

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

# **ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА ЮГА РОССИИ**

**№ 3 / 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**

**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 К.С. Харебова: «На рассвете»*

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>Бадаев С.В.</b> АНАЛИЗ СЕЙСМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ТЕРСКО-КАСПИЙСКОГО ПРОГИБА (ТЕРРИТОРИИ ЧЕЧЕНСКОЙ И ИНГУШСКОЙ РЕСПУБЛИК) И ЗАДАЧА ПРОГНОЗА СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ .....	5
<b>Давыденко Д.Б.</b> ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА КОСМОСНИМКОВ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА НА ПЛОЩАДЯХ ВОСТОЧНОГО ДОНБАССА .....	23
<b>Денисенкова Н.Н., Джинчвелашвили Г.А.</b> ПОЛИТИКА В СФЕРЕ ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ КАК ИНСТРУМЕНТ МОДЕРНИЗАЦИИ ОБЩЕСТВА (НА ПРИМЕРЕ ИНЖЕНЕРНОЙ СЕЙСМОЛОГИИ И СЕЙСМОСТОЙКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА).....	38
<b>Дещеревский А.В., Идармачев И.Ш., Идармачев Ш.Г.</b> АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СЕЗОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ УРОВНЯ ВОДЫ В ЧИРКЕЙСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ И АТМОСФЕРНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА КАЖУЩЕЕСЯ СОПРОТИВЛЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД В СКВАЖИНЕ, РАСПОЛОЖЕННОЙ В РАЙОНЕ ПРАВОГО БОРТА ПЛОТИНЫ ГЭС.....	48
<b>Заалишвили В.Б., Гусева Т.В., Розенберг Н.К., Мельков Д.А.</b> ВОПРОСЫ ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА ПРИМЕРЕ ВЛАДИКАВКАЗСКОГО ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГНОЗНОГО ПОЛИГОНА .....	58
<b>Керимов И.А.</b> ВЫЧИСЛЕНИЕ ВЫСШИХ ПРОИЗВОДНЫХ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА НА ОСНОВЕ F-АППРОКСИМАЦИИ .....	65
<b>Ковалев В.В., Фелицин С.И.</b> РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАСТВОРЕННЫХ ФОРМ ЖЕЛЕЗА И МАРГАНЦА В ВОДНОЙ ТОЛЩЕ КАСПИЙСКОГО МОРЯ.....	85
<b>Маркин М.Ю., Парада С.Г., Шишкалов И.Ю.</b> СОСТАВ И СТРОЕНИЕ МАЛКИНСКОГО УЛЬТРАБАЗИТОВОГО МАССИВА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПЕРЕИНТЕРПРЕТАЦИИ АЭРОМАГНИТНЫХ ДАННЫХ (КАБАРДИНО-БАЛКАРСКАЯ РЕСПУБЛИКА).....	98
<b>Снытко В.А., Собисевич А.В., Щипек Т., Керимов И.А.</b> ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АКАДЕМИКА И.П. ГЕРАСИМОВА НА КАВКАЗЕ.....	111
<b>Хапаев В.В., Корженков А.М., Овсяченко А.Н., Ларьков А.С., Мараханов А.В.</b> АРХЕОСЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ДРЕВНЕМ ГОРОДЕ ХЕРСОНЕСЕ (СЕВАСТОПОЛЬ, КРЫМ).....	119
<b>Чотчаев Х.О.</b> КОНТРОЛЬ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГОРНОГО МАССИВА ЗВУКОМЕТРИЧЕСКИМИ И ГЕОФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ .....	129

## НАШИ ГОСТИ

<b>Казымов И.Э., Казымова С.Э.</b> СЕЙСМИЧЕСКАЯ АНИЗОТРОПИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОПЕРЕЧНЫХ ВОЛН НА ПРИМЕРЕ ГАДЖИГАБУЛЬСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 10 ФЕВРАЛЯ 2014 Г. С $M_L = 5,8$ .....	141
--	-----

## ДИСКУССИИ, ОБСУЖДЕНИЯ

<b>Бергер М.Г.</b> КАТАСТРОФИЧЕСКИЕ ЛЕДОВО-КАМЕННЫЕ ИНЕРЦИАЛЬНЫЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ ЛАВИНООБРАЗНЫЕ ПОТОКИ, КАК ПРОЯВЛЕНИЯ ПАРОКСИЗМАЛЬНЫХ ВЗРЫВОПОДОБНЫХ НАПРАВЛЕННЫХ ВЫБРОСОВ ЛЕДНИКОВ. ОСОТНОШЕНИЙ ПОНЯТИЙ «ЛАВИНООБРАЗНЫЙ ПОТОК» И «СЕЛЬ».....	152
<b>Голик В.И., Бурдзиева О.Г.</b> ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ГОРНОГО МАССИВА ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПОЛОГИХ И НАКЛОННЫХ РУДНЫХ ТЕЛ.....	166

# CONTENTS

<b>Badaev S. V.</b> ANALYSIS OF SEISMIC REGIME OF THE TEREK-CASPIAN DEPRESSION (TERRITORY OF CHECHEN AND INGUSH REPUBLICS) AND PROBLEM OF STRONG EARTHQUAKES PREDICTION .....	5
<b>Davydenko D.B.</b> POSSIBILITIES OF USING MATHEMATICAL ANALYSIS OF SPACE IMAGES AT PREDICTION OF DEPOSITS OF GOLD AT THE AREAS OF EASTERN DONBAS .....	23
<b>Denisenkova N.N., Dzhinchvelashvili G.A.</b> POLICY IN EDUCATION AND SCIENCES AS THE INSTRUMENT OF MODERNIZATION OF SOCIETY (IN EXAMPLE OF ENGINEERING SEISMOLOGY AND EARTHQUAKE ENGINEERING) .....	38
<b>Desherevski A.V., Idarmachev I.Sh., Idarmachev Sh.G.</b> ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF SEASONAL ATMOSPHERIC PARAMETERS ON THE APPARENT RESISTIVITY OF ROCKS IN A BOREHOLE LOCATED IN THE AREA OF THE STARBOARD SIDE OF CHIRKEY HYDROPOWER STATION DAM .....	48
<b>Zaalishvili V.B., Guseva T.V., Rozenberg N.K., Melkov D.A.</b> THE PRACTICAL IMPLEMENTATION OF GEODETIC MONITORING THE EXAMPLE VLADIKAVKAZ GEODYNAMIC LOOKING RANGE .....	58
<b>Kerimov I.A.</b> CALCULATION OF HIGHER DERIVATIVES OF THE GRAVITATIONAL POTENTIAL ON THE BASIS OF F-APPROXIMATION .....	65
<b>Kovalev V.V., Felitsin S.I.</b> THE DISTRIBUTION OF DISSOLVED FORMS OF IRON AND MANGANESE IN THE WATER COLUMN OF THE CASPIAN SEA .....	85
<b>Markin Y.M., Parada S.G.</b> THE COMPOSITION AND STRUCTURE OF MALKIN ULTRABASITE ARRAY ACCORDING TO THE RESULTS OF RE-INTERPRETATION OF AEROMAGNETIC DATA (KABARDINO-BALKAR REPUBLIC) .....	98
<b>Snytko V.A., Sobisevich A.V., Schipek T., Kerimov I.A.</b> GEOLOGICAL AND GEOGRAPHICAL RESEARCHES OF ACADEMICIAN I.P. GERASIMOV IN THE CAUCASUS .....	111
<b>Khapaev V.V., Korzhenkov A.M., Ovsyuchenko A.N., Larkov A.S., Marahanov A.V.</b> ARCHEOSEISMOLOGICAL STUDY AT ANCIENT TAURIC CHERSONESOS (SEVASTOPOL, CRIMEA) .....	119
<b>Chotchaev Kh.O.</b> CONTROL OF THE MOUNTAINOUS AREA STRESS-STRAINED STATE BY THE SOUND RANGING AND GEOPHYSICAL METHODS .....	129

## OUR GUESTS

<b>Kazimov I.E., Kazimova S.E.</b> SEISMIC ANISOTROPY PARAMETERS OF TRANSVERSE WAVES BY GAJIGABUL EARTHQUAKE WHICH OCCURRED 10 FEBRUARY 2014 ML = 5,8 .....	141
--	-----

## DISCUSSIONS, DISPUTES

<b>Berger M.G.</b> CATASTROPHIC ICE-STONE INERTIAL GAS-DYNAMIC AVALANCHE-TYPE STREAMS AS AN OCCURRENCE OF PAROXYSMAL AIR-BLAST DIRECTIONAL GAS-DYNAMIC SURGES OF GLACIERS. ABOUT CORRELATION OF THE CONCEPTS “AVALANCHE-TYPE STREAM” AND “MUDFLOW” .....	152
<b>Golik V.I., Burdzyiyeva O.G.</b> GEOPHYSICAL MONITORING OF THE CONDITION OF THE MASSIF IN CASE OF DEVELOPMENT OF FLAT AND INCLINED ORE BODIES .....	166

УДК 550.34 (470.6)

## АНАЛИЗ СЕЙСМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ТЕРСКО-КАСПИЙСКОГО ПРОГИБА (ТЕРРИТОРИИ ЧЕЧЕНСКОЙ И ИНГУШСКОЙ РЕСПУБЛИК) И ЗАДАЧА ПРОГНОЗА СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

© 2016 С.В. Бадаев

ФГБУН Комплексный научно-исследовательский институт им. Х.И. Ибрагимова  
Российской академии наук 364051, Россия, Чеченская Республика, г. Грозный,  
Старопромысловское шоссе, 21а, e-mail: kniiran@mail.ru

Работа посвящена изучению сейсмичности территорий Чечни и Ингушетии. Сделан анализ литературных источников по истории изучения сейсмичности Кавказа по геолого-геофизическим данным. Пространственно-временного распределения сейсмической активности территорий за период с 1950–2015 гг. Построены карты эпицентров землетрясений, сейсмической активности  $A_{10}$ , график повторяемости, график Беньофа.

**Ключевые слова:** землетрясение, эпицентр, график повторяемости, график Беньофа, сейсмическая активность  $A_{10}$ .

Настоящая статья посвящена значимости исследования различных вариантов, характера поведения функции распределения землетрясений в области редких сильнейших землетрясений. В статье обсуждаются такие известные закономерности сейсмического режима, как уменьшение наклона графика повторяемости в преддверии сильных землетрясений, развитие афтершоковой очередности и предвестниковой активизации, а также существование сейсмического цикла.

Северный Кавказ характеризуется самой высокой сейсмичностью в европейской части России. Выявление здесь потенциальных сейсмических очагов и долгосрочный прогноз сильных землетрясений имеют чрезвычайное значение для оценки сейсмической опасности и сейсмического риска в этом густонаселенном и промышленно развитом регионе страны. Вопросам изучения сейсмичности и сейсмотектоники Кавказа посвящено значительное количество публикаций Ананьина И.В., Горшкова Г.П., Джибладзе Э.А. Смирновой М.Н., Рогожина Е.А., Заалишвили В.Б., Керимова И.А. и других исследователей [Ананьин, 1977; Асманов и др., 2003; Горшков, 1984; Джабраилова, 1989; Джибладзе, 1980; Керимов, Моллаев, 1989; Керимов и др., 2013; Керимов, 2014; Керимов, Ахматханов, 2014; Керимов, Бадаев, 2014; Керимов, Гайсумов, 2009, 2010, 2012; Ризниченко, 1985; Рогожин и др., 2013; Zaalishvili, Rogozhin, 2011]. Наиболее значительный и подробный обзор состояния изученности этого вопроса приведен в известных монографических работах [Ананьин, 1977; Горшков, 1984; Джабраилова, 1989], в которых выполнен анализ сейсмичности и сейсмического режима Кавказа с учетом данных Нового каталога сильных землетрясений с древнейших времен до 1975 г. на территории СССР [Новый каталог сильных землетрясений..., 1977] и региональных каталогов [Сейсмологические исследования ..., 2012].

Важную роль при оценке сейсмической опасности, в той или иной степени, играет распределение сильнейших землетрясений. Однако при долгосрочной оценке недостаточная длительность инструментальных наблюдений, погрешность

определения магнитуд палеоземлетрясений и существующего на настоящий момент целого набора кардинально различающихся моделей закона распределения редких сильнейших землетрясений не дают возможности выявить характер этого распределения на основе исключительно эмпирических данных [Заалишвили и др., 2013; Певнев и др., 2014].

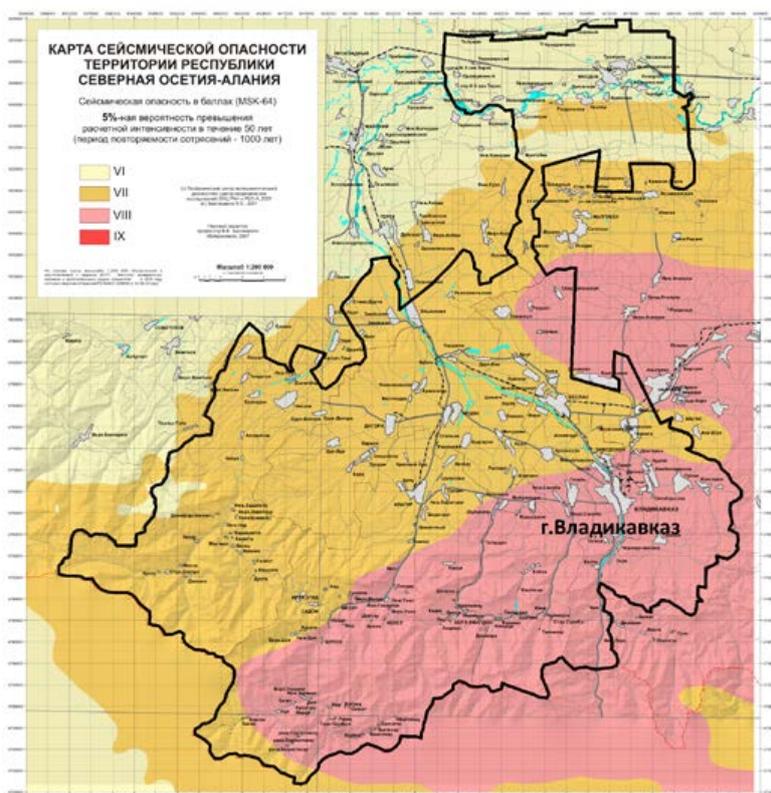
Известны немногочисленные современные случаи среднесрочного прогноза землетрясений на Кавказе, в частности, сильного Тбилисского землетрясения 2002 года [Гогмачадзе и др., 2007]. Так после относительно слабого землетрясения от 11 апреля 2002 г. имело место совершенно непонятное возрастание активности. И это не были обычные афтершоки. Анализ показал почти одинаковый уровень магнитуд афтершоков, т. е. имело место явление типа «роя». Это и другие особенности «дало основание руководителю отдела инженерной сейсмологии В.Б. Заалишвили на первом же заседании Ученого Совета Института Строительной Механики и Сейсмостойкости им. К.С. Завриева АН Грузии 13 апреля 2002 г. выступить ... с заявлением о прогнозе сильного землетрясения на территории Тбилиси ... при этом не давался точный прогноз времени, но эпицентр предполагался в Тбилиси где-то в пределах эпицентральной зоны землетрясения 11 апреля 2002 г., а время проявления что-то около месяца». Заявление носило научный или только служебный характер. 25 апреля 2002 г. в Тбилиси произошло разрушительное землетрясение с преобладающим вертикальным толчком магнитудой  $M=4,5$ . При этом в городе были зафиксированы значительные разрушения и повреждения, погибло 9 человек» [Гогмачадзе и др., 2007].

Рассмотренный пример показывает достаточно сложный и прихотливый характер прогностических исследований. Хотя проблеме прогноза землетрясений было посвящено множество работ, прогноз землетрясений даже для среднесрочного прогноза не очень надежен. Это обусловлено многофакторностью и сложностью корреляционных связей установленных предвестников явления. В то же время проблема краткосрочного прогноза во стократ еще более сложна. Такой вывод, как это ни парадоксально, подтверждают отдельные случаи успешных, даже можно сказать, удивительных прогнозов краткосрочного прогноза сильных землетрясений (Китай, 1975). Дело в том, что на следующий год там же в Китае имел место «пропуск цели» в виде неожиданного для ученых и специалистов сильнейшего Тангшанского землетрясения (Китай, 1976), когда по различным данным погибли от 200 тыс. до 600 тыс. человек. Тем не менее, такие исследования в России и за рубежом продолжаются. В то же время долгосрочный прогноз, если рассматривать, например, в качестве одного, карты сейсмического районирования территории, нередко, вполне надежен [Заалишвили, Дзеранов, 2014; Сейсмическое микрорайонирование..., 2012]. В последние годы в качестве основы прогностических исследований рассматриваются т. н. прогнозные полигоны с использованием прямых геодезических методов [Заалишвили и др., 2011б; Певнев и др., 2014; Певнев, 2016], а также глубинных исследований [Заалишвили и др., 2012а; Рогожин, 2012].

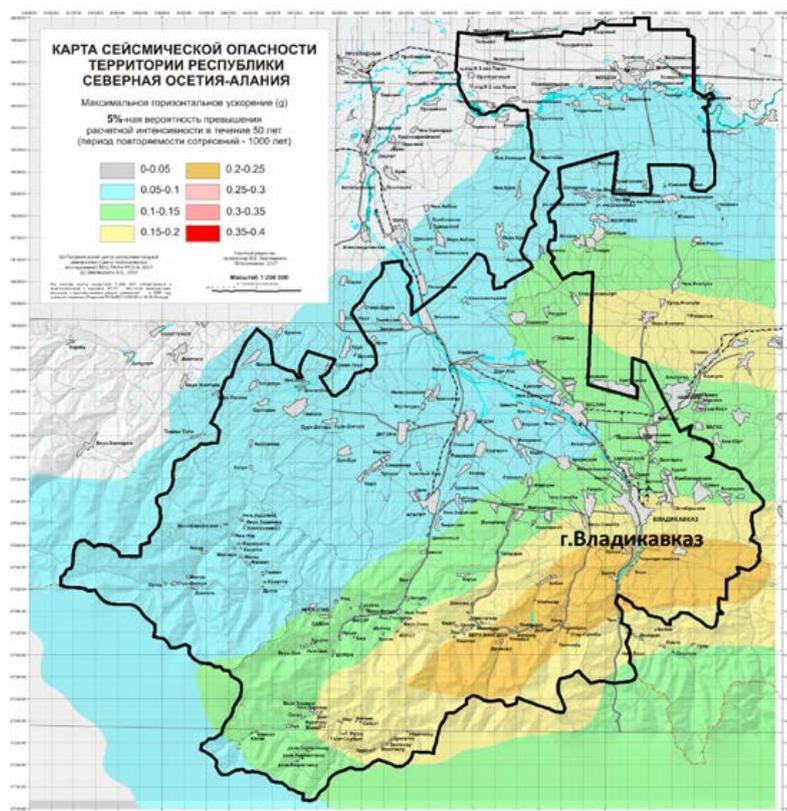
Здесь необходимо отметить, что сложность заключается не только в самом прогнозе землетрясения, а в дифференциации прогнозов сильного и слабого землетрясений. Сегодня есть много современных отечественных работ посвященных этой проблеме [Габеева, Заалишвили, 2005; Заалишвили, 1996, 2009, 2014а, 2014б; Рогожин, 2012 и др.].

Согласно представлениям Musson [Musson, 1999] при оценках сейсмической опасности территории необходимо использовать данные, максимально приближенные к реальным инженерно-сейсмологическим условиям.

