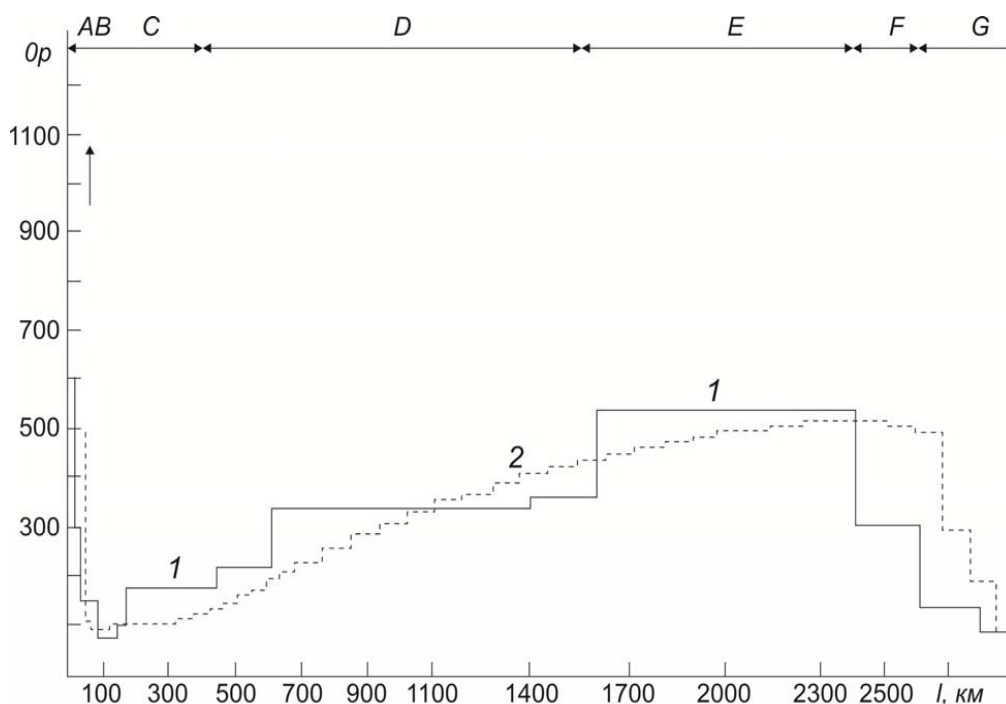


Рис. 3. Распределение механической добротности $Q_{\mu}(l)$ в коре и мантии Земли.

A (0-38 км) – 1-я зона высоких Q_{μ} (упругая литосфера); B (38-90 км) – неупругая литосфера; C (90-450 км) – 1-я зона низких Q_{μ} ; D (450-1600 км) – 1-я зона промежуточных Q_{μ} ; E (1600-2400 км) – 2-я зона высоких Q_{μ} ; F (2400-2600 км) – 2-я зона промежуточных Q_{μ} ; G (2600-2885 км) – 2-я зона низких Q_{μ} . 1 – модифицированное распределение Q_{μ} , полученное В.М. Дорофеевым и В.Н. Жарковым (1978 г.); 2 – модель SL8 (Андерсон, Харт, 1978 г.), по: [Жарков, 1983]

В свете рассматриваемой проблемы также крайне интересна представленная на рис. 4 схема строения разлома, предложенная Д.И. Шерманом.

По расчётам Д.И. Шермана породы земной коры в разломе сохраняют упругие свойства (в той или иной мере) лишь на трёх первых, показанных на **рис. 4** горизонтах (I, II и III). Суммарная мощность этих горизонтов ориентировочно составляет 25 км. В пределах этих 25 км с увеличением глубины имеет место переход от хрупкого разрушения (твёрдое тело Гука) – примерный интервал глубин 0–5 км – к квазихрупкому разрушению (вязкоупругое тело Бюргерса) ориентировочно на глубинах 5–10 км и наконец к квазипластическому течению (упруговязкое тело Максвелла) на глубинах около 10–25 км. На больших глубинах (горизонты IV и V) имеют место только пластические деформации: пластическое течение (пластическое тело Сен-Венана) в горизонте IV переходит в вязкое течение (вязкопластическое тело Бингама) в V горизонте.

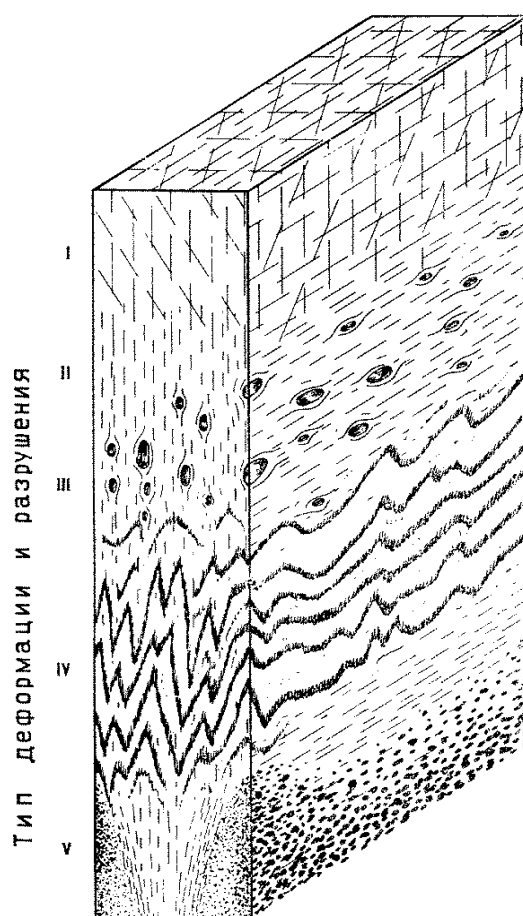


Рис. 4. Схема строения генерального разлома по вертикальному разрезу

(I – хрупкое разрушение,
 II – квазихрупкое разрушение,
 III – квазипластическое течение,
 IV – пластическое течение,
 V – вязкое течение), по: [Шерман, 1977]

Разделение земной коры по реологическим параметрам на два слоя, достоверность местонахождения наиболее упругого слоя в самой верхней ее части и реальность указанной выше мощности этого слоя подтверждаются и ярко иллюстрируются натурными наблюдениями – данными о распределении глубин афтершоков сильных коровых землетрясений. Афтершоки – это более слабые землетрясения, возникающие в очаговой зоне сильного землетрясения. По существу афтершоки «доделывают» то, что не сделал основной сейсмический удар – снимают упругие напряжения, оставшиеся в очаге после сильного землетрясения. Следовательно, афтершоки могут происходить лишь в среде, способной накапливать упругие сейсмогенные деформации (напряжения), и поэтому, изучив распределение афтершоков по глубине, можно определить мощность сейсмогенного слоя в исследуемом районе. Типичным примером таких данных является Рачинское землетрясение 1991 г. (рис. 5).

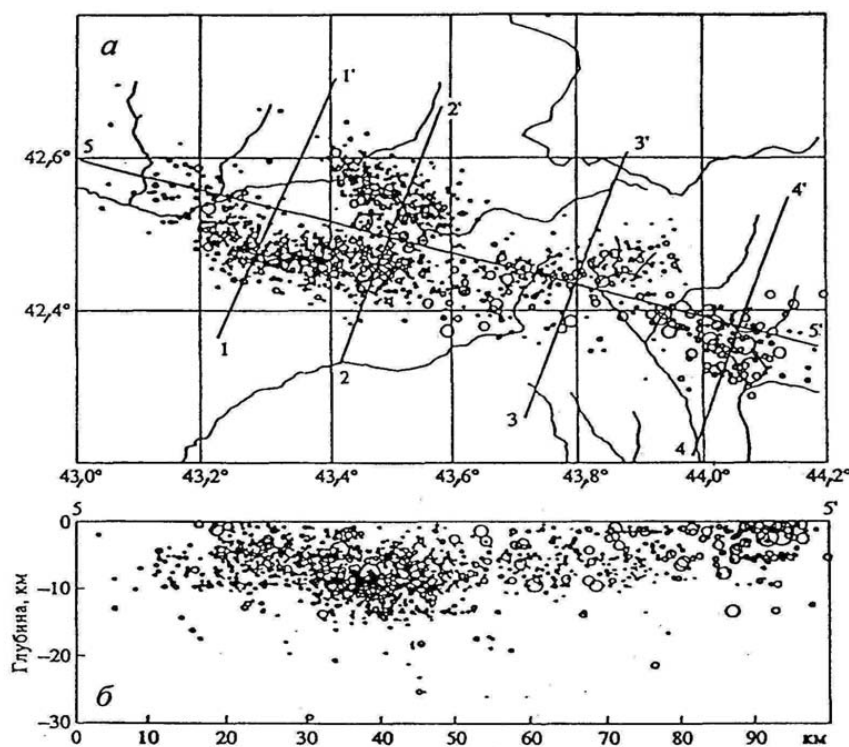


Рис. 5. Карта эпицентров Рачинского землетрясения (а) и вертикальный разрез по линии 5-5' (б) по: [Арефьев и др., 1993]. На секущую плоскость спроецированы все сейсмические события за афтершоковый период. Глубина основного толчка 10 км, длина очага около 100 км, магнитуда 7,3.

Из рисунка однозначно следует, что после землетрясения упругие напряжения снимались в самой верхней части земной коры: 0–25 км. Однако наиболее однородное поле афтершоков занимает интервал глубин всего лишь от нуля до 10 км. После этой границы, с увеличением глубины, число афтершоков резко сокращается и на максимальной глубине (25 км) зафиксированы лишь единичные афтершоки. Такое распределение афтершоков дает основания полагать, что именно этот слой земной коры ответственен за коровую сейсмичность, т.е. именно он и является сейсмогенным.

Так можно полагать, что в рассматриваемом районе мощность сейсмогенного слоя составляет 10–15 км. С полным основанием можно считать, что подобные исследования афтершоков являются наиболее надежным методом определения мощности сейсмогенного слоя в тех районах, где имеющаяся сеть сейсмических станций не позволяет фиксировать слабые землетрясения и определять глубины гипоцентров землетрясений с достаточной точностью – в пределах 1–5 км.

Высказанные соображения о мощности сейсмогенного слоя земной коры подтверждаются также натурными сейсмологическими наблюдениями на разломе Сан-Андреас в Калифорнии, где, как известно, создана и функционирует очень густая сеть сейсмических станций, позволяющая фиксировать даже очень слабые землетрясения и определять с высокой точностью глубины гипоцентров всех местных землетрясений. Некоторые результаты таких наблюдений продемонстрированы на рис. 6.



Рис. 6. Сейсмический профиль в районе Лос-Анджелеса, по: [Короновский, Ломидзе, 2001]

Толстые линии – Мохо и другие поверхности раздела,
тонкие линии – рефлекторы. Диагональная штриховка – аномально
высокоскоростная верхняя мантия по данным сейсмической томографии.
Точки – гипоцентры землетрясений за период с 1981 по 1998 гг.

Представленные на этом рисунке данные убедительно говорят о том, что разлом Сан-Андреас сейсмичен лишь до глубины 15 км.

Таким образом, и теоретические соображения, и экспериментальные лабораторные исследования, и натурные сейсмологические наблюдения убедительно говорят о том, что мощность сейсмогенного слоя земной коры действительно составляет 10–25 км, что сейсмогенные, упругие напряжения накапливаются во всей толще этого слоя и что именно в сейсмогенном слое **зарождаются, созревают и реализуются очаги коровых землетрясений.**

Ошибочные представления о сейсмичности всей толщи земной коры скорее всего возникли из-за значительных ошибок (до десятки километров) определения глубины гипоцентров землетрясений. Причиной этих ошибок является редкая сеть сейсмических станций – чем больше расстояния сейсмических станций от эпицентра землетрясения, тем с большей ошибкой определяется глубина гипоцентра.

3. Поле упругих напряжений, возникающее из-за образования «спайки» и вид сейсмогенной деформации, порождаемой этим полем

Для определения вида и размеров рассматриваемого поля упругих напряжений можно воспользоваться широко применяемым в решении задач теории упругости принципом локальности эффекта самоуравновешенных внешних нагрузок – принципом Сен-Венана.

Для нашего случая наиболее подходящей является следующая формулировка этого принципа: «Если в какой-либо малой части тела приложена уравновешенная система сил, то она вызывает в теле напряжения, очень быстро убывающие по мере удаления от этой части (экспоненциальный характер затухания напряжений)» [Безухов, Лужин, 1974, с.6].

Для обнаружения очагов готовящихся землетрясений принцип Сен-Венана вполне применим в силу несопоставимости размеров сейсмогенных разломов (тысячи километров) и размеров очагов землетрясений – длина очага разрушительного землетрясения с $M=7$ составляет 50–60 км и даже для сейсмической катастрофы с $M=8$ не превышает 200 км.

Согласно этому принципу вокруг возникшего концентратора напряжений (спайки) возникает местное поле упругих напряжений максимальное в месте зарождения спайки и экспоненциально уменьшающееся с удалением от этого участка разлома.

Совершенно очевидно, что локальное поле упругих напряжений с экспоненциальным характером затухания напряжений должно порождать **изгибные деформации горных пород** в готовящемся очаге землетрясения.

Таким образом, мы получили теоретическое обоснование вида деформационного предвестника корового землетрясения – это **упругий изгиб горных пород в очаге готовящегося землетрясения**.

Проверить справедливость этих теоретических соображений можно с помощью имеющихся в настоящее время геодезических экспериментальных данных. Речь идет о результатах повторных геодезических измерений в эпицентральных зонах сильных коровых землетрясений, выполненных до и после этих землетрясений (рис. 7).

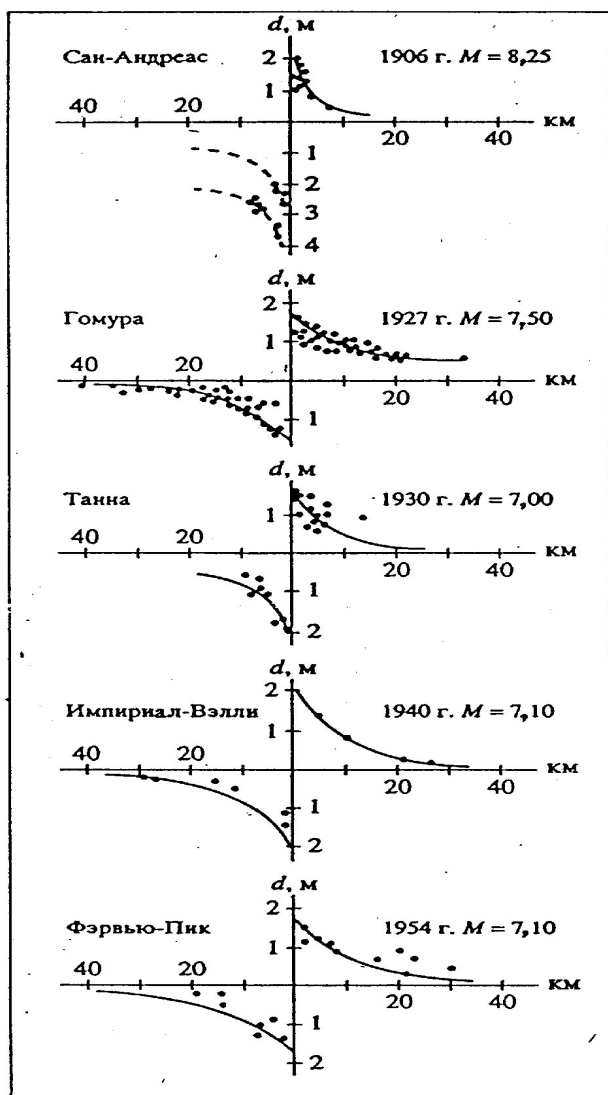


Рис. 7. Реальное распределение смещений пунктов триангуляции (d) в зонах сейсмогенных разломов при сильных коровых землетрясениях в зависимости от удаления геодезических пунктов от разломов, по: [Казахара, 1985]

На этом рисунке представлены данные повторных триангуляций, выполненных в эпицентральных зонах после случившихся сильных землетрясений. Вертикальные линии – сейсмогенные разломы, по которым произошли горизонтальные подвижки при землетрясениях. Зафиксированные смещения пунктов триангуляции показаны точками; масштаб смещений показан на вертикальной оси. На горизонтальной оси отложены расстояния этих пунктов от разлома.

На всех пяти графиках прослеживается одна и та же закономерность – смещения максимальны вблизи разлома и очень быстро (экспоненциально) убывают с удалением от него. Этот факт убедительно говорит о том, что порождаемые при сильных землетрясениях смещения геодезических пунктов несут информацию о едином механизме подготовки этих землетрясений. Крайне важно и то, что этот механизм един для разных континентов. Можно полагать, он является универсальным, но это требует тщательной проверки.

Причина появления указанной закономерности смещений пунктов триангуляции при землетрясении демонстрируется рис. 8.

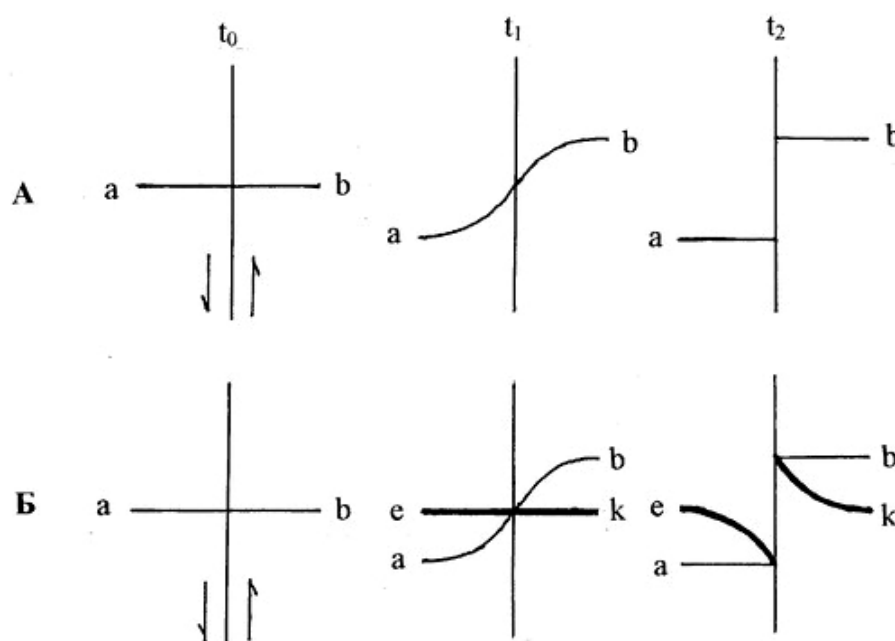


Рис. 8. Объяснение явления экспоненциального распределения смещений геодезических пунктов в эпицентральных зонах сильных коровых землетрясений

На рис. 8А показан один и тот же участок сейсмогенного разлома (вертикальная линия) в три момента: t_0 , t_1 и t_2 , соответствующих различным напряженным состояниям горных пород. Направление тектонических смещений на разломе показаны стрелками. Момент t_0 – в горных породах отсутствуют сейсмогенные напряжения, что показано прямой ab . Момент t_1 – горные породы предельно упруго напряжены (упругий изгиб): кривая ab . Момент t_2 – положение горных пород после землетрясения, при котором произошли следующие события: магистральный разрыв горных пород в очаге; смещение горных пород по этому разрыву и благодаря этому сброс накопленных в них ранее изгибных сейсмогенных деформаций – прямолинейные отрезки a и b .

Теперь обратимся к рис. 8Б, который отличается от рис. 8А лишь тем, что в

нем добавлена прямая **ek**, представляющая собой прямолинейное геодезическое построение (геодезический профиль) созданное в момент t_1 , над зреющим очагом землетрясения. Вид прямолинейного геодезического профиля претерпел на первый взгляд парадоксальные изменения, превратившись в два искривленных отрезка, смещенных относительно друг друга. Однако в этом нет ничего загадочного – по условиям задачи профиль был создан над уже деформированными упругим изгибом горными породами готовящегося очага землетрясения. И, следовательно, при сбросе упругих напряжений горные породы сместились по разлому и при этом выпрямились, а прямолинейный геодезический профиль над очагом наоборот превратился в два изогнутых отрезка, сохранивших кривизну кривой **ab**.

Эти два отрезка являются зеркальным отображением двух половинок упругой кривой **ab**, так как в результате землетрясения кривая **ab** и прямая **ek** обменялись своими формами и, следовательно, в этих изогнутых отрезках сохранилась информация о величине упругих деформаций, накопленных в очаге к моменту создания этого геодезического профиля. Из анализа **рис. 7** следует, что во всех приведенных на этом рисунке случаях исходные триангуляционные измерения были выполнены над уже готовящимися очагами землетрясений, т.е. в них уже были накоплены сейсмогенные напряжения. Если бы это было не так, то первоначально прямолинейный геодезический профиль при землетрясении был бы лишь разорван на линии разлома, но не испытал никаких искривлений, а представлял бы собой два прямолинейных отрезка, аналогичных поведению горных пород в момент t_2 . Это говорит о том, что сильные землетрясения готовятся долго – многие десятки и более лет.

Таким образом, нам удалось расшифровать загадку появления кривых на **рис. 7**.

Эти экспериментальные данные убедительно подтвердили высказанные ранее теоретические соображения о том, что процессом подготовки корового землетрясения является накопление в его очаге упругих изгибных сейсмогенных деформаций. Кроме того они несут бесценную информацию о величине упругого изгиба горных пород, накопленного в каждом очаге землетрясения к моменту создания над ними исходных триангуляций.

Следует отметить, что по данным этого рисунка можно определить и ширину очага землетрясения, которую можно считать равной ширине зоны проникновения упругих смещений в тела контактирующих по разлому блоков земной коры. Для этого нужно определить расстояние между точками выхода на асимптоты экспоненциальных кривых этих блоков. Согласно данным **рис. 6** эти расстояния измеряются несколькими десятками километров: от 40 до 60.

4. О возможностях геодезии в осуществлении прогноза коровых землетрясений

Почти всегда в научной геодезии имеют дело с установлением очень малых величин, которые, однако, свидетельствуют о мощных грандиозных процессах в жизни Земли.

Красовский. Ф.Н.

Анализ данных повторных геодезических измерений в эпицентральных зонах сильных землетрясений позволяет сделать следующие крайне важные для рассматриваемой проблемы выводы.

1. Коровая сейсмичность обусловлена нарушением режима тектонических смещений – их задержкой в тех или иных участках сейсмогенных разломов.

2. Деформационным признаком подготовки очага землетрясения является, накапливаемый упругий изгиб в горных породах этого очага.

3. Указанный упругий изгиб удовлетворительно описывается кривыми $d = Ae^{ax}$; где d – величина упругого смещения рассматриваемой точки земной поверхности; x – удаление этой точки от разлома; A – величина максимального смещения бортов разлома при землетрясении, a – интегральная характеристика упругих свойств горных пород в очаге землетрясения.

4. Земная поверхность над очагом готовящегося землетрясения, являющаяся верхней границей сейсмогенного слоя земной коры, участвует в процессе подготовки этого очага.

5. При подготовке землетрясения упругие деформации проникают в тела контактирующих по разлому блоков на 20–30 км, т.е. полная ширина очага сильного землетрясения составляет 40–60 км.

6. Отслеживать процесс подготовки очага землетрясения, т.е. достоверно определять вид упругой кривой на таких базах (десятки километров) возможно лишь геодезическим методом [Певнев, 2003].

Эти выводы позволяют сделать обоснованное заключение о том, что изучение деформаций земной поверхности геодезическими методами позволяет осуществлять точный прогноз места очага готовящегося землетрясения, а также определять максимальную силу, которую он способен породить.

О прогнозе места

Для реализации этого прогноза необходимо на выбранном, по тем или иным соображениям, участке сейсмогенной зоны создать геодезическое построение, позволяющее с необходимой точностью определять вид деформаций земной поверхности на исследуемом участке, т.е. достоверно устанавливать вид упругого изгиба горных пород в случае если на этом участке идет процесс подготовки очага землетрясения.

Таким образом, анализ результатов геодезических исследований с полной определенностью показал, что геодезическим методом можно решением прямой задачи осуществлять точный прогноз места готовящегося очага землетрясения. Это возможно с помощью специальных геодезических построений. Конструкции таких геодезических построений детально описаны в [Певнев, 2003].

О прогнозе силы

Однако возможности геодезического метода не ограничиваются только прогнозом места готовящегося очага землетрясения: он позволяет также осуществлять прогноз силы землетрясения, которую может породить этот очаг. Эту возможность предвидел Г.А. Здесь уместно вернуться к ранее изложенным его соображениям по этой проблеме: «Так как напряжения разрыва не могут меняться в очень широких пределах, то отсюда следует, что энергия землетрясения в основном определяется не напряжением, а размерами очага, т.е. размерами той области, внутри которой в результате землетрясения исчезают сдвиговые напряжения» [Григорий Александрович Гамбурцев..., 1998, с. 437].

Функциональную зависимость между силой землетрясения – магнитудой M и длиной очага L установил Ю.В. Ризниченко [1985]. Эти данные приведены в таблице 1.

Таблица 1.

**Зависимость силы землетрясения (M) от длины очага (L)
и подвижки в очаге (D)**

M	L, км	D, см
3	1,1	0,11
4	3,0	0,62
5	8,3	3,5
6	23	20
7	62	120
8	170	660
9	470	3800

Таким образом, если будет известна длина очага готовящегося землетрясения L, то это позволит предсказать и максимальную силу землетрясения (магнитуду M), которую может породить зреющий очаг. Совершенно очевидно, что это достижи-мо геодезическим методом. Для решения этой проблемы необходимо и достаточно определить длину упруго деформированного участка земной поверхности над обнаруженным ранее очагом зреющего землетрясения. Вопрос о виде геодезических построений, необходимых для определения размеров готовящегося очага землетрясений, рассмотрен в [Певнев, 2003].

Что касается величины D в таблице, то, так как основной сброс накопленных упругих напряжений происходит при основном (магистральном) разрыве горных пород в очаге, то определенную сейсмологическим методом величину подвижки бортов разлома при землетрясении (D), можно считать численно равной максимальному сейсмогенному упругому смещению, накопленному в очаге к моменту землетрясения.

И о прогнозе времени землетрясения

В отличие от прогнозов места и силы коровых землетрясений, которые можно осуществлять решением прямых задач, для прогноза времени это невозможно, так как нам не известны законы разрушения горных пород в реальных природных условиях. Поэтому исследования, нацеленные на прогноз времени нужно начинать с изучения этих закономерностей. А так как в настоящее время мы не можем назвать ни один из методов, с помощью которого можно было бы изучить эти закономерности, то единственно правильным решением поиска таких закономерностей является широкое комплексирование методов, т.е. создание специальных комплексных прогнозных систем.

Из смысла решаемой задачи следует, что такие комплексные системы должны иметь разрешения, достаточные для отслеживания в различных геофизических и других полях тонкой структуры процесса разрушения горных пород в сейсмогенном слое земной коры. Конечно создавать такие системы на значительных площадях практически невозможно, но здесь на помощь приходит геодезический метод, который позволяет осуществлять заблаговременное обнаружение зреющего очага землетрясения. Благодаря этому открывается реальная возможность создавать кон-

диционные системы комплексных наблюдений и проводить на них соответствующие решаемой задаче комплексные исследования не в случайно или недостаточно обоснованных местах, а непосредственно над готовящимся очагом землетрясения.

Крайне важно то, что лишь при такой системе исследований возможна регистрация даже очень слабых и быстро затухающих с удалением от их источника аномалий, порождаемых этим очагом. В этом случае, еще даже и до установления законов разрушения очагов, можно рассчитывать на то, что коллективное поведение аномалий в различных полях явится достаточным объективным показателем приближающейся катастрофы и позволит своевременно принять необходимые меры безопасности. В подтверждение такому заключению сошлёмся на следующее высказывание Г.А. Гамбурцева: “Большинство из предвестников землетрясений, по всей видимости, будет проявляться лишь в эпицентральной области землетрясения; поэтому они будут наблюдаться очень редко” [Гамбурцев, 1960, с. 433].

Есть все основания считать, что такой подход может открыть путь к точному прогнозу времени главных сейсмических событий в созревшем и начавшем разрушаться очаге землетрясения.

В прогнозе времени Г.А. Гамбурцев большие надежды возлагал на механические предвестники. Он писал: «Изыскание методов прогноза времени землетрясений следует направить в первую очередь в сторону поиска механических предвестников землетрясений. Такие поиски могут быть успешными только в том случае, если они будут основываться на глубоком изучении всех деталей механизма быстрых и медленных движений блоков земной коры сейсмоактивных районов» [Развитие идей..., 1982, с.306].

С учетом этих соображений Г.А. Гамбурцева мы имеем полное основание говорить о том, что перечень методов для прогноза времени должен начинаться с методов наблюдений за полями смещений и деформаций в непрерывном режиме (сейсмологические, наклономерные, деформографические и специальные геодезические измерения в основном с использованием космических методов геодезии).

Таким образом, наиболее перспективной можно считать следующую стратегию прогнозных исследований. На выбранных по тем или иным практическим или научным соображениям участках сейсмогенных зон создаются геодезические прогнозные сети, способные решать задачу прогнозов места и силы землетрясения. Затем в местах готовящихся очагов организуются нацеленные на прогноз времени наблюдательные сети комплексных исследований.

Приступив к практической реализации предлагаемой стратегии прогноза, мы восстановим историческую справедливость по отношению к патриарху проблемы прогноза землетрясений в нашей стране – **Григорию Александровичу Гамбурцеву!**

Заканчивая рассмотрение вопроса о прогнозе времени землетрясения, следует остановиться на следующих аспектах.

Во-первых, на существенной практической значимости заблаговременного, за многие годы и десятки лет, прогноза места и силы зреющего очага землетрясения. Ведь в этом случае появится реальная возможность своевременно осуществить в потенциально опасной зоне все необходимые мероприятия для сведения к минимуму любого ущерба от будущего землетрясения. Это уже во власти людей и поэтому будет определяться мерой их рациональности и гуманных принципов.

Во-вторых, точное знание местонахождения и размеров зреющего очага зем-

летрясения позволит приступить к опробованию методов искусственного воздействия на этот очаг с целью безопасного снятия накапливаемых в нем сейсмогенных напряжений. На современном научном и техническом уровнях знаний это вполне реально и если предлагаемая концепция прогноза получит практическое осуществление в недалеком будущем, то мы имеем все шансы быть свидетелями безопасной разрядки очагов землетрясений.

В-третьих, рассматривая проблему прогноза землетрясений крайне важно иметь в виду следующее обстоятельство. Смещения и деформации земной коры происходят не только под действием устойчивых во времени долгоживущих эндогенных (внутренних) процессов, но также и в результате воздействия на Землю различных экзогенных (внешних) процессов, среди которых, определяющими (*факторами* – ред.) можно считать космические. Так, например, Землю периодически упруго деформируют лунно-солнечные приливы и вариации скорости ее вращения [Уткин и др., 2012]. При рассмотрении этой проблемы целесообразно сослаться на следующие соображения А.Г. Гамбурцева.

«Среди природных воздействий большую роль играют воздействия ритмические. Существует множество подобных воздействий в широчайшем диапазоне периодов – от секунд до сотен миллионов лет [Аптикаева, 2013; Арефьев и др., 1993; Безухов, Лужин, 1974]. Но ритмы эти не постоянны – они меняют периодичность, исчезают и появляются вновь, изменяя тем самым свойства литосферы» [Гамбурцев, 1995, с. 646].

Если иметь в виду прогноз землетрясений, то можно полагать, что пока готовящийся очаг корового землетрясения находится в устойчивом состоянии такие изменения свойств литосферы (земная кора является ее верхней частью) не окажут существенного влияния на процесс формирования очага. Скорее всего, они могут либо несколько ускорить этот процесс либо его замедлить. Однако они могут оказать существенное воздействие на очаг, находящийся в состоянии неустойчивого равновесия, т.е. когда в очаге накоплены предельные упругие напряжения. В этом случае даже слабое дополнительное воздействие на него может сыграть роль спускового механизма (триггерный эффект) и спровоцировать преждевременное землетрясение.

С рассмотренных позиций отслеживание указанных вариаций свойств литосферы не только целесообразно, но и крайне необходимо. Разумная схема таких исследований предложена А.Г. Гамбурцевым.

«Исходя из изложенного, можно наметить следующую последовательность действий: 1) режимные наблюдения процессов, происходящих в природных и природно-техногенных системах; 2) выявление закономерностей и критических уровней состояния среды, за которыми следуют катастрофы; 3) прогнозирование будущих состояний изучаемой среды (объектов); 4) составление режимов природопользования, учитывающих природные вариации состояния среды (возможно, также и некоторые уже существующие техногенные воздействия). В эту последовательность может быть включено звено, предусматривающее принятие специальных по предупреждению негативных экологических последствий» [Гамбурцев, 1995, с. 651].

Таким образом, использование геодезических исследований в решении проблемы прогноза землетрясений позволяет осуществлять точный прогноз места и силы готовящегося землетрясения, что, конечно же, ускорит решение проблемы прогноза времени землетрясения.

Владикавказский геодинамический прогнозный полигон

Следует отметить, что первая геодезическая прогнозная система, рассчитанная на прогноз места и силы корового землетрясения, была создана в 2011 г. в Мексике в Штате Нижняя Калифорния на сейсмогенном разломе Империял (южное продолжение разлома Сан-Андреас). Система расположена вблизи столицы Штата города Михикали, пережившим сильное землетрясение в 2010 году.

Подобная вышеприведенной сеть несколько позже была создана на Северном Кавказе в районе относительно мощного Владикавказского разлома. Хотя инструментальными наблюдениями в этом разломе ранее не были зарегистрированы землетрясения с магнитудами, превышающими $M=5$, однако в действительности его потенциальные возможности гораздо больше.

В результате выполненных под руководством проф. Е.А. Рогожиным из ИФЗ РАН с применением «тренинг» метода детальных сеймотектонических исследований было установлено, что указанный разлом характеризуется высоким сейсмическим потенциалом [Рогожин и др., 2008]. Здесь, в частности, были выявлены следы 9-10 балльных сотрясений. В это же время под руководством проф. В.Б. Заалишвили были разработаны первые вероятностные карты сейсмической опасности территории Северной Осетии [Аракелян и др., 2008; Заалишвили и др., 2008; Заалишвили, Рогожин, 2010; 2011; Рогожин и др., 2013; Zaalishvili, Rogozhin, 2011; Zaalishvili, 2012]. Особое внимание было уделено особенностям формирования интенсивности собственно сейсмической опасности [Заалишвили, 1986;1996; 2014]. Необходимо отметить, что и в настоящее время разлом является сейсмоактивным. Учитывая, что согласно изучению имеющихся инструментальных данных, сейсмическая активность Владикавказского разлома в последнее время несколько уменьшилась, можно полагать это проявлением т.н. «зоны затишья», формируемой при подготовке крупного сейсмического события [Заалишвили и др., 2012а, 2012б, 2012в, 2013а, 2013б; Заалишвили, Невская, 2014; Заалишвили и др., 2014].

С целью установления причинно-следственных связей различных факторов с неожиданным сходом ледника Колка (Северная Осетия, 2002 г.) проф. И.В. Бондыревым из Института географии им. В. Багратиони АН Грузии совместно с сотрудниками Геофизического института ВНИЦ РАН, были детально изучены возможные причины такого схода и, в том числе, современные геодинамические процессы в регионе [Бондырев, Заалишвили, 2003; 2005; Заалишвили и др., 2005; Заалишвили, Харебов, 2008; Заалишвили и др., 2014].

Эти и другие исследования, проведенные в Северной Осетии (Гусева Т.В. и др.) [Заалишвили и др., 2011], легли в основу разработки прогнознoй концепции и последующего создания в 2012 г. Владикавказского геодинамического прогнозного полигона в зоне относительно мощного (ожидаемая магнитуда $M=6,5-7,1$) Владикавказского разлома, расположенного в непосредственной близости от г. Владикавказа (практически, в южной части города) (рис. 9). [Певнев и др., 2014].

Основными элементами системы мониторинга здесь являются деформационно-геодезические прогнознoе профили, ортогонально пересекающие сейсмогенный разлом (рис. 9).

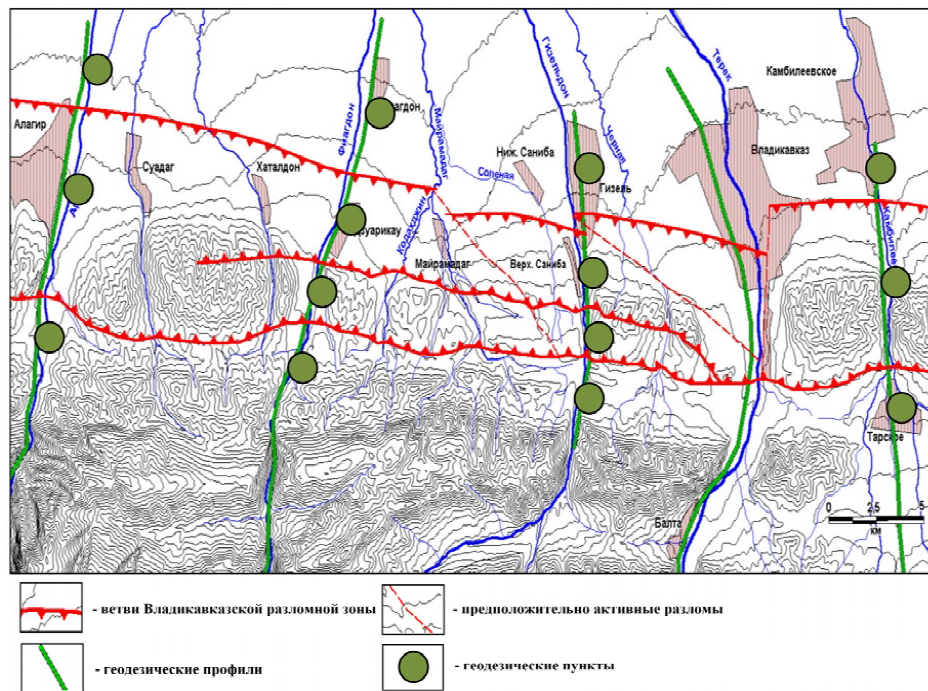


Рис. 9. Схема размещения геодезических пунктов на геодезических прогнозных профилях, рассчитанная на обнаружение очагов землетрясений с использованием объемной модели. Схема расположения ветвей Владикавказской разломной зоны по [Рогожин и др., 2008]

Длины таких профилей должны быть сопоставимы с шириной очагов сильных землетрясений – первые десятки километров. С целью достоверного определения вида измеряемых деформаций профили должны быть оснащены достаточным для этой цели количеством пунктов наблюдений. К настоящему времени создан один из таких профилей, проходящий по долине р. Терек и пересекающий территорию г. Владикавказ. Для ускорения формирования полной системы профилей, охватывающих всю зону разлома, как на территории республики, так и прилегающих территориях, развитие полигона Геофизического института в настоящее время осуществляется на основе вновь предложенной методики определения местоположения готовящегося очага землетрясения не методом отслеживания процесса накопления сейсмогенных деформаций в готовящемся очаге землетрясения, а методом отслеживания вариаций размеров и объема такого очага (объемная методика) [Певнев и др., 2014].

Более детально собственно геодезические аспекты проблемы прогнозов места, силы и времени будут рассмотрены в следующей статье.

Заключение

Искреннее восхищение вызывает то, что много десятилетий тому назад, впервые занявшись проблемой прогноза землетрясений, Григорий Александрович Гамбургцев наметил единственно правильный подход к ее решению. Можно не сомневаться, что если бы не случилась ранняя трагическая смерть Г.А., то вместо современного кризиса в решении проблемы прогноза землетрясений мы были бы далеко впереди на пути ее решения.

Литература

1. Аптикаева О.И. О связи сейсмической активности с особенностями строения земной коры и верхней мантии Гармского прогностического полигона. Актуальность идей Г.А. Гамбурцева в геофизике XXI века. М.: «Янус-К». 2013. С.293-313.
2. Аракелян А.Р., Заалишвили В.Б., Макиев В.Д., Мельков Д.А. К вопросу сейсмического районирования территории республики Северная Осетия-Алания//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. 263-278.
3. Арефьев С.С., Плетнев К.Г., Татевосян Р.Э. и др. Рачинское землетрясение 1991 г.: результаты полевых сейсмологических наблюдений // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1993. №3. С.12–23.
4. Безухов Н.И., Лужин О.В. Приложение методов теории упругости и пластичности к решению инженерных задач. М.: Высшая школа. 1974. 200 с.
5. Болт Б.А. Землетрясения. М.: Мир, 1981, 264 с.
6. Бондырев И.В., Заалишвили В.Б. Опасность активизации геодинамических процессов на Северном Кавказе Вестник Владикавказского научного центра. 2003. Т. 3. №2. С. 39-46.
7. Бондырев И.В., Заалишвили В.Б. Современные геодинамические процессы Казбеги-Кельского района Центрального Кавказа. Тбилиси, 2005. 154 с.
8. Ботт М. Внутреннее строение Земли. М.: Мир, 1974. 375 с.
9. Вопросы советской науки. Прогноз землетрясений. Изд-во Академии Наук СССР. 1954 г. 16 с. Составлено группой специалистов под руководством академика Г.А. Гамбурцева, экспертной комиссией Президиума АН СССР под руководством академика И.П.Герасимова. Одобрено Президиумом Академии Наук СССР на заседании 12 марта 1954 г.
10. Гамбурцев Г.А. Состояние и перспективы работ в области прогноза землетрясений. Избранные труды. М: Изд-во АН СССР. 1960, с. 427–435.
11. Григорий Александрович Гамбурцев. Воспоминания, очерки, статьи. М.: Ин-т физики Земли РАН, 1998, 246 с.
12. Гамбурцев А.Г. Современная геодинамика и катастрофы // Вестник российской академии наук. 1995, том 65, №7. С.646–655.
13. Голицын Б.Б. Избранные труды. Сейсмология. М.: Изд-во АН СССР. 1960, Т.2. 465 с.
14. Друмя А.В., Шебалин Н.В. Землетрясение: где, когда, почему? Кишинев: Штиинца, 1985, 196 с.
15. Жарков В.Н. Внутреннее строение Земли и планет. М.: Наука, 1983. 415с.
16. Заалишвили В.Б. Сейсмическое микрорайонирование по данным искусственного возбуждения колебаний грунтовой толщи // Автореферат кандидатской диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук Институт Геофизики АН ГССР. Тбилиси, 1986.
17. Заалишвили В.Б. Сейсмическое микрорайонирование на основе изучения нелинейных свойств грунтов искусственными источниками //автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математических наук / Москва, 1996.

18. Заалишвили В.Б., Харебов К.С. Исследование процесса схода ледника колка 20.09.2002 по динамическим характеристикам инструментальных записей // В сборнике: Опасные природные и техногенные геологические процессы на горных и предгорных территориях Северного Кавказа. Центр геофизических исследований ВНИЦ РАН и РСО-А, Заалишвили В.Б. (ред.), Владикавказский научный центр РАН и РСО-А. 2008. С.202-221.
19. 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. 2005. Т. 5. №3. С.43-54.
20. Заалишвили В.Б., Мельков Д.А., Отинашвили М.Г. Использование метода конечных элементов при оценке сейсмической опасности горных территорий // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2008. №3. С. 49-52.
21. Заалишвили В.Б., Рогожин Е.А. Оценка сейсмической опасности территории на основе современных методов детального сейсмического районирования и сейсмического микрорайонирования // В сборнике: Мониторинг и прогнозирование природных катастроф. Труды института геологии Дагестанского научного центра Российской Академии Наук. 2010. С.251-262.
22. Заалишвили В.Б., Певнев А.К., Рогожин Е.А. О геодезическом мониторинге для прогноза землетрясений на Северном Кавказе (на примере владикавказского прогнозного полигона)//Геология и геофизика Юга России №2 2011. С.33–40.
23. Заалишвили В.Б., Рогожин Е.А. Оценка сейсмической опасности территории на основе современных методов детального районирования и сейсмического микрорайонирования // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2011. №3. С.31–43.
24. Заалишвили В.Б., Невская Н.И., Мельков Д.А., Дзеранов Б.В., Кануков А.С., Шепелев В.Д. Мониторинг опасных природных и техногенных процессов на территории Северной Осетии // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2012а. №2. С.46–53.
25. Заалишвили В.Б., Невская Н.И., Невский Л.Н., Трофименко С.Н., Шемпелев А.Г. Глубинные геофизические исследования в Северо-Кавказском федеральном округе: проблемы глубинной геологии и геофизики в региональных исследованиях. О зоне предполагаемого Ардонского межглыбового разлома // Геология и геофизика Юга России. 2012б. №2. С.11-20.
26. Заалишвили В.Б., Невская Н.И., Невский Л.Н., Мельков Д.А., Шемпелев А.Г. Мониторинг опасных геологических процессов в зоне предполагаемого Ардонского разлома и на участке трассы газопровода от сел. Дзуарикау до границы РСО-Алания // Геология и геофизика Юга России. 2012в. №4. С.25-32.
27. Заалишвили В.Б., Невская Н.И., Невский Л.Н., Мельков Д.А., Дзеранов Б.В., Кануков А.С., Шепелев В.Д. Мониторинг опасных природных и техногенных процессов на территории РСО-Алания // Геология и геофизика Юга России. 2013а. №1. С.17–27.
28. 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. 2013б. №4. С.8-16.
29. Заалишвили В.Б. Некоторые проблемы практической реализации сейсмического микрорайонирования. Факторы, формирующие интенсивность землетрясения // Геология и геофизика Юга России. 2014. №3. С.3-39.