Можно взять в качестве примера территорию Северной Осетии, для которой наиболее близка к реальным условиям для массового строительства экспозиция, равная 1000 годам [Заалишвили, Рогожин, 2011; Заалишвили и др., 2011а]. Для уни-



a)



б)

Рис. 1. Вероятностные карты сейсмической опасности с вероятностью превышения 5% в единицах интенсивностей MSK (а) и опасности в ускорениях (РНА) (б) [Заалишвили, Рогожин, 2011]

кальных зданий или сооружений необходимо рассматривать большую экспозицию, например, 2500 лет и т. д. На основе использования современных методов (внерегionalный метод ИФЗ РАН) и компьютерных программ (SEISRisk-3 – США) в технологиях ГИС разработаны вероятностные карты сейсмической опасности территории Республики Северная Осетия в единицах интенсивности (MSK-64) в масштабе 1:200000 с вероятностью превышения за 50 лет – 2%, 5%, 10%, что соответствует повторяемости сотрясений 2500, 1000, 500 лет, соответственно. Следует отметить, что вероятностные карты сейсмической опасности в единицах ускорений в масштабе 1:200000 с вероятностью превышения за 50 лет – 2%, 5%, 10% для Российской территории были разработаны впервые [Заалишвили, Рогожин, 2011; Zaalishvili, Rogozhin, 2011].

Для градостроительных задач авторами были рекомендованы вероятностные 5% карты (рис. 1). Можно видеть большую опасность на юге Северной Осетии: здесь повышенный уровень сейсмической опасности – вблизи проходит мощный Владикавказский разлом, простирающийся далее на восток и захватывающий территорию Ингушетии и Чечни и, представляющий интерес для дальнейшего анализа (рис. 2).

В отличие от мелкомасштабной карты сейсмической опасности масштаба М 1:8000000 территории России (общее сейсмическое районирование) карты детального сейсмического районирования в масштабе М 1:200000 позволяют непосредственно учитывать особенности конкретных сейсмических источников (разломов). Но самое главное – районирование в подобном масштабе позволяет учитывать та-

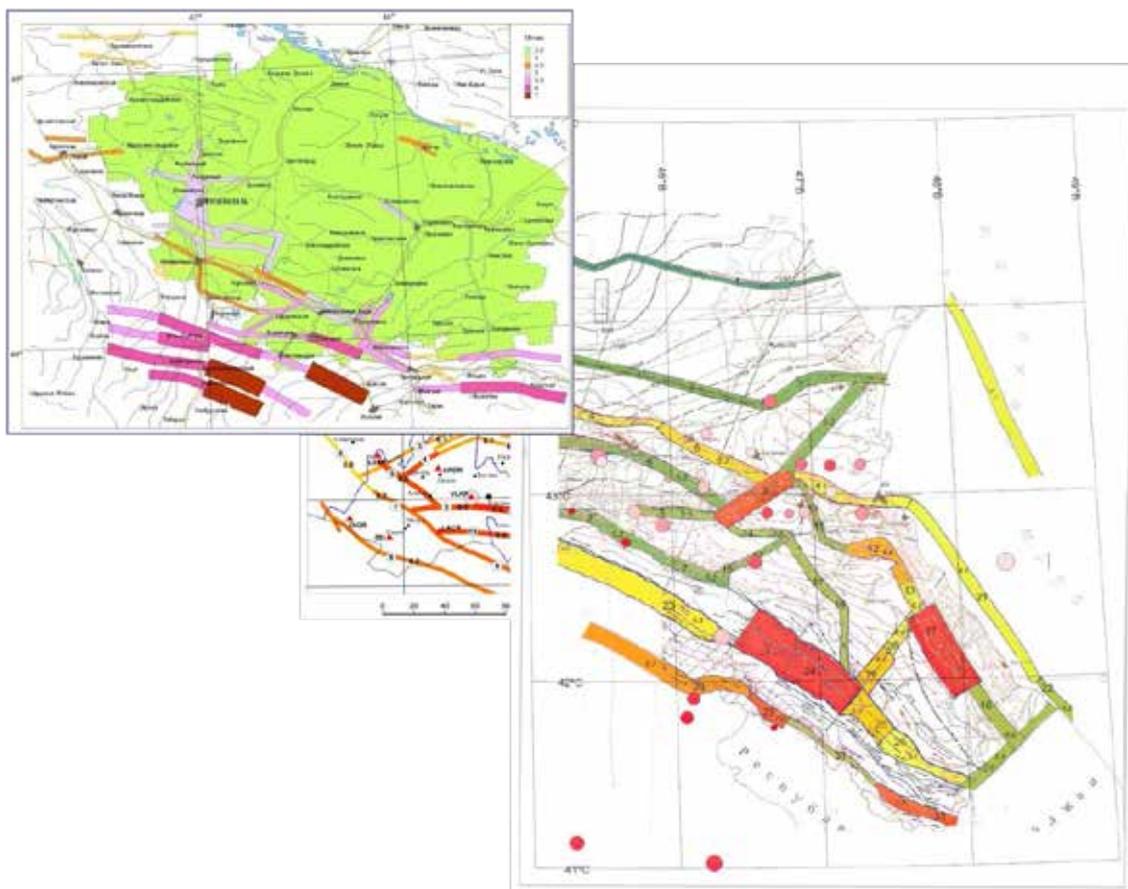


Рис. 2. Объединение опасных сейсмических разломов на территории Северного Кавказа [Заалишвили, Рогожин, 2011]

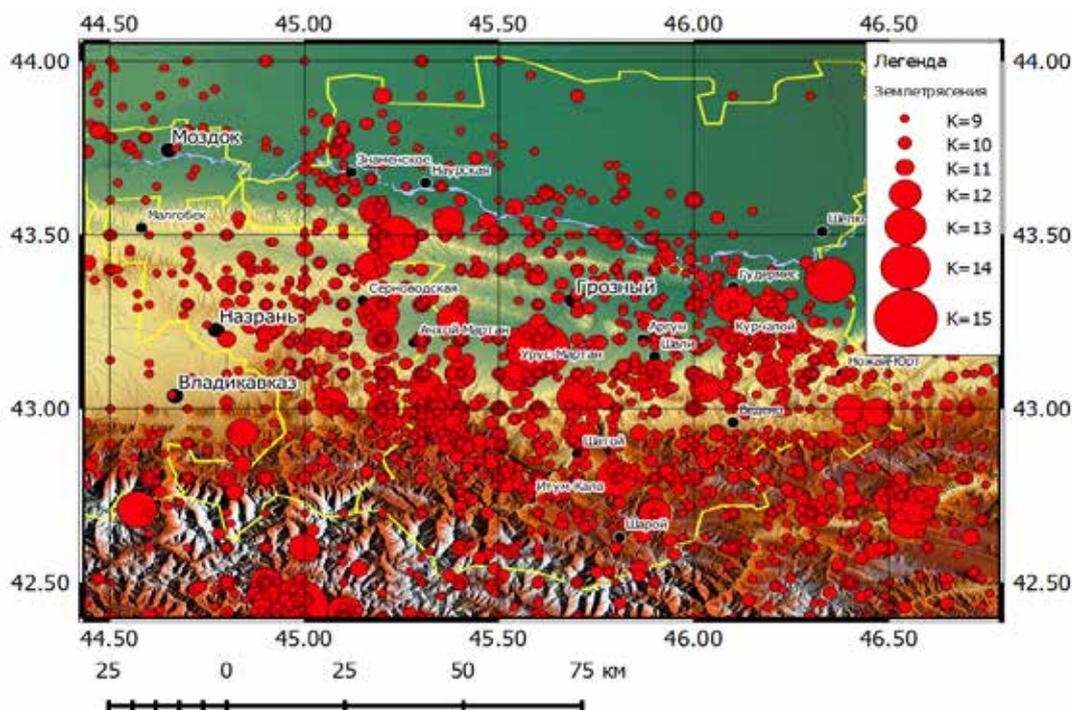


Рис. 3. Карта эпицентров землетрясений, произошедших за период в 1950–2015 гг.

кие особенности для весьма обширных территорий. Так, хорошо видно, что совмещение разломов на территориях различных субъектов России Северного Кавказа имеет вполне практический смысл [Заалишвили, Рогожин, 2011; Zaalishvili, Rogozhin, 2011].

Для анализа сейсмичности региона нами был составлен каталог землетрясений для территории, ограниченной параллелями  $42,50\text{--}44,00^\circ$  с.ш. и меридианами  $44,45\text{--}46,65^\circ$  в.д. Каталог охватывает сейсмические события за период 1950–2015 гг. и включает более 1800 землетрясений 9÷15 энергетических классов. При составлении каталога были использованы актуализированный, унифицированный и специализированный по инструментальным данным каталог землетрясений Северной Евразии, использованный при работе по ОСР-97, регулярно пополняющиеся до реального времени в Лаборатории континентальной сейсмичности и прогноза сейсмической опасности ИФЗ им. О.Ю. Шмидта РАН, при участии Геофизической службы РАН (г. Обнинск) и данные, опубликованные в различных источниках [Ананьин, 1977; Асманов и др., 2003; <http://www.ceme.gsras.ru/>, 2016; Каталог землетрясений..., 2004; Керимов и др., 1992; Новый каталог сильных землетрясений..., 1977; Сейсмологические исследования..., 2012; Шебалин, 1974].

Эти каталоги пополняются не только информацией о происходящих событиях, но и новыми сведениями об исторических и геологических сейсмических событиях с целью внесения необходимых поправок и уточнений. На рис. 3 приведена карта эпицентров землетрясений с указанными параметрами. Выборка по каталогу показала, что наибольшее количество эпицентров землетрясений (рис. 1) приурочено к границам осадочного чехла и земной коры. На глубинах менее 5 км наблюдается относительно небольшое число землетрясений с магнитудами  $M \leq 4,7$ . Более сильные землетрясения возникают на глубинах 10 км и более. Гипоцентры располагаются преимущественно в осадочном чехле (50 ÷ 60%), в земной коре (35 ÷ 45%) и в мантии (5 ÷ 15%).

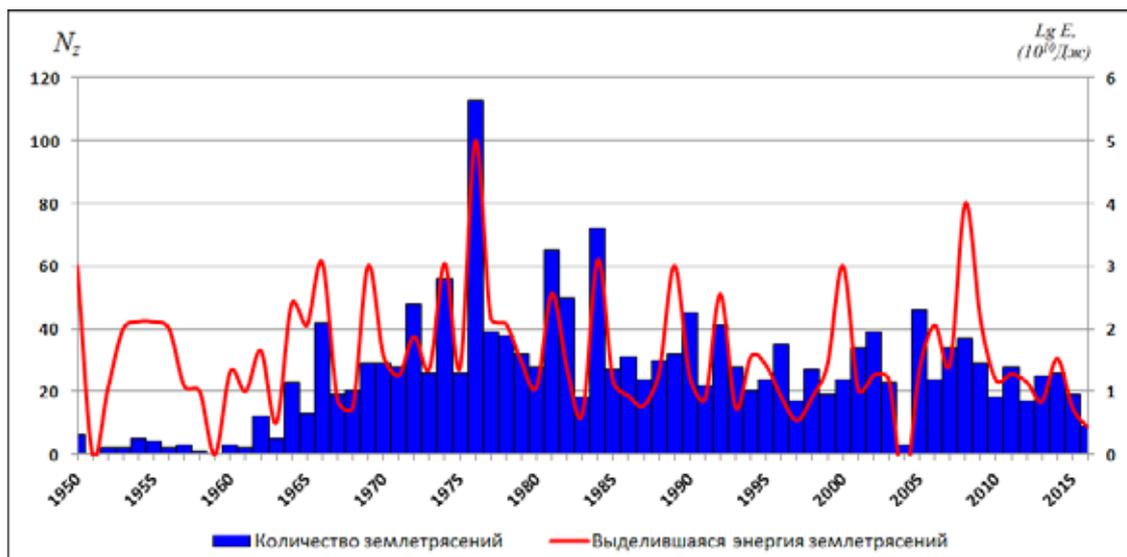


Рис. 4. Распределение числа  $N_z$  и энергии  $LgE$  землетрясений (период 1950–2015 гг.)

При рассмотрении графика сопоставления числа и энергии землетрясений выделяются главные периоды изменений сейсмического режима с наступающими после периодами относительного сейсмического спокойствия. Периоды проявления разрушительных землетрясений варьируют в пределах 20–30 лет (Гудермесское I и II, 1950-х гг.; Черногорское, 1976 г.; Курчалоевское, 2008 г.), которые затем сменяются фазами относительного сейсмического затишья. Среднее значение проявления сейсмичности в исследуемом регионе по энергетическому классу составляет  $K = 13,0$ .

Из анализа линейной гистограммы распределения количества и энергии землетрясений по годам (рис. 4) можно сделать вывод об изменении сейсмологической активности региона по времени и определить несколько его особенностей:

- природа сейсмической активности носит циклический характер;
- в целом в соответствии с графиком повторяемости отмечается соответствие количества и энергий землетрясений;
- отмечаются периоды времени когда разрядка тектонических напряжений происходит в виде большого количества относительно незначительных по энергии землетрясений и наоборот.

### График повторяемости

График повторяемости (закон повторяемости землетрясений) является главной характеристикой сейсмического режима и одним из прогностических признаков [Джибладзе, 1980; Заалишвили и др., 2011б; Заалишвили, Дзеранов, 2014; Керимов, 2014; Керимов, Бадаев, 2014]. Вопросу изучения закона повторяемости землетрясений посвящен ряд работ [Джабраилова, 1989; Джибладзе, 1980; Заалишвили и др., 2012б; Керимов, 2014; Керимов, Бадаев, 2014; Керимов, Гайсумов, 2012]. Существуют представления, что график повторяемости землетрясений отражает ряд общих закономерностей разрушения твердых тел [Ризниченко, 1985].

Наклон графика повторяемости землетрясений имеет большое теоретическое и практическое значение и может, в частности, использоваться для прогноза сильных землетрясений. Для этой цели необходимо анализировать флуктуацию параметра  $\gamma$  во времени. Перед большим землетрясением значение параметра  $\gamma$  уменьшает-

ся с последующим увеличением после землетрясения [Джибладзе, 1980; Керимов, 2014; Керимов, Бадаев, 2014; Ризниченко, 1985].

График повторяемости (рис. 3) представляет собой функцию распределения количества землетрясений  $N$  по величине их энергии  $K$ , где  $K = \lg E$  ( $E$  – энергия очага, Дж).

В большинстве случаев график повторяемости землетрясений в первом приближении прямолинеен. В таком случае он определяется тремя главными параметрами сейсмического режима:

- 1) наклоном, графика повторяемости землетрясений  $\gamma = -d \lg N / d \lg K$ ;
- 2) сейсмической активностью,  $A$  – начальная ордината этого графика для фиксированного значения  $K$ , обычно равное 10;
- 3) величиной максимально возможного землетрясения  $K_{max}$ , которая определяет правое окончание графика повторяемости.

Для изучаемого региона с целью построения графика повторяемости землетрясений были использованы данные по сейсмичности за 65 лет (1950–2015 гг.), содержащие более 1800 данных о землетрясениях с  $9 \div 15 (\pm 0,2)$  энергетических классов, т. е. начиная с представительного класса землетрясений  $K = 9$  путем определения в пределах каждого класса ( $\pm 0,5$ ).

Поскольку неприемлемо получение статистики повторяемости из полного каталога (включающего форшоки и афтершоки) и ее применение для прогноза возникновения основного толчка, то необходимо провести декластеризацию каталога, удалив афтершоки, форшоки и рои землетрясений, все вместе именуемые зависимыми событиями. Musson для них предлагает другое название – вторичные толчки [Musson, 1999]. Если не произвести декластеризацию каталога, то можно получить неправильную оценку вероятности основных толчков, поскольку наклон графика повторяемости будет искажен появлением множества слабых событий, не являющихся основными толчками (в результате удаления зависимых событий кривая повторяемости становится более полой). Процесс декластеризации не является полностью прямолинейной процедурой. Как отмечают [Reasenber and Jones, 1989],

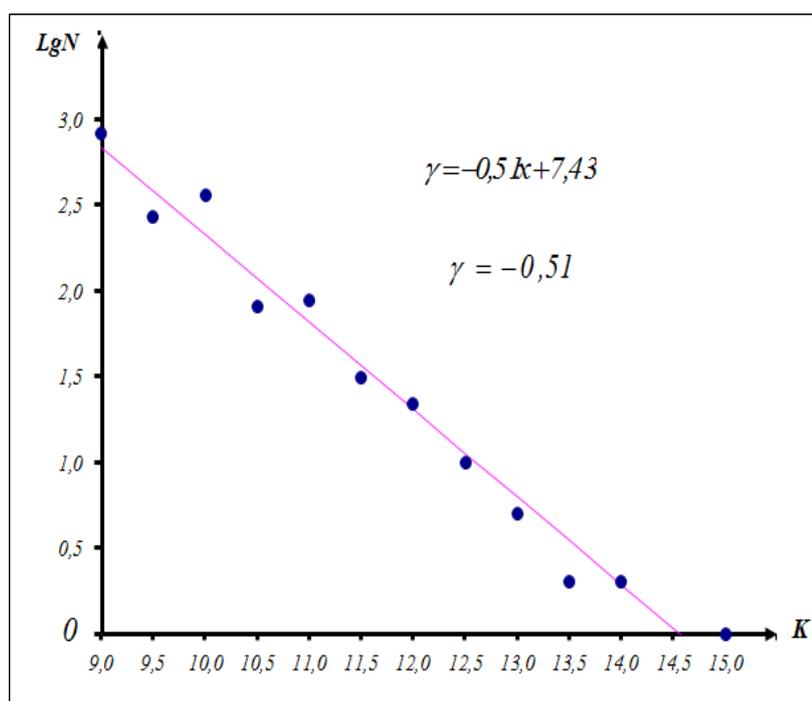


Рис. 5. График повторяемости землетрясений

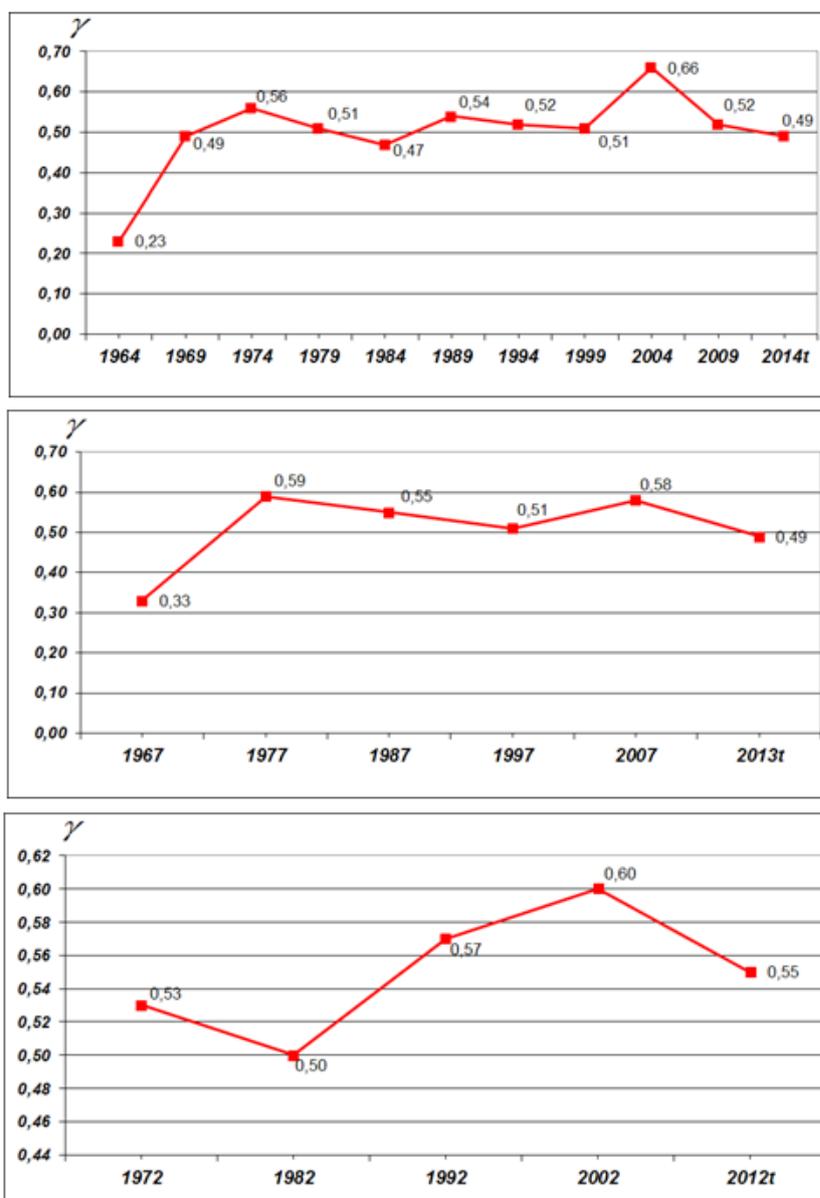


Рис. 6. Изменения углов наклона графиков повторяемости землетрясений по 5-ти и 10-ти летним периодам

«афтершоки могут быть определены лишь статистически: они ведут к известным характеристикам, отличающим их от других землетрясений». Был использован специальный алгоритм распознавания форшоков, афтершоков и роев землетрясений и составлен каталог «независимых» событий.