30. Заалишвили В.Б., Невская Н.И., Мельков Д.А. Инструментальный геофизический мониторинг на территории Северного Кавказа // Физика Земли. 2014. №2. С.114.
31. Заалишвили В.Б., Мельков Д.А., Дзеранов Б.В., Кануков А.С., Габараев 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.
32. Заалишвили В.Б., Невская Н.И. Сейсмологические наблюдения на территории Республики Северная Осетия-Алания // Геология и геофизика Юга России. 2014. Т. 2. №4. С.34–40.
33. Касахара К. Механика землетрясений. М.: Мир, 1985. 264 с.
34. Каталог сильных землетрясений на территории СССР. М.: Наука. 1977. 535 с.
35. Кондратьев О.К. Разведочная геофизика с целью прогноза землетрясений // Геофизика. 1995. №3. С.19–25.
36. Короновский Н.В., Ломизе М.Г. Концепция глубинных разломов в тектонике плит. Фундаментальные проблемы общей тектоники // Под редакцией Ю.М. Пушаровского. М.: Научный мир, 2001. С.344–373.
37. Мазмишвили А.И., Красовский Ф.Н., Чеботарев А.С. и др. В Академии Наук СССР должна быть создана картографо-геодезическая группа // Геодезист, 1938, №12, стр. 10.
38. Лукк А.А., Дещеревский Ф.В., Сидорин А.Я. и др. Вариации геофизических полей как проявление детерминированного хаоса во фрактальной среде. М.: ОИФЗ РАН. 1996. 210 с.
39. Мушкетов И.В. Физическая геология, Ч.1. СПб., 1899, 784с.
40. Научное наследие Г.А. Гамбурцева и современная геофизика. Развитие идей и воспоминания. М.: ОИФЗ РАН. 2003.
41. Николаевский В.Н. Обзор: земная кора, дилатансия и землетрясения. В кн. Дж. Райс. Механика очага землетрясения. М.: Мир, 1982. 217 с.
42. Орлов А.П. Землетрясения и их соотношения с другими явлениями природы. Казань, 1887.
43. Павленкова Н.И. Сейсмические модели земной коры и верхней мантии и их геологическая интерпретация // Тектоника и геодинамика: общие и региональные аспекты. Т. II. М.: ГЕОС. 1988, с. 72–75.
44. Певнев А.К. Пути к практическому прогнозу землетрясений. М.: ГЕОС. 2003. 153 с.
45. Певнев А.К., Заалишвили В.Б. О причинах коровой сейсмичности и возможности прогноза землетрясений методами решения прямых задач // Геология и геофизика Юга России. №4. Т.2. 2014. С.91–99.
46. Певнев А.К., Заалишвили В.Б., Мельков Д.А. О модернизации геодезических исследований на Владикавказском геодинамическом прогнозном полигоне // Геология и геофизика Юга России. №4. Т.2. 2014. С.84–90.
47. Развитие идей Г.А. Гамбурцева в геофизике. К 80-летию со дня рождения академика Григория Александровича Гамбурцева. Изд-во Наука, М.: 1982. 320 с.
48. Ризниченко Ю.В. Проблемы сейсмологии. М.: Наука, 1985. 408 с.
49. Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н., Мараханов А.В., Новиков С.С., Дзеранов Б.В., Мельков Д.А. Отчет о научно-исследовательской работе «Изучение следов

возможных проявлений сейсмической активности в зоне Владикавказского глубинного разлома», выполненного по теме «Современная геодинамика, сейсмическое районирование, риск, регистрация сигналов, создание баз данных и сейсмостойкое строительство в горных регионах». Владикавказ, ГФИ ВНИЦ РАН. 2008. Т.1, книга 8. 33 с. № гос. регистрации 01200701676.

50. Рогожин Е.А. Идеи академика Г.А. Гамбурцева в области выделения сейсмоактивных районов. Актуальность идей Г.А. Гамбурцева в геофизике XXI века. М.: «Янус-К». 2013. С.263–292.

51. Рогожин Е.А., Горбатиков А.В., Заалишвили В.Б., Степанова М.Ю., Харазова Ю.В., Андреева Н.В., Мельков Д.А., Дзеранов Б.В., Дзедобоев Б.А., Габараев А.Ф. Новые представления о глубинном строении Осетинского сектора Большого Кавказа // Геология и геофизика Юга России. 2013. №4. С.3–7.

52. Тёркот Д., Шуберт Дж. Геодинамика. Т.1-2. М.: Мир, 1985. 730 с.

53. Уткин В.И., Юрков А.К., Цурко И.А. Вариации неравномерного вращения земли как триггирующий фактор сейсмичности планеты // Геология и геофизика Юга России. №1. 2012. С.3–13.

54. Шерман С.И. Физические закономерности развития разломов земной коры. Новосибирск: Наука, 1977. 102 с.

55. Reid H.F. The elastic-rebound theory of earthquakes // Bull. Department Geology. Univ. Calif. Publ. 1911. Vol.6. №19. P.413–444.

56. Zaalishvili V.B., Rogozhin E.A. Assessment of seismic hazard of territory on basis of modern methods of detailed zoning and seismic microzonation // Open Construction and Building Technology Journal. 2011. T.5. P.30-40.

57. Zaalishvili V. Assessment of seismic hazard territory // Earthquake Engineering. Published by InTech. Edited Halil Sezen, 2012, P.25-64

ON THE WAY TO THE REAL IMPLEMENTATION OF EARTHQUAKE PREDICTION

© 2016 A.K. Pevnev, Sc. Doctor (Tech.)

Schmidt Institute of Physics of the Earth of RAS, 123995, Moscow, B. Gruzinskaya 10,
e-mail: an.pevnev@yandex.ru.

Earthquake forecasting is one of the most pressing problems of humanity, which increases with time. In the twentieth century there have been attempts to solve the problem without the use of any model of forming and implementation of earthquake sources but elementary using inverse problem methods (pattern recognition) with the measurements and analysis of heterogeneous anomalies in the various geophysical and other fields. However, these attempts have not been successful due to the fact that these problems were proved to be incorrect. Because of this, it became necessary to find new ways to solve this problem. The most realistic solution was proposed by the creator of the first scientifically based program of earthquake forecasting academician of Academy of Sciences of the USSR Grigory Gamburtsev but premature tragic death did not allow him

to realize it. Based on the considerations of G.A. Gamburtsev the deformation model of crustal earthquake source formation was developed. It follows from this model that the implementation of accurate forecasts of place and maximum source power of coming earthquake is quite real. The realization of these forecasts is possible with the help of geodetic systems, which allow to determine the displacement and deformation of the crustal blocks on the bases of tens of kilometers or more.

Unfortunately, even at the present time, there is a perception that geodesy is only a craft. Sure enough this is misleading: modern tectonics is explored by competently set geodetic investigations. It is sufficient to mention the plate tectonics: current velocities and directions of displacement are obtained using methods of dynamic geodesy.

The first geodesic forecast system was organized on the seismogenic Imperial fault in Mexico. The different aspects of creation Vladikavkaz forecast geodynamic testing range in North Ossetia are considered.

Keywords: earthquake forecasting, elasticity, seismogenic deformation.

УДК 502.5

ПЕРСПЕКТИВЫ ОСВОЕНИЯ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ДАГЕСТАНА (ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ)

© 2016 В.И. Черкашин¹, д.г.-м.н., И.М. Газалиев², к.г.-м.н.

¹Институт геологии ДНЦ РАН, 367030, ул. М. Ярагского 75, Махачкала, Россия,
e-mail: dangeo@mail.ru;

²Дагестанский государственный университет, 367000, ул. Дахадаева 21,
Махачкала, Россия, e-mail: gazis49@mail.ru.

Целью работы является оценка влияния на окружающую среду выявленных в ходе геологоразведочных работ 1964-1983 гг. рудопроявлений Хнов-Борчинского рудного поля и медно-колчеданного месторождения Кизил-Дере. В основу работы положены данные химических анализов вод рек района исследований и результаты анализа опубликованных материалов по данной тематике. Результаты исследований свидетельствуют о загрязнении водных систем района тяжелыми металлами. Это связывается с тем, что после разведочных работ на рудопроявлениях не проведены в полном объеме ликвидационные, консервационные и рекультивационные работы. Преобладающие в составе руд сульфиды железа, меди, свинца и цинка, взаимодействуя с кислородом воздуха и грунтовыми водами, превращаются в купоросы и сбрасываются в речные системы. Сохранение существующего положения вещей в долгосрочном аспекте может привести к активизации окислительно-восстановительных процессов, процессов выщелачивания в условиях поверхности месторождения Кизил-Дере, к прогрессирующему химическому загрязнению вод и земель бассейна р. Самур солями тяжелых металлов, ухудшению качества питьевых и орошаемых вод, а также к безвозвратному истощению уникального месторождения полезных ископаемых.

Учитывая вышесказанное можно сделать вывод. В существующей ситуации считаем необходимым безотлагательное проведение работ по консервации рудопроявлений Хнов-Борчинского рудного поля, которые можно выполнить в рамках действующей Федеральной целевой программы «Ликвидация накопленного экологического ущерба». При принятии решения о разработке месторождения Кизил-Дере должен быть разработан проект его разработки с последующим выполнением оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС). Это позволит оценить конкретные экономические выгоды от реализации проекта, экологические риски и уровень мероприятий по охране окружающей среды.

Ключевые слова: рудопроявление, месторождение Кизил-Дере, колчеданные руды, отвальные породы, окислительно-восстановительные процессы, тяжелые металлы.

В результате проведенных геологоразведочных работ в верховьях рек Ахты-чай и Самур в Хнов-Борчинском рудном районе в период с 1964 по 1983 годы выявлено 16 рудопроявлений и 1 месторождение Кизил-Дере [Черкашин, Мацапулин, 2009]. По завершении геологоразведочных работ на вышеперечисленных объектах не проведены в полном масштабе ликвидационные, консервационные и рекультивационные работы, что повлекло за собой проблемы экологического характера, связанные с загрязнением водных систем в этом районе [Алимов, 2013]. Основной причиной является тот факт, что в составе пород Хнов-Борчинского рудного поля преобладают сульфиды железа, меди, свинца и цинка, которые, взаимодействуя с кислородом воздуха и грунтовыми водами, превращаются в купоросы. Это в конечном итоге приводит к тому, что из штолен, а также из проржавевших за 50 лет буровых разведочных скважин вытекает раствор, состоящий из ионов тяжелых металлов – железа, меди, цинка и других веществ, входящих в состав полезных ископаемых (всего

31 элемент). Все эти продукты химических реакций, при безвозвратных потерях полезных ископаемых, в виде ионов тяжелых металлов сбрасываются в реки Ахтычай и Самур в количестве 10-12 тысяч тонн в год. К сожалению, эта вода используется в агропромышленном комплексе и следы тяжелых металлов можно обнаружить в сельскохозяйственной и животноводческой продукции. Этой же водой, в которой помимо повышенных концентраций ионов тяжелых металлов присутствуют также ионы других редкоземельных элементов, пользуется население близлежащих населенных пунктов. Этим элементам свойственно накапливаться в организме, что приводит к высокому риску появления у жителей Южного Дагестана различных болезней, включая злокачественные новообразования.

Вопрос отработки месторождения Кизил-Дере, расположенного в Ахтынском районе Республики Дагестан в долине реки Кизил-Дере при слиянии её с рекой Ахтычай, рядом с селением Хнов, достаточно спорный, поскольку не соблюдение экологических нормативов может привести к катастрофическим последствиям.

Масштаб разрабатываемого месторождения 58,216 млн. т руды, содержащей 1,163 млн. т меди; 82,9 тыс. т цинка; 14,017 млн. т серы; 15,365 тыс. т кобальта; 3 млн. т селена [Курбанов и др., 2014; Полищук, Слюняев, 1970]. Ежегодно планируется извлекать 3 млн. т руды. Производительность обогатительной фабрики – 50 тыс. т по меди. Вырабатываться будет медный концентрат КМ-5, содержащий 20,1% меди и 35,93% серы. Выход концентрата из руды 11,15%, извлечение меди в концентрат 87,19%.

Для отработки данного месторождения необходимо создание определенной инфраструктуры, куда будет входить строительство рудника, обогатительной фабрики, гидроэлектростанции, прокладка автомобильной дороги длиной более 100 км до ближайшей железнодорожной станции Белиджи и т.д. Под размещение объектов рудника, обогатительной фабрики и вспомогательных объектов предусмотрено отведение территории площадью до 100 гектаров, в том числе и строительство хвостохранилища, которое предполагается разместить в створе реки Кизил-Дере, заключив ее русло в бетонный водовод. Насколько это оправданно и небезопасно, следует проверить, поскольку в этом районе достаточно большое выпадение осадков и высокая сейсмичность, способствующие распространению оползневых и селевых процессов. Для устройства хвостохранилища предусматривается сооружение низовой дамбы на первый период с наращиванием ее до проектных отметок в процессе эксплуатации. В ложе хвостохранилища предусматривается сооружение противодиффузионного экрана из тонкодисперсного кальматанта. Ниже низовой ограждающей дамбы предусматривается противодиффузионный дренаж с возвратом дренажных вод в хвостохранилище. Для подачи хвостовой пульпы в хвостохранилище предусматривается система – пульпопроводы. Осветленная вода из хвостохранилища будет возвращаться на обогатительную фабрику. Срок эксплуатации первой секции – 15 лет. На второй срок необходимо устройство второй секции каскадом, выше по ручью Кизил-Дере. По окончании работы предприятия в хвостохранилище твердых отходов необходимо провести рекультивацию.

Это только приблизительная схема необходимых работ при подготовке отработки месторождения Кизил-Дере, его эксплуатации и завершения. Но даже эта схема показывает насколько сложно будет обрабатывать это месторождение с соблюдением всех экологических нормативов, поскольку до сих пор не проведены в достаточном объеме работы по консервации горных выработок проведенных гео-

логоразведочных работ.

С 1965 по 1983 годы при проведении на месторождении Кизил-Дере геологоразведочных работ было извлечено горных пород более 50 тыс. м³. Масса извлеченной породы, которая сбрасывалась в ложе реки Кизил-Дере (приток второго порядка реки Самур), превысила 170 тыс. тонн. По расчетам, проведенным на основе данных геологоразведки, количество сброшенных в водоохранную зону реки полезных ископаемых (пирит, пирротин, халькопирит, сфалерит и т.д.), оценивается примерно в 11,5 тыс. тонн.

В настоящий период в водоохранной зоне реки Кизил-Дере масса остаточного содержания отвальных пород оценивается примерно 28 тыс. т. В них содержится более 600 тонн смеси купоросов. За истекшие более чем 40 лет в поймы рек Кизил-Дере и Ахтычай (приток первого порядка реки Самур) паводковыми водами смыто не менее 140 тыс. тонн окисленных проходческих пород с высоким содержанием ионов тяжелых металлов, в том числе только в 2002 году – порядка 20 тыс. т. В отвальных породах идет активизация окислительно-восстановительных процессов, а в ходе выщелачивания отвалов атмосферными осадками тяжелые металлы в виде купоросов попадают в водные системы.

Как известно в поверхностных слоях в присутствии кислорода и влаги воздуха протекают процессы окисления руд. После завершения в 1983 году поисково-разведочных работ на месторождении проходческие штольни, в установленном порядке, не были законсервированы. Это, по всей видимости, приводит к интенсификации процессов окисления полезных ископаемых в поверхностной части месторождения. В некоторых местах вследствие разрушения рудного тела отмечается затруднение окислительных процессов в сливах, что приводит к избыточному образованию серной кислоты и сульфата трехвалентного железа как промежуточных продуктов окисления сульфида железа. Наблюдается вытекание штольневых сливов с повышенной кислотностью ($pH < 4$).

Данные многочисленных авторов, а также анализ фондовых материалов, свидетельствуют, что с 1965 года – начало проведения геологоразведочных работ на месторождении Кизил-Дере, качество воды реки Самур значительно ухудшилось [Газалиев, 2011; Газалиев, Курбанов, 2003; Гуруев, Тагиров, 1998; Гуруев и др., 2003; Присамурье, 2003; Самедов, Ибрагимова, 2014]. До сих пор размываются шахтные рудоносные отвалы и сливы шахтных вод являются источником загрязнения вод реки Ахтычай и далее реки Самур солями тяжелых металлов (Be, Cu, Zn, Fe, Mn, Cr, Cd).

Сохраняющееся до сих пор неудовлетворительное экологическое состояние региона можно рассматривать в контексте уже происшедших воздействий и деформаций качества окружающей среды при реализации геологоразведочных работ на месторождении Кизил-Дере.

Следует ожидать, что начало промышленного освоения месторождения Кизил-Дере будет сопровождаться количественно и качественно более высокой степенью техногенного воздействия и трансформацией окружающей природной среды. Сложный технологический процесс горнодобывающего производства включает горнопроходческие, вскрышные и очистные работы, осушение месторождения и горных выработок, транспортировку и складирование пород и отходов обогащения, строительство и функционирование инженерных сооружений инфраструктуры, что естественно повышает риск воздействия на геологическую среду и сопредельные с

ней поверхностную гидросферу и атмосферу. При геоэкологических исследованиях требуется четкое представление о действующих природных и техногенных факторах, источниках техногенного воздействия на окружающую среду, природных и других объектов, подвергающихся воздействию, а также о возможных экологических проблемах. Ландшафтно-географическое, геолого-структурное положение месторождения Кизил-Дере, его геохимические, гидрогеологические и инженерно-геологические условия накладывают ряд условий на ход планирования работ по освоению месторождения, где необходимо учитывать эти факторы, а также источники техногенного воздействия. С целью минимизации уровня воздействия на компоненты природной среды выбор тех или иных операций должен, прежде всего, определяться с точки зрения их экологичности и с позиции наилучших существующих технологий.

Бесспорно, разработка месторождения Кизил-Дере и сопутствующая ей деятельность может обострить некоторые экологические проблемы в районе. По всей видимости, добыча и переработка руды приведет к определенному техногенному преобразованию природной среды вследствие отчуждения и нарушения земель, извлечения из недр больших объемов горных пород, подземных вод и газов, размещения твердых и жидких отходов переработки и обогащения полезных ископаемых, а также создание соответствующей инфраструктуры.

Основные экологические проблемы, которые могут возникнуть при освоении данного месторождения, при выбранной технологии добычи и переработки руды, будут связаны с нарушением больших массивов горных пород, изменениями в гидросфере, качества поверхностных вод и почвенного слоя, загрязненностью атмосферного воздуха. Нарушение массива горных пород при строительстве рудника может быть обусловлено следующими факторами:

- масштабным формированием выработанного пространства и нарушением целостности массива;
- изменением состава, строения, инженерно-геологических свойств пород;
- увеличением трещиноватости пород и раскрытости массива;
- движением и обрушением подработанных толщ, деформацией земной поверхности (провалы, мульды оседания);
- активизацией и возникновением инженерно-геологических процессов и явлений (оползни на природных склонах, эрозия, сели при подрезке склонов и накоплении на них отвалов);
- изменением рельефа в результате размещения отвалов, заполнением хвостохранилищ;
- возникновением инженерно-геологических процессов на отвалах и прилежащих к ним территориях (оседание, обрушение, оползание, селеобразование).

В подземной гидросфере могут проявиться следующие изменения:

- снижение напоров и уровней подземных вод;
- развитие депрессионных и пьезометрических воронок, вызывающих изменение направления движения фильтрационных потоков, активизация питания и сокращение естественной разгрузки подземных вод, изменение гидравлической взаимосвязи водоносных горизонтов с реками, водоемами и между собой за счет протекания через разделяющие слои;
- изменение режима (уровней, расходов, химического состава, температуры) и составляющих баланса подземных вод;

- преобразование химического состава вод при взаимодействии различных водоносных горизонтов, подтягивании вод высокой минерализации в плане и с глубины;

- формирование кислых шахтных и рудничных вод с высокими содержаниями тяжелых металлов, в связи с процессами взаимодействия вод и пород в отработанных частях массива;

- загрязнение грунтовых вод, почвы и пород зоны аэрации при растекании и инфильтрации вод из накопителей отходов обогатительной фабрики, хвостохранилища, а также в результате ветровой и водной эрозии отвалов, отходов обогатительной фабрики, хвостохранилища, оседания пыли, образующейся при взрывных работах;

Изменение состояния и качества поверхностных вод может быть выражено:

- изоляцией русла реки Кизил-Дере бетонными лотками;

- ущербом речному стоку за счет сокращения его питания грунтовыми водами (сокращение подземного стока в реки) и инфильтрации поверхностных вод в подстилающие отложения;

- загрязнением вод вследствие сброса недостаточно очищенных шахтных и рудничных вод и промстоков на поверхность земли и в гидрографическую сеть, инфильтрацией вод из хвостохранилища, крупных отстойников, выщелачиванием атмосферными осадками отвалов, хвостов обогатительной фабрики, смывом вредных веществ атмосферными осадками с промплощадок, жилых массивов, складов ГСМ и др.

Изменения в почвенном слое и в зоне аэрации проявятся:

- размерами территории нарушения или полного уничтожения почв в пределах горного отвода, изъятием их из использования для сельскохозяйственных целей в сфере влияния горнодобывающего предприятия;

- степенью химического загрязнения почв и зоны аэрации, а также снижением продуктивности почв в результате поступления в них минеральных и органических соединений с пылью, загрязненными атмосферными осадками, сточными и дренажными водами, потерей минеральной массы при транспортировке пород, загрязнением газовыми выбросами автотранспорта.

К изменению состояния атмосферного воздуха приведут:

- газы и пыль, образующиеся при применении взрывчатых веществ для отбойки пород;

- газы, поступающие в атмосферу при проветривании подземных горных выработок в составе шахтного воздуха;

- газы, мигрирующие в атмосферу из массивов пород и полезных ископаемых при их отработке;

- газы, выделяющиеся из породных отвалов, особенно при возможном горении породной массы;

- газовыделения при работе транспорта и технологических машин;

- газовыделение при отоплении жилищ;

- пыль, образующаяся в результате ветровой эрозии отвалов и хвостохранилищ.

Не менее важные экологические проблемы могут быть связаны с уничтожением в процессе производства работ сельхозугодий, изменением характера растительности, животного мира и условий жизни проживающего коренного населения.

Одной из основных проблем освоения месторождения Кизил-Дере является утилизация пирит пирротинового или так называемого серного концентрата, остающегося после извлечения из руд меди и цинка. Эта проблема потребует опреде-

ленных технологических решений, т.к. утилизация этого материала на месте в силу способности его к интенсивному окислению (самовозгоранию) может существенно ухудшить атмосферу, гидросферу и почвенный покров территории.

Дополнительную нагрузку на окружающую среду окажет транспортировка конечного продукта. Всего при отработке месторождения Кизил-Дере необходимо будет вывезти порядка 5 млн. тонн 10% концентрата на ж/д станцию Белиджи. При отработке месторождения за 15 лет это составит 330 тыс. т за 1 год, 1100 т в день. При перевозке 10 т КАМАЗами это составит 110 рейсов в сутки или 4-5 рейсов в час, т.е. автомашины будут проходить через каждые 10-15 минут, а учитывая возвратные рейсы – через 7-8 минут. Т.е. движение по дорогам будет весьма интенсивное. Дороги будут проходить через селения Смугул, Ахты, Усук-чай, Койсун, остальные сёла имеют объездные дороги. Такое движение, несомненно, будет негативно воздействовать на население этих сел и может возникнуть проблема строительства объездных дорог.