Действительно, на (рис. 5) видно, что в первом приближении этот график имеет прямолинейную форму. Здесь же приведена осредняющая прямая, полученная методом наименьших квадратов и характеризующая закон повторяемости землетрясений.

$$\lg N = 8,92 - 0,51K \quad (1)$$

Из графиков (рис. 6) изменения углов наклона повторяемости землетрясений видно, что в периоды изменений сейсмичности региона, значения углов наклона

графика повторяемости подчиняются закону Гутенберга-Рихтера, в пользу сохранения прямолинейности между периодами разрядки напряжений в земной коре.

Полученный результат позволяет предположить, что и для относительно малых регионов наклон графика повторяемости землетрясений сохраняет среднее значение, полученное в целом для Кавказа [Zaalishvili et al., 2010]. Это, по-видимому, справедливо лишь для достаточно большого интервала времени.

Сравнительный анализ графиков повторяемости землетрясений для Кавказа в целом [Ризниченко, 1985; Керимов, Бадаев, 2014] и для изучаемой территории показывает, что первый имеет двухступенчатую форму, а второй характеризуется наличием только одной ступени. Для получения графика повторяемости землетрясений Кавказа П.Н. Николаевым (1978) были использованы данные за 1962–1971 гг., в нашем же случае за 1950–2015 гг. Это, а также разный охват территорий может служить объяснением различия между указанными графиками повторяемости землетрясений.

Сложная форма графика повторяемости землетрясений отражает взаимодействие различных факторов, влиявших на процесс хрупкой деформации земной коры, свидетельствует о зависимости этого процесса от палеотектонических и новейших тектонических движений. По данным П.Н. Николаева степень влияния этих факторов в геологических условиях Кавказа достигает 30%.

Так как не каждое землетрясение сопровождается макросейсмическим проявлением ощутимой интенсивности, для оценки частоты возникновения сейсмических сотрясений ощутимой интенсивности строились отдельные кумулятивные графики накопления землетрясений в диапазоне  $K = 10,5 \div 15,5 \pm 0,5$  (рис. 7).

Анализ данных повторяемости землетрясений свидетельствует, что график повторяемости имеет ступенчатую форму. Для территории ТКП достоверные различия можно установить между значениями повторяемостей землетрясений 9 и 10, 10 и 11, 12 и 13, 13 и 14 классов. Различия между значениями повторяемостей землетрясений 14 и 15 классов не достоверны. П.Н. Николаевым (1978) для территории Кавказа и других районов нашей страны были получены графики повторяемости землетрясений ступенчатой формы и установлено для территории Кавказа наличие достоверных различий между средними значениями повторяемости землетрясений 9 и 10, 10 и 11, 12 и 13 энергетических классов и отсутствие достоверных различий

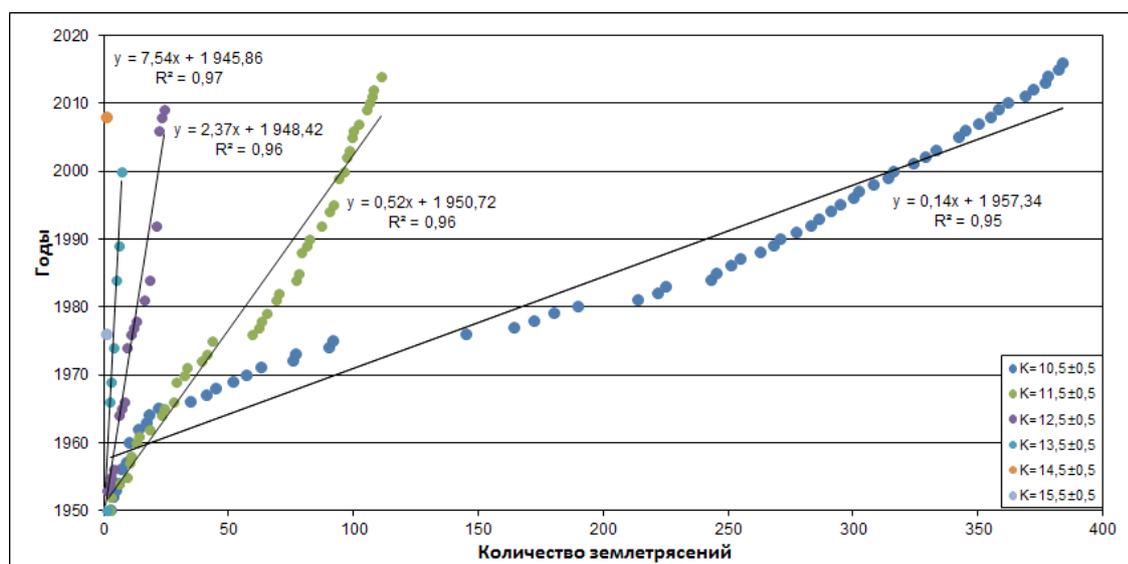


Рис. 7. Кумулятивные графики накопления землетрясений

между средними значениями повторяемости землетрясений 11 и 12, 13 и 14, 14 и 15 классов.

### Сейсмическая активность

Сейсмическая активность ( $A$ ) является одним из основных параметров, характеризующих сейсмический режим территории. Под сейсмической активностью в некоторой точке понимается число очагов землетрясений в заданном диапазоне энергетического класса, которые возникают в окрестности этой точки в единице пространства (объем или площадь, если оговорен диапазон глубин) в единицу времени [Джибладзе, 1980; Заалишвили и др., 2012б; Керимов, Бадаев, 2014; Ризниченко, 1985].

В настоящее время в нашей стране наибольшее распространение получила сейсмическая активность  $A = A_{10}$ , которая представляет число очагов землетрясений  $K = 10 \pm 0,5$  ( $M = 3,3 \pm 0,3$ ), отнесенное ко времени 1 год и к площади 1000 км<sup>2</sup>. Сейсмическая активность  $A_{10}$  широко применяется в регионах с умеренной сейсмичностью, к которым относится и исследуемая территория, где землетрясения величиной  $K = 10$  обычно самые массовые и надежные из представительных. В районах с высокой детальностью исследований применяется сейсмическая активность  $A = A_7$ , а в районах особенно высокой сейсмичности  $A = A_{15}$ . Однако, в последнем случае относится к площади 10<sup>5,5</sup> км<sup>2</sup>, что приводит к совпадению значений  $A_{10}$  и  $A_{15}$ .

Существует несколько способов расчета сейсмической активности: суммирования с постоянной детальностью; суммирования с постоянной точностью; комбинированный; распределения.

Способ суммирования с постоянной детальностью осуществляется путем суммирования числа землетрясений всех энергетических классов больше минимального представительного в фиксированной зоне осреднения. Для расчета используется формула Ризниченко Ю. В. (1964), которая при нормировании количества землетрясений на 1000 км<sup>2</sup> и за 1 год имеет следующий вид:

$$A_{10} = N_{\Sigma} \frac{1 - 10^{-\gamma}}{10^{\gamma(\min-10)}} \cdot \frac{1000}{S \cdot T} \quad (2)$$

где

$N_{\Sigma}$  – число эпицентров землетрясений в зоне осреднения площадью  $S$  км<sup>2</sup>, приведенное к периоду  $T$  представительности землетрясений класса энергии  $K_{\min}$ ;

$K_{\min}$  – наименьший из представительных класс энергии;

$\gamma$  – наклон графика повторяемости.

Способ суммирования с постоянной точностью позволяет определить сейсмическую активность с заданной точностью. Этот способ предполагает присутствие постоянного количества эпицентров в каждой зоне осреднения, т.е. переменный радиус осреднения.

Комбинированный способ заключается в сочетании двух предыдущих способов.

Способ распределения был предложен Ризниченко Ю. В. и Нерсесовым И. Л. в 1960 г. и применялся при построениях первых карт параметра  $A$ . В последующем, более широко применялся способ суммирования, характеризующийся простотой вычислений и возможностью учета при расчетах эпицентров сильных землетрясений. Опыт расчета карт  $A$  по различным регионам страны показал, что эти преимущества реализуются лишь при наличии однородного материала долговременных исследований. Карты сейсмической активности  $A$ , рассчитанные способами суммирования и распределения идентичны в пределах погрешности. Но это справедливо лишь при равномерном распределении эпицентров всех представительных классов

по площади. В противном случае карты  $A$  различаются как по уровню, так и по конфигурации.

В связи с вышеизложенным было отдано предпочтение расчету сейсмической активности способом распределения эпицентров в каждой зоне осреднения:

$$A_{10} = \frac{\sum_{K=K_{\min}}^{K_{\max}} N_k^2 C_k^{10} \cdot \frac{1000}{ST_{\min}}}{\sum_{K=K_{\min}}^{K_{\max}} N_k}, \quad (3)$$

где

$N_k$  – число землетрясений класса  $K$ , происшедших за  $T_{\min}$  лет на площади  $S$  км<sup>2</sup>;

$C_k^{10}$  – коэффициент перехода от активности по классу  $K$  к активности по классу  $K=10$ ;

где  $K$  может меняться от  $K_{\min}$  до  $K_{\max}$  из числа классов энергии землетрясения, представительных в районе исследований.

Этот коэффициент рассчитывается по следующей формуле:

$$C_k^{10} = 10^{y(K-10)} \quad (4)$$

При неодинаковых периодах представительности землетрясений разных энергетических классов они должны быть приведены к периоду наименьшего из представительных классов. С этой целью была создана выборка из базы данных по каталогу землетрясений включающей 1800 событий 9÷15 энергетических классов. Блок расчета сейсмической активности способом распределения был включен в программу для персонального компьютера. Расчет  $A_{10}$  производился по формулам Ризниченко Ю.В. (13) и (14) [Ризниченко, 1985], которая была нормирована на 1000 кв. км. в 1 год, для указанных периода  $T_{\min}=65$  лет землетрясений энергетических классов  $K$ , лежащих в диапазоне от 9 до 15. Вся территория была разбита по широте и долготе на зоны с радиусом 25 км., с площадью территории 29,524 тыс. км<sup>2</sup>. На построенную схему  $A_{10}$  полученную способом распределения при указанных параметрах, числовые значения наносились в соответствующие зоны заданной сети. Восточная и западная части карты  $A_{10}$  характеризуется высокой сейсмической активностью  $A_{10} = 2,6$  и  $A_{10} = 2,4$ . Юго-восточная и северо-западная части менее активны по сравнению с перечисленными выше и соответственно равны –  $A_{10} = 0,4 \div 0,6$  и  $A_{10} = 0 \div 0,2$ .

На рисунке 6 приведена схема сейсмической активности Чеченской Республики, полученная способом распределения при указанных параметрах. Числовые значения  $A_{10}$  наносились на карту в соответствующие зоны заданной сети.

Анализ карты  $A_{10}$  (рис. 10) свидетельствует о значительной неравномерности сейсмической активности по площади. Территориально зоны повышенной сейсмической активности приурочены к эпицентральному зонам сильных землетрясений и соответствуют известным сеймотектоническим зонам – Владикавказской, Беной-Эльдаровской, Курчалоевской, Датыхско-Ахловской и Гудермесской.

Для территории Северного Кавказа и сопредельных районов сотрудниками ИФЗ им. О.Ю. Шмидта РАН Е. А. [Рогожин и др., 2013] был разработан макет новой карты сейсмической опасности в детальном масштабе, на которой в пределах территории Чечни и Ингушетии вырисовывается одна зона повышенной сейсмической активности. Особенность выполненной нами карты сейсмической активности  $A_{10}$  заключается в том, что она более детально и на ней четко вырисовываются два отдельных друг от друга локальных максимумов.

На рис. 8 приведен график сейсмической активности  $A_{10}$  изучаемой территории, из которого видно, что высокая сейсмическая активность совпадает с пиковыми пе-

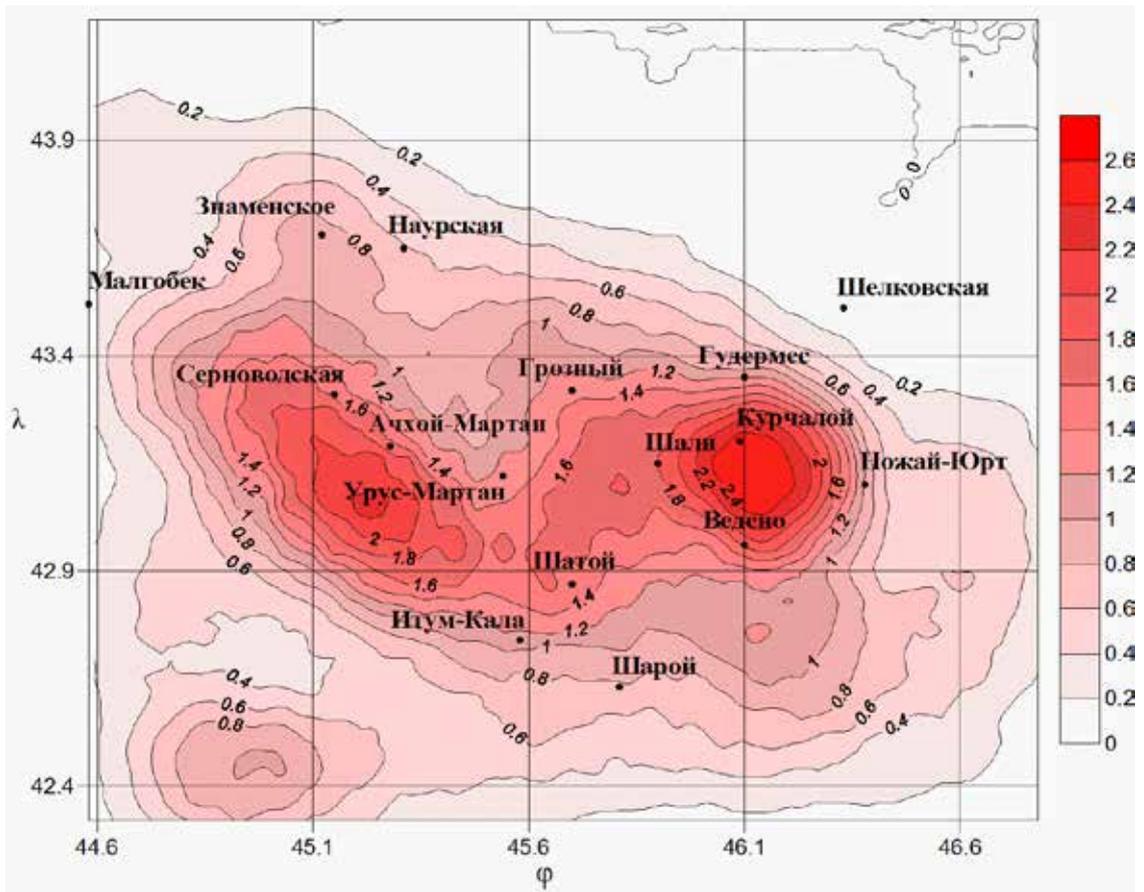


Рис. 8. Схема сейсмической активности  $A_{10}$  Чеченской Республики (период 1950–2015 гг.)

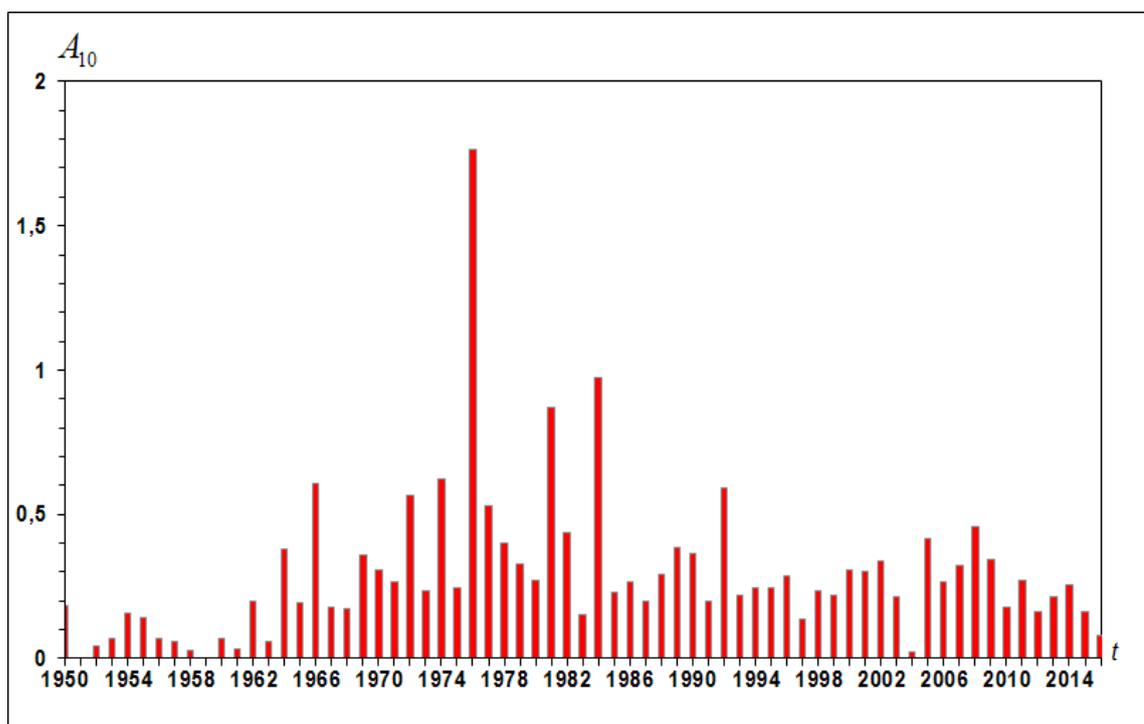


Рис. 9. График сейсмической активности  $A_{10}$ .

риодами высвобождения энергии показанной на гистограмме распределения числа и энергии землетрясений (рис. 4). Кроме того наряду с полученной гистограммой, связь отдельных сильных землетрясений с деформационными процессами связанными как с техногенной деятельностью, обусловленной возбужденной сейсмичностью градостроительства, разработкой нефтегазовых месторождений, строительством гидроэлектростанций, так и с процессами, протекающими в земной коре с течением времени наглядно демонстрируется.

Так, к примеру, слабые землетрясения в Старогрозненском районе Чеченской Республики происходили очень часто, как до эксплуатации, так и в различные периоды эксплуатации и разработки нефтяного месторождения. На фоне слабых землетрясений происходили значительные землетрясения с  $M = 3,8-4,1$ , возбужденные различными факторами [Керимов, Ахматханов, 2014; Керимов и др., 2013].

Между землетрясениями, формирующими собственно сейсмический режим, может существовать взаимная связь. В одних случаях эта связь выступает отчетливо, как например, при сильном землетрясении и его последующих толчках. В других случаях связей отдельных землетрясений, относящихся к данному сейсмическому режиму, непосредственно не видно и задача исследования может заключаться во вскрытии этих связей, если эти связи, в самом деле, существуют и в изучении их конкретных форм и закономерностей [Ризниченко, 1985].

Скачкообразные периоды на графике Бенъофа характеризуются периодами сильных землетрясений в районе исследуемой территории – это и Аргунское землетрясение 1966 г. [Керимов, Гайсумов, 2010], и Ачхой-Мартановское землетрясение 1969 г. [Керимов, Гайсумов, 2010], и Черногорское землетрясение 1976 г. [Керимов, Гайсумов, 2010], и Курчалойское землетрясение 2008 [Керимов, Гайсумов, 2009] и т. д.

Землетрясения, близкие по величине энергии, происходят в одном и том же месте редко, их средний период повторяемости, по мнению некоторых ученых, составляет сотни и даже тысячи лет, поэтому непосредственное наблюдение таких величин в каждой точке требует наличия инструментальных данных за большой период времени.