В целях снижения техногенной нагрузки горнодобывающей деятельности на окружающую среду и экономических издержек производства важным представляется выполнение оценки по ряду вопросов рационального использования водных ресурсов, недр, горной массы, отходов обогащения:

- оценка эксплуатационных запасов подземных вод, участвующих в обводнении месторождений твердых полезных ископаемых (так называемых «дренажных вод»), с целью использования для хозяйственно-питьевого и технического водоснабжения;

- оценка шахтных, рудничных вод в качестве гидроминерального сырья, как содержащих в значительных количествах полезные компоненты (металлы, соли, редкие элементы);

- оценка (на основе получения геологической и горнотехнической информации) полноты использования недр при одновременном сокращении размеров землепользования, обеспечения извлечения попутных компонентов, возможности использования отходов, а также сокращения твердых и жидких стоков и выбросов пыли и газов;

- оценка полезных ископаемых и вмещающих пород в части содержания экологически вредных компонентов и примесей, с учетом распределения их в рудах, углях, сланцах, солях, и в других полезных ископаемых, продуктах переработки, отходах обогащения, пылевых выбросах, отвалах;

- оценка пригодности вскрышных и вмещающих пород для непосредственного использования в хозяйственных целях или для переработки, способности их к самовозгоранию в отвалах, пригодности для технической и биологической рекультивации земель.

Должен быть предложен комплекс эффективных и достаточных природоохранных мероприятий или природоохранных систем:

- внедрение малоотходных технологий добычи и обогащения полезных ископаемых;

- рациональный водоотбор, обеспечивающий понижение уровней подземных вод в соответствии с темпами углубления горных разработок, а также комплексирование осушения месторождения с предотвращением загрязнения и использованием дренажных вод для водоснабжения;

- очистка рудничных, шахтных вод и промстоков, организация оборотного водоснабжения;

- сооружение цементационных завес, обратная закачка вод в осушаемые водоносные горизонты (гидрозавеса), закачка и захоронение вод и жидких отходов;
- предупреждение или ликвидация подтопления территории, промплощадок и жилых поселков в период возможных паводков;
- укрепление и гидроизоляция отвалов, предотвращение их самовозгорания;
- пылеподавление при добыче, перегрузке и транспортировке горной массы, при буровзрывных работах и работе транспорта;
- локализация очагов загрязнения почв, зоны аэрации грунтовых и напорных вод;
- переработка и использование отвалов, отходов обогащения;
- рекультивация земель, создание рекреационных зон.

Анализируя вышесказанное, можно отметить, что вопрос о целесообразности разработки месторождения Кизил-Дере вызывает большой разброс мнений среди ученых, специалистов и общественности Республики Дагестан [Газалиев и др., 2011; Магидов, 1997]. Мнения расходятся, например, от полного отрицания необходимости начала промышленного освоения месторождения до возможности его освоения без причинения значимого ущерба природной среде региона в случае применения наилучших из существующих технологий и соблюдения ряда экологических ограничений.

ЗАО «Русская медная компания» предприняла попытку начать разработку месторождения «Кизил-Дере», но все ограничилось лишь рекламной компанией. Не был составлен окончательный проект разработки месторождения и не выполнена оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС).

Сохранение существующего положения вещей в долгосрочном аспекте может привести к активизации окислительно-восстановительных процессов, процессов выщелачивания в условиях поверхности месторождения Кизил-Дере, к прогрессирующему химическому загрязнению вод и земель бассейна р. Самур солями тяжелых металлов, ухудшению качества питьевых и орошаемых вод, а также к безвозвратному истощению уникального месторождения полезных ископаемых.

Такая ситуация предполагает два решения – проведение полной консервации месторождения или его отработку.

В первом случае в существующей ситуации считаем необходимым безотлагательное проведение работ по консервации месторождения Кизил-Дере, а также всех объектов рудопроявлений Хнов-Борчинского рудного поля, которые можно выполнить в рамках действующей Федеральной целевой программы «Ликвидация накопленного экологического ущерба».

Во втором – отработка месторождения Кизил-Дере внесет положительный вклад в экономику Республики Дагестан, особенно Ахтынского района и других районов Южного Дагестана, привлечет дополнительные инвестиции в геологоразведочную отрасль, позволит создать новые рабочие места, значительно снизить социальную напряженность в регионе, позволит решить многие экологические проблемы на качественно более высоком уровне. Однако, перед началом этих работ должен быть разработан окончательный проект разработки месторождения с последующим выполнением оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС). Это позволит оценить конкретные экономические выгоды от реализации проекта, экологические риски и уровень мероприятий по охране окружающей среды.

Литература

1. Алимов М.А. Влияние техногенных объектов Хнов-Борчинского рудного района на водные ресурсы и среду обитания в южном Дагестане // Материалы Дагестанской республиканской экологической конференции. Махачкала. 2013. С. 55-61.
2. Газалиев И.М. Актуальные проблемы геоэкологии Дагестана // Материалы Всероссийской научно-технической конференции «Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа». Грозный. 2011. С. 355-362.
3. Газалиев И.С.М., Гуруев М.А., Мацапулин В.У. Экологические проблемы разработки месторождения Кизил-Дере // Геология и полезные ископаемые Кавказа. Тр. ИГ ДНЦ РАН. Вып. 57. Махачкала. 2011. С. 208-212.
4. Газалиев И.М., Курбанов М.К. Экологические проблемы Природных вод Дагестана // Геоэкологические проблемы освоения и охраны ресурсов подземных вод Восточного Кавказа. Тр. ИГ ДНЦ РАН. Вып.49. Махачкала. 2003. С. 171-174.
5. Гуруев М.А., Тагиров К.К. К вопросу воздействия горно-рудной деятельности на водные ресурсы Бассейна р. Самур // Тезисы докл. III Международного конгресса «Вода: экология и технология» ЭКВАТЭК-98. Москва. 1998. С. 35-36.
6. Гуруев М.А., Алимов М.А., Сепиханова Е.Н. Оценка современного состояния загрязненности вод бассейна реки Самур тяжелыми металлами // Геоэкологические проблемы освоения и охраны ресурсов подземных вод Восточного Кавказа. Тр. ИГ ДНЦ РАН. Вып.49. Махачкала. 2003. С. 180-183.
7. Курбанов М.М., Богуш И.А., Рылов В.Г. Колчеданное месторождение Кизил-Дере в Горном Дагестане. Москва. Научный мир. 2014. 244 с.
8. Магидов С.Х. Экологические последствия освоения медно-колчеданного месторождения Кизил-Дере // Труды ГОРД. Вып. XXV. Махачкала. 1997. С. 25-29.
9. Полищук И.Б., Слюняев А.А. Колчеданное месторождение Кизил-Дере в Южном Дагестане // Известия вузов. Геология и разведка. 1970. № 6. С. 86-89.
10. Присамурье: водохозяйственные проблемы и перспективы // Отв. ред. И.М. Сайпулаев, Э.М. Эльдаров. Махачкала. 2003. 154 с.
11. Самедов Ш.Г., Ибрагимова Т.И. Оценка качества водных ресурсов бассейна реки Самур // Водное хозяйство России. № 4. 2014. С. 4-13.
12. Черкашин В.И., Мацапулин В.У. Минералого-геохимические особенности юрских рудных образований и металлогения Восточного Кавказа // Махачкала. «Денем». 2009. 276 с.

ROSPECTS OF DEVELOPMENT OF ORE DEPOSITS DAGESTAN (ENVIRONMENTAL ASPECTS)

© 2016 V.I. Cherkashin¹, Sc. Doctor (Geol.-Min.), I.M. Gazaliev², Sc. Candidate (Geol.-Min.)

¹Institute of Geology, DSC RAS, 367030, 75, M. Yaragski st., Makhachkala, Russia, e-mail: dangeo@mail.ru;

²Dagestan State University, 21, 367000, Dakhadaev st., Makhachkala, Russia, e-mail: gazis49@mail.ru

The aim of the study is to evaluate the effect of the ore-occurrences, identified during the geological exploration in 1964-1983, on the environment in the Khnov-Borchinsk ore-field and Kizil-Dere copper-pyrite deposit. The study is based on the chemical analysis data of the waters from the study area and the analysis of published materials on the subject. Results of the study indicate contamination of water systems of the area with heavy metals. This is attributed to the fact that after the exploration there were not carried out the liquidation, conservation and reclamation works on the ore occurrences in full scale. Sulphides of iron, copper, lead and zinc, prevailing in the composition of ores, interacting with oxygen in the air and groundwater, convert into sulfate and are discharged into the river systems. Preserving the status quo in the long run can lead to the activation of the redox processes, leaching processes under the surface of the field of Kizil-Dere, progressive chemical contamination of waters and lands of the Samur river basin with salts of heavy metals, deterioration in quality of drinking and irrigation waters, as well as to the permanent depletion of the unique mineral deposit.

The above said allows to conclude that in the current situation we consider it necessary to urgently conduct the works on conservation of the Khnov-Borchinsk ore-field occurrences, which can be done under the existing federal target program "The elimination of accumulated environmental damage." When deciding on the Kizil-Dere field the exploration project, followed by the implementation of environmental impact assessment (EIA) should be developed. It will allow assessing the specific economic benefits of the project, environmental risks and the level of measures to protect the environment.

Keywords: ore occurrence; the field of Kizil-Dere; pyrite ore; overburden; redox processes; heavy metals.

УДК 550.(81).34(37)(38)

ГЕОМОРФОЛОГИЯ КАК ПРИЗНАК НАСЛЕДСТВЕННОСТИ СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ

© 2016 Х.О. Чотчаев², В.Б. Заалишвили², д.ф.-м.н., Л.Н. Невский²,
А.Г. Шемпелев^{1,2}, к.г.-м.н.

²«Сей-Эко-Геон», Россия, 357623, Ставропольский край, г. Ессентуки, ул. Нагорная, д. 24, кв. 4;

²Геофизический институт Владикавказского научного центра РАН, Россия, 362002, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а; e-mail: cgi_ras@mail.ru

В статье рассмотрена закономерность формирования морфологических структур и зависимость их локализации от структурно-тектонической блокировки земной коры. По формационным и структурно-тектоническим признакам выделены основные морфологические структуры вдоль северного склона Центральной части Большого Кавказа. Установлена коррелируемость основных форм рельефа с особенностями блоковой структуры доюрского фундамента. На основе структурных методов геофизики установлены пространственное положение Владикавказского глубинного разлома и фрагмента Ардонского разлома на участке профиля В. Згид – месторождение Джимидон.

Ключевые слова: геоморфология, структурно-тектоническая блокировка доюрского фундамента, наследственность древних структур, разломы Ардонский, Владикавказский, Адайком–Казбекская группа, структурные методы геофизики, Северный склон Центрального блока Большого Кавказа.

Структура Большого Кавказа сформировалась в обстановке общего субмеридионального сжатия при горизонтальном перемещении литосферных плит. В результате произошло тектоническое скучивание и перераспределение геологических масс, наращивание континентальной коры, широкое развитие чешуйчато-складчатых структур и интенсивный магматизм. Сформировавшаяся морфоструктура Большого Кавказа в целом отличается наличием ориентированных в субширотном и северо-западном направлениях линейно вытянутых тектонических структур, сети субширотных разрывных нарушений и складчатых дислокаций, осложненных складчато-разрывными структурами субмеридиональной ориентировки. Поперечные Кавказской структуре тектонические зоны, по-видимому, явились следствием неравномерного распределения сжимающих сил по фронту соприкосновения микроплит-террейнов с континентальными плитами, в результате чего стали возникать сдвиговые нарушения, определившие блоковую структуру горного сооружения Большого Кавказа. Три самые крупные из таких тектонических зон, представляющие собой правосторонние сдвиги, разделяют Большой Кавказ на три поперечных сегмента: Центральный, Северо-Западный и Восточный. Западным ограничением Центрального сегмента является Пшехско-Адлерская складчато-разрывная зона, восточным – Центрально-Кавказская.

Зона сопряжения Центрального и Восточного Кавказа, расположенная в междуречье Черема Балкарского и Терека, характеризуется разнообразием структурных ансамблей и отчетливым зональным строением горного сооружения, обусловленным первичным характером доюрского субстрата.

Геоморфометрическая дифференцированность с севера на юг горной террито-

рии Северной Осетии, расположенной в восточной части Центрального Кавказа, в основных чертах отражает глубинное строение осадочного чехла и консолидированной коры. Современный облик Центрального Кавказа в поперечном профиле рельефа, имея, в целом, форму куэсты, сформирован основными структурно-тектоническими элементами в виде отчетливо выраженных куэстовых гряд, как правило, с пологими северными и обрывистыми южными склонами (рис. 1).

Рельеф площади отличается большой сложностью ландшафтных особенностей, расчлененностью и, в целом, характеризуется IV-V категориями трудности по условиям проходимости при геодезических и геолого-геофизических изысканиях.

С севера на юг располагаются Лесистый, Пастбищный, Скалистый, Боковой и Водораздельный хребты, протягивающиеся параллельно друг другу в запад – северо-западном направлении. Лесистый хребет, окаймляющий с юга Владикавказскую котловину, представляет собой цепь относительно высоких холмов, покрытых густым буковым лесом. Отметки вершин хребта колеблются от 871 м (г. Мыгварсбарзонд) до 1470,2 м (г. Сурх). Очертания вершин сглаженные, склоны сравнительно пологие.

Доминирующая роль в разрезе пород Лесистых гор принадлежит отложениям палеогена (палеоцена и эоцена), а отложения олигоцена образуют единый комплекс с нижним миоценом (майкопская серия). Образования палеогена, в виде прерывистой полосы, прослеживаются вдоль Лесистого хребта, участвуя в строении зоны Северной моноклинали. Размытыми являются лишь участки выхода палеогеновых отложений между рр. Урух-Дур-Дур и Удсдон-Ардон. Основной состав пород – известняки зеленовато – серые, белые, коричневатые-серые, плотные, трещиноватые с редкими тонкими прослоями мергелистой плотной темно-серой глины.

Южнее Лесистого хребта располагается Пастбищный, четко выраженный лишь к востоку от долины р. Ардон. Это – типично куэстовая гряда, северный склон которой сравнительно пологий, южный – крутой, обрывистый. Буковые леса, покрывающие склоны этого хребта, в гребневой части сменяются субальпийскими лугами. Высотные отметки вершин хребта колеблются от 1257,0 м (г. Известковая) до 1818,4 м (г. Ольдуханхох). Сложен хребет известняками и мергелями.

Далее к югу Пастбищный хребет сменяется Скалистым, так же являющимся ярко выраженной куэстовой грядой, бронированной многослойной толщей мраморизированных и доломитизированных известняков нижней и верхней подбит иронской свиты средней-верхней юры ($J_{2-3}ir_1$; $J_{2-3}ir_2$). Слагающие его известняки и доломиты, а так же многочисленные разрывные нарушения определили резкие формы его рельефа. Южные склоны хребта представляют почти на всем протяжении крутой обрыв высотой в 1000-1500 м. На его склонах, так же как и на склонах Пастбищного хребта, широко развиты пещеры, гроты, провалы, воронки и другие формы карстового рельефа. Высотные отметки вершин Скалистого хребта составляют 2413 м (г. Коска) – 3453,8 м (г. Боровецк).

С юга Скалистый хребет ограничен продольной депрессией, отделяющей его от Бокового хребта. Сложена депрессия глинистыми сланцами и песчаниками, подающимися денудации. Поэтому склоны здесь сравнительно пологи и сглажены. Поперечными хребтами – перемычками депрессия разделяется на отдельные котловины: Донисар-Фаснальскую, Садоно-Унальскую, Лацкую, Даргавскую, Кармадонскую и Армхи-Джейрахскую.

К югу от глинисто-сланцевой депрессии располагается наиболее высокогорный

Боковой хребет. Он ответвляется от Главного Водораздельного хребта в районе вершины Мамисонхох и протягивается отсюда на восток в широтном направлении. Ряд исследователей к Боковому хребту относят и Суганский хребет, протягивающийся вдоль бассейна верховий р. Урух севернее Главного Водораздельного хребта, что не противоречит морфометрической структуризации на основе ландшафтных признаков, хотя другие исследователи считают его восточным окончанием Передового хребта, наиболее мощно проявленного в Кабардино-Балкарии [Ольховский, Тибиллов, 1998].

В пределах горной части Северной Осетии Боковой хребет представляют Адайхохский и Цмиаком-Теплинский горно-ледниковые массивы, а далее к востоку от Кассарского ущелья в верховьях р. Ардон, начиная от массива г. Тепли, прослеживается двумя ветвями, субпараллельных друг другу. Северная ветвь состоит из Архон-Колотинского, Сырхыбарзондского, Шаухохского, Чач-Кайджанского и Малчечкорт-Шанского массивов, а южная наиболее высокая ветвь представлена Закахох-Сивераутским, Джимара-Казбекским и Куро-Шиновским горно-ледниковыми массивами. Высотные отметки вершин Бокового хребта колеблются от 3669,6 (г. Малчечкорт) до 5033,8 (г. Казбек). Сложен хребет преимущественно кристаллическими глубоко метаморфизованными породами, что обусловило острые пилообразные гребни хребтов и остроконечные вершины. Южная ветвь сложена, главным образом, глинистыми сланцами и песчаниками, определяющими более мягкие формы рельефа. В пределах Бокового хребта господствуют ледниковые формы рельефа – цирки, кары, трог, моренные гряды и пр. Между северной и южной ветвями Бокового хребта располагается сравнительно узкая депрессия, выполненная песчано-глинистыми породами.

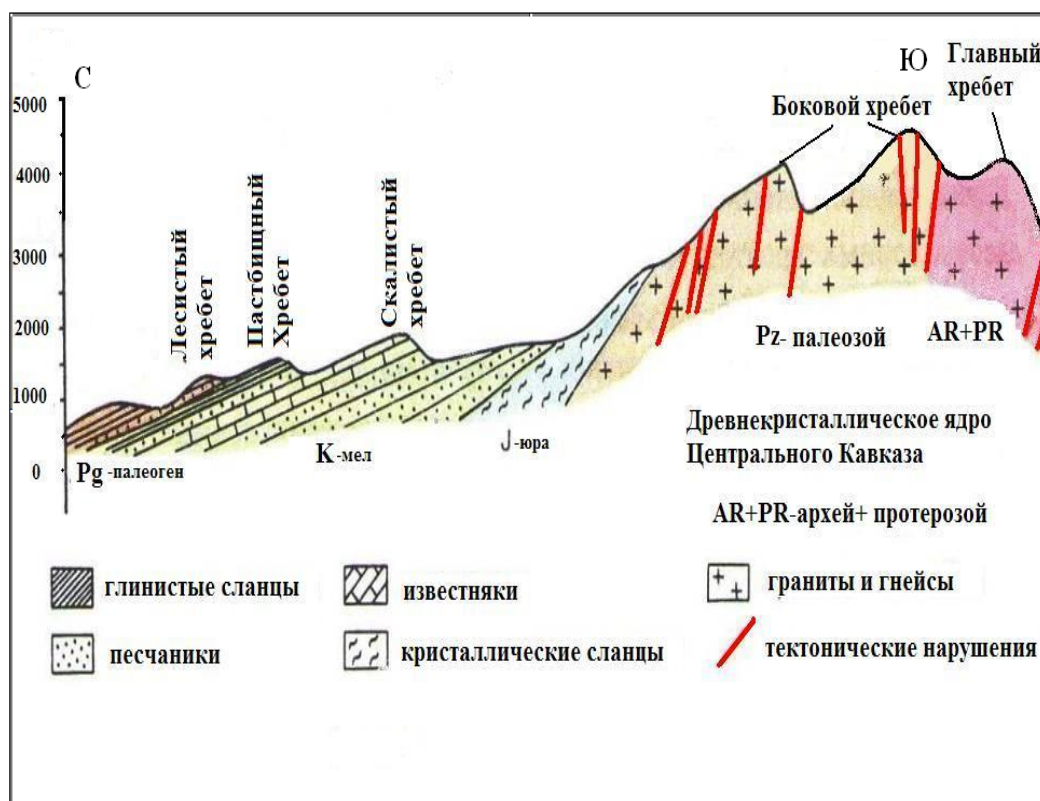


Рис. 1. Морфологическая обособленность структурно-тектонических образований в поперечном разрезе Северо-Западного Кавказа (по Э.М. Раковской)

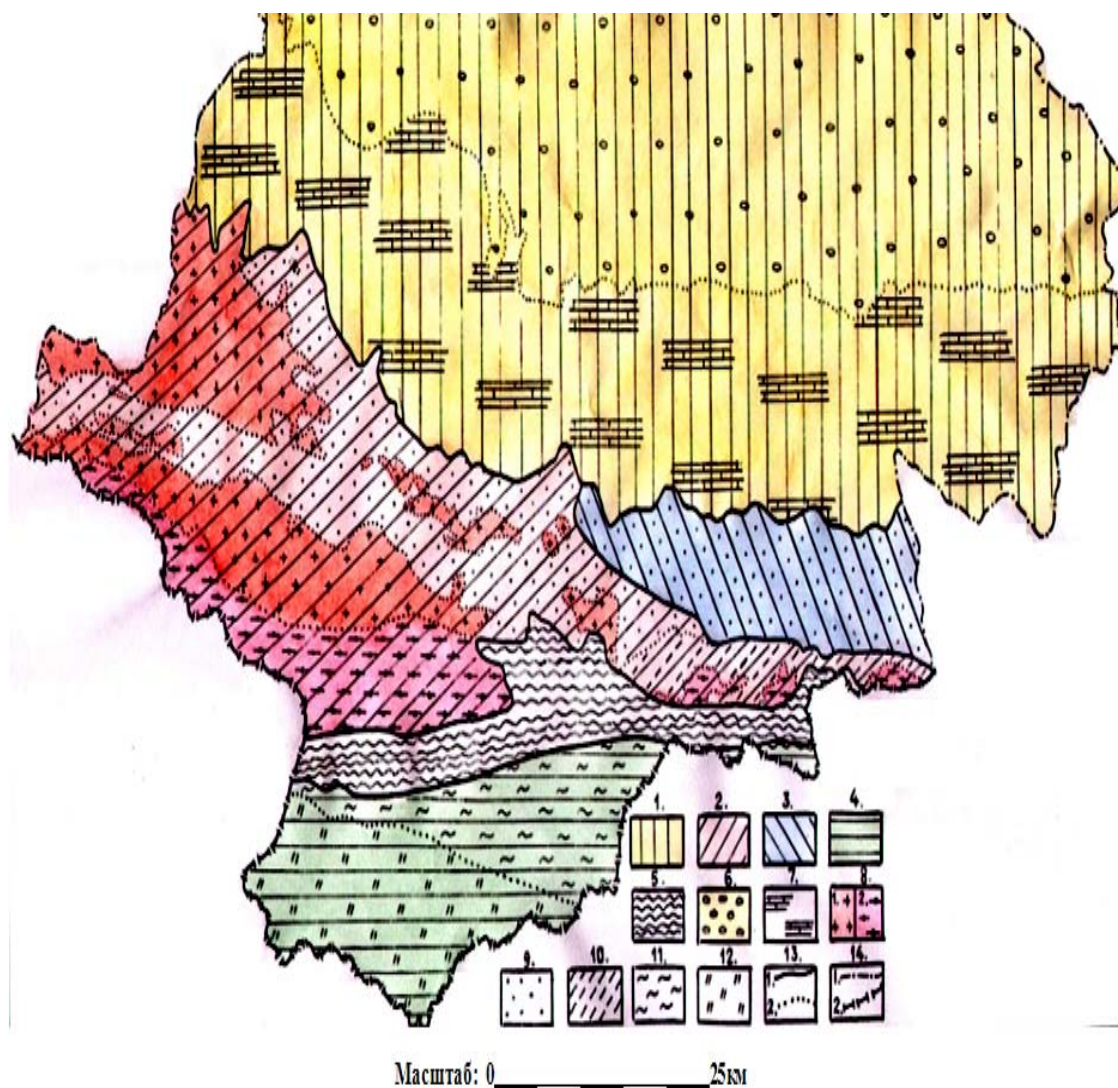


Рис. 2. Основные геологические блоковые структуры и тектонические зоны территории Северной Осетии (по С.М. Тибилову)

Условные обозначения: Микролиты – террейны: 1. Предкавказская; 2. Бечасынская; 3. Восточно-Кавказская; 4. Закавказская.