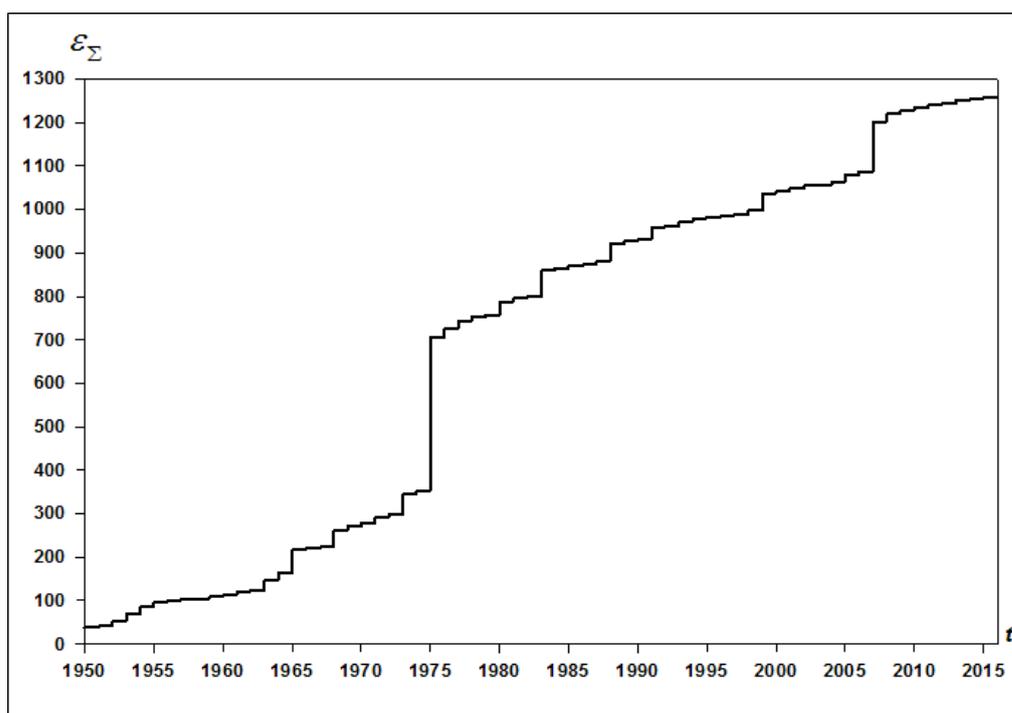


Рис. 10. График Бенъофа

## Выводы

Выполненный анализ сейсмологической информации позволяет сделать следующие выводы:

- Представленные данные свидетельствуют, что территория исследования характеризуется пространственно-временной неравномерностью распределения сейсмической активности во времени и по площади.

- При рассмотрении графика выделившейся энергии можно выявить периоды с повторяющимися относительного сейсмического затишья и периоды проявления разрушительных землетрясений, при чем, период разрушительных событий варьирует в пределах 20–30 лет (Гудермесское I и II, 1950-х гг.; Черногорское, 1976 г.; Курчалоевское, 2008 г.), которые затем сменяются фазами относительного сейсмического затишья. Среднее значение проявления сейсмичности в исследуемом регионе по энергетическому классу  $K = 13,0$ .

- График повторяемости согласуется с данными, полученными по Джибладзе Э.А. по Кавказу. Для этого графика параметр  $\gamma = -0,51$ . Полученный результат позволяет предположить, что и для относительно малых регионов наклон графика повторяемости землетрясений сохраняет среднее значение, полученное в целом для Кавказа. Это, по-видимому, справедливо лишь для достаточно большого интервала времени.

- Анализ гипоцентров каталога показывает, что на глубинах менее 5 км наблюдается относительно небольшое число землетрясений с магнитудами  $M \leq 4,7$ . Более сильные землетрясения возникают на глубинах 10 км и более. Гипоцентры в пределах Чеченской Республики располагаются преимущественно в осадочном чехле (50 ÷ 60%), в земной коре (35 ÷ 45%) и в мантии (5 ÷ 15%).

- Отмечается, что перед возникновением сейсмической активизации 2008 г. (Курчалойского землетрясения в 11.10.2008 г.) с параметрами –  $H = 10$  км,  $K = 14,0$ , в зоне ВОЗ в период 2001–2006 гг. отмечается сейсмическое затишье.

- Очаги фоновой сейсмичности во времени (режим затишья) могут указывать на участки зон ВОЗ, в которых в ближайшие годы можно ожидать возникновения сильных и умеренных землетрясений в земной коре.

- Сильное Черногорское землетрясение демонстрирует приуроченность очага к узлу сочленения крупных разломов. Сейсмические толчки время от времени повторяются в одних и тех же очагах, причем характер вызывающей каждое землетрясение подвижки от раза к разу может изменяться.

- На карте  $A_{10}$  высокой сейсмической активностью отличаются восточная и западная части изучаемой территории с активностями  $A_{10} = 2,6$  и  $A_{10} = 2,4$ . Юго-восточная и северо-западная части менее активны и равны  $A_{10} = 0,4 \div 0,6$  и  $A_{10} = 0 \div 0,2$ .

- За последние 65 лет по данным каталога и за 320 лет по макросейсмическим данным можно утверждать, что территории Чечни и Ингушетии являются сейсмоактивными.

- Территориально зоны повышенной сейсмической активности приурочены к эпицентральной зонам сильных землетрясений и соответствуют известным сейсмотектоническим зонам Владикавказской, Беной-Эльдаровской, Курчалоевской, Датыхско-Ахловской и Гудермесской.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 16–35-50038).

### Литература

1. Ананьин И.В. Сейсмичность Северного Кавказа. – М.: Наука, 1977. – 148 с.
2. Асманов О.А., Даниялов М.Г., Левкович Р.А. Сейсмическая активность территории центрального Дагестана. – М.: Лица, 2003. – 134 с.
3. Габеева И.Л., Заалишвили В.Б. Анализ колебаний нелинейной, поглощающей грунтовой среды по данным инструментального метода сейсмического микрорайонирования // В сборнике: Сейсмическая опасность и управление сейсмическим риском на Кавказе I Кавказская международная школа-семинар молодых ученых. Центр геофизических исследований ВНЦ РАН и РСО-А, Заалишвили В.Б. (редактор), Владикавказский научный центр РАН и РСО-А. – 2005. – С. 205–211.
4. Гогмачадзе С.А., Заалишвили В.Б., Одишария А.В., Кипиани Д.Г. Апрельские землетрясения 2002 г. в Тбилиси // Труды II Кавказской международной школы семинара молодых ученых «Сейсмическая опасность и управление сейсмическим риском на Кавказе», Владикавказ, 20–22 сентября, 2007. – Владикавказ, 2007. – С. 55–88.
5. Горшков Г.П. Региональная тектоника территории юга СССР: Альпийский пояс. – М.: Наука, 1984. – 271 с.
6. Джабраилова К.Д. Повторяемость землетрясений Восточного Предкавказья // Вопросы сейсмичности Восточного Предкавказья. – Махачкала, 1989. – С. 152–155.
7. Джибладзе Э.А. Энергия землетрясений, сейсмический режим и сейсмотектонические движения Кавказа. – Тбилиси: Мецниереба, 1980. – 255 с.
8. Заалишвили В.Б. Сейсмическое микрорайонирование на основе изучения нелинейных свойств грунтов искусственными источниками // Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. – М.: МГУ. 1996. – 43 с.
9. Заалишвили В.Б. Сейсмическое микрорайонирование территорий городов, населенных пунктов и больших строительных площадок. – М.: Наука, 2009. – 350 с.
10. 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.
11. Заалишвили В.Б., Дзеранов Б.В., Габараев А.Ф. Оценка сейсмической опасности территории и построение вероятностных карт // Геология и геофизика Юга России. – 2011а. – №1. – С. 48–58.
12. 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. – 2011б. – №2. – С. 33–40.
13. 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. – 2012а. – №2. – С. 11–20.
14. Заалишвили В.Б., Мельков Д.А., Дзеранов Б.В. и др. Сейсмологические наблюдения на площадке проектируемой Чири-Юртской ГЭС // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа // Материалы II Все-

российской научно-технической конференции / Отв. ред. Матишов Г.Г. – Грозный, 2012б. – С. 447–453.

15. 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. – 2013. – № 1. – С. 17–27.

16. Заалишвили В.Б. Некоторые проблемы практической реализации сейсмического микрорайонирования. Факторы, формирующие интенсивность землетрясения // Геология и геофизика Юга России. – 2014а. – № 3. – С. 3–39.

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

18. Заалишвили В.Б., Дзеранов Б.В. Детальное сейсмическое районирование и построение вероятностных карт сейсмической опасности (на примере территории Республики Северная Осетия-Алания) // Монография. – Владикавказ, 2014. – 139 с.

19. Каталог землетрясений Кавказа с  $M \geq 4,0$  ( $K \geq 11,0$ ) с древнейших времен до 2004 г. Составитель Годзиковская А.А. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zeus/wdcb/ru/sep/caucasus>.

20. Керимов И.А. Детальное изучение сейсмического режима и оценка сейсмической опасности территории Чечни и Ингушетии // Вестник Академии наук Чеченской Республики. – 2014. – № 3 (24). – С. 96–109.

21. Керимов И.А., Ахматханов Р.С. К вопросу о создании геодинамического полигона на Старогрозненском нефтяном месторождении // Известия КБНЦ РАН. – 2014. – № 1 (57). – С. 30–37.

22. Керимов И.А., Бадаев С.В. Сейсмичность и сейсмический режим территории Восточного Предкавказья // Известия КБНЦ РАН. – 2014. – № 1 (57). – С. 38–45.

23. Керимов И.А., Гайсумов М.Я. Курчалоевское землетрясение 11 октября 2008 г. // Вестник Академии наук Чеченской Республики. – 2009. – № 2 (11). – С. 48–53.

24. Керимов И.А., Гайсумов М.Я. Сильные землетрясения на территории Чеченской Республики // Вестник Академии наук Чеченской Республики. – 2010. – № 1 (12). – С. 57–62.

25. Керимов И.А., Гайсумов М.Я. Сейсмичность и современная геодинамика территории Чеченской Республики // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Материалы II Всероссийской научно-технической конференции. Грозный: Академия наук Чеченской Республики. – 2012. – С. 43–64.

26. Керимов И.А., Крисюк И.М., Гайсумов М.Я. Геофизические поля, системы разломов и сейсмичность Чечено-Ингушетии. Депонировано в ВИНТИ. № 1066-В92 от 30.03.92. – 91 с.

27. Керимов И.А., Моллаев З.Х. Гравитационное поле и сейсмичность Чечено-Ингушетии // Вопросы сейсмичности Восточного Предкавказья // Тр. Института геологии Даг. Филиала АН СССР. Вып.40. – Махачкала, 1989. – С.90–97.

28. Новый каталог сильных землетрясений территории СССР с древнейших времен и до 1975 г. // Под ред. Н.В. Кондорской, В.В. Шебалина. – М.: Наука, 1977. – С. 69–170.

29. Певнев А.К., Заалишвили В.Б., Мельков Д.А. О модернизации геодезических исследований на Владикавказском геодинамическом прогнозном полигоне // Геология и геофизика Юга России. – 2014. – Т. 2. №4. – С. 84–90.
30. Певнев А.К. О реальном пути к осуществлению прогноза землетрясений (посвящается памяти академика Григория Александровича Гамбурцева) // Геология и геофизика Юга России. – 2016. – №1. – С. 102–131.
31. Ризниченко Ю.В. Избранные труды. Проблемы сейсмологии. – М.: Наука, 1985. – 408 с.
32. Рогожин Е.А. Очерки региональной сейсмотектоники // М.: ИФЗ РАН, 2012. – 340 с.
33. Рогожин Е.А., Горбатиков А.В., Заалишвили В.Б., Степанова М.Ю., Харазова Ю.В., Андреева Н.В., Мельков Д.А., Дзеранов Б.В., Дзебоев Б.А., Габарев А.Ф. Новые представления о глубинном строении осетинского сектора Большого Кавказа // Геология и геофизика Юга России. – 2013. – №4. – С. 3–7.
34. Сейсмологические исследования. Выполнение работ по детальному сейсмическому районированию и сейсмическому микрорайонированию площадки проектируемой Чири-Юртской ГЭС: отчет о НИР/ООО «Трансэнергопром»; рук. Перетокин С.А. – Красноярск, 2012. – 115 с.
35. Сейсмическое микрорайонирование площадки проектируемой Чири-Юртской ГЭС. Выполнение работ по детальному сейсмическому районированию и сейсмическому микрорайонированию площадки проектируемой Чири-Юртской ГЭС: отчет о НИР/ЦГИ ВНИЦ РАН и РСО-А; рук. Заалишвили В.Б. – Владикавказ, 2012. – 301 с.
36. Шебалин Н.В. Очаги сильных землетрясений на территории СССР. – М.: Наука, 1974.
37. <http://www.ceme.gsras.ru/>, 2016.
38. Musson R. Probabilistic seismic hazard maps for the North Balkan region. 1999. *Annali di Geofisica*. – Vol. 42. №6. – Pp. 1109–1124.
39. Reasenber, P. and L.M. Jones (1989) Earthquake hazard after mainshock in California, *Science*, 243. – Pp. 1173–1176.
40. Zaalishvili V.B., Melkov D.A., Dzeranov B.V. Modern seismic hazard assessment methods (in example territory of Vladikavkaz-city) // *Proceedings of 14th European conference of earthquake engineering*. 30August – 03 September, Ohrid, republic Macedonia. – 2010. – 8 pp.
41. 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. – Т. 5. – Pp. 30–40.

## **ANALYSIS OF SEISMIC REGIME OF THE TEREK-CASPIAN DEPRESSION (TERRITORY OF CHECHEN AND INGUSH REPUBLICS) AND PROBLEM OF STRONG EARTHQUAKES PREDICTION**

© 2016 S.V. Badaev

Complex research institute the name of Kh.I. Ibragimov's of the Russian Academy of Sciences, 364051, Russia, Chechen Republic, Grozny, Staropromyslovskoe highway, 21 a, e-mail: kniiran@mail.ru

The work is devoted to the seismicity of Chechnya and Ingushetia territory. The literature references about research of Caucasus seismicity according to geological and geophysical data are analyzed. Spatio-temporal distribution of seismic activity areas for the period 1950–2015 is analyzed. The earthquake epicenter maps, seismic activity  $A_{10}$ , recurrence graph, the Benioff graph are constructed.

**Keywords:** earthquake, epicenter, recurrence graph, Benioff graph, seismic activity  $A_{10}$ .

УДК 528: 553.3

## ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА КОСМОСНИМКОВ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА НА ПЛОЩАДЯХ ВОСТОЧНОГО ДОНБАССА

© 2016 Д.Б. Давыденко, к.г.-м.н.

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

Преобразования спектрональных космических снимков с использованием технологии дистанционной флюидоиндексации (разработана ранее для прогнозирования нефти и газа) позволили установить в пределах площадей Восточного Донбасса наличие аномалий, аналогичных наблюдаемым над газовыми и нефтяными залежами. Результаты проведенных исследований, включающих детализацию аномалий флюидонасыщения, а также анализ геологоразведочной информации различных периодов, свидетельствуют о связи выявленных аномалий с повышенным углеводородонасыщением золоторудных объектов. Так как факт высокого содержания метана в составе газов рудных месторождений является общепризнанным, то выявленный оптико-геохимический эффект может быть использован для прогнозирования и поиска рудных объектов. Для площади развития рудных месторождений Нагольного кряжа приведено сопоставление результатов расчета индекса флюидонасыщения с пространственным расположением рудных объектов. Аналогичное сопоставление, но с результатами опробования разреза скважин, приведено для двух участков Восточного Донбасса.

**Ключевые слова:** дистанционное зондирование, математические преобразования спектрональных космоснимков, прогнозирование золотого оруденения, поиски руд.

### Введение

Площади Донбасса относятся к Донецкой металлогенической субпровинции [Государственная геологическая карта..., 2000], которая совпадает с площадями Донецкого складчатого сооружения – ДСС. Рудоносность здесь связана с тектономагматической активизацией ДСС (киммерийский этап). Рудовмещающими являются отложения среднекаменноугольного возраста. К настоящему времени в пределах этой субпровинции выявлено 6 крупных золоторудных и золотополиметаллических месторождений и проявлений (площади Украины). Они сосредоточены в Нагольчанском рудном узле, который приурочен к пересечению Ровенецкого поперечного поднятия с Главной антиклиналью ДСС (рис. 1). Поисковая изученность площадей Восточного Донбасса (Ростовская область) в отношении золотоносности слабая, так как до 1981 г. специализированных поисковых работ на золото здесь не проводилось. Только после обнаружения на Керчикском участке прямых признаков золотого оруденения выполняемые в регионе общие поиски при ГДП-50 и ГГК-50 были переориентированы на поиски золота. По результатам геологоразведочных работ были выявлены многочисленные пункты минерализации и геохимические аномалии, что обеспечило возможность в начале двухтысячных годов наметить 6 перспективных площадей, заслуживающих постановки специализированных работ на золото. Всё это позволяло ожидать обнаружение в рассматриваемом регионе золо-

торудных месторождений, аналогичных месторождениям Украины, а может быть и с более значительными запасами металла [Матишов и др., 2011]. Специалистами ОАО «Южгеология» в описываемом регионе к 2010 г. было установлено несколько рудопроявлений золота (Керчикское, Чернореченское, Барило-Крепинское, Галутинское). Однако выявить промышленно значимые золоторудные месторождения не удалось. Уже после изучения намеченных первоначально 6 перспективных площадей еще дополнительно были выполнены исследования на Северо-Кондаковском и Бургустинском участках. Но и здесь месторождения не удалось обнаружить. Одной из возможных причин этого является значительно меньшая обнаженность коренных пород в Восточном Донбассе по сравнению с Нагольным кряжем Украины. Кроме того, в пределах Нагольного кряжа рудовмещающие породы карбона более глубоко эродированы, чем это имеет место на площадях Восточного Донбасса. Поэтому не исключено также, что упомянутый отрицательный результат обусловлен фактическим отсутствием в поисковом комплексе геологоразведочной компании дистанционных технологий (в широком толковании этого понятия, включая и геофизику), обеспечивающих эффективное прогнозирование не только погребенных, но и слепых золоторудных объектов, что в значительной мере снижало возможности обнаружения месторождений золота в этом регионе.

В тот же период (конец 90-х и начало 2000-х годов) автор публикации занимался оценкой перспектив нефтегазоносности площадей Восточно-Европейской платформы, прилегающих к Восточному Донбассу (южный склона Воронежской антеклизы и Ростовский свод), используя для указанных целей спектрональные космические снимки. В 2003 г. была разработана технология математических преобразований цифровых космоснимков, первоначально [Давыденко, Финкельштейн, 2004; Давыденко, 2011а] названная ландшафтной фильтрацией, а позже [Давыденко, 2011б] переименованная в метод дистанционной флюидоиндексации (МДФ). Новая технология использует отличия спектра изображения нефтегазоносных площадей от изображения непродуктивных площадей, что и явилось основой для формирования МДФ [Давыденко, Финкельштейн, 2004; Давыденко, 2011а, б]. Физическими факторами, обуславливающими указанные различия спектров, являются преобразования надпродуктивной части разреза, возникающие в результате процесса миграции углеводородов (преимущественно метана) из залежи к земной поверхности, что в свою очередь способствует изменениям отражательной способности ландшафтов над залежами углеводородов. Возникновение подобного оптико-геохимического эффекта над месторождениями углеводородов (УВ) и обуславливает возможность прогнозирования по спектрональным космическим снимкам нефтегазоносных объектов.