Структурно-тектонические зоны:

5. Мамисон-Казбекская (реликтовая зона); 6. Владикавказская котловина; 7. Северная моноклираль; 8. Главного хребта (1 – Махерская и 2 – Кассарская подзоны); 9. Дигоро-Осетинская; 10. Ардон-Дарьяльская; 11. Южного склона; 12. Чаурская; 13. Контакты: (1 – микролит-террейнов, 2 – структурно-тектонических зон); 14. Границы: (1 – республик, 2 – государственных).

Поперечными хребтами-перемычками депрессия разделена на ряд котловин – Суарком-Дзагалыкомскую, Мидаграбынскую, Майлийскую и Амали-Кистинскую. Южнее Бокового хребта располагается обширная продольная депрессия, сложенная сравнительно мягкими глинистыми сланцами, которая делится на Туалетинскую и Труссовскую котловины. Еще южнее располагается извилистая линия Главного Водораздельного хребта, по которому проходит административная граница между Северной Осетией и Грузией. Западная часть хребта сложена кристаллическими породами и так же, как большая часть Бокового хребта, имеет типичный альпийский характер.

Здесь тоже прекрасно выражены все формы ледникового рельефа. Наиболее высокие вершины в этой части характеризуются высотами от 3855,1 м (г. Таймази) до 4468 м (г. Бубисох). От массива г. Мамисонхох главный водораздел резко поворачивает на юго-запад и по хребту Козыкомраг переходит на извилистый, но в общем субширотный Двалетский хребет. Здесь Главный водораздел представляет непрерывный гребень, круто обрывающийся к югу и более полого спускающийся на север. Максимальные высоты его не превышают 4000 м и колеблются от 3245,4 м (г. Бубухох) до 3938,1 (г. Халаца). Сложен он глинистыми сланцами, песчаниками, мергелями и известняками.

В качестве ремарки интересно отметить, что геоморфологическая особенность развития региона определила зональный характер освоения площадей (рис. 7), повторяющий географическое положение отдельных структур. Антропологическое расселение концентрировано в трех геоморфологических структурах: в широтной полосе Осетинской впадины, в межгорной депрессии между гряд Скалистого и южной ветви Бокового хребтов и на северных склонах Чиаурской синклинали Южной микроплиты. По анализу антропологического освоения отдельно взятой горной территории можно характеризовать его геоморфологические особенности.

Приведенная субширотная морфологическая архитектура осложняется Транскавказским ассиметричным поперечным поднятием, осложняющим в меридиональном направлении все куэстовые гряды Большого Кавказа и блоковые структуры региона. Структура характеризуется выраженным в рельефе воздыманием пород чехла и фундамента и системой субвертикальных разрывов с закономерными латеральными перемещениями по ним.

Оперяющие с запада и востока разрывы в плане образуют дугообразные формы, выпуклостью на север, указывающие на наличие на юге крупного блока земной коры, препятствующего перемещению в условиях меридионального сжатия. Зона Транскавказского поднятия характеризуется высоким уровнем сейсмичности с нередкими землетрясениями магнитудой 6.6-7.5 за последнее тысячелетие. Основным фактором сейсмоактивности Транскавказского поднятия следует считать устойчивую северо-восточную направленность вектора горизонтального смещения по данным сети GPS.

Транскавказское поперечное поднятие на территории Северной Осетии представлено своим быстро погружающимся восточным крылом, которое с определенной условностью контролируется серией субмеридиональных разломов, протягивающихся полосой от Каридонского блока, в бассейне р.Урух на севере, к истокам р. Адайком на юге и образующих с Транскавказским поднятием в южных румбах углы меньше 90° , а в северных румбах углы больше 90° . В целом область поперечного поднятия характеризуется исключительно высокой поднятостью и глубокой эродированностью кристаллического основания, обнаженного более чем на 80% его площади. Возможно, именно поэтому в Северной Осетии регионально ультраметаморфизованные и глубоко залегающие верхнепротерозойские формации инфраструктуры обнажаются только в пределах Транскавказского поперечного поднятия, что является одной из его характерных особенностей.

Геоморфологические признаки геологических структур являются весомыми факторами при описании истории развития и современной геодинамики геологических, структурно-тектонических линеаментов, блоков и, в целом, геологических разрезов.

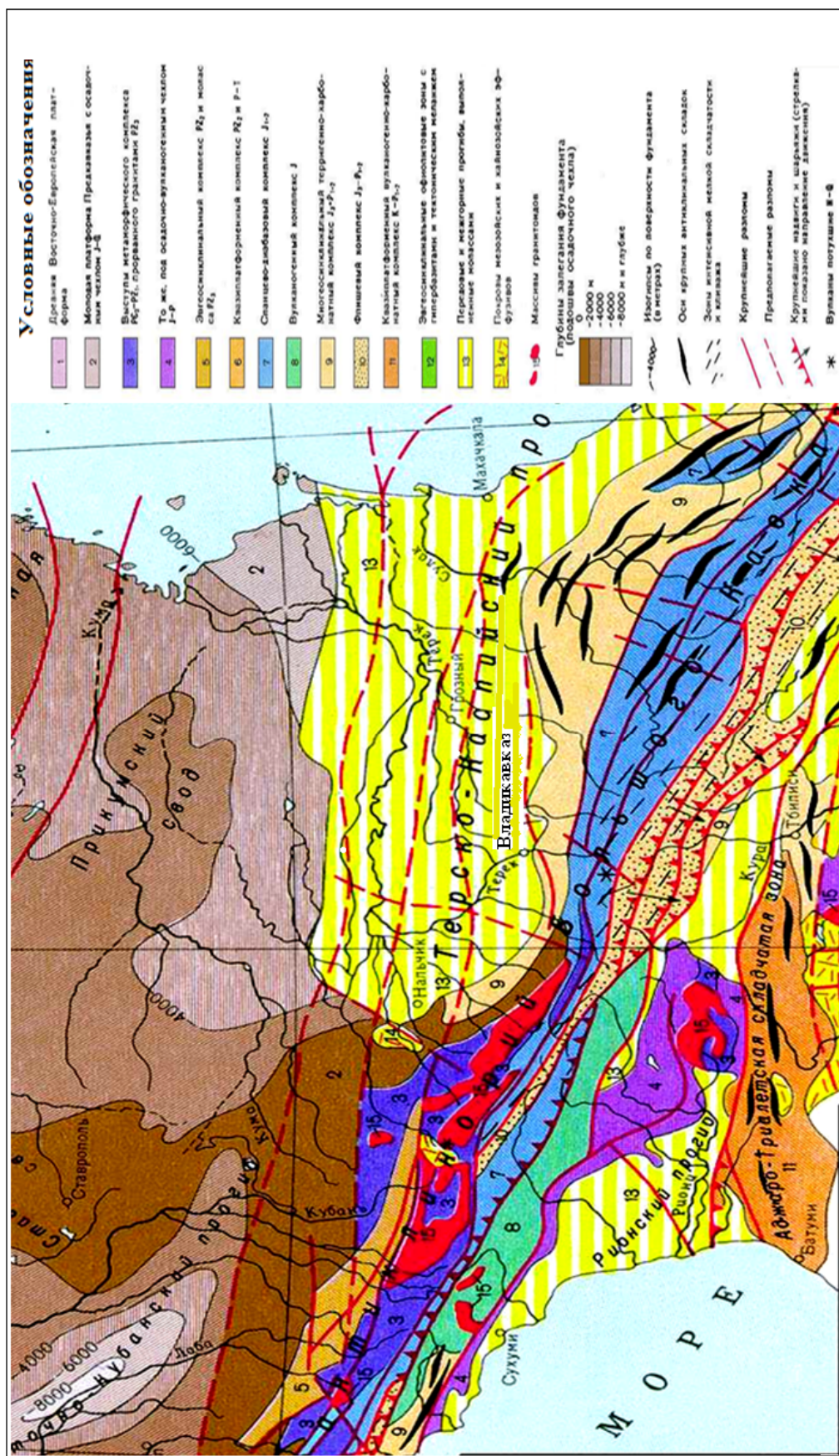


Рис. 3. Структурно-тектонический фрагмент Большого Кавказа

Неоспорим тот факт, что современные особенности участков земной поверхности, в основном, унаследованы от предыдущих форм, сформированных геологическими, тектоническими или вулканическими катаклизмами. Высокая информативность и достоверность данных геоморфологических признаков позволяют использовать морфометрические сведения в общем комплексе геолого-геофизических методов.

Таким образом, формулируется задача, заключающаяся в том, что на основе геоморфологической преемственности истории возникновения и развития глубинных структур с привлечением дополнительной геолого-геофизической информации можно решить обратную задачу определения первообраза (литолого-стратиграфические и структурно-тектонические характеристики глубинного объекта интереса).

Попыткой подобного геологического истолкования существующей геоморфологии является схема коллизионного взаимодействия Предкавказской, Бечасынской и Восточно-Кавказской микроплит-террейнов, а затем и Южной микроплиты, причлененных к Восточно-Европейской плите соответственно в конце палеозоя и доггера [Баранов, Греков, 1982; Баранов 1991; Баранов и др., 1995; Тибилов 1988]. Тектонические структуры этих блоков после коллизии и последующей консолидации оказываются, как бы, впечатанными в геологическую структуру Восточно-Европейской плиты, сохраняя при этом не только индивидуальность их геологического строения, но в какой-то степени и обособленность в дальнейших тектонических перестройках. Так, Предкавказская микроплита характеризуется преимущественным развитием передовых прогибов, в Северной Осетии в ее пределах располагаются Владикавказская котловина и Северная моноклинал. Бечасынская и Восточно-Кавказская микроплиты участвуют в формировании Центрального и Восточного Кавказа. В пределах Южной микроплиты расположены зоны Южного склона и Чиатурской синклинали.

К тектоническим структурам, представляющим особый научный, социально-экономический и прикладной интерес следует отнести Владикавказский и Ардонский разломы и Адайком-Казбекскую группу нарушений, как правило, выходящих далеко за пределы Северной Осетии. Их участие в тектонической блокировке сопредельных территорий следует оценивать по структурно-тектоническому районированию провинции в целом. С этой точки зрения интересна общая закономерность литолого-стратиграфического и структурно-тектонического развития мегантиклинория Большого Кавказа и южных окраин Скифской плиты, иллюстрируемая на рис.3, где основные тектонические нарушения ориентированы в субширотном направлении, а их плоскости имеют северное падение.

Глубинный литолого-стратиграфический разрез пересечения мегантиклинория вдоль условного меридиана по руслу р.Ардон (рис.4), структурная и разрывная тектоника участков вероятного расположения основных структур, подлежащих оценке по пространственным параметрам, исследовались по материалам прошлых лет различного целевого назначения: от научной направленности, создания кондиционных гравиметрических и магнитометрических карт, рекогносцировочной оценки сейсмических и электрических параметров геологических пород на больших глубинах до подготовки перспективных площадей для прикладных целей.

В пределах Центрального Кавказа выполнен довольно большой объем площадных гравиметрических и аэромагнитных съёмок масштабов 1:200000-1:50000, а также глубинных исследований по региональным профилям методами глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ), обменных волн землетрясений (МОВЗ) и магнитотеллурических зондирований (МТЗ).

Одной из особенностей поля силы тяжести Кавказа, изменяющегося в пределах

200 мГал, является наличие для районов Приэльбрусья и Чегемского нагорья самых минимальных значений в Большекавказском регионе. Крупный Эльбрусский гравитационный минимум связывается со значительным погружением поверхности Мохоровичича (до 55-60 км) и резким увеличением здесь толщины условного «гранитного» слоя. Наблюдаемый на его фоне локальный, более глубокий, минимум поля силы тяжести отражает объект грубо сферической формы (диаметр 10-15 км) с экстремально низкой плотностью $2,1 \text{ г/см}^3$, залегающий на глубине первых километров [Шемпелев, 1982; Нечаев, Собисевич, 2007]. Локальными аномалиями меньшей интенсивности отмечаются и восточнее Эльбруса в области развития молодого вулканизма Чегемского нагорья и эльджуртинских гранитов в долине р. Баксан (плотность последних $2,57 \text{ г/см}^3$).

Относительно положительные значения гравитационного поля Казбекского района определяются приповерхностным слоем с избыточной плотностью $0,15 \times 10^3 \text{ г/см}^3$, верхняя и нижняя границы которого находятся на глубинах порядка 0,5 и 4,5 км. Этот слой может быть представлен толщей глубоководных нижнеюрских осадков с продуктами основного магматизма (дайки, интрузии, силлы Казбекского диабазового пояса), залегающей на кристаллическом фундаменте. Вулканические сооружения Тепли и Казбек не сопровождаются локальными гравитационными аномалиями минимумами, которые можно было бы увязать с фазовыми изменениями в недрах этих горных сооружений. Поэтому предполагать здесь, по аналогии с Эльбрусским вулканом, наличие каких-либо «очаговых» объектов, как правило, разуплотнённых, по гравиметрическим данным нет оснований.

Зона Главного хребта Центрального Кавказа является в региональном плане областью пониженных значений магнитного поля, которое осложнено локальными знакопеременными аномалиями интенсивностью до первых единиц сотен нанотесл (Эльбрус, Казбек, Тепли), редко тысячи нанотесл в районах развития молодого вулканизма.

Аномалии разного знака в несколько тысяч нанотесл наблюдаются над Чегемским нагорьем. Они чётко обрисовывают контуры наземной вулканической постройки Чегемского нагорья и верховьев реки Терек. Территория распространения байосских вулканитов Южного склона Большого Кавказа и Закавказья (юго-западный угол рисунка) характеризуется ограниченными по площади резко дифференцированными разного знака локальными аномалиями магнитного поля.

По данным магнитотеллурических зондирований вдоль Приэльбрусского профиля [Шемпелев и др., 2011] локальная аномалия электропроводимости на глубинах «базальтового» слоя связана, вероятно, с участком плавления горных пород, который является магматическим очагом вулкана Эльбрус. А локальный минимум электрических сопротивлений над ней вблизи дневной поверхности может отвечать магматической камере вулкана. Форма и ориентировочные их размеры подчёркиваются границами обмена PS-волн по МОВЗ на глубинах 3-5 км и 12-15 км.

Высокая электропроводность, наблюдаемая на гравитационных минимумах Эльбрусского разреза отсутствуют над вулканическими постройками Казбека и Тепли.

Повышенный интерес к Владикавказскому и Ардонскому глубинным разломам и Адайком-Казбекской группе тектонических нарушений вызван их географическим положением, сейсмичностью территории, классифицированной по рекомендациям карт ОСР-97 девяти балльной интенсивностью, ожиданием теоретически обоснованного повышенного уровня их сейсмогенерации, при активизации в них зон очагов возникновения землетрясений (ВОЗ) (на примерах Джавского и Рачинского землетрясений) (рис. 4).

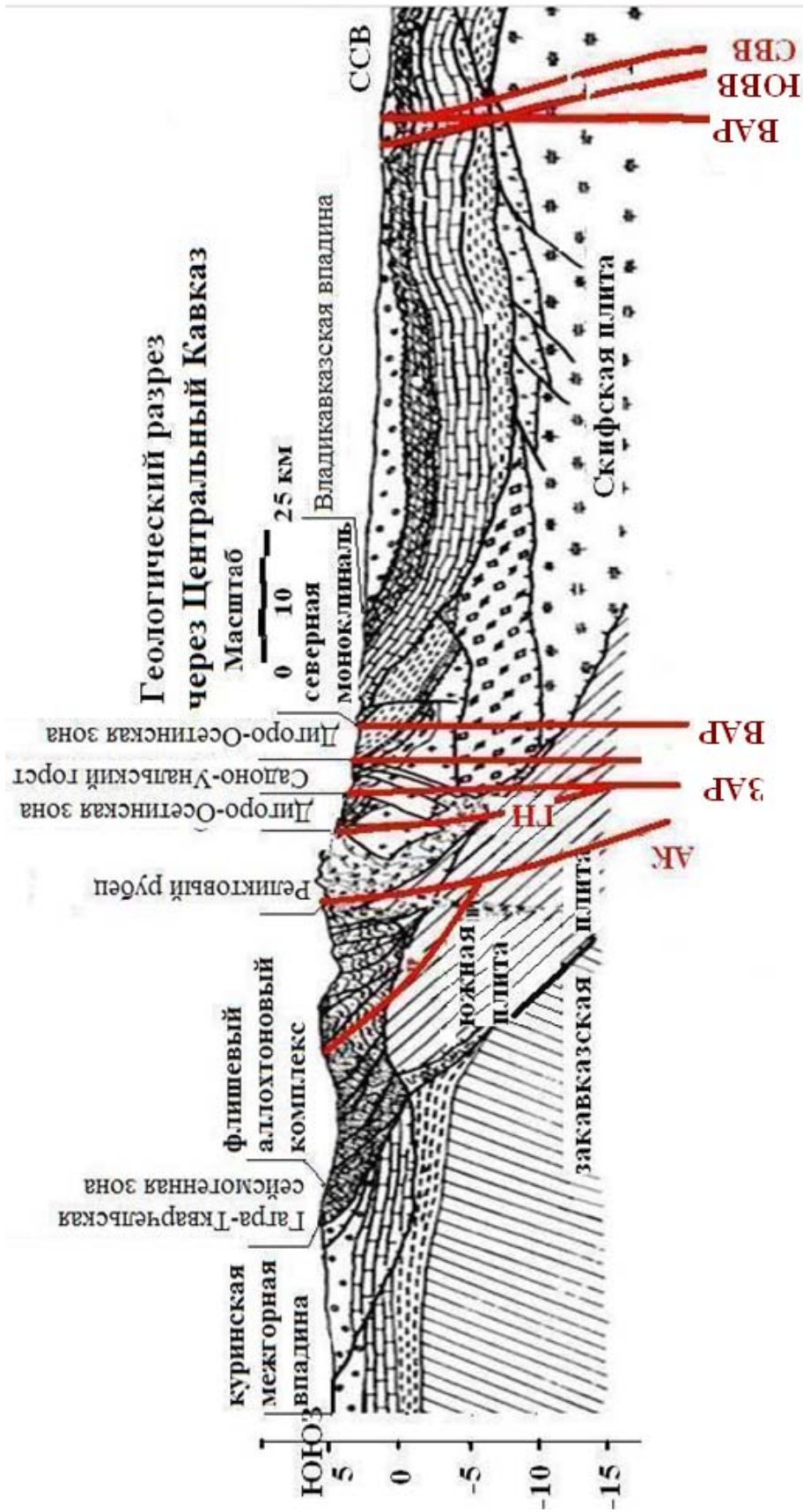


Рис. 4. Поперечный разрез магантиклинория Большого Кавказа по условному меридиану русла р. Ардон

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ К РИСУНКАМ 4-7

Автохтонные и параавтохтонные комплексы:

1 – молассовые формации ($N_1^3 sm_3 Q$), 2 – олигоцен-миоценовая терригенно-карбонатная формация ($P_{g3}-N_1^3 sr_2$), 3 – известняковая и песчано-глинисто-карбонатная формация (J_3-Pg_2), 4 – нижне-среднеюрская формация глинистых сланцев (J_{1-2}), 5 – нижне-среднеэоценовая морская терригенная и андезидацитовая вулканогенная формация (J_1^{1-2}).

Аллохтонные комплексы:

6 – мальм-эоценовая формация карбонатного флиша (J_3-Pg_2), 7 – нижнее-среднеюрская песчано-глинистая флишиодная формация (J_{1-2}), 8 – нижнее-среднеюрская формация глинистых сланцев (J_{1-2}), 9 – нижне-среднеэоценовая формация метапесчаников, кварцитов, узловатых и аспидных сланцев (J_1^{1-2}), 10 – триас-лейасовые вулканогенно-осадочные и офиолитовая формация и микститы реликтового рубца ($T?-J_1$).

Комплексы фундамента. Скифская плита:

11 – позднепалеозойско-триасовый автохтонный и параавтохтонный комплекс (PZ_3-T),

12 – позднепротерозойско-раннепалеозойская салическая метаморфическая формация ($smPR_2-PZ_1$), 13 – породы Магерского и Ацгаринского покровов (PR_2), 14 – породы Кызылкольского и Тоханского покровов (PR_2), 15 – позднепротерозойская фемическая метаморфическая формация (PR_2), 16 – породы Армовского и Шаукольского покровов (PR_2), 17 – нерасчлененный субстрат.

Закавказские плиты:

18 – субстрат Южной микроплиты, 19 – субстрат Нахичиваньского террейна.

Прочие знаки:

20 – плиоценовая диоритовая формация (dN_2), 21 – среднеюрская вулканическая базальт-андезитовая формация (baJ_2), 22 – средне-позднепалеозойская гранитовая и мигматит-гранитовая формация (γPZ_{2-3}), 23 – среднепалеозойская гранито-гнейсовая формация ($ghPZ_2$), 24 – основные тектонические границы, 25 – прочие разрывные нарушения.

Разломы, подтвержденные данными геофизических исследований.

ЗАР-ВАР-Западная и Восточная ветви Ардонского разлома; СВВ-ЮВВ – вв – Северная и Южная и промежуточная ветви Владикавказского разлома; ГН-Главный надвиг; АК – Адайком-Казбекский разлом; Т – Тибский разлом, ЮН-СН – Южный и Северный Нарские разломы, Ц – Цесский разлом, ЗГ – Зругский разлом, СХ-Саухохский разлом

Владикавказский разлом заложен на границе Осетинской впадины с Лесистым хребтом вдоль южной окраины г. Владикавказа. Его присутствие подтверждается гравиметрическими работами [Квят, Тибилев, 1976], сейсмическими работами КМПВ Грознефтегеофизики, определяющими в предгорьях рр. Терек, Гизельдон, Фиагдон резкое погружение мелового фундамента. [Стерленко и др., 1978].

Владикавказский разлом указывается и на более ранних схемах глубинных разломов Кавказа (Милановский, Хаин, 1963).

Специализированными сейсмологическими исследованиями на основе основных мод волны Релея Владикавказский разлом был изучен вдоль двух пересечений с интервалом в 40 км специалистами Института физики Земли им. О.Ю.Шмидта при организационном содействии специалистов Геофизического института ВНИИ РАН [Горбатиков и др., 2011]. На субширотном профиле через г. Владикавказ отмечается неоднородная толща, мощностью порядка 7 км, ниже которой до глубины 40 км наблюдается контрастная зона мощностью до 5-6 км. Ниже неоднородной

толщи, до глубины порядка 15 км зона имеет крутое северное падение, далее падение близкое к вертикальному.

Сейсмогенность зон ВОЗ Владикавказского разлома по расчетам составляет 6,5-7,2 единиц по магнитуде. Проявление сейсмичности может быть как глубокофокусным, так и среднефокусным. Мелкофокусные зоны ВОЗ, в пределах Владикавказского разлома, скорее всего, следует исключить.

Одни из первых упоминаний об Ардонском глубинном разломе появились в отчете [Квят, Тибилов, 1976] о результатах гравиметрической съемки масштаба 1:50000 в Садонском, Фиагдон-Ассиновском рудных районах Горной Осетии за 1973-1975 гг, когда гравитационная ступень амплитудой до 30 мГл, была интерпретирована, как влияние глубинного разлома. С тех пор вопрос о существовании и пространственном положении Ардонского разлома не снимается с повестки дня, когда решаются структурно-тектонические и сейсмологические задачи, касающиеся территории региона.

Для оценки глубинной дифференцируемости разреза Осетинской впадины использовались гравиметрические данные, которые были редуцированы для трех различных плотностей промежуточного слоя: 2,0 г/см³, 2,3 г/см³ и 2,67 г/см³. Значение плотности 2,67 г/см³ для промежуточного слоя позволяет оценить влияние неоднородностей консолидированной коры и классифицировать Ардонский разлом как глубинный, прослеживаемый до глубин 40 км.

Некоторые авторы считают, что Ардонский глубинный разлом является составляющей Кабардино-Сарпинской субмеридиональной шовной зоны и относится к древним тектоническим структурам палеозой–герцинского орогенического цикла, имеет длительное развитие и глубинное заложение. По данным геолого-геофизических работ Ардонская глубинная разломная зона, как единая структурная зона, прослежена от неинтрузивного массива г. Тепли, продолжается в низовьях р. Ардон и далее через Эльхотово уходит в направлении Буденновска.

Ардонский разлом в Терско-Сунженском прогибе отчетливо выделяется по аэро- и космическим снимкам по поведению террас, пересекает западную окраину Сунженской и Терской антиклинальных зон. Геофизическими методами разлом выявляется, начиная с глубины 2-4 км и уверенно прослеживается как граница различно ориентированных глубинных структур. В зоне разлома в плиоцен-антропогеновых отложениях отмечаются магматические глыбы со следами брекчирования и катаклаза (клиппены), что свидетельствует о его активности.

Ардонский разлом в зонах пересечения с разломами общекавказского направления контролирует магматическую деятельность от палеозоя до палеогена; с зонами пересечений связаны гидротермальные оруденения, активизация гидротермальных процессов и сейсмической опасности. На пересечении Сунженской и Терской антиклинальных зон с Ардонским разломом отмечаются поднятия с максимально высокими амплитудами и повышенным напором вод мезо-кайнозойского возраста – Заманкульский и Малгобекский очаги концентрации напряжений.

В зоне его влияния располагаются Цейский и Сонгутидонский интрузивные массивы, разрывные нарушения северо-восточной ориентировки, в которых локализируются рудные тела полиметаллических месторождений Згид и Садон.

Являясь региональным субмеридиональным разломом, пересекающим тектонические зоны общекавказской ориентировки, Ардонский разлом являлся сейсмически активным в прошлом (позднеюрская и поздне меловая эпохи) и продолжает

быть активным до настоящего времени (к нему приурочены выходы многочисленных минеральных источников) по той причине, что он контролирует зоны ВОЗ, которые в свою очередь представляют сейсмическую опасность.

В породах Терско-Каспийского прогиба Ардонский разлом отражается в резких изменениях мощностей и фаций отдельных стратиграфических подразделений осадочного чехла. [Крисюк, 1986; Крисюк, Смирнова, 1966].

В работе Е.Е. Милановского и В.Е. Хаина нет упоминаний об Ардонском разломе [Милановский, Хаин, 1963]. Однако на приведенной в их труде схеме расположения глубинных разломов Кавказа (рис. 78, с. 294) к северу от Владикавказского разлома, на продолжении Араратского разлома на Малом Кавказе, выделена пунктиром (возможно предполагаемая) тектоническая зона, заканчивающаяся у северной границы структуры Большого Кавказа – Манычском разломе. Не делая предположений о возможном продолжении именно Араратского разлома на север через всю структуру Большого Кавказа, отметим, что предполагаемая структура в пространстве довольно точно соответствует предполагаемому положению Ардонского разлома.

Дополнительно к сказанному отметим, что Институтом физики Земли и Геофизическим институтом ВНИИ РАН были предприняты усилия для инструментального подтверждения положения Ардонского разлома, для чего исследовался поперечный к Ардонской структуре профиль (рис. 5.6.) от поселка Верхний Згид до месторождения Джимидон. На разрезе (рис. 6) ширина структуры составляет 12,5 км и соответствует мощности разломной зоны на этом участке. Ее восточная граница проходит через селение Нижний Унал, а западная располагается на расстоянии 2,6 км выше по течению р. Садон от его слияния с р. Ардон.

Как видно на рисунке 6, Ардонский разлом состоит из двух вертикальных сближенных ветвей относительно равных мощностей, уходящих на глубины 20-25 км. Верхняя часть зоны до глубины 4,5 км представляется более неоднородной и тектонически переработанной, чем глубинные горизонты. На глубинах 4,5-5,3 км между ветвями разлома, отмечается реликт слабоизмененной высокоскоростной среды.

Положения Ардонского и Владикавказского разломов приведены на рисунке 7 с долей определенной условности выбранной ориентировки первого.

По данным МОВЗ зона Владикавказского разлома в значительной части перекрыта комплексом моноклинали Скалистого хребта, который фактически выступает в качестве граничной структуры между орогеном Большого Кавказа и Терско-Каспийским прогибом.

Количественные расчёты для гравитационной ступени, наблюдаемой на 28-29 км регионального профиля от северного склона г. Казбек до с. Камбилеевская, дают северное падение плоскости раздела под углами 65-70° при эффективной плотности перекрывающих пород мощностью 5-6 км порядка $-0,1 \times 10^3$ кг/м³ [Шемпелев, Невский, 2008; Шемпелев, 1982]. Аномалия однозначно увязывается с Владикавказским разломом, как одной из ветвей зоны глубинного разлома, ограничивающей с юга Осетинскую впадину.

Центральное поднятие Большого Кавказа в Горной Осетии смещается на юг, где орографически выражена наиболее высокогорным Боковым хребтом и занимает южную часть восточного окончания структурно-тектонического сооружения Центрального блока. Представлена осевая зона здесь двумя широтно ориентированными горстовыми поднятиями: Таймази-Лабагомским и Шаухох-Дарьяльским. В

геофизических полях они характеризуются повышенными, относительно дифференцированными, значениями гравитационного поля и делятся на несколько структурно-тектонических зон. Существенно глинистый, иногда графитизированный, нижне-среднеюрский комплекс пород Центрального поднятия, практически, не отличается по электрическим сопротивлениям от отложений олигоцен-плейстоценовой молассовой формации в пределах Осетинской впадины.

Судя по переменным значениям электрических сопротивлений, осадочный чехол и поверхность подстилающего фундамента Складчато-глыбового поднятия Большого Кавказа разбиты разноамплитудными субвертикальными разломами, преимущественно, взбросо-надвигового типа, на отдельные блоки с довольно дифференцированными физическими характеристиками. Это определяет высокую сейсмичность Казбекского блока, что подчёркивается наличием большого числа мелкофокусных очагов землетрясений.

Адайком-Казбекская группа разломов проявлена в Южной микроплите и представляет собой серию дизъюнктивных нарушений, кулисообразно рассекающих флишевую толщу нижне-среднеюрского возраста. Наиболее крупными среди этой группы разломов являются Адайком-Казбекский, ограничивающий с юга Мамисон-Казбекскую реликтовую зону, а также Тибский и Халацинский разломы. Адайком-Казбекский разлом состоит из параллельных разрывов, образующих зону перемятых и милонитизированных пород мощностью от 60 м до 1 км. Падение разлома крутое (60-80°) северное. В зоне разлома в изобилии содержатся безрудные кварцевые жилы и линзы. В пределах описываемой площади разлом играет роль своеобразного барьера для мезозойских магматических проявлений, широко развитые севернее в пределах структуры реликтового рубца. Южнее Адайком-Казбекского разлома мезозойские магматические проявления полностью отсутствуют.

Часть Южной микроплиты, расположенная в горной Осетии, относится к структурам Южного склона Большого Кавказа и включает элементы двух структурно-тектонических зон – Казбекско-Лагодехской ступени и Чиаурского синклинория. Граница между этими зонами проходит по Тибскому взбросу, который прослеживается от Мамисонского перевала до массива г. Курфута Главного Водораздельного хребта. Простираение его 325-330°, падение на северо-восток крутое (55-70°). Мощность зоны дробления и окварцевания разлома достигает 400 м. В висячем боку разлома широко развиты мелкие складки волочения. Разлом оперяется на всем протяжении полого падающими нарушениями более высокого порядка.

С разломом связана рудная минерализация пирита, киновари, метациннобарита, реальгара, халькопирита, галенита. Казбекско-Лагодехская ступень взброшена по Тибскому взбросу на 1500-2000 м по отношению к расположенному южнее Чиаурскому синклинорию.

Район работ характеризуется комплексом осадочных пород, сформированных в двух структурно-формационных зонах – центрального сланцевого поднятия Восточного Кавказа (Адайхох-Дарьяльской) на севере и Чиауро-Дибрарского синклинория на юге [Стерленко и др., 1978]. Породы в зонах представлены, соответственно, терригенной песчано-глинистой и карбонатно-терригенной флишеидными формациями, граница между которыми проходит по региональному Тибскому разлому, расположенному на расстоянии порядка 1200 м к северу от Северного портала тоннеля [Тибилев, 1988]. Терригенная песчано-глинистая формация к северу от Тибского разлома сложена аргиллитами (глинистыми сланцами) с прослоями алевролитов и песчаников.

При геотектонической и геотехнической оценке состояния Рокских тоннелей для их реконструкции, геофизическими методами выделены зоны с характерным чередованием интенсивной трещиноватости и раздробленности с интервалами глинизации.

В интервале 1900-2390м от Северного портала тоннеля выделена зона, которая интерпретируется как Халацинский разлом, а между интервалами 3560-3715 м – второе нарушение, которому на поверхности соответствует Згилький разлом [Чотчаев, 2014].

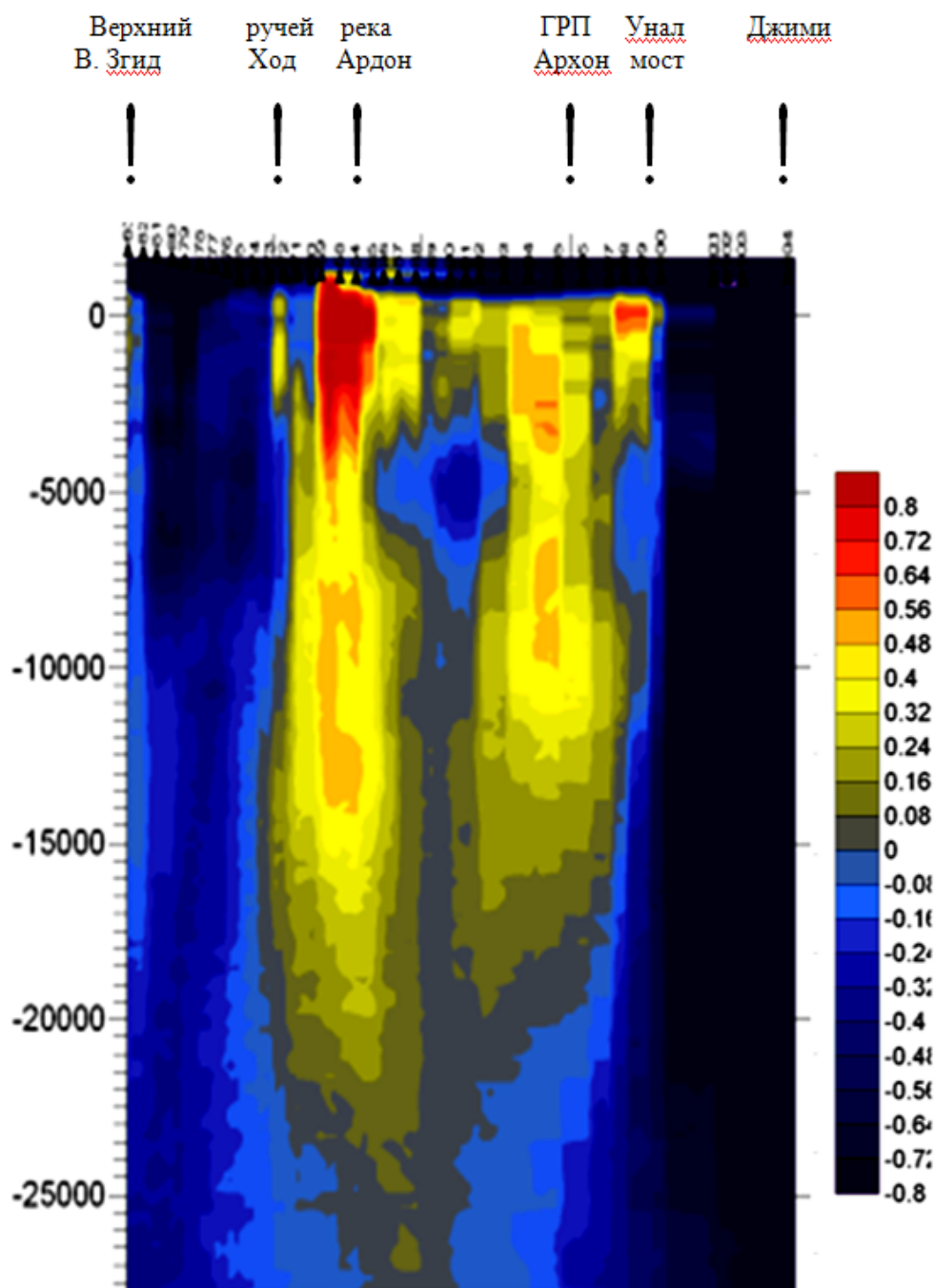


Рис. 6. Результаты сейсмологического изучения разреза по методу ММЗ (метод микросейсм) (по материалам А.В. Горбатикова)

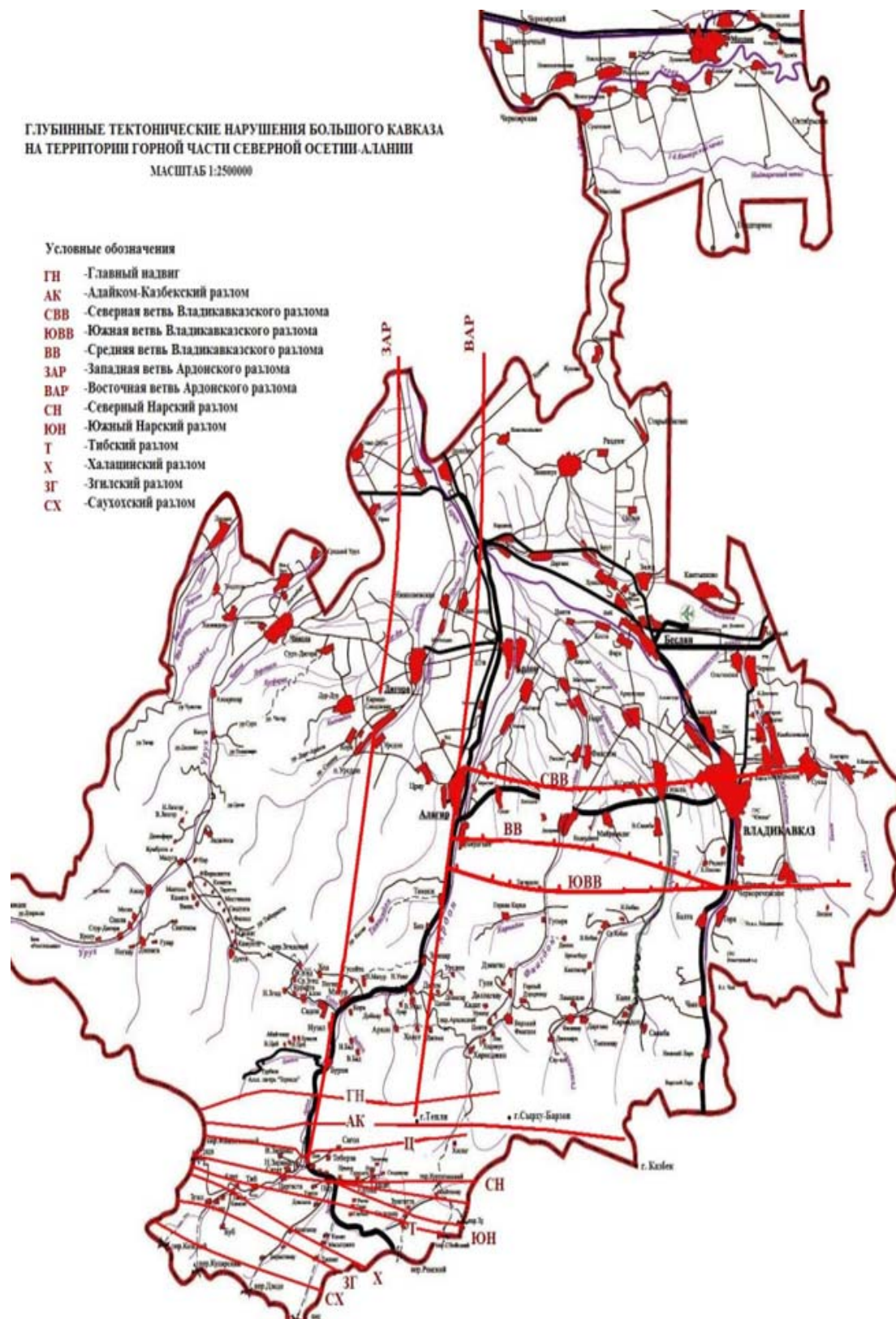


Рис. 7. Положение Ардонского, Владикавказского и Адайком-Казбекской группы разломов по геофизическим данным

Установленные различия в геологическом строении фундамента и осадочного чехла в складчатых системах Северного и Южного склонов зоны Главного хребта отражаются и в физических полях, более отчетливо в гравитационном поле и менее – в слабо дифференцированном магнитном поле. Отрицательные значения регионального гравитационного поля на Северных склонах по абсолютной величине нарастают с востока на запад, достигая перепада значений ускорения силы тяжести до 80 мГл, магнитное поле изменяется в этом же направлении от +50 нТс до -100 нТс. Это вполне согласуется с существующими представлениями об увеличении с востока на запад как мощности гранитного слоя (от 20 до 30 км), так и земной коры (от 40 до 50 км).

Складчатая система южного склона характеризуется спокойным гравитационным и магнитным полями. Между складчатой структурой Южного склона и активизированной южной окраиной Скифской плиты выделяется четко выраженная гравитационная ступень (15 мГл) субширотной ориентировки и сменой положительных значений магнитного поля на отрицательные.

В виде обобщения выше изложенного отметим, что современные геоморфологические структуры представляются значительно в меньшей степени результатом проявления экзогенных процессов (выветривание, эрозионные овраги, деятельность рек, оползни и т.д.), которые носят относительно локальный характер. Формы рельефа, образованные экзогенным воздействием, представляются наложенными, и распознавание их природы не составляет большого труда для геолога, а уж тем более вооруженного геофизическими методами.

Основные геоморфологические структуры, представляющие интерес, как историческое освидетельствование определенного периода развития геологической провинции, региона или отдельной территории, возникли в результате глобальных или локальных катаклизмов под воздействием колоссальных энергетических ресурсов Земли, выделенных при горообразовании, вулканической и магматической вспышках, тектонических разрывах с положительным или отрицательным смещением масс по сместителю и прочих геотектонических процессов.

К сожалению, унаследовав признаки очередных структурно-тектонических событий, современные геоморфологические структуры не раскрывают глубинных причин своих появлений, хотя они – эти причины, по всей видимости, заложены в них.

Сама наука «Геоморфология» занимается исследованием внешнего облика и не занимается глубинными причинами, вызвавшими возникновение самих структур. Эта роль отводится геолого-геофизическим методам анализа и инструментального подтверждения выдвинутых гипотез о причинах возникновения и развития современных или погребенных геоморфологических структур.

Такая методологическая основа комплексного анализа данных геоморфологии структур, геологических предпосылок исторического развития региона и геофизических данных инструментальных исследований позволили выделить Владикавказский и Ардонский глубинные разломы, Адайком-Казбекский и Тибский дизъюнктивные нарушения в разрезе профиля, вдоль русла р. Ардон.

Разработан ИФЗ и совместно внедряется в комплекс исследований перспективный пассивный сейсмологический метод ММЗ, данные которого по локальному профилю В. Згид – месторождение Джимидон авторами интерпретируются как Ардонский разлом с 2D-параметрами $12,6 \times 23$ км.