В процессе анализа (с использованием МДФ) зон газонакопления нефтегазоперспективных регионов южного склона Воронежской антеклизы и Ростовского свода площади Восточного Донбасса, разделяющие эти два газоперспективных региона, не были исключены из общего анализируемого массива данных. По результатам проведенных исследований оказалось, что в пределах Донбасса (в том числе и «открытого») прослеживаются зоны оптических аномалий, аналогичные наблюдаемым над зонами газонакопления. Сопоставление с этими аномальными зонами имеющейся геологической информации позволило установить пространственное совпадение обнаруженных аномалий с рудоперспективными участками, выделяемыми на площадях Восточного Донбасса. Так как уже с начала прошлого века исследователями обращалось внимание на наличие в рудных месторождениях

значительного количества газов (с преобладанием в их составе метана) [Фридман, 1970], то несложно было сделать вывод, что обнаруженные аномальные зоны обусловлены крупными объектами метасоматоза и рудогенеза [Давыденко и др., 2014; Давыденко, Клещенков, 2015; Матишов и др., 2011; Невалённый, 2005]. Все вышеизложенное и послужило основанием для начала исследований по прогнозированию рудных объектов на площадях Восточного Донбасса с использованием математических преобразований спектрональных космоснимков по технологии МДФ.

Хотя автор публикации был достаточно знаком с монографией А.И. Фридмана [Фридман, 1970], посвященной природным газам рудных месторождений, факт отображения потенциально рудоносных участков в региональных аномалиях поля ИФЛ (индекс флюидонасыщения легкими углеводородами) [Парада и др., 2011] оказался неожиданным (предполагалось, что концентрации метана в рудничном воздухе недостаточны для формирования аномалий ИФЛ). Видимо, поэтому, не опробовав новую технологию на площади Нагольного кряжа с известными рудными месторождениями, были начаты расчеты ИФЛ и наземные газогеохимические исследования на площадях Восточного Донбасса [Давыденко и др., 2014; Давыденко, Клещенков, 2015; Парада и др., 2011]. По результатам проведенных здесь работ получено подтверждение эффективности новой технологии прогнозирования потенциально золоторудных объектов, а также подтверждение наземной атмогеохимией того факта, что аномалии ИФЛ позволяют обнаруживать аномальные потоки метана, сопровождаемые другими газами как глубинного (радон, водород), так и экзогенного (кислород, углекислый газ) генезиса. Очевидно, что в качестве следующего этапа необходимо накопление информации о соотношении выделяемых по МДФ аномалий с ранее установленными месторождениями и проявлениями полезных ископаемых в различных геолого-ландшафтных условиях. Для начала необходимо провести исследования с использованием МДФ на площади Нагольного кряжа в пределах которого ранее были выявлены рудные месторождения. Представленная публикация посвящена полученным при этом результатам, а также материалам еще по двум участкам Восточного Донбасса (расположение участков работ показано на рис. 1). Но прежде чем приступить к описанию этих результатов кратко изложим концепцию метода дистанционной флюидоиндексации.

Следует отдельно отметить, что автор публикации достаточно уверенно владеет методами, которые используются специалистами Института дистанционного прогноза руд [Серокуров, 2011]. Однако привлекаемые ими признаки фактически не связаны с процессами рудогенеза, что существенно снижает возможности эффективного прогнозирования специалистами названного института рудных объектов. Метод МДФ, обнаруживая оптические эффекты, возникающие в результате энергетического массопереноса непосредственно из самого рудного месторождения или же из канала, по которому к земной поверхности мигрировали рудные растворы, в целом, имеет перспективы широкого применения в дальнейшем.

## **1. Основные положения метода дистанционной флюидоиндексации**

Попытки использовать аэро-, а позже и космоснимки для поисков месторождений предпринимаются достаточно давно, и они описаны в многочисленных публикациях. Дешифрирование аэроснимков фактически полностью базировалось на визуальном анализе структуры изображения (так называемый геоиндикационный

метод [Аэрокосмические методы..., 2000]). Появление спектрозональных космоснимков в середине 70-х годов прошлого века способствовало поиску способов количественных преобразований получаемой многофакторной информации (интенсивность фототона каждой зоны спектра рассматривается как отдельный фактор). Основная проблема, препятствующая решению этой задачи, связана с тем, что изображение ландшафта на снимках в большом числе случаев выступает интенсивной помехой, маскирующей аномалии, связанные с искомыми геологическими объектами. Для гашения этих помех и надежного выделения аномалий от геологических объектов необходима технология преобразования данных космической съемки.

Основным фактором, определяющим возможность поиска залежей УВ и прогнозирования зон нефтегазоаккумуляции по материалам космических съемок является субвертикальная миграция из залежей углеводородных флюидов к земной поверхности. В результате указанного процесса происходит формирование в припочвенном слое аномальных содержаний метана, его гомологов, а также возникновение вторичных геохимических аномалий. Существование вертикальной миграции флюидов УВ из залежи и возможность использования указанных процессов в качестве «прямых» признаков нефтегазоносности недр впервые было доказано работами В. А. Соколова (Соколов, 1933). Последующие исследователи активно развивали это перспективное направление поисков. Вторичные литохимические, гидрохимические, минералогические, микробиологические, а также геофизические изменения в надпродуктивном интервале разреза объединяем под общим названием углеводородопродуцируемые аномалии (УВ-продуцируемые аномалии).

Одной из разновидностей УВ-продуцируемых аномалий (УВПА) являются характерные изменения отражательной способности растительности и почв над залежью УВ [Аэрокосмические методы..., 2000]. Хотя возникшие различия не воспринимаются человеческим глазом, они отображаются на спектрозональных космических снимках своеобразным сочетанием аномальных значений яркости изображения в определенных зонах спектра электромагнитных колебаний. Эта индикация УВПА аномальными значениями яркости и является физической предпосылкой поиска залежей УВ по спектрозональным космическим снимкам.

Задача гашения помех и относительного усиления сигнала является в МДФ первостепенной. В целом, принципиальная возможность ее решения обусловлена тем обстоятельством, что в соседних зонах спектра изображения природной компоненты ландшафта практически сохраняются, а основные изменения обусловлены воздействием УВ-продуцируемых аномалий, которые могут проявляться в соседних зонах с различным знаком. Поэтому первоначально метод именовался «ландшафтная фильтрация».

Основные вопросы преобразования спектрозональных снимков для определения индекса флюидонасыщения освещались в публикациях [Давыденко, Финкельштейн, 2004; Давыденко, 2011а; Давыденко, Клещенко, 2015]. С целью анализа используются космоснимки со спутника Ландсат 7. Комплект этих снимков для одного и того же участка местности, включающий изображения в семи различных спектральных зонах (для видимой области три зоны; инфракрасная область представлена четырьмя зонами) рассматривается как единая сцена. Технология МДФ реализована в среде ГИС-ИНТЕГРО. В результате проведенных исследований установлено, что зависимость (уравнение) для оценки индекса флюидонасыщения над месторождениями газа отличается от зависимости для месторождений нефти. С

использованием полученных уравнений на конечном этапе рассчитывается индекс флюидонасыщения легкими углеводородами, а также тяжелыми (ИФТ) и строятся карты аномалий этих параметров. При интерпретации локальных аномалий индекса флюидонасыщения прогнозируемые залежи УВ оконтуриваются в соответствии с критериями, используемыми в геофизике для выделения контуров объектов, с которыми связаны аномалии потенциальных полей.

## **2. Результаты использования метода дистанционной флюидоиндексации на площадях Нагольного кряжа**

Сведения о месторождениях Нагольного кряжа основываются на материалах статьи [Зеленщиков и др., 2001], а также информации приводимой специалистами «Южгеологии» в производственных отчетах (масштаб карты, используемой для привязки месторождений 1:500000). Нагольчанский рудный узел, в пределах которого сосредоточены все крупные рудные месторождения Украины, характеризуется широким развитием многочисленных точек минерализации золота, а также серебра и полиметаллов.

Золоторудное Бобриковское месторождение (рис. 1) открыто в 30-е годы. Приурочено оно к брахиантиклинальной складке в сводовой части Главной антиклинали Донбасса [Зеленщиков и др., 2001]. Месторождение представляет собой минерализованную зону, которая сложена кварц-сульфидными прожилками, жилами, вкрапленностью полисульфидного вещества. Эта зона прослеживается начиная с современной поверхности до глубины 3300 м и характеризуется сложной формой в поперечных сечениях при субвертикальном столбообразном залегании (морфологически аналогична линейному штокверку). Максимумы золотоносности в пределах штокверковой зоны связаны с сульфидно-кварцевыми жилами мощностью 0,5–1,2 м. Характерна выдержанность концентраций золота по падению зоны до глубин 1000 м.

В отличие от проводимых ранее исследований [Давыденко и др., 2014; Давыденко, Клещенко, 2015], на данной площади рассчитаны оба индекса флюидонасыщения (и для легких и для тяжелых УВ). Следует также подчеркнуть то обстоятельство, что описываемые материалы отличаются от представленных в публикациях [Давыденко и др., 2014; Давыденко, Клещенко, 2015] большей детальностью. Если в предшествующей работе выделяемые аномалии ИФЛ соответствовали рудным узлам, то в данном случае они соразмерны с группой сближенных рудных полей (соответствуют фрагменту рудного узла). Более детальные исследования в данном случае нецелесообразны, так как используемая точность привязки месторождений очень низкая.

Результаты расчетов ИФ представлены на рис. 1. Судя по полученным результатам расчетов ИФ, Бобриковское месторождение соответствует краевой градиентной зоне крупной аномалии ИФТ. К этой аномалии «тяжелых» УВ вплотную примыкают и с запада и с востока аномалии «легких» УВ. Дьяковское золоторудное проявление пространственно приурочено к краевой части весьма небольшой по площадным размерам аномалии ИФТ (можно подчеркнуть то обстоятельство, что небольшой аномалии соответствует рудопоявление, а с более крупной аномалией связано Бобриковское месторождение). Золотополиметаллическое Остробугорское месторождение приурочено к куполообразному (Остробугорскому) поднятию, что позволяет предполагать формирование его в пределах кольцевой структуры. Зо-

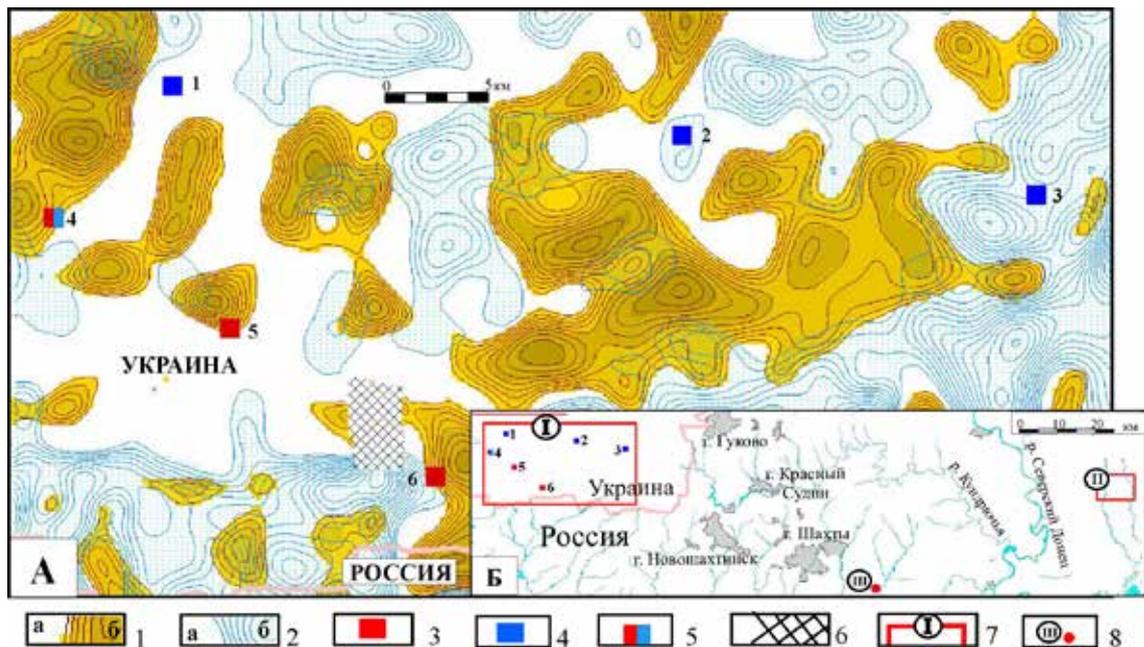


Рис. 1. А. Результаты преобразования спектрозональных космоснимков на площадях развития рудных месторождений Украинского Донбасса

1 – интенсивные аномалии (б – значения выше медианы, а – ниже медианы), полученные с использованием уравнения ИФТ – индекса флюидонасыщения тяжелыми углеводородами; 2 – изолинии аномалий, рассчитанные по уравнению ИФЛ – индекса флюидонасыщения легкими гомологами метана (значения: а – ниже, б – выше медианы); 3 – месторождения и крупные проявления с высокими концентрациями золота; 4 – полиметаллические месторождения и проявления; 5 – золото-полиметаллическое месторождение; 6 – участок снимка, закрытый облаком и его тенью. Наименование месторождений и крупных рудопроявлений: 1 – Есауловское, 2 – Михайловское проявление, 3 – Нагольно-Тарасовское, 4 – Острый Бугор, 5 – Дьяковское проявление, 6 – Бобриковское.

Б. Схема расположения участков, в пределах которых проведен анализ спектрозональных космоснимков с целью оценки возможности прогнозирования золотого оруденения на площадях Восточного Донбасса по результатам МДФ

7–8 участки и их номера (I – площадь с рудными месторождениями и крупными рудопроявлениями в пределах украинского Донбасса; II – Россошанский участок; III – Керчикский поисковый участок (вне масштаба).

литополиметаллическая жильно-прожилковая минерализация прослежена в нем с поверхности до глубин более 500 м. Судя по данным, приведенным на рис. 1 описываемое месторождение соответствует интенсивной аномалии ИФТ, с площадью которой на севере и юге частично совпадают аномалии ИФЛ. Все три золоторудные объекты располагаются в пределах единой брахиантиклинальной складки.

Есауловское и Нагольно-Тарасовское полиметаллические месторождения, а также Михайловское полиметаллическое рудопроявление – все они пространственно приурочены к единой брахисинклинальной складке (последняя субпараллельна брахиантиклинали с золоторудными объектами). При этом Нагольно-Тарасовское месторождение и Михайловское рудопроявление явно приурочены к аномалиям ИФЛ (примечательно то обстоятельство, что рудопроявление совпадает со слабоинтенсивной аномалией). Вполне вероятно, что Есауловское месторождение в случае более точной его привязки окажется в контуре аномалии ИФЛ, расположенное несколько северо-западнее этого месторождения.

Относительно природы аномалий ИФ, с которыми не совпадают известные месторождения и крупные рудопроявления, сделать конкретные выводы, не имея надежной геологогеофизической информации фактически невозможно. Упомянутая выше информация о широком развитии в пределах Нагольного кряжа точек золоторудной минерализации позволяет рассматривать возможность обнаружения «слепых» золоторудных тел.

То обстоятельство, что золоторудные объекты коррелируются с аномалиями ИФТ, а ранее [Давыденко и др., 2014] представлялось, что более информативными являются аномалии ИФЛ, обусловило необходимость проведения дополнительных исследований на ранее анализируемых площадях Керчикского рудопроявления золота и на Россошанском участке [Давыденко и др., 2014; Давыденко, Клещенков, 2015].

## **2. Результаты детальных расчетов по методу дистанционной флюидоиндексации на площадях Керчикского рудопроявления золота**

Керчикское рудопоявление является наиболее изученным золоторудным объектом на площадях Восточного Донбасса. Выявлено оно в 1981 г. в процессе геолого-съёмочных работ. По минеральному составу руды относятся к золото-сульфидно-кварцевой (малосульфидной) формации [Государственная геологическая карта..., 2000; Зеленщиков и др., 2001; Невалённый, 2005]. Залегают они среди слабодислоцированных карбонатно-терригенных отложений каменной свиты среднего карбона. Проведенные в последствии (1990 г.) поисковые работы, а затем и переинтерпретация материалов с участием сотрудников ЦНИГРИ, позволили подсчитать прогнозные ресурсы по категории  $P_1$  золота и серебра. Результаты последующих поисковых работ показали возможность отнесения его в ходе дальнейших геологоразведочных работ к золоторудным месторождениям среднего масштаба. Кроме того, необходимо отметить, что запасы руд на флангах и на глубине могут значительно превышать установленные в пределах изученной площади [Государственная геологическая карта..., 2000; Зеленщиков и др., 2001; Невалённый, 2005].

Так же как в случае Нагольчанского рудного узла, который находится на поперечном Ровенецком поднятии, Керчикское рудопоявление расположено на куполовидной складке, вытянутой в субмеридиональном направлении и связанной с осложнением северного крыла Южной антиклинали в зоне Керчикского поперечного поднятия. Структурно-тектонические факторы рассматриваются специалистами «Южгеологии» как определяющие локализацию золотого оруденения [Государственная геологическая карта..., 2000; Невалённый, 2005]. Значительное внимание ими уделяется гидротермально-метасоматическому фактору. В работе [Зеленщиков и др., 2001] высказывается мнение, что золоторудная минерализация в отложениях нижнего – среднего карбона обусловлена участием в рудогенезе гидротермальных растворов метаморфогенного происхождения. Согласно этим представлениям процессы регенерации, сопровождающиеся перераспределением рудообразующих компонентов углеродистой толщи карбона и привносом рудогенных элементов из глубоко залегающих докаменноугольных комплексов дали начало формированию всех типов руд в рассматриваемом регионе. Приведенное мнение является скорее дискуссионным, чем фактически обоснованным.

Роль фактора магматизма в локализации золотого оруденения производственными практически не определена. Участок Керчикского рудопоявления распо-

ложен в пределах крупной по площади положительной аномалии (рис. 2), геологическая природа которой производственными фактически не рассматривается. Выходы магматитов несветаевского комплекса на поверхности каменноугольной толщ (на площади рудного поля карбон перекрыт мезокайнозойскими отложениями мощностью 40 м и более) представлены маломощными дайками и жильными телами. По данным детальной гравиразведки можно ожидать на глубине крупное тело основных пород штокообразной формы, что могло бы объяснять возникновение этой крупной по площади положительной магнитной аномалии. Однако, минимум, оконтуривающий последнюю, плохо согласуется с наличием крутопадающего штока на глубине. Возможно, определенная часть магнитной аномалии обусловлена метасоматитами в верхней части разреза рудно-магматической системы, но магнитные свойства рудовмещающих пород и самих рудных образований остались не изученными. Обращает на себя внимание наличие дугообразных элементов в структуре магнитного поля (особенно хорошо они прослеживаются после вычитания аномального поля, обусловленного глубинной частью рудо-магматической системы). Скорее всего, в данном случае имеем дело с крупным по площадным размерам, эродированным палеовулканическим аппаратом, каналами которого воспользовались рудоносные растворы. Метаморфогенный генезис последних (как это рассматривается специалистами «Южгеологии» [Давыденко, Клещенков, 2015]) представляется менее вероятным.

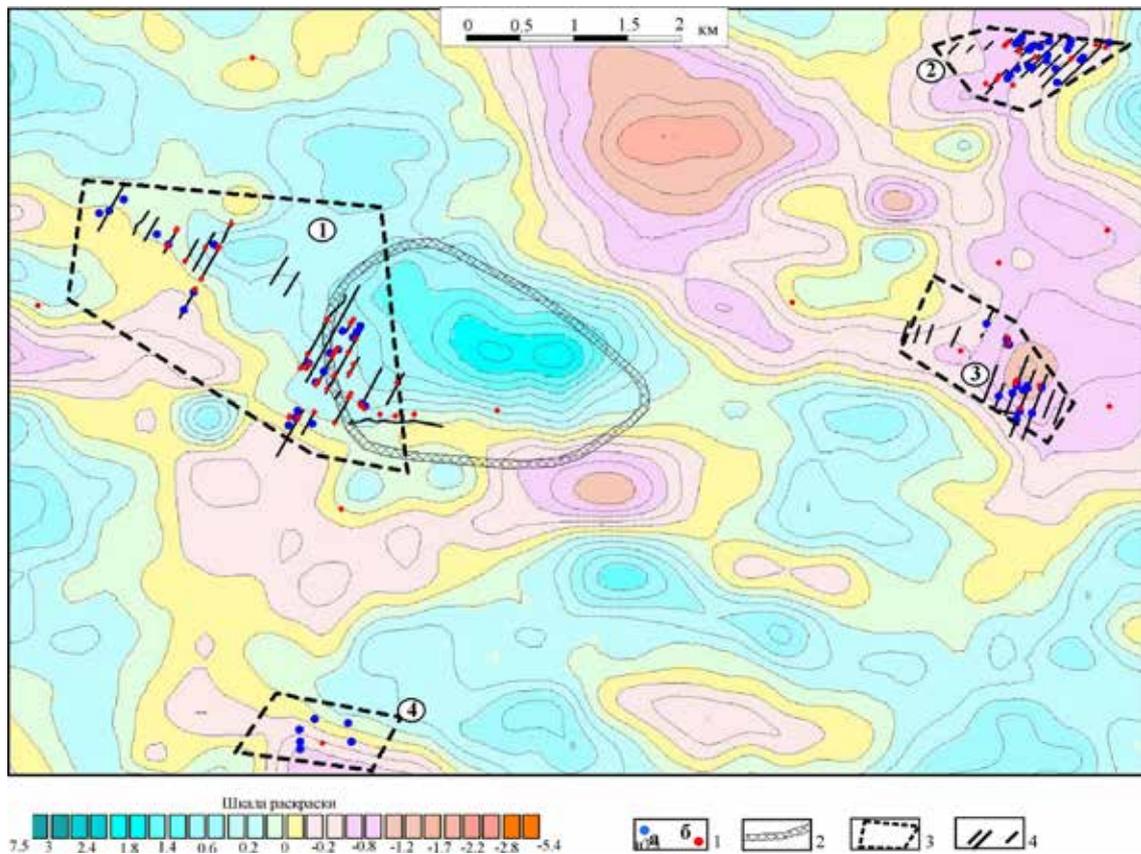


Рис. 2. Карта изолиний локальных аномалий магнитного поля для района Керчического рудопроявления (по результатам аэромагнитной съемки масштаба 1:25 000)  
Зеленый прямоугольник в северной части положительной аномалии – площадь Керчического рудопроявления

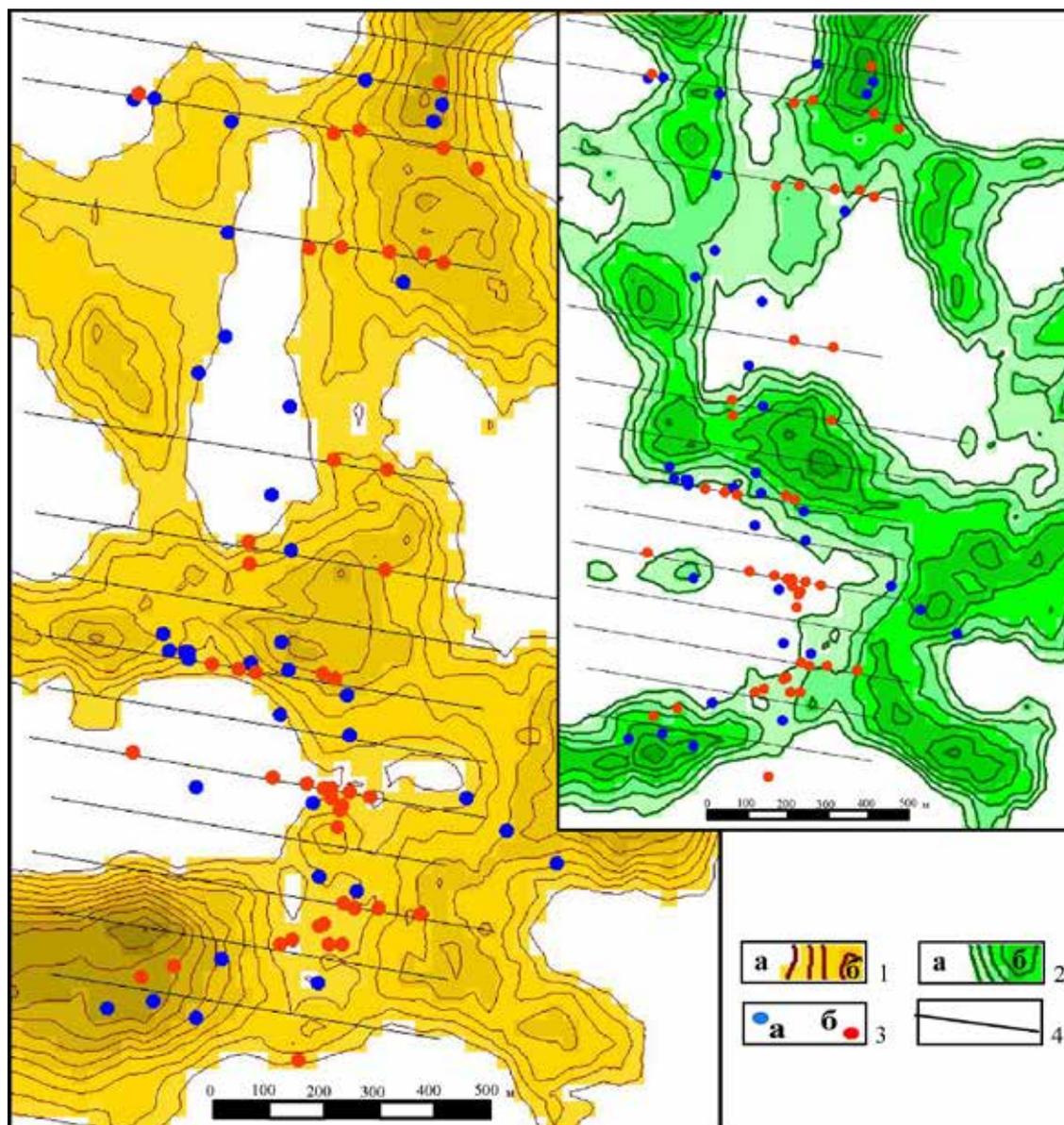


Рис. 3. Схематические карты изолиний индекса флюидонасыщения на площади Керчикского рудопроявления

1, 2 – изолинии аномалий индекса флюидонасыщения: 1 – ИФТ, 2 – ИФЛ (а – ниже медианных значений, б – выше медианных); 3 – точки скважин (а – золоторудная минерализация не встречена, б – вскрыты золоторудные тела); 4 – профили, вдоль которых пробурены картировочные скважины

Аномалии ИФЛ и ИФТ рассчитаны для площади Керчикского рудопроявления по сети 30x30 м. Полученные результаты представлены на рис. 3. Судя по этим данным большая часть скважин, вскрывшая золоторудные образования, соответствует аномальным зонам ИФ. Наиболее информативными являются аномалии ИФТ. Обращает на себя внимание то обстоятельство, что скважинами в основном изучены краевые части аномалий ИФ. Вовсе не исключено, что бурение и опробование эпикентральных частей аномалий ИФТ позволит обнаружить более богатые рудные тела с высокими концентрациями золота. Кроме того, практически не изученными остались аномалии на флангах рудопроявления.

### 3. Результаты детальных расчетов индексов флюидонасыщения на Северо-Кондаковской площади

Описываемая площадь расположена в северно-восточной части Восточного Донбасса. В геологическом отношении описываемый район характеризуется повсеместным развитием каменноугольных отложений, смятых в складки различных порядков. Обнаженность коренных пород слабая. В основном они перекрыты маломощным чехлом мезо-кайнозойских отложений. Мощность перекрывающих осадков колеблется от нулевых в местах выхода на поверхность пород каменноугольного возраста (тальвеги и крутые склоны балок) до первых десятков метров на водоразделах. Поисковые работы на золото здесь были проведены сотрудниками «Южгеологии» в 2010–2012 г. На первом этапе поисков исполнителями по результатам работ предшественников были выбраны участки прогнозируемого развития золотоносных минерализованных зон, на которых в дальнейшем предусматривалось сосредоточить поисковые работы. Всего для детализационных работ было выбрано 5 участков. На ниже представленных рисунках показаны только 4 из них (пятый участок не попадает в пределы площади исследований с использованием технологии МДФ).

Выявление геохимических аномальных зон в пределах участков детализационных работ и оконтуривание в их пределах потенциально золотоносных минерализованных зон осуществлялось бурением литохимических скважин (шнековое бурение 1 – 25 м). Распределение литохимических профилей зависело от геологической ситуации и конкретных условий проведения работ. Для надежного оконтуривания продуктивной зоны по падению, уточнения подсчетных параметров, а также определения степени однородности рудной минерализации проводилось бурение поисковых скважин (глубины до 300 м).

В результате геологоразведочных работ установлено (Радаева, 2012), что в дизъюнктивных зонах тектонически переработанные породы подвержены гидротермально-метасоматическим преобразованиям. Последние сопровождались формированием многочисленных кварцевых прожилков и жил несущих большей частью сульфидную минерализацию (подобные образования морфологически близки к рассредоточенным штокверкам). В выявленных фрагментах минерализованных зон локализуется рассредоточенная прожилковая и прожилково-вкрапленная золото-кварц-сульфидная минерализация. Падение этих зон крутое, мощность их до 100 и более метров, а протяженность колеблется от 600 м до 2500 м. Выявленная золото-кварц-сульфидная минерализация прослежена бурением до глубин 180–200 м. Результаты аналитических исследований показывают значительный разброс содержаний золота: от сотых г/т до граммовых (максимум 11,14 г/т). Такая особенность золоторудной минерализации свойственна золоторудным проявлениям Восточного Донбасса.

Выполненные поисковые работы на площадях 5 участков показали, что подсчет ресурсов возможно осуществить только на 3 из них: Трофимовском, Удодова и Чумакова. Используя отчетные данные по подсчету прогнозных ресурсов для Северо-Кондаковской площади, нами для каждого из этих участков в отдельности рассчитан процент прогнозных ресурсов от суммарных ресурсов по всем трем участкам. В результате для площади Трофимовского участка рассчитанные прогнозные ресурсы по  $P_1$  составили 61,2% (70,6% по  $P_2$ ), для Удодовского, соответственно, 18,4% и 20,7%, а для Чумаковского 20,4% и 8,7%. То есть, наиболее значимыми являются

ресурсы Трофимовского участка, а для двух остальных значения ресурсов разнятся на величину ошибки. В контуре минерализованных зон Трофимовского участка выделены фрагменты рудных зон, которые по своим параметрам и интенсивности минерализации представляют потенциальные рудные тела (Радаева, 2012).

В 2011 г. для этих же площадей сотрудниками Института аридных зон ЮНЦ РАН были проведены расчеты ИФЛ (индекса флюидонасыщения легкими углеводородами – метаном), а также выполнены в небольшом объеме маршрутные геологические и газогеохимические исследования [Давыденко и др., 2014]. По результатам этих работ отмечена приуроченность метасоматически преобразованных пород карбона, представленных преимущественно джаспероидами, к аномалиям

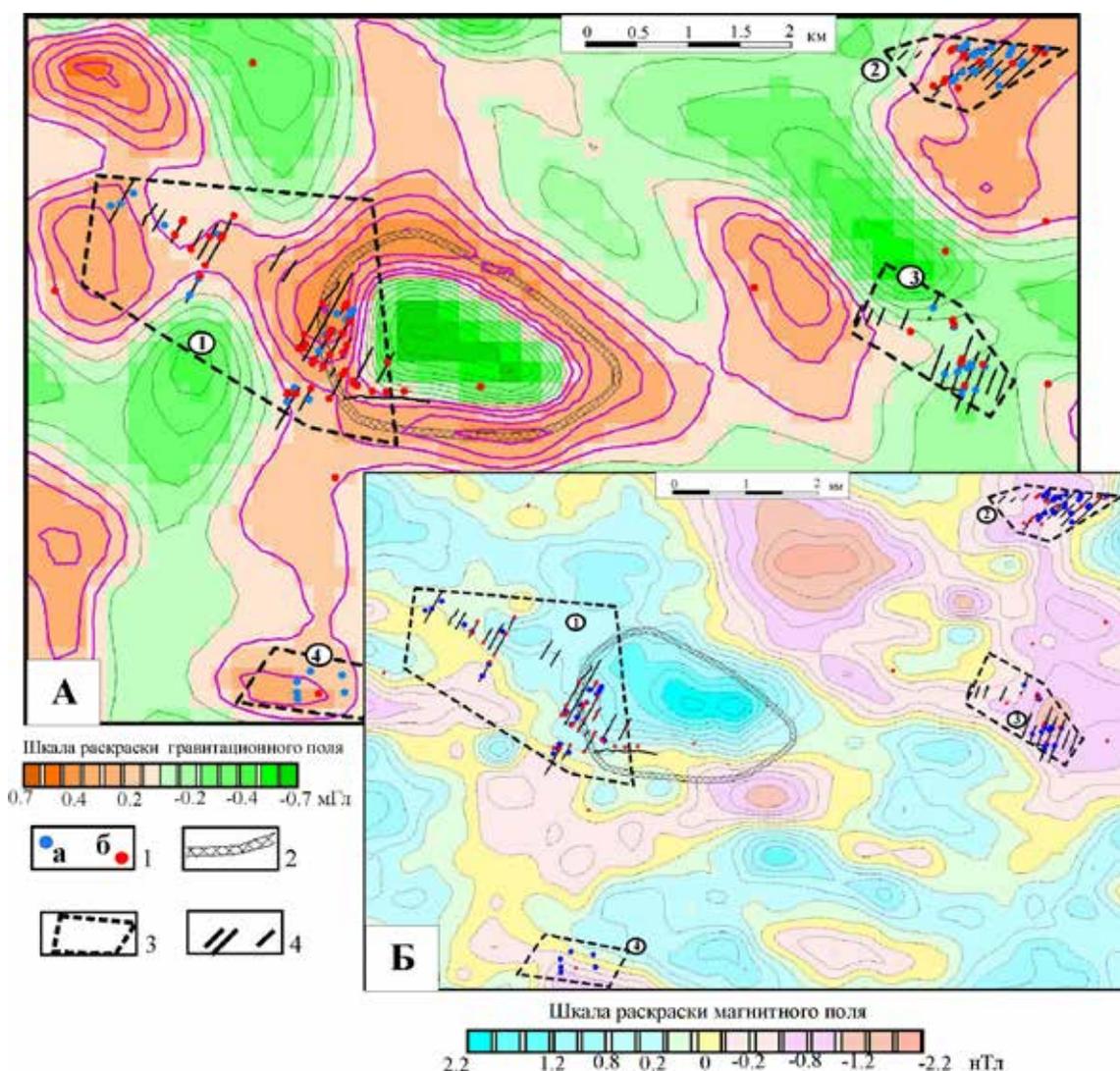


Рис. 4. Схематические карты потенциальных полей для Северо-Кондаковской площади (А – изолинии локальных аномалий поля  $I_g$  в редукции Буге по результатам гравиметрической съемки масштаба 1: 50000, Б – изолинии локальных аномалий поля  $I_{Ta}$  по результатам аэромагнитной съемки масштаба 1:25000)

1 – точки поисковых скважин, пробуренных специалистами (а – с отрицательным результатом, б – золоторудная минерализация вскрыта); 2 – осевая зона положительной аномалии  $I_g$  кольцеобразной формы 3 – поисковые участки «Южгеологии» в пределах Северо-Кондаковской площади (1 – Трофимовский, 2 – Удодовский, 3 – Чумаковский, 4 – Каменно-Бродский); 4 – профили шнекового бурения и отбора проб с поверхности карбона для геохимических анализов

ИФЛ. Указанный фактор позволяет оптимизировать выбор площадей для постановки поисков слепого оруденения и рудных тел, перекрытых рыхлыми образованиями. Однако, специалистам «Южгеологии» не представилось целесообразным сотрудничать с работниками Института аридных зон по вопросам прогнозирования оруденения.

Следует отметить, что на начальном этапе геологоразведочных работ по поискам золоторудных объектов геологической службой «Южгеологии» предпринимались попытки использования геофизических методов (площадь Керчикского рудопроявления) для изучения геологического строения и решения поисковых задач. Однако, в силу различных причин, в начале 90-х годов использование этого направления исследований было сведено до минимума. На Северо-Кондаковской площади данные о гравитационном и магнитном полях фактически не анализировались. Электроразведочные работы были начаты, но затем прекращены до их завершения. Автором публикации, используя результаты гравиметрической съемки масштаба 1:50 000 и аэромагнитной съемки масштаба 1:25 000, в последующие периоды составлены карты локальных (остаточных) аномалий для основной части Северо-Кондаковской площади (рис. 4), также выполнены детальные расчеты ИФЛ, ИФТ и составлены соответствующие карты изолиний на эту же территорию (рис. 5).

На рисунке 4 с изолиниями локальных аномалий поля  $1g$  совмещены основные результаты опосредованного поиска площади, полученные по геологоразведочным работам на четырех участках детализации. Основное внимание на карте гравитационного поля привлекает положительная аномалия (более 0,3 мГл) кольцеобразной формы (центральная часть площади). При этом пониженным значениям (менее – 0,5) локального поля силы тяжести (внутри кольца) соответствует положительная локальная аномалия магнитного поля (2 нТл, что вполне обеспечено технической точностью аэромагнитометра, равной 0,1 нТл). Очевидно, не случайным является совпадение с западным эпицентром этой магнитной аномалии четкого максимума ИФТ. Аномалии ИФЛ располагаются или в краевой части этой кольцевой аномалии или за ее пределами. Следует отметить, что по данным геологоразведочных работ зона оруденения № 1 (самые высокие концентрации золота) выявлена как раз в пределах площади, где совпадают повышенные значения ИФЛ, ИФТ,  $1g$  и  $1T_a$ . Насколько совпадение аномалий всех четырех параметров является необходимым критерием для обнаружения богатого оруденения золота пока остается неясным. Но если анализировать информацию по всем четырем участкам детализации в пределах Северо-Кондаковской площади, то можно предположить, что отмеченный критерий может оказаться достаточно важным при оценке перспектив прогнозируемых площадей.

Остается неясным вопрос о геологической природе локальной аномалии гравитационного поля кольцеобразной формы. В западной части ее в пределах положительных значений широкое распространение имеют метасоматически измененные породы. Здесь выявлено по данным маршрутных работ сотрудников ИАЗ (Института аридных земель) небольшое жильное тело высококалийевых риолитов, аналогичных встреченным на окраине п. Трофимов и описанным в работе [Давыденко и др., 2014]. Наиболее вероятным представляется, что в данном случае выявлен эродированный канал поступления на палеоповерхность газово-жидкостных флюидов типа гейзера. Разумеется, для конкретизации геологической природы этого объекта требуются специализированные исследования.