Литература

периодическая

1. Баранов Г.И., Греков И.И. Геодинамическая модель Большого Кавказа (Сб. докладов на 2 семинаре по геодинамике Кавказа в Тбилиси, апр. 1980). М.: Наука, 1982. С.51.
2. Баранов Г.И. Новые данные по магматизму и метаморфизму пород Северного Кавказа. Сб. "Тезисы докладов VII краевой конференции по геологии и полезным ископаемым Северного Кавказа". Ессентуки, 1991. С.62-63.
3. Баранов Г.И., Омельченко В.А., Пруцкий Н.И. Последовательность тектонических событий и их выражение в современной структуре Северного Кавказа. Основные проблемы геологического изучения и использования недр Северного Кавказа (Материалы VIII Юбилейной конференции по геологии и полезным ископаемым). Ессентуки, 1995. С.63-77.
4. Горбатилов А.В., Овсяченко А.Н., Рогожин Е.А. Строение зоны Владикавказского разлома по результатам изучения комплексом геолого-геофизических методов. Геология и геофизика Юга России, №2, 2011.
5. Крисюк И.М., Смирнова М.Н. Об Ардонском глубинном разломе. Тр. ГНИ, Вып. 29, 1966. С.28-30.
6. Милановский Е.Е., Хаин В.Е. Геологическое строение Кавказа. Издательство МГУ. 1963.
7. Нечаев Ю.В. Собисевич А.П. Новые технологии мониторинга внутренней структуры вулканов. Вестник Владикавказского научного центра, №4, том 7, 2007.
8. Стерленко Ю.А., Крисюк И.М., Дагаев Л.А. К тектоническому районированию Горной Осетии и Горной Чечено-Ингушетии. Сб. Вопросы нефтяной геологии, гидрогеологии и геофизики Кавказа. Грозный, 1978. С.53-59.
9. Чотчаев Х.О. Комплексирование методов сейсморазведки (МПВ) и геолокационного зондирования для выделения геотектонических геотехнических особенностей разреза Рокского тоннеля. Геология и геофизика Юга России, №1. 2014. С.57-59.
10. Шемпелев А.Г. Разломно-блоковая тектоника Северного Кавказа по геофизическим данным // Геологический журнал. Киев, 1982. №4. С.97-108.
11. Шемпелев А.Г., Невский Л.Н. Глубинное строение Осетинской впадины и перспективы ее нефтегазоносности. Тезисы доклада на 3-ей Международной конференции «Геонауки от новых идей к новым открытиям». Санкт-Петербург, 2008.
12. Шемпелев А.Г., Пруцкий Н.И., Компаниец М.А., Морозова А.Г., Кухмазов С.У., Пьянков В.Я. Результаты глубинных исследований вдоль Приэльбрусского профиля (вулкан Эльбрус – Кавказские Минеральные Воды) // Вулканизм, биосфера и экологические проблемы. Сборник материалов VI Международной научной конференции. Майкоп – Туапсе, 2011. С.103-105.

фондовая

13. Квят З.Г., Тибиллов С.М. Отчет о гравиметрической съемке масштаба 1:50000 в Садонском, Фиагдон-Ассиновском рудных районах Горной Осетии за 1973-75 гг. Геофпартия, Нальчик, 1976
14. Крисюк И.М. и др. Отчет по теме №623/86 «Прогнозирование скоплений углеводородов в глубокопогруженных зонах Терско-Каспийского прогиба в связи с

их разломно-блоковым строением». Фонды ПГО «Севкавгеология», 1986

15. Ольховский Г.П., Тибилев С.М. Составление специализированной геологической основы масштаба 1:50000 для прогнозно-металлогенической карты Горной Осетии. Том 2. Фонды «Севосгеологоразведка», 1998

16. Тибилев С.М., Пояснительная записка к геологической карте Горной Осетии. СОГРЭ, Орджоникидзе, 1988.

GEOMORPHOLOGY AS THE HEREDITY SIGN OF THE STRUTURAL FEATURES OF THE EARTH'S CRUST

© 2016 Kh.O. Chotchaev², V.B. Zaalishvili², Sc. Doctor (Phys.-Math.),
L.N. Nevskiy², A.G. Shempelev^{1,2}, Sc. Cand. (Geol.-Min.)

¹«Sei-Eco-Geon», Russia, 357623, office 4, 24, Nagornaia st., Essentuki;

²Geophysical institute VSC RAS, Russia, 362002, Vladikavkaz, Markov street, 93a,
e-mail: cgi_ras@mail.ru

Laws governing the formation of morphological structures and dependence of their localization on the structural-tectonic blocking of the earth's crust are examined. Basic morphological structures along the northern slope of the center section of the large Caucasus are isolated according to the formational and structural-tectonic signs. The correlation of the basic forms of relief with the special features of the block structure of pre-Jurassic foundation is established. On the basis of the structural geophysical methods the attitude of vladikavkaz deep breaking and fragment of Ardon breaking in the section of profile V. Zgid – Dzhimid layer are established.

Keywords: Geomorphology, the structural-tectonic blocking of pre-Jurassic foundation, the heredity of ancient structures, breakings Ardon, Vladikavkaz, Adaykom-Kazbek group, the structural methods of geophysics, the northern slope of the large Caucasus central block.

УДК 550.(81).34(37)(38)

ДИСКУССИИ, ОБСУЖДЕНИЯ

УДК 55:504.75:550.348

ПРОБЛЕМЫ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ В СВЯЗИ С ТЕЛЛУРИЧЕСКИМИ И КОСМИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

© 2016 А.Д. Жигалин, к.г.-м.н., О.Г. Попова, к.г.-м.н.

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, 101000, Москва, Центр, Уланский пер., д. 13, стр. 2, e-mail: zhigalin.alek@eandex.ru

На примере изучения временных вариаций геодинамических свойств геологической среды в районах с различной сейсмической активностью показана эффективность пассивного сейсмического мониторинга при оценке уровня сейсмической опасности и сейсмического риска. Показано влияние теллурических (земных) и космических факторов на режим сейсмичности в районах с разной тектонической активностью.

Ключевые слова: сейсмический мониторинг, геодинамические свойства, природные факторы.

Введение

Сейсмо-экологический риск России постоянно увеличивается в связи с продолжающимся ростом урбанизации, строительством объектов особой важности, разрушение которых грозит серьезными нарушениями общей экологической обстановки, возникновением источников загрязнения атмосферы, поверхностной и подземной гидросферы, верхних, осваиваемых, слоев грунтовой толщи, а в экстремальных ситуациях – значительным материальным ущербом, гибелью людей. Практически весь юг России представляет собой сейсмически активную территорию, и поэтому рассматриваемые здесь проблемы являются общими для всех аналогичных зон в разных районах земного шара. Наряду с теллурическими (связанными непосредственно с Землей) процессами, степень риска и опасности землетрясений и других чрезвычайных ситуаций определяют также процессы космические, планетарные, в первую очередь, солнечно-лунные приливные движения земной поверхности, магнитные бури, солнечные и лунные затмения, другие астрономические явления. Некоторые из них обнаружены, но исследованы пока в единичных случаях, однако, уже ясно, что совместное действие процессов планетарных и теллурических может привести к усилению опасности и риска, в том числе и экологического. Исследования в этом направлении находятся в начальной фазе, но уже полученные результаты ясно показывают необходимость их продолжения.

Теллурические факторы

Традиционно, сейсмический риск землетрясений, стихийных бедствий, оценивают по экономическому ущербу и числу погибших. Изменения экологических

условий упоминаются много реже и только тогда, когда сопутствующие землетрясения и следующие за ним разрушения вызывают сильные пожары, разливы нефтепродуктов или токсичных и радиоактивных материалов. В этих случаях люди рассматриваются не только как социальный объект воздействия сильных землетрясений, но и как компонент экосистемы, наряду с остальными живыми организмами. Комплексный, многосторонний, подход к экологической оценке последствий сильных землетрясений заставляет уделять большее внимание вопросам прогнозирования грозного события.

Современная парадигма, не отрицая принципиальной возможности прогноза (указания одновременно места, времени и силы) землетрясения, в практическом приложении предполагает очень большие трудности в достижении этой цели. Основные исследования в сейсмологии в наши дни касаются в теории: выяснения механизма возникновения очагов и определения пространственно-временных характеристик распространения упругих волн, нахождения связи геофизических полей с так называемыми прогностическими признаками, а в практической деятельности: вопросов сейсмостойкого строительства и оперативности ликвидации последствий разрушительных и катастрофических землетрясений. При такой постановке вопроса возникает необходимость перманентной оценки сейсмоопасного состояния геологической среды в пределах территории расположения объектов особой важности. К их числу отнесены крупные промышленные, энергетические и иные стратегические объекты, а также крупные города и промышленно-городские агломерации, представляющие собой потенциальные источники экологической опасности в случае возникновения чрезвычайных ситуаций сейсмологической природы; в реестре МЧС это уже предусмотрено.

В масштабе нашей страны и в мировом масштабе оценка сейсмической опасности осуществляется в рамках постоянного мониторинга сейсмических событий. Для территории РФ составлен комплект карт общего сейсмического районирования ОСР-97 А, В, С, D, который используется как официальный нормативный документ при оценке сейсмической опасности на определенной территории перспективного строительного освоения [Уломов, Шумилина, 1999]. Объекты, целиком или фрагментарно относящиеся к категории особо важных, по завершении их строительства и в процессе эксплуатации обеспечиваются наблюдательной сетью контроля на объектном и локальном уровнях (сюда входит и охранный мониторинг), позволяющей непрерывно получать сведения о «поведении» геологической среды – субстрата или вмещающей среды объекта.

Оценка напряженного состояния геологической среды

Возможность получения информации для оценки напряженного состояния геологической среды предоставляет разработанная в Институте геоэкологии им. Е.М. Сергеева (ИГЭ РАН) методика, основанная на использовании сейсмических записей далеких землетрясений [Попова и др., 2014].

Методика предполагает проведение ограниченного по времени сейсмического мониторинга фоновых микросейсмических колебаний и регистрацию на их фоне редких и относительно редких сейсмических событий. При этом регистрируются местные события, эпицентры которых находятся на расстояниях до 100 км от пункта наблюдения, и далекие землетрясения, эпицентры которых находятся на расстояниях 1000-2000 и более км. Основой методики является энергетический анализ

проходящих обменных PS-волн далеких землетрясений. Обменные PS-волны образуются на границах изменения упругих модулей среды при прохождении продольной P-волны, сформировавшейся в очаге далекого землетрясения. Обменные PS-волны на сейсмограммах регистрируются после продольной P-волны. Анализ количественных характеристик обменных PS-волн далеких землетрясений, с эпицентрными расстояниями более 300 км, позволяет получать информацию о геодинамических особенностях среды, необходимую для определения ее напряженного состояния и, таким образом, оценивать степень сейсмического риска.

Методика требует проведения натурных сейсмических измерений по равномерной сети наблюдений с размещением сейсмических станций в пределах всего изучаемого участка с обязательным соблюдением одинаковой для всех пунктов наблюдения ориентации регистрирующих горизонтальных каналов X и Y. Методика измерения и последующая их обработка позволяют определять переменный во времени числовой параметр $\gamma(t)$, названный разработчиками коэффициентом анизотропности, который характеризует отношение суммарных (суммируемых по 7-12 записям PS-волн в каждом временном интервале) величин энергии радиального (ΣE_r) и тангенциального (ΣE_t) компонентов PS-волны $\gamma(t) = \Sigma E_t / \Sigma E_r$. Следует уточнить, что коэффициент анизотропности среды $\gamma(t)$ не следует отождествлять с известным характеристическим параметром, носящим название коэффициент анизотропии свойств пород. Традиционно, коэффициент анизотропии характеризует различие физических свойств горных пород, оцениваемых в разных направлениях. Коэффициент анизотропности показывает изменение напряженного состояния среды как реакцию на внешнее возмущение, но без учета изменения физических свойств составляющих ее пород. Таким образом, коэффициент анизотропности геологической среды $\gamma(t)$ можно считать мерой ее чувствительности к внешним воздействиям.

По характеру распределения значений коэффициента анизотропности в пределах изучаемой территории расчетным путем определяется интегральный показатель напряженного состояния среды γ . Карты-схемы распределения величины γ в пределах площади наблюдения используются для определения геодинамических характеристик среды, что позволяет выделять участки с более высокой чувствительностью к внешним сейсмическим воздействиям, т.е. характеризующиеся более высокой степенью сейсмического риска.

Представляемая методика была успешно опробована на нескольких полигонах в регионах с разной сейсмической активностью. На рис. 1 показаны результаты применения методики на Томском (площадка проектируемой Северной АЭС), Нижегородском (площадка проектируемой АЭС) полигонах и на площадке Белоярской АЭС. Нижегородский полигон находится в асейсмичном регионе. Для Томского и Белоярского полигонов характерен средний уровень сейсмичности, но более высокий для Томского полигона. На приведенных картах-схемах в сопоставлении показаны результаты определения коэффициента анизотропности на площадках при отсутствии сигналов далеких землетрясений, когда регистрировались только ординарные фоновые сейсмические микроколебания (левая часть рисунка), и в тот интервал времени, когда регистрировались сигналы землетрясений, наложенные на микросейсмический фон (правая часть рисунка). Проведенные наблюдения позволили выделить наиболее чувствительные (уязвимые) к внешним сейсмическим воздействиям участки в пределах полигонов. Во время «сейсмической паузы», когда регистрировались только ординарные фоновые сейсмические микроколебания,

величина коэффициента анизотропности $\gamma(t)$ на каждой из площадок не превышала 0,2-0,4. Иная картина наблюдалась в момент прихода сигнала от далекого землетрясения. На площадках появились отдельные участки с повышением значений коэффициента анизотропности γ до 0,6-1,0 и более, что наиболее ярко проявилось на площадке Томского полигона. Для сравнения следует отметить, что на полигоне «Кавказские минеральные воды», расположенном в сейсмически активном северокавказском регионе, величина коэффициента анизотропности достигала в определенные интервалы наблюдений значений 2,4-2,8, эти данные показаны в таблице 1.

Увеличение значения коэффициента анизотропности на отдельных участках в момент прихода сигнала указывает на особую чувствительность этих участков к внешнему сейсмическому воздействию разного происхождения – природного сейсмического события или техногенного землетрясения. При проектировании объектов особой важности с высокой потенциальной сейсмо-экологической опасностью в случае возникновения чрезвычайных ситуаций следует избегать таких участков, понижая, таким образом, степень сейсмического риска.

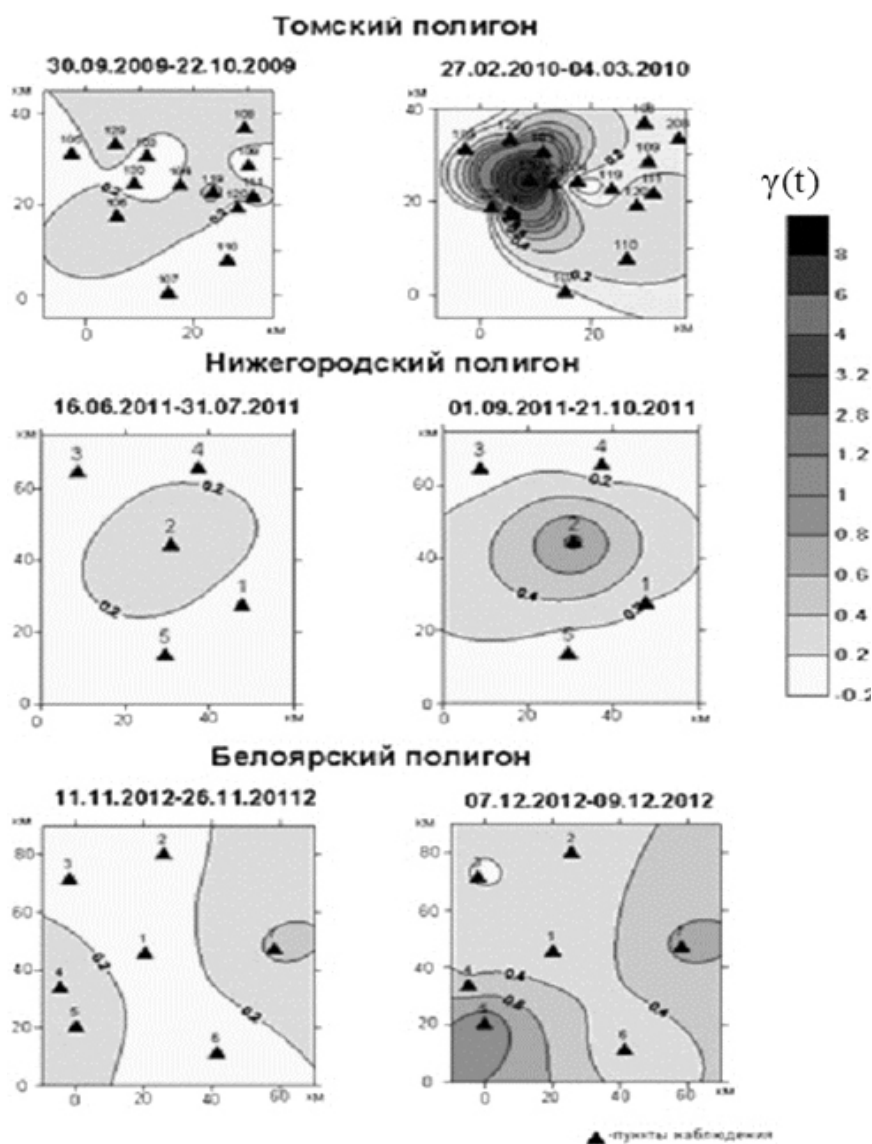


Рис. 1. Величина γ , характеризующая напряженное состояние земной коры по данным регистрации удаленного землетрясения

Таблица 1.

Результаты сейсмического мониторинга

Место и время проведения наблюдений	Геодинамические характеристики	
	анизотропность среды $\gamma(t) = E\tau/E\sigma$	индекс напряженного состояния среды S
Томский полигон	средняя сейсмическая активность	
11.07.2008-31.07.2008	0,0-0,8	0,149
27.08.2008-10.09.2008	0,0-0,4	0,001
11.09.2008-10.10.2008	0,0-0,8	0,04
11.10.2008-10.11.2008	0,0-0,6	0,017
03.01.2009-25.01.2009	0,0-0,6	0,001
20.01.2009-10.02.2009	0,0-0,8	0,074
04.04.2009-17.04.2009	0,0-1,0	0,126
18.04.2009-12.05.2009	0,0-1,0	0,16
14.05.2009-20.06.2009	0,0-0,6	0,017
05.09.2009-29.09.2009	0,0-0,4	0,003
12.12.2009-10.01.2010	0,0-1,4	0,18
06.02.2010-25.02.2010	0,0-0,6	0,0
26.02.2010-04.03.2010	0,0-2,8	0,542
05.03.2010-14.03.2010	0,0-0,8	0,003
Нижегородский полигон	низкая сейсмическая активность	
17.01.2011-31.07.2011	0,0-0,4	0,012
11.03.2011-05.04.2011	0,0-0,2	0,0
16.06.2011-31.07.2011	0,0-0,2	0,001
01.09.2011-21.10.2011	0,0-0,6	0,061
21.10.2011-07.11.2011	0,0-0,4	0,0015
Полигон Кавказские минеральные воды	высокая сейсмическая активность	
20.05.2000-15.06.2000	0,2-2,4	1,35
23.03.2001-3.05.2001	0,2-1,2	0,63
22.09.2001-21.10.2001	0,2-2,4	1,7
09.05.2002-15.06.2002	0,2-1,0	0,4
25.07.2004-19.09.2004	0,2-2,8	2,6
23.09.2004-23.10.2004	0,2-2,4	2,1
24.10.2004-24.11.2004	0,2-2,0	0,9
01.04.2005-16.04.2005	0,2-8,0	5,3
18.05.2006-20.05.2006	0,2-2,0	0,8

Предлагаемая методика определения геодинамических характеристик геологической среды является универсальной. Она может быть использована в районах со слабой и умеренной сейсмичностью для выбора сейсмически безопасных площадок для строительства объектов особой важности. Но также эта методика может быть использована в сейсмоактивных регионах для контроля геодинамического режима с целью составления среднесрочных и долгосрочных прогнозов сейсмической активности. Методика эффективна при осуществлении мониторинга состояния массивов горных пород в местах строительства и эксплуатации энергетических объектов, таких как атомные и гидроэлектростанции, крупные химические предприятия, а также в условиях городских агломераций, находящихся в сейсмически проблемных регионах.

Оценка влияния космических факторов на режим сейсмичности

Существует в достаточной мере обоснованное, хотя и дискуссионное, предположение о том, что между твердой Землей (литосферой) и процессами, происходящими в ближнем и дальнем Космосе, существует устойчивая связь [Жигалин, 2007; Попова и др., 2011].

Разногласия, в основном, касаются вопросов причинности: что на что оказывает влияние. Большинство геофизиков считает, что «причина» заложена в эндогенных процессах, протекающих на больших глубинах и имеющих выход в атмосферу. Они посылают в нижние слои атмосферы тепловую энергию, радиацию и плазменное излучение. Меньшая, но от этого не менее убежденная, общность специалистов-геофизиков полагает, что имеет место также и обратный процесс – влияние космической погоды и изменения взаимного расположения связки «Солнце-Земля-Луна» на экзогенные и эндогенные геологические процессы, которые мы наблюдаем на нашей планете. Так, при полном солнечном затмении 29 марта 2006 г. в момент полного закрытия луной солнечного диска наблюдалось резкое уменьшение (примерно в три раза) амплитуды микросейсмических колебаний [Попова и др., 2014]. Это явление сопровождалось также снижением эсгаляции тектонического водорода из массива горных пород и уменьшением аэрозоля, что было зафиксировано в туннеле Баксанской нейтринной лаборатории на глубине 400 м от поверхности [Першин и др., 2010].

Установлено, что прохождение магнитных бурь, солнечные и лунные затмения, фазы Луны (новолуние и полнолуние) в той или иной мере также оказывают влияние на характер фоновой микросейсмичности. При этом могут изменяться амплитуда, общая картина частотных спектров и энергетические доминанты фоновых микросейсмических колебаний, а также наблюдается изменение ориентации вектора колебаний [Попова и др., 2011, 2014]. Следует заметить, что характер изменений различен для регионов с разным уровнем сейсмической активности. Эти данные приведены в таблице 2, составленной на основе анализа значительного объема фактического материала.

Таблица 2.