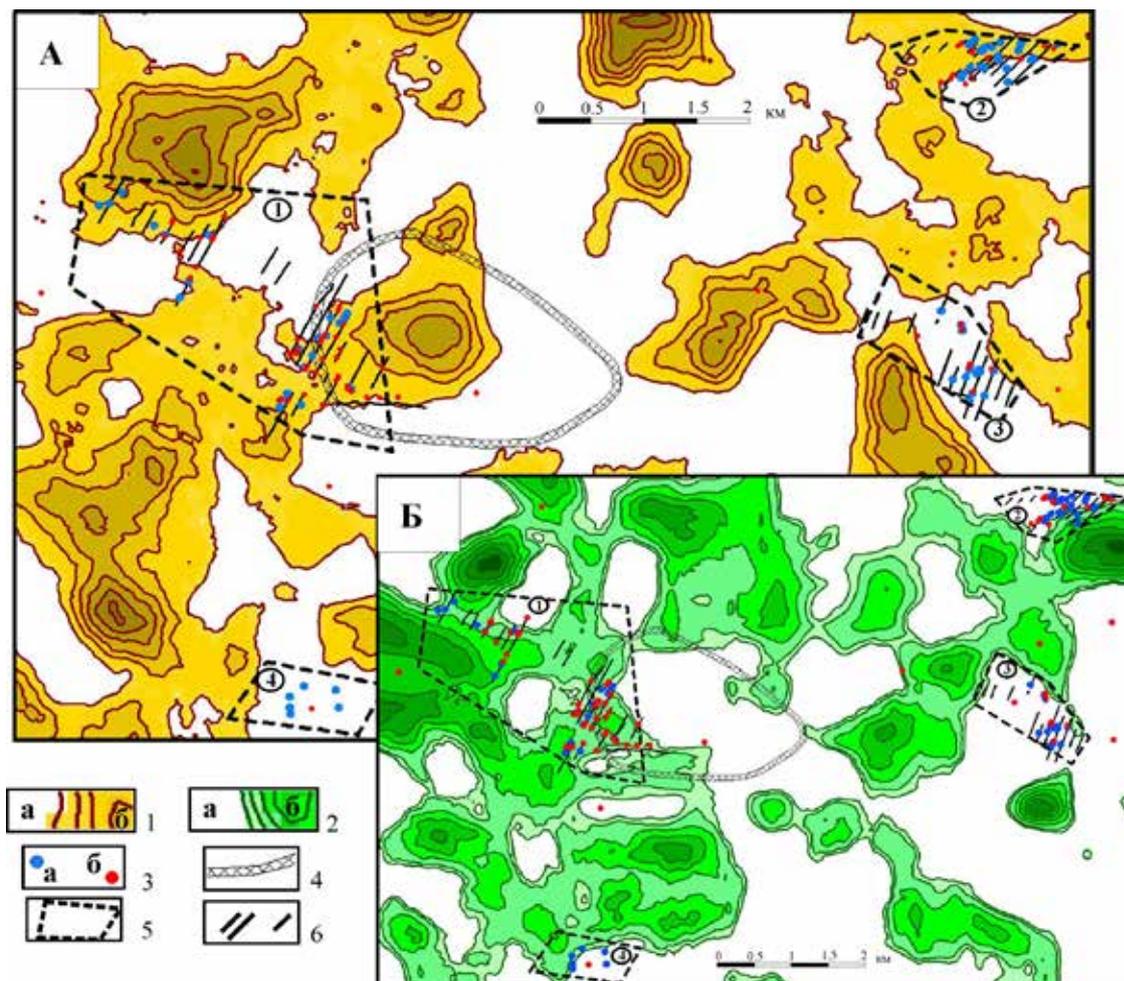


Рис. 5. Схематическая карта изолиний индекса флюидонасыщения для Северо-Кондаковской площади

1, 2 – Изолинии аномалий индекса флюидонасыщения: 1 – ИФТ, 2 – ИФЛ (а – ниже медианных значений, б – выше медианных); 3–6 – смотри пункты 1–4 рис. 4

## Заключение

Проведенные исследования позволяют утверждать, что для площадей Восточного Донбасса информативным признаком наличия золоторудных объектов на изучаемой площади могут служить не только аномалии ИФЛ (как это предполагалось ранее), но и аномалии ИФТ (индекса флюидонасыщения тяжелыми УВ). Причинами подобной связи может служить превращение метана в более тяжелые гомологи под воздействием рудных элементов (в качестве катализаторов), присутствующих в составе золоторудной минерализации. Возможен также вариант, что и залежи нефти, и рудные тела обуславливают возникновение температурных аномалий, которые способствуют возникновению однотипного оптико-спектрального эффекта, обнаруживаемого с помощью уравнений ИФТ. Дальнейшее накопление информации видимо позволит получить более определенные объяснения наблюдаемым явлениям. При этом отметим целесообразность рассчитывать в ходе исследований по прогнозированию золото-полиметаллического оруденения оба параметра (ИФЛ, ИФТ). Тем более, что в других геологических условиях значимость индексов может измениться.

Последовательное накопление геологоразведочной информации (прежде всего геофизической) по площадям Восточного Донбасса все в большей мере ставит под сомнение используемую специалистами «Южгеологии» концепцию об основных факторах рудогенеза в регионе. Согласно этим представлениям формирование здесь всех типов руд является результатом процессов регенерации, которые сопровождалась перераспределением рудообразующих компонент углеродистой толщи карбона и привнесом рудогенных элементов из докаменноугольных комплексов. Металлогеническое районирование площадей и выбор участков, перспективных на обнаружение золоторудной минерализации (с высокими содержаниями металла) основывается именно на этих представлениях. Однако анализ геофизических данных позволяет отметить, что более существенная роль принадлежит факторам вулканоплутонической деятельности на площадях Восточного Донбасса.

Полученные материалы позволяют предположить высокую эффективность прогнозирования месторождений золота на основе математической процедуры районирования (кластер-анализа) анализируемых площадей с использованием параметров ИФЛ, ИФТ,  $I_g$  и  $I_Ta$  в качестве признакового пространства.

### Литература

1. Аэрокосмические методы геологических исследований / Под ред. А.В. Перцова – СПб.: Изд-во СПб картфабрики ВСЕГЕИ, 2000. – 316 с.
2. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200000. Изд. 2-е. Серия Донецкая. Лист L-37-V (г. Шахты). Объяснительная записка – М., 2000. – 183 с.
3. Давыденко Д.Б., Финкельштейн М.Я. Прогнозирование нефтегазоносности по многоспектральным космоснимкам в среде ГИС ИНТЕГРО/Геоинформатика – 2004. № 1. – С. 41–49.
4. Давыденко Д.Б. Раздельное прогнозирование зональности нефтегазоаккумуляции методом дистанционной флюидоиндексации // Доклады Академии Наук. – 2011а. – Том 438, № 1. – С. 70–75.
5. Давыденко Д.Б. Новая нефтеперспективная область на южном склоне Воронежской антеклизы // Доклады Академии Наук. – 2011. – Том 439, № 2. – С. 221–225.
6. Давыденко Д.Б., Давыденко Е.Д., Исаев В.С., Клещенко 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.
7. Давыденко Д.Б., Клещенко А.В. Отображение объектов рудогенеза по результатам дистанционной флюидоиндексации // Отечественная геология. – 2015. – № 2. – С. 28–42.
8. 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.
9. 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.
10. Невалённый Ю.В. Ресурсы металлических полезных ископаемых // Проблемы и перспективы комплексного освоения минеральных ресурсов Восточного Донбасса. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2005. – С. 71–84.

11. 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.

12. Серокуров Ю.Н. Дистанционный прогноз руд в России – проблемы и перспективы // Отечественная геология. – 2011. – №4. – С. 3–10.

13. Фридман А.И. Природные газы рудных месторождений. М.: Недра, 1970. – 192 с.

## POSSIBILITIES OF USING MATHEMATICAL ANALYSIS OF SPACE IMAGES AT PREDICTION OF DEPOSITS OF GOLD AT THE AREAS OF EASTERN DONBAS

© 2016 D.B. Davydenko, Ph.D., Sc. Cand. (Geol.-Min.)

The Institute of Arid Zones, Southern scientific centre, RAS, Russia, 344006, Rostov-on-Don, Chekhov Ave., 41; e-mail: davyd@ssc-ras.ru

Transformation of spectrum-zonal space images with use of the technology of remote fluid-indexation (developed earlier for oil and gas forecasting) allowed to determine, in the limits of Eastern Donbas areas, existence of anomalies, analogous to that observed above gas deposits. The results of carried out research, including elaboration of fluid-saturation anomalies, and also analysis of geological-prospecting information of different periods, testify about connection of revealed anomalies with increased hydrocarbon-saturation of golden ore objects. So far as the fact of raised content of methane in the gases of ore deposits is generally accepted, the revealed optical-geochemical effect can be used for forecasting and search of ore objects. For the area of extension of ore deposits of the Nagolny Ridge, the comparison of results of the fluid-saturation index calculation with spatial distribution of the ore objects is adduced. An analogous comparison, but with use of sampling results of the boreholes cross-section, is adduced for the two plots of Eastern Donbas.

**Keywords:** remote sounding, mathematical transformations of spectrum-zonal space images, forecasting of golden mineralization, ore search.

УДК 334.02:378: (624.131.31:550.34+699.841)

## ПОЛИТИКА В СФЕРЕ ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ КАК ИНСТРУМЕНТ МОДЕРНИЗАЦИИ ОБЩЕСТВА (НА ПРИМЕРЕ ИНЖЕНЕРНОЙ СЕЙСМОЛОГИИ И СЕЙСМОСТОЙКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА)

© 2016 Н.Н. Денисенкова<sup>1</sup>, к.полит.н., Г.А. Джинчвелашвили<sup>2</sup>, д.т.н., проф.

<sup>1</sup>) Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, Россия, 117997, Москва, Стремянный переулок, 36, e-mail:natalya652008@yandex.ru;

<sup>2</sup>) Московский государственный строительный университет, Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, e-mail: guram2004@yandex.ru

В статье проанализированы некоторые аспекты образовательной политики государства. Показано, что существующая в России система государственного управления образовательным процессом и научными исследованиями устарела и не отвечает современным вызовам и потребностям. Она не позволяет провести реформу образовательной сферы и обеспечить инновационное развитие науки и образования в обществе. На примере подготовки кадров для строительной отрасли, показано, что для достижения намеченных целей в соответствии с нынешним политическим курсом, необходимо перейти к иной модели воздействия на образовательную систему в России – к государственному регулированию развития образования и научных исследований в области геофизики, инженерной сейсмологии и сейсмостойкого строительства.

**Ключевые слова:** политика в сфере образования, модернизация общества, сейсмические воздействия, инженерная сейсмология, нормативные документы, сейсмостойкое строительство, Строительные нормы и правила (СНиП).

В настоящее время отмечается повсеместное возрастание степени влияния образования и научных исследований на развитие государства, общества и цивилизации в целом. Общеизвестно, что решающим условием развития экономики и общества в целом, является наращивание объемов и повышение качества знаний, развитие и реализация «человеческого капитала». Достижения в сфере образования являются основой социальных и научно-технических преобразований человечества.

Стремительное вхождение России в мировой рынок вызвало множество практических и теоретических проблем в различных сферах общественной жизни страны, в том числе и в системе образования. Интеграция России в систему мирового сообщества обусловила необходимость совершенствования системы образования, которое является существенной составляющей общественной политики государства.

В настоящее время политический курс инновационного развития экономики в Российской Федерации, проводимый государством, направлен на поиск оптимальной модели влияния власти на образовательный процесс. Властные структуры нашей страны рассматривают образовательный процесс в качестве инструмента всеобъемлющей модернизации государства, следовательно, реформирование образовательной сферы, и в частности, фундаментальной науки, должно стать залогом устойчивого социально-экономического развития страны, ее перехода от сырьевой модели экономического роста к экономике, опирающейся на развитие современных

отраслей, производство и использование новых технологий. В то же время идет поиск и осмысление места и роли образования в политике российского государства.

Качественное образование необходимо для совершенствования государственного механизма, которое является одним из условий подлинной демократизации общества. Можно согласиться с выводами исследователей [Россия и мир..., 2011; Тренды..., 2012] о том, что высшее образование становится той сферой, в которой фокусируются наиболее важные и сложные социально-экономические и политические проблемы современности и которая во многом определяет тренды глобального политического развития.

Однако, процесс модернизации общества объективно вызвал противоречия между новыми социально-экономическими, политическими, иными условиями жизнедеятельности страны и сохраняющимися остатками прежней коррупционно-бюрократической системы. Одна из причин недостаточно эффективного их разрешения – отсутствие квалифицированных кадров новой формации, особенно высшего управленческого звена, включая политическую элиту страны.

Важность модернизации отечественного образования и науки определяется необходимостью изменения приоритетов государственной образовательной политики России, разработки механизмов реализации основных направлений модернизационного развития образования на обозримую перспективу. Следует признать, что наше образование выглядит весьма архаично, несмотря на декларации о высоком уровне российского образовательного статуса. Власть постепенно отказывается от ряда своих гарантий и полномочий, сужает долю федеральной ответственности, делегируя ее на уровень субъектов Федерации и местного самоуправления, бюджетное финансирование науки и образования сокращается.

Скорее всего, отсутствие у существующей политической элиты России понимания, как необходимо влиять на образовательный процесс, в целях эффективного развития государства, общества и гражданина, и порождает противоречия в отношениях между властью и социумом. В этой связи особой значимостью обладает представление проблемы модернизации образовательной системы в массовом сознании: существует ли минимальный уровень доверия в обществе и согласия на проведение модернизационных мероприятий, достаточно ли легитимны общественные и политические силы, обладающие политико-экономическим ресурсом для проведения реформы образовательной сферы. Поэтому осуществление модернизации образования в обществе становится проблемным, грозит огромными издержками, в том числе и обострением противоречий в политико-общественных отношениях.

Многочисленные дилеммы, стоящие сегодня перед многими странами, похоже, приобретают все более общий характер. К их числу относится стремление найти равновесие между местным и международным участием в научных исследованиях, между фундаментальными и прикладными исследованиями, между генерацией новых знаний и производством знаний, пользующихся спросом на рынке, между наукой в интересах общественного блага и наукой как движущей силой коммерческой деятельности [Доклад..., 2015].

Сегодня нацеленность государства на модернизацию образования – это стремление сделать образование важнейшим ресурсом личностного, общественного и государственного развития, ресурсом реализации таких важнейших для граждан, общества и государства ценностных ориентиров как свобода, благосостояние и безопасность.

Возрастает актуальность интеграции России в складывающийся мировой образовательный рынок. Этот рынок является высококонкурентным, поскольку образование все больше становится способом продвижения страны на мировом рынке труда и международном рынке новейших технологий, постепенно превращается в один из ведущих элементов геополитики и экономической стратегии государств в целях завоевания новых рынков.

Вхождение России в Болонский процесс предоставляет новые возможности для продвижения российского образования на международной арене. Демографический спад, который характерен не только для России, но и для Западной Европы, приведет уже в ближайшей перспективе к острой конкуренции на международном и национальном уровнях за студентов высших учебных заведений. Инструментами в этой борьбе будут эффективность государственного регулирования образовательным процессом, качество высшего образования, гибкость образовательных программ, возможность для студента войти в международные сети непрерывного образования, повысить свою конкурентоспособность на рынке труда.

Следует понимать, что интеграция российского образования в мировой образовательный рынок будет в целом способствовать повышению качества, доступности, эффективности образования, его непрерывному и инновационному характеру, росту социальной мобильности и активности молодежи. Включенность российского студенчества в различные образовательные среды делает систему образования важным политическим фактором, обеспечивающим развитие экономики, рост благосостояния граждан, укрепление государственности и национальной безопасности России. Такого рода трансформации, требуют пересмотра роли и функций политической элиты и государственных органов в организации образования и научных исследований. Вместе с тем, одна из самых глубоких проблем, возникающих при взаимодействии власти и образования, заключается в том, что сейчас функции властных полномочий в образовании и науке рассматриваются зачастую сугубо в финансовом или законодательном ключе. Между тем предназначение государственной власти в сфере образования, и в частности, фундаментальной науке, значительно больше, следовательно, и круг её функций должен быть существенно шире.

В качестве примера можно рассмотреть особенности развития строительной отрасли. Очевидно, не найдется другой такой социально-ориентированной отрасли как строительная индустрия, неразрывно связанная с проблемами подготовки кадров (в том числе в смежных специальностях), механизмами финансирования (ипотечное кредитование, страхование), предупреждением и ликвидацией ЧС природного и техногенного характера (сейсмические и другие риски).

Здесь в сфере подготовки кадров отчетливо проявляются как минимум две проблемы, требующие государственного регулирования:

- 1) Не налажена подготовка высококвалифицированных кадров во взаимосвязанных областях геофизики, инженерной сейсмологии и сейсмостойкого строительства.
- 2) Проблема создания и актуализации соответствующей нормативной базы.

Около четверти территории нашей страны расположено в сейсмических районах. При этом на антисейсмические мероприятия ежегодно выделяются значительные средства. Решения о степени антисейсмического усиления базируются на расчетах сейсмостойкости сооружений по спектральной теории, регламентированной нормами [СНиП II-7-81\*, 2003; СП 14.13330.2014, 2014].

Однако запроектированные по действующим нормам здания и сооружения не обеспечивают требуемого уровня сейсмостойкости при сильных землетрясениях. Об этом в частности свидетельствуют результаты макросейсмического и инженерного анализа последствий сильных и разрушительных землетрясений.

В период существования бывшего СССР в союзных и республиканских институтах имелись серьёзные разработки по теории и практическим задачам сейсмологии и сейсмостойкого строительства. Однако в результате перестройки и разрушения страны связи были нарушены и научный потенциал, оценивая достижения по крупному, в настоящее время утерян [Харитонов, 2013].

С переходом на болонскую систему, в строительных вузах страны, несмотря на наличие отличных учебно-методических материалов [Амосов, Синицин, 2010; Заалишвили, 2009а; Зылёв, 1999; Мкртычев, Джинчвелашвили, 2012; Назаров, 2010а; Немчинов, 2008; Отдельные вопросы..., 2014; Тяпин, 2013; Хачиян, 2008; Чернов, 2001; Datta, 2010; Chopra, 1995; Clough, Penzien, 1995; Verruijt, 2008; Wolf, 1985]., фактически перестали готовить специалистов по сейсмостойкому строительству.

При этом в образовательной программе отсутствует такой важный раздел геофизики как инженерная сейсмология [Гогмачадзе, 2015; Заалишвили, 2009б, 2014; Заалишвили, Даниели, 2014; Заалишвили, Кранцфельд, 2014; Медведев, 1962; Назаров, 2010б; Напетваридзе, 1973; Хачиян, 2008; Hays, 1989 и др.].

В результате выше изложенного выпускаемые специалисты сталкиваются с формальным соблюдением норм при проектировании в сейсмических районах, без ясного понимания самой физической сути происходящих сейсмических процессов [Заалишвили, 2000].

За последние 25–30 лет произошел разрыв поколений и носителей информации становится меньше, так как многие понятия, введенные в нормативные документы [СНиП II-7-81, 1982; СНиП II-7-81\*, 2003], были утеряны и не развивались.

После появления в 2006 году «системы документов технического регулирования в строительстве» [Концепция системы документов..., 2006], система надзора за проектированием, строительством и эксплуатацией жилых домов, промышленных зданий и сооружений, в том числе и в сейсмоактивных районах страны, стала восприниматься некоторыми предпринимателями как тормоз для развития их бизнеса. До сих пор продолжают предприниматься попытки обойти предписания строительных норм и правил. После этого все СНиПы стали вне закона. Необходимо было создавать новые СП (Своды Правил).

Простое переписывание Сводов Правил из старых СНиПов, отбросило всю строительную отрасль России на десятилетия назад. Рассмотрим проблему с точки зрения инженерной сейсмологии и сейсмостойкого строительства.

С нашей точки зрения, Минрегионом России в 2006 г. была выбрана неверная стратегия – внести только косметические поправки в СНиП II-7-81\*. Это привело к порочной практике обойти предписания строительных норм и правил с помощью СТУ (специальных технических условий).

Можно констатировать, что СНиП II-7-81\*, который в свое время был наиболее прогрессивным во всем мире нормативным документом по сейсмостойкому строительству, этому требованию на сегодня не отвечает. Философия, заложенная в этот документ, устарела, и все попытки его актуализации, провалились. Почему это происходит?

Государственные органы фактически управляют процессом пересмотра и актуализации СНиП II-7-81\* и мало заинтересованы в создании норм нового поколения [Мкртычев, Джинчвелашвили, 2016].

Все попытки ученых внести кардинальные изменения в соответствии с современными представлениями и достижениями в теории сейсмостойкости, наталкиваются на административные препоны.

В этой связи особые требования должны предъявляться к более тесному сотрудничеству строителей и сейсмологов, чего в последнее время, к сожалению, не наблюдается и нередко приводит к неграмотным инженерным решениям с точки зрения инженерной сейсмологии и теории сейсмостойкости. Иными словами необходима координация деятельности в этой сфере.

В советское время таким координирующим органом был Межведомственный совет по сейсмологии и сейсмостойкому строительству (МСССС), действовавший сначала при Институте физики Земли (ИФЗ), а затем – при Президиуме АН СССР.

МСССС под руководством чл.-корр. АН СССР Е.Ф. Саваренского более 40 лет активно действовал по единой программе, дважды в год, собирая научные сессии – в столице и обычно в одном из сейсмоактивных регионов. Это обеспечивало широкую научную информированность и единство региональных научных программ.

МСССС прекратил свою работу в 1991 г., после распада страны.

Все исследования по оценке сейсмической опасности и совершенствованию норм сейсмостойкого строительства были возложены на новый координирующий орган при Госстрое России – Межведомственную комиссию по сейсмическому районированию и сейсмостойкому строительству (МСК), наследовавшую бывший МСССС.

Однако в 2005 г. Межведомственная комиссия была окончательно ликвидирована.