**Влияние внешних космических факторов на сейсмический режим
в районах с разной тектонической активностью**

Внешние факторы	Сейсмоактивные регионы, магнитуды землетрясений от 5-6 до 6,8-7,0	Асейсмичные платформенные регионы, магнитуды землетрясений до 5-6
<u>Солнечные затмения.</u> момент закрытия солнечного диска	а) наблюдается резкое возрастание амплитуды фоновых микросейсмических колебаний в 3-5 раз в момент максимальной фазы б) наблюдается резкое отклонение направления вектора смещения сейсмических колебаний на 35-75 град. от вертикали в) спектр основных частот колебаний становится широкополосным	а) амплитуды фоновых микросейсмических колебаний увеличиваются в 1,3 раза в момент максимальной фазы б) наблюдается изменение направления вектора смещения сейсмических колебаний в пределах 1,5-2,0 град., в) спектр записи фоновых микросейсмических колебаний становится узкополосным, полоса основных частот сужается в 2раза, максимум спектра смещается в область более низких частот,
<u>Лунные полутеневые затмения</u>	а) наблюдается возрастание амплитуд фоновых микросейсмических колебаний в 5-7 раз в течение 7 дней перед затмением, б) наблюдается резкое изменение направления вектора смещения фоновых микросейсмических колебаний на 50 град. за сутки до затмения	а) амплитуды фоновых микросейсмических колебаний постепенно в течение 11 дней увеличиваются в 1,5-2 раза, во время максимальной фазы затмения отмечается незначительное скачкообразное увеличение амплитуды колебаний, б) наблюдается изменение направления вектора смещения фоновых микросейсмических колебаний в пределах 1,5-2,0 град., в) спектр фоновых микросейсмических колебаний становится узкополосным с сужением полосы основных частот в 2 раза, максимум спектра смещается в область более низких частот,
<u>Частные лунные затмения</u>	на характеристиках фоновых микросейсмических колебаний не отражаются	
<u>Полнолуния</u>	а) в изменении амплитуд фоновых микросейсмических колебаний не отражаются, б) наблюдается резкое изменение направления вектора смещения фоновых микросейсмических колебаний на 30-50 град. за сутки до полнолуния	а) перед полнолунием амплитуды вертикального компонента фоновых микросейсмических колебаний возрастают в 1,5 раза в течение 5 дней перед полнолунием, в дни полнолуния амплитуды резко уменьшаются в 2,5 раза, б) наблюдается изменение направления вектора смещения фоновых микросейсмических колебаний незначительное в пределах 1,5-2,0 град, в) в изменении частотного состава фоновых микросейсмических колебаний не проявляются

<u>Новолуния</u>	а) в изменении амплитуд фоновых микросейсмических колебаний не проявляются, б) наблюдается изменение направления вектора скорости смещения фоновых микросейсмических колебаний на 50 град. за сутки до полнолуния, в) спектр становится моночастотным	а) в амплитудных характеристиках фоновых микросейсмических колебаний не проявляются, б) изменение направления вектора скорости смещения незначительное, в) спектр становится моночастотным с доминантной частотой 8 Гц
<u>Магнитные бури</u>	а) наблюдается резкое возрастание амплитуды фоновых микросейсмических колебаний в 2-3 раза с некоторым запаздыванием по отношению ко времени начала магнитной бури, б) наблюдается расширение полосы основных частот спектра микросейсмических колебаний	

Так, установлено, что совпадение прохождения магнитных бурь с землетрясениями достигает 50-54%, что свидетельствует о наличии заметной корреляции между этими двумя событиями. Магнитуда таких землетрясений невелика, но, тем не менее, они достоверно регистрируются аппаратными средствами сейсмической сети Геофизической службы РАН. Учитывая все те изменения, которые отражаются в структуре микросейсмических колебаний, взаимное расположение Солнца, Земли и Луны, а также прохождение магнитных бурь, можно предположить возможность такого сочетания геофизических условий, при котором эти изменения станут существенными с точки зрения возникновения чрезвычайных ситуаций сейсмического характера. Особое внимание при этом следует обратить на районы с повышенной сейсмичностью. Для этих районов характерны наибольшие углы отклонения вектора колебаний от вертикали до 75 градусов (таб. 2: случаи полного солнечного затмения в сейсмически активных регионах). При таком отклонении вертикальное смещение частиц грунтовой толщи, меняется, практически, на горизонтальное. Это, в свою очередь, может усугубить эффект воздействия сейсмического сигнала на грунтовую толщу и находящиеся на ней или внутри нее инженерные сооружения.

Влияние планетарных факторов проявляется подобным образом по всему земному шару. Конечно, это влияние может иметь определенные региональные различия, выраженные в детальных особенностях сейсмических проявлений, влияющие на районирование территорий по степени опасности и риска и определяющие особенности возникающей экологической обстановки, сложные и пока не вполне изученные.

Заключение

Сейсмический мониторинг в районах интенсивного и перспективного освоения следует рассматривать в качестве инструмента изучения сейсмического режима территорий для выявления общих закономерностей эволюции эндогенных тектонических процессов и космо-земных связей, могущих оказывать влияние на сейсмичность, а также оценки уровня сейсмического риска для территорий предполагаемого размещения объектов особой важности. Предложенная методика экспресс-обнаружения сейсмически чувствительных зон на территории предполагаемого освоения, позволяет использовать пассивную сейсмометрию, базирующуюся на регистрации сигналов удаленных и далеких (свыше 2000 км) землетрясений. Влияние космо-земных связей на изменение режима сейсмичности в регионах с различной сейсмической активностью в его сочетании с теллурическими (земными) процессами может оказаться существенным, что необходимо учитывать при оценке опасности и риска землетрясений и стихийных, в том числе, экологических бедствий. При этом следует иметь в виду, что все эти явления имеют глобальный характер.

Литература

1. Жигалин А.Д. Некоторые особенности поля микросейсм во время полного солнечного затмения 29 марта 2006 года. Изменяющаяся геологическая среда: пространственно-временные взаимодействия эндогенных и экзогенных процессов. Т. 1, Казань, Изд-во Казанск. гос. ун-та, 2007
2. Першин С.М., Алексеев В.А., Алексеева Н.Г. и др. Лидарный мониторинг аэрозольного предвестника изменения сейсмической активности во время полного солнечного затмения 29.03.06. Мониторинг. Наука и технологии, 2010, № 3(4)
3. Попова О.Г., Жигалин А.Д., Коновалов Ю.Ф. Связь напряженного состояния земной коры с солнечными затмениями и прохождением магнитных бурь. Геоэкология, 2011, № 1
4. Попова О.Г., Жигалин А.Д., Попов М.Г. и др. Реакция микросейсмического фона на внешние природные воздействия в районах с разной тектонической активностью. Геоэкология, 2014, № 2
5. Уломов В.И., Шумилина Л.С. Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации – ОСР-97. М. 1:8 000000: Объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах. М.: ОИФЗ РАН, 1999

PROBLEMS OF SEISMIC HAZARD IN CONNECTION WITH TELLURIC AND COSMIC PROCESSES

© 2016 A.D. Zhigalin, Sc. Cand. (Geol.-Min.), O.G. Popova Sc. Cand. (Geol.-Min.)

Sergeev Institute of Environmental Geoscience RAS, Ulanskiy pereulok, 13,
bld. 2, P.O. Box 145, Moscow, 101000 Russia, e-mail: direct@geoenv.ru

On an example of the geological environment geodynamic properties temporary variations studying in areas with various seismic activity efficiency of passive seismic monitoring is shown at an assessment of a level of seismic danger and seismic risk. Influence of telluric (Earth) and space factors on a mode of seismicity in areas with different tectonic activity is shown.

Keywords: seismic monitoring, geodynamic properties, natural factors.

НАШИ ГОСТИ

УДК 699.841

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ МНОГОУРОВНЕВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ В СЕЙСМОСТОЙКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

© 2016 П.А. Реквава, д. т. н., проф.

Грузинская национальная ассоциация сейсмостойкого строительства и инженерной сейсмологии, Грузия, Тбилиси, ул. М. Лебанидзе, д. 7, e-mail: rekvavapaata@yahoo.com

В статье рассматривается концепция многоуровневого проектирования, которая сформирована анализом последствий разрушительных землетрясений.

Анализ проявлений сильных землетрясений показывает, что в последние десятилетия наблюдается активизация геодинамических процессов на Кавказе. Это в условиях Кавказа предполагает необходимость учета особенностей рельефа той или иной строительной площадки или более обширной территории существующей застройки. Оценка сейсмической опасности горных территорий и создание соответствующих карт предполагает при исследовании влияния воздействия на то или иное здание или сооружение использование метода конечных элементов. Это позволяет исследовать в их органической взаимосвязи: воздействие, пути распространения и реакция грунта и здания (сооружения) на него. Основная суть методологии заключается в планировании поведения зданий на основе вероятностной схемы, которая состоит из четырех шагов – анализ сейсмической опасности, конструктивный анализ, анализ повреждений и прогноз убытков.

Ключевые слова: многоуровневое проектирование, карты детального сейсмического районирования, карты сейсмического микрорайонирования.

Анализ проявлений сильных землетрясений показывает, что в последние десятилетия наблюдается активизация геодинамических процессов на Кавказе [Бондырев, Заалишвили, 2003]. Это в условиях Кавказа предполагает необходимость учета особенностей рельефа той или иной строительной площадки или более обширной территории существующей застройки [Заалишвили и др., 2006]. Оценка сейсмической опасности горных территорий и создание соответствующих карт предполагает при исследовании влияния воздействия на то или иное здание или сооружение использование метода конечных элементов, что создает условия для изучения в их органической взаимосвязи воздействие, пути распространения и реакцию грунта и здания (сооружения) на него [Заалишвили и др., 2008а]. Это позволяет учитывать в полной мере динамические свойства грунтов оснований зданий и сооружений при расчетах [Заалишвили и др., 2008б]. При этом большое значение приобретает адекватность создания карт инженерно-геологического районирования населенных пунктов, как основы карт сейсмической опасности грунтов.

Необходимо отметить, что после Рачинского землетрясения (Грузия, 1991) в Грузии были созданы условия для стремительного развития знаний путем вхождения в мировое научное сообщество и использования современных разработок. Участие в международных научных проектах позволило внедрить их в работы по

созданию моделей воздействий и карт сейсмической опасности. Это позволило создать к концу девяностых годов XX столетия в Грузии первые вероятностные карты сейсмической опасности территории Грузии в единицах макросейсмической интенсивности и ускорений. Необходимо отметить, что в 2009 году впервые в России для территории Северной Осетии были разработаны карты детального сейсмического районирования (ДСР) в масштабе 1:200 000. Карты ДСР, являясь по сравнению с картами Общего сейсмического районирования более детальными, позволяют учитывать имеющиеся данные о сейсмичности исследуемой территории и повторяемости сейсмических событий [Заалишвили и др., 2011].

Внедрение вероятностного подхода в задачи прогноза поведения грунтов оснований включает использование впервые разработанных вероятностных карт сейсмического микрорайонирования (СМР), т.е. непосредственный учет конкретных грунтовых условий [Заалишвили, 1986; 1996; Zaalishvili, 2015]. При этом в зависимости от характеристик конкретного сейсмического источника и его пространственного расположения относительно исследуемой площадки, с помощью развитых в последние годы методов рассчитываются сейсмические воздействия, генерируемые тем или иным разломом, для уровней ПЗ и МРЗ, в которых зоны различной сейсмичности будут определяться путем с учётом нелинейных свойств грунтов, приводящим к значительным искажениям исходных спектрально-амплитудных характеристик воздействий.

При этом соответствующие сейсмические зоны рассчитываются в единицах максимальных горизонтальных ускорений и величинах дробных значений сейсмической интенсивности как интегральной вероятностной характеристики проявления землетрясений, являющейся основой защиты сооружений [Заалишвили и др., 2014б; Заалишвили, Кранцфельд, 2014].

Анализ последствий сильных и разрушительных землетрясений показывает, что здания, которые запроектированы и построены в соответствии с требованиями строительных норм, в основном обеспечивают защиту жизни людей. Однако, из-за повреждения конструктивных и неконструктивных компонентов системы, экономические потери оказываются значительно выше, чем можно было ожидать. Это вызвало формирование новой концепции сейсмостойкого строительства, которая позволяет при проектировании планировать поведение зданий после землетрясений различной интенсивности по предварительно определённым предельным состояниям.

Это концепция или методология многоуровневого проектирования закладывает основы для проектных решений. Они принимаются по ожидаемым при землетрясениях результатам, с наименьшими финансовыми потерями для собственников и строителей.

Путём предварительного прогнозирования повреждений зданий, опирающегося на определённом опыте инженера-проектировщика, определяются ожидаемые результаты от несчастных случаев, финансовых убытков и прерывания функции зданий. Эта информация даёт возможность проектировщику и владельцу принять наиболее лучшее решение относительно эффективности различных альтернатив для контроля этих результатов.

В свете вышеизложенного, основная суть методологии заключается в планиро-

вании поведения зданий на основе вероятностной схемы, которая состоит из четырех шагов – анализ сейсмической опасности, конструктивный анализ, анализ повреждений и прогноз убытков. Результат каждого шага математически характеризуется одним из четырех обобщенных параметров: величиной интенсивности воздействия (IM), параметром технических требований (EDP), мерой повреждения (DM) и переменной решения (DV). Эти параметры выражаются в виде условной вероятности превышения и компоненты оценки поведения здания рассматриваются как марковский дискретный процесс, где узловые вероятности между параметрами независимы [Moehle et al., 2005].

Для решения поставленной задачи следует выполнять нелинейный анализ пространственной системы «здание-поверхность раздела – основание» при расчётном землетрясении, которое отражает интенсивность сейсмического движения грунтов исходя из регионального характера.

При формировании комплексной расчётной модели здания большое значение имеет учёт взаимодействия конструктивных и геотехнических компонентов и реальных свойств их материалов. Реакция сооружения в нелинейной стадии, т.е. предельное состояние безопасности жизни, связана с предельными величинами деформационных параметров конструкций. Таковыми являются: перемещения, податливость, индекс повреждения конструкции и значения перекосов этажей. Когда такие уровни поведения (состояния) здания, каковыми являются эксплуатационная пригодность, полное рабочее состояние, рабочее состояние, безопасность для жизни, предшествующее разрушению подобраны, тогда связанные с ними величины предельных параметров становятся приемлемыми критериями, которые проверяются на последующих стадиях проектирования.

Следующим шагом анализа является оценка повреждения, которая связывает параметры технических требований (неупругие деформации, перекосы этажей, усилия, напряжения) с мерой повреждения, что в свою очередь описывает физическое повреждение сооружения, для определения необходимости ремонта в целях обеспечения безопасности при повреждении.

Важный шаг процедуры – оценка убытков от землетрясения, в которой подразумевается прямая потеря (средства на ремонт и реставрацию) и потеря от прекращения функционирования объекта.

Заключительный шаг многоуровневого проектирования – принятие решения относительно экономического менеджмента (уменьшения) риска территории застройки.

Прогноз расчетного сейсмического воздействия, в условиях проектного и максимального расчетного землетрясения, для решения проблемы оценки реальной эксплуатационной надежности зданий, непосредственно связывается с интересом инвесторов, строительных компаний, проектных организаций и владельцев зданий.

Концептуальная зависимость между интенсивностью сейсмической опасности и конструктивным поведением здания представлена на рис. 1. Следовательно, современный подход проектирования в сейсмостойком строительстве фокусируется на дискретные уровни опасности и поведения, которые связаны с нужными состояниями зданий при землетрясениях.

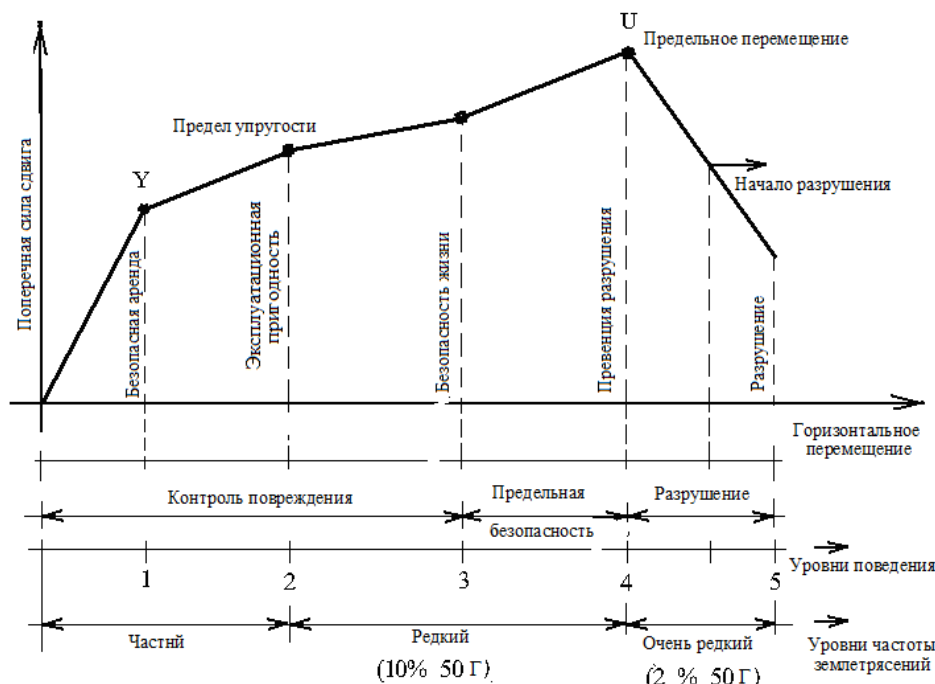


Рис. 1. Концептуальная зависимость между интенсивностью сейсмической опасности и поведением сооружения

Поведение здания можно выразить в виде непрерывных переменных, которыми являются выраженная в деньгах стоимость замены здания, исходя из интенсивности повреждения пропуск рабочего времени и интенсивности несчастных случаев. Специфические значения этих переменных могут быть связаны со специфическими уровнями поведения, но большое преимущество этих переменных заключается в том, что они определяются вероятностным методом и не требуют включения в предварительно определенных уровнях поведения [Реквава, 2009].

Таким образом, для включения переменной решения (DV) необходима оценка тех параметров, которые определяют сейсмическую опасность, технические требования к конструктивным системам и состояние повреждения.

Для вышеприведенных переменных основными параметрами являются:

для IM – местоположение и тип очага землетрясения, расположение и длина разлома, условия строительной площадки и грунтов;

для EDP – свойства основания и конструктивной системы, параметры расчетной модели, нагрузки от собственного веса конструкции;

для DM – здания и их конструктивные элементы, системы водопровода и электропроводки, элементы покрытия и перегородок, содержимое сооружения;

для DV – заселение, период ликвидации последствий землетрясения и связанные с ней ресурсы.

При этом обобщенные переменные обозначаются условными вероятностями превышения их определённых значений, т.е.:

$$P[A|B] = \frac{P(A \cap B)}{P(B)} \quad (1)$$

Компоненты метода оценки поведения даны в табл. 1.

Таблица 1

Схема метода оценки поведения здания

Цели поведения	Переменные решения DV	Меры повреждения DM	Технические требования EDP	Сейсмическая опасность I,M
- разрушение и безопасность жизни $P_i < y$ - потери $< x$ - пропущенное время $< z$	- разрушение - количество несчастных случаев - потеря денег - продолжительность пропуска времени	- хрупкость предельных состояний - конструктивные - неконструктивные - содержимое	- инженерный анализ (перекос этажей, ускорение перекрытий), система “здание-поверхность раздела-основание”	- анализ опасности - сейсмическое движение грунтов
λ (DM)	G(DV/DM)	G(DM/EDP)	G(EDP/IM)	λ (IM)

Приведенные этапы, которые составляют основу поведения здания, выражаются соответствующим уравнением для желаемой реализации DV, в частности, его средняя годовая частота λ (DV) на основе теоремы полной вероятности имеет вид [Moehle et al., 2005]:

$$\lambda (DV) = \iiint G(DV|DM)dG(DM|EDP)dG(EDP|IM)d\lambda (IM) \quad (2)$$

Уравнение (2) выражает связь между основными элементами оценки поведения (анализ сейсмической опасности, прогноз параметров технических требований, моделирование состояния повреждения и оценка разрушения или убытков) – посредством трёх промежуточных IM, EDP и DM переменных.

Для вычисления интеграла необходимо параметрически оценить условные вероятности G(DV/DM), G(DM/EDP), G(EDP/IM) в диапазоне уровней соответствующих величин DM, EDP и IM. При этом в уравнении (2) dG(EDP/IM) следует вычислять для полного диапазона IM, что необходимо для установления окончательной величины DV.

Литература

1. Бондырев И.В., Заалишвили В.Б. Опасность активизации геодинамических процессов на Северном Кавказе // Вестник Владикавказского научного центра. 2003. Т. 3. №2. С. 39-46.
2. Заалишвили В.Б. Сейсмическое микрорайонирование по данным искусственного возбуждения колебаний грунтовой толщи // Автореферат кандидатской диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук Институт Геофизики АН ГССР. Тбилиси, 1986.
3. Заалишвили В.Б. Сейсмическое микрорайонирование на основе изучения нелинейных свойств грунтов искусственными источниками // Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. Москва, 1996.

4. Заалишвили В.Б., Габеева И.Л., Гогмачадзе С.А. Оценка сейсмической опасности грунтов при сильных землетрясениях в условиях пересеченного рельефа в горных районах // В сборнике: Системные исследования современного состояния и пути развития Юга России (природа, общество, человек) Тезисы докладов международной научной конференции. 2006. С. 135-136.
5. Заалишвили В.Б., Мельков Д.А., Отинашвили М.Г. Использование метода конечных элементов при оценке сейсмической опасности горных территорий // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2008а. №3. С.49-52.
6. Заалишвили В.Б., Мельков Д.А., Дзеранов Б.В. Особенности динамического поведения грунтов территории г. Владикавказа // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2008б. №2. С. 67-71.
7. Заалишвили В.Б., Дзеранов Б.В., Габараев А.Ф. Актуализация карт сейсмической опасности территории Республики Северная Осетия-Алания // Труды IV Кавказской международной школы-семинара молодых ученых «Сейсмическая опасность и управление сейсмическим риском на Кавказе», Владикавказ, 24-26 октября 2011г., С. С.155-167.
8. Заалишвили В.Б., Мельков Д.А., Дзеранов Б.В., Шепелев В.Д. К вопросу использования дробных значений величин сейсмической интенсивности и ускорений // Вестник Академии наук Чеченской Республики. 2014б. №4(25). С. 86-95.
9. Мкртычев О.В., Джинчвелашвили Г.А. Проблемы учета нелинейностей в теории сейсмостойкости (гипотезы и заблуждения). – М.: МГСУ, 2012. – 192 с.
10. Реквава П.А. Современное сейсмостойкое строительство. “Интеллект”, Тбилиси, 2009, 240 с.
11. Moehle J., Stojadinovic B., Der Kiureghian A., Yang T.Y. An application of PEER Performance-Based Earthquake Engineering Methodology. Research Digest No. 2005-1, PEER, University of California, Berkeley, CA, 2005.

SOME QUESTIONS OF MULTILEVEL DESIGN IN THE EARTHQUAKE-ENGINEERING

© 2016 P.A. Rekvava, Sc. Doctor (Tech.), prof.

Georgian National Association for Earthquake Engineering and Engineering
Seismology, Georgia, Tbilisi, M. Lebanidze street, 7,
e-mail: rekvavapaata@yahoo.com

The concept of multilevel design, which is formed by the analysis of the destructive earthquakes consequences is examined.

The analysis of the strong earthquakes manifestations shows that the activation of geodynamic processes in the Caucasus is observed in the recent decades. This under the conditions of the Caucasus assumes the need for the calculation of the special relief features of one or other construction site or another or more extensive territory of the existing building. The estimation of the seismic danger of mountain territories and compiling the corresponding maps assumes using the final elements method with a study

of the impact influence on one or other building or construction. This makes it possible to investigate in their organic interrelation: the impact, the way of propagation and the response of soil and building (construction). The basic methodology essence consists in buildings behavior planning on the basis of probability scheme, which consists of four steps – the seismic danger analysis, design analysis, the damages analysis and the forecast of losses.

Keywords: multilevel design, the map of detailed seismic zonation, map of seismic microzonation.

**ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА
ЮГА РОССИИ
(№1. 2016 г.)**

Подписано в печать 10.03.2016 г. Формат 60×84 1/8.

Усл. печ. лист 21,9. Гарнитура «Times».

Бумага офсетная. Печать цифровая. Тираж 100 экз. Заказ №29.

**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 редакции:

362002, РСО-А, 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.