Такой орган был воссоздан в 2014 г. инициативной группой ученых МГСУ во главе с академиком РААСН Андреевым В.И. – Научный Совет РААСН по сейсмологии и сейсмостойкому строительству (ССС).

Целью создания этого Совета была разработка стратегии развития теории и практики сейсмостойкого строительства, а также объединения усилий коллективов, работающих в этом направлении. Однако все его решения профильными министерствами (Минрегионом, а затем и Минстроем) постоянно блокируются.

Поэтому до сих пор в отечественных нормах [СНиП II-7-81\*, 2003; СП 14.13330.2014] используется, так называемая «платформенная» модель сейсмического воздействия, которая не позволяет учесть основные физические процессы, происходящие в зданиях и сооружениях при землетрясениях.

Более того, в действующих нормах присутствует неоднозначная и ошибочная формулировка трактовки сейсмических воздействий, а именно: «*сейсмическая нагрузка* определяется при равномерном поступательном сейсмическом воздействии» (см. [СП 14.13330.2014]).

Из этого определения вытекает и трактовка расчетных сейсмических воздействий: «**расчетные сейсмические воздействия**: кинематические параметры движения грунта, определяющие возможную интенсивность нагрузочного эффекта от расчетного землетрясения на конкретной площадке строительства и конкретного объекта капитального строительства применяемые в расчетах сейсмостойкости сооружений...» [СП 14.13330.2014].

На этих и других грубых ошибках неоднократно [Джинчвелашвили и др., 2011; Мкртычев, Джинчвелашвили, 2016; Назаров, 2010б; Хачиян, 2008; Харитонов, 2013; Haas, 1989 и др.] заострялось внимание, как разработчиков норм, так и государственных органов, однако реакции не последовало.

С другой стороны в проект первой редакции СП 14.13330.2014 внесено положение исключающее необходимость проведения сейсмического микрорайонирования в составе инженерных изысканий для объектов массовой застройки (п. 4.4) [Гусев и др., 2016].

Фактическое исключение из Строительных Правил положения о необходимости учета влияния при оценках сейсмических свойств грунтов строительных площадок зданий и сооружений массового строительства, противоречит всему мировому опыту анализа тяжелых последствий сильных землетрясений и делается такое явно впервые за всю историю формирования и эволюции зарубежных и отечественных норм [ПСП-101–51, 1952; СНиП II-A.12–62, 1963; СНиП II-A.12–69, 1970; СНиП II-7–81, 1982; СНиП II-7-81\*, 2003]. При этом необходимо отметить, что печально известная таблица 1 с дифференциацией грунтовых условий по их сейсмическим свойствам, на которую для зон с умеренным уровнем сейсмической опасности уповают или которой ограничивается учет грунтов для зданий массовой застройки, противоречит нормам или кодам т. н. Объединенной Европы, согласно которым она может быть использована только для временных сооружений [Eurocode8, 2004]. В то же время огромное число отечественных и зарубежных работ показывает значительное влияние грунтов оснований на поведение зданий и сооружений при сильных и разрушительных землетрясениях [Заалишвили, 2000; Халтурин и др., 1989; Хачиян, 2008; Haas, 1989].

Современное понимание сейсмического воздействия на здание и сооружение таково: – это движение грунта в основании сооружения при распространении сейсмических волн во время землетрясения [Назаров, 2010б]. С нашей точки зрения, на это воздействие, с учетом всей его специфики, следует построить философию расчета и проектирования сооружений в современных нормативных документах по сейсмостойкому строительству.

В нормах многих стран [Руководство..., 2013; FEMA, 2000] уже внедрены достижения сравнительно молодой отрасли строительной механики – динамического расчета взаимодействия сооружений с грунтом основания при сейсмических воздействиях (SSI).

Водоразделом или условной границей периодов, учитывая степень их влияния на последующие события в отрасли, можно считать «калифорнийскую революцию» [Тяпин, 2013; Verruijt, 2008; Wolf, 1985]. К сожалению, этот период пришелся на начало 90-х г. XX века.

Таким образом, можно сделать вывод, что существующая в России система государственного управления образовательным процессом и научными исследованиями устарела и не отвечает современным вызовам и потребностям [Доклад..., 2015; Мкртычев, Джинчвелашвили, 2016; Назаров, 2010б]. Более того, система государственного управления не позволяет провести реформу образовательной сферы и обеспечить инновационное развитие науки и образования в обществе. Чтобы добиться намеченных целей в соответствии с нынешним политическим курсом необходимо перейти к иной модели воздействия на образовательную систему в России – к государственному регулированию развития образования и научных исследований.

Итак, нами предлагается:

1) Внести соответствующие изменения в образовательные программы вузов. В этой связи следует приветствовать, что наконец-то в МГСУ в Институте фундаментального образования читается курс лекций по дисциплине «Безопасность сооружений и сейсмостойкое строительство» для магистров по направлению «Механика деформируемого твердого тела». Однако, аналогичный курс не предусмотрен для специальностей родственных специальности «Промышленное и гражданское строительство». Крайне мало вузов готовит инженеров-сейсмологов и т. д.

2) Предложения, рекомендации, решения и др. материалы Научного Совета РААСН по СССР, направляемые в федеральные, региональные и другие органы, заинтересованным учреждениям и организациям, должны иметь решающее влияние на принимаемые решения. Тем более, что одной из центральных задач Научного Совета РААСН по СССР является именно обсуждение концепций, необходимых для разработки непротиворечивых нормативных документов по сейсмостойкому строительству.

### Литература

1. Амосов А. А., Синицин С. Б. Основы теории сейсмостойкости сооружений. – М.: Изд-во АСВ, 2010. – 134 с.

2. Гогмачадзе С. А. В. Б. Заалишвили и российско-грузинская школа инженерной сейсмологии. Достиagnутые успехи и нерешенные проблемы. – Тбилиси – Владикавказ: ГФИ ВНИЦ РАН, 2015. – 551 с.

3. Гусев Е. Л., Айзенберг Я. М., Бубис А. А. Проект изменений и дополнений к тексту нормативного документа СП 14.13330.2014 «Строительство в сейсмических районах. СНиП II-7-81\*» (первая редакция) // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2016. – № 4. – С. 12–25.

4. Доклад ЮНЕСКО по науке: на пути к 2030 году – Резюме (Название в оригинале: UNESCO Science Report: towards 2030 – Executive Summary). Опубликовано в 2015 г. ООН по вопросам образования, науки и культуры, 7, place de Fontenay, 75352 Paris 07 SP, France, 2015. – 47с.

5. Джинчвелашвили Г. А., Мкртычев О. В., Соснин А. В. Анализ основных положений СП 14.13330.2011 «СНиП II-7-81\* Строительство в сейсмических районах» // Промышленное и гражданское строительство. – 2011. – № 9. – С. 17–21.

6. Заалишвили В. Б. Физические основы сейсмического микрорайонирования // ОИФЗ им. О. Ю. Шмидта РАН. – Москва, 2000. – 367с.

7. Заалишвили В. Б. Сейсмическое микрорайонирование территорий городов, населенных пунктов и больших строительных площадок. – М.: Наука, 2009а. – 350 с.

8. Заалишвили В. Б. Введение в инженерную сейсмологию. – Владикавказ: ЦГИ ВНИЦ РАН, 2009б. – 239 с.

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

10. Заалишвили В. Б., Даниели М. А. Физический анализ особенностей колебаний при интенсивных динамических нагрузках межэтажных перекрытий зданий в виде оболочек // Геология и геофизика Юга России. – 2014. – № 2. – С. 13–21.

11. Заалишвили В.Б., Кранцфельд Я.Л. Геофизическая основа инженерной сейсмозащиты ответственных объектов строительства // Геология и геофизика Юга России. – 2014. – № 1. – С. 39–50.
12. Зылёв В.Б. Вычислительные методы в нелинейной механике конструкций. – М.: НИЦ Инженер, 1999. – 145 с.
13. Концепция системы документов технического регулирования в строительстве. – М., 2006. <http://files.stroyinf.ru/Data1/46/46837/#i21969>.
14. Медведев С.В. Инженерная сейсмология. – М.: Гостройиздат, 1962. – 284с.
15. Мкртычев О.В., Джинчвелашвили Г.А. Проблемы учета нелинейностей в теории сейсмостойкости (гипотезы и заблуждения). – М.: МГСУ, 2012. – 192 с.
16. Мкртычев О.В., Джинчвелашвили Г.А. Нормирование в сейсмостойком строительстве. – М.: Изд. «Перо», 2016. – 78 с.
17. Назаров Ю.П. Аналитические основы расчета сооружений на сейсмические воздействия. – М.: Наука, 2010а. – 468 с.
18. Назаров Ю.П. Проблемы актуализации СНиП II-7-81\* Строительство в сейсмических районах. Нормы проектирования //Вестник НИЦ Строительство, 2010б. – №2. – С. 3–10.
19. Напетваридзе Ш.Г. Некоторые задачи инженерной сейсмологии. – Тбилиси, Мецниереба, 1973. – 162 с.
20. Немчинов Ю.И. Сейсмостойкость зданий и сооружений. В двух частях/Немчинов Ю.И. – Киев, 2008. – 480 с.
21. Отдельные вопросы инженерной сейсмологии и сейсмостойкого строительства: «Молодежная школа инженерной сейсмологии и сейсмостойкого строительства с международным участием», Владикавказ, 9–10 окт. 2014 г.: сборник лекций/[под ред. В.Б. Заалишвили]. – Владикавказ: ЦГИ. Ч. 2. – 2014. – 237 с.
22. ПСП-101–51. Положение по строительству в сейсмических районах. – М.: Госстройиздат, 1952. – 86 с.
23. Россия и мир после мирового кризиса: новые вызовы, новые возможности // Материалы VI-го Конвента РАМИ «Тренды мирового политического развития: возможности для России»/Ответственный редактор тома д.полит.н., проф. М.М. Лебедева. – М.: МГИМО – Университет, 2011. – 104 с.
24. Руководство для проектировщиков к Еврокоду 8: Проектирование сейсмостойких конструкций: руководство для проектировщиков EN 1998–1 и EN 1998–5 (пер. с английского/М. Фардис и др.) – М.: МГСУ, 2013. – 484 с.
25. СНиП II-A.12–62. Строительные нормы и правила. «Строительство в сейсмических районах. Нормы проектирования». – М.: Госстройиздат, 1963. – 50 с.
26. СНиП II-A.12–69. Строительные нормы и правила. «Строительство в сейсмических районах. Нормы проектирования». – М.: Стройиздат, 1970. – 48 с.
27. СНиП II-7–81. Строительство в сейсмических районах. Нормы проектирования/Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1982. – 48 с.
28. СНиП II-7-81\* Строительство в сейсмических районах. Нормы проектирования. – М.: ЦНС, 2003. – 94 с.
29. СП 14.13330.2014. Строительство в сейсмических районах. СНиП II-7-81\*. – М.: ФАУ «ФЦС», 2014. – 131 с.
30. Тренды мирового социально-политического развития в условиях кризиса./Под ред. Е. Ш. Гонтмахера, Н. В. Загладина. – М.: ИМЭМО РАН, 2012. – 150 с.

31. Тяпин А.Г. Расчет сооружений на сейсмические воздействия с учетом взаимодействия с грунтовым основанием. – М.: АСВ, 2013. – 399 с.
32. Халтурин В.И., Раутиан Т.Г., Саргсян Н.К. и др. Усиление макросейсмического эффекта в г. Ленинакане // Обобщение и оценка предварительных результатов изучения и обследования землетрясений. – Ереван, 1989. – С. 11–13
33. Хачиян Э.Е. Прикладная сейсмология. Ереван: Гитутюн, 2008. – 491 с.
34. Харитонов В.А. Критический анализ современной теории расчета сейсмических нагрузок. – М., 2013. – 4 с.
35. Чернов, Ю.Т. Прикладные методы динамики сооружений: учебное пособие. – М.: АСВ, 2001. – 80 с.
36. Datta T.K. Seismic Analysis of Structures, John Wiley & Sons (Asia) Pte Ltd. 2010. – p. 464.
37. FEMA 356. Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings. American Society of Civil Engineers (ASCE), Washington, D. C. – November, 2000.
38. Chopra Anil K. Dynamics of Structures. Theory and Applications to Earthquake Engineering. – Prentice Hall, Inc. 1995, Englewood Cliffs, New Jersey, 07632. – 794 p.
39. Clough Ray W., Penzien Joseph. Dynamics of Structures (Third Edition). – Computers & Structures, Inc. 1995 University Ave., Berkeley, CA 94704, USA. – 752 p.
40. Eurocode 8 – EN-1998-1:2004. Design of Structures for Earthquake Resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, European Committee for Standardization, Brussels. 2004.
41. Hays W.W. Engineering seismology in Spitak 1988 // Proc. Intern. Seminar on the Spitak-88 Earthquake, Yerevan, May 23–26.1989, P. 317–321
42. Verruijt Arnold. Soil Dynamics/1994, 2008, Delft University of Technology. – 425 p.
43. Wolf J.P. Dynamic Soil-Structure Interaction/1985, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J. 07632. – 481 p.

---

---

**POLICY IN EDUCATION AND SCIENCES AS THE INSTRUMENT  
OF MODERNIZATION OF SOCIETY  
(IN EXAMPLE OF ENGINEERING SEISMOLOGY  
AND EARTHQUAKE ENGINEERING)**

**© 2016 N.N. Denisenkova<sup>1</sup>, Sc. Cand. (Political), G.A. Dzhinchvelashvili<sup>2</sup>,  
Sc. Doctor (Tech.), prof.**

<sup>1</sup> Plekhanov Russian University of Economics, Russia, Stremyanny lane, 36, Moscow, 117997, Russia, e-mail: natalya652008@yandex.ru;

<sup>2</sup> Moscow State University of Civil Engineering (MSUCE) National Research University, 26, Yaroslavskoye Shosse, Moscow, Russia 1129337, e-mail: guram2004@yandex.ru

In article some aspects of educational policy of Russia are analyzed. It is shown that the system of public administration existing in Russia educational process and scientific research became outdated and doesn't meet modern challenges and requirements. It doesn't allow to undertake reform of the educational sphere and to provide innovative development of science and education in society. On the example of training for a engineering industry, it is shown that for achievement of the planned purposes according to a present political policy, it is necessary to pass to other model of impact to educational system in Russia – to state regulation of development of education and scientific research in the field of geophysics, engineering seismology and earthquake engineering.

**Keywords:** policy in education, upgrade of society, seismic impacts, engineering seismology, regulating documents, earthquake engineering, building code.

УДК 550.34

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СЕЗОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ УРОВНЯ ВОДЫ В ЧИРКЕЙСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ И АТМОСФЕРНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА КАЖУЩЕЕСЯ СОПРОТИВЛЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД В СКВАЖИНЕ, РАСПОЛОЖЕННОЙ В РАЙОНЕ ПРАВОГО БОРТА ПЛОТИНЫ ГЭС

© 2016 А.В. Дещеревский<sup>1</sup>, к.ф.-м.н., И.Ш. Идармачев<sup>2</sup>, Ш.Г. Идармачев<sup>2</sup>,  
д.ф.-м.н.

<sup>1</sup>Институт физики Земли РАН им. О.Ю. Шмидта, Россия, 123995, г. Москва, ул.  
Б. Грузинская, 10, e-mail: adeshere@online.stack.net;

<sup>2</sup>Институт геологии Дагестанского научного центра РАН, 367030, г. Махачкала,  
ул. Ярагского, 75, e-mail: idarmachev@yandex.ru

В статье сделан анализ временных рядов уровня воды в Чиркейском водохранилище, температуры и давления атмосферы с целью определения влияния их на электрическое сопротивление пород в скважине, расположенной в районе правого борта высотной плотины ГЭС. На основе проведенного анализа установлено: 1) отсутствие влияния сезонных изменений температуры и давления атмосферы на электрическое сопротивление пород в скважине; 2) наличие высокой связи с коэффициентом корреляции 0,9 по модулю между сезонным изменением уровня воды в водохранилище и электрическим сопротивлением пород. В качестве механизма такого влияния рассматривается одновременное воздействие двух различных сезонных факторов, деформации пород и боковой фильтрации.

**Ключевые слова:** уровень воды в водохранилище, кажущееся электрическое сопротивление, скважина, взаимнокорреляционная функция.

### Введение

Для исследования геологических процессов в районе Чиркейской ГЭС ФГБУН Институтом геологии Дагестанского научного центра РАН, совместно с дирекцией ГЭС проводятся режимные наблюдения за электрическими параметрами пород в необсаженной скважине, расположенной в районе правого борта плотины. Электрические параметры обладают высокой чувствительностью к деформации породы. Авторы работы [Morrow, Brace, 1981] показали, что электрическое сопротивление горных пород в определенных условиях обладает свойством степенной зависимости от деформации. Это свойство горных пород определяется через коэффициент его тензочувствительности:

$$K = \frac{\Delta\rho/\rho}{\Delta\varepsilon/\varepsilon} \quad (1)$$

где  $\Delta\rho/\rho$  – относительное изменение удельного электрического сопротивления;  $\Delta\varepsilon/\varepsilon$  – относительное изменение объемной деформации.

Величина  $K$  для различных пород лежит в пределах  $10^3$ – $10^5$  [Авагимов, 1991; Morrow, Brace, 1981], при этом зависит от степени насыщения породы водой. Она растет с уменьшением содержания воды, достигает максимума и затем уменьша-

ется. Было также показано, что высокое значение  $K$  достигает в диапазоне малых деформаций. При деформациях  $10^{-4}$  и менее  $K$  в 10–100 раз выше, чем при деформациях, вызывающих разрушение породы,  $10^{-3}$ . Таким образом, с помощью электрического зондирования можно перейти к регистрации малых неразрушающих деформаций влагосодержащих пород.

Если использовать для измерения вариаций электрического сопротивления породы высокоточную аппаратуру, например, погрешностью, не превышающей 0,1 %, то можно регистрировать относительные деформации породы на уровне  $10^{-6}$ ,  $10^{-8}$ . Поэтому для исследования деформационных процессов в районе плотины Чиркейской ГЭС проводится непрерывное электрическое зондирование пород в скважине.

Формальный анализ рядов, полученных данных кажущегося сопротивления пород в скважине ( $R_k$ ) и уровня воды в водохранилище за период наблюдений 2010–2013 гг. показал наличие высокой корреляции (0,8) между ними [Идармачев, 2014]. На основании данного анализа был сделан вывод о том, что увеличение веса воды в водохранилище деформирует массив пород в ложе водохранилища и его береговой части. Предполагается, что деформация прогибания ложа должна вызвать растяжение вертикальных трещин в массиве, расположенном в береговой части водохранилища. С деформацией породы изменяется и ее электрическое сопротивление. Раскрытие трещин с увеличением нагрузки уменьшает электрическое сопротивление породы, а закрытие их, в период разгрузки, увеличивает электрическое сопротивление. Таким образом, по представлению автора [Идармачев, 2014] сезонные колебания уровня воды в водохранилище могут оказывать негативное влияние на состояние окружающей среды, например, спровоцировать опасные геологические процессы.

Однако при формальном анализе рядов, имеющих общий сезонный ход, высока вероятность совпадения по фазе колебаний, поэтому такой подход может привести к неверным результатам исследований. Здесь также необходимо исключить влияние атмосферных факторов: температуры и давления, так как они могут оказать существенное влияние на геофизические параметры. Об этом указывают режимные наблюдения на Гармском геофизическом полигоне [Дещеревский и др., 1994].

В настоящей работе для анализа рядов используется программа Win ABD, разработанная одним из авторов настоящей статьи, которая позволяет вычислять среднесезонные, взаимокорреляционные функции, производить вычитание сезонной составляющей и другие виды обработки данных.

### **Методика измерения кажущегося сопротивления в скважине**

Для наблюдений за геофизическими параметрами горных пород в районе правого борта плотины Чиркейской ГЭС используется необсаженная скважина, пробуренная в период строительства ГЭС для контроля боковой фильтрации из водохранилища. Глубина ее составляет 180 м.

Скальный массив в районе скважины состоит из карбонатных пород горизонтальной слоистости. Мощность слоев меняется в пределах 0,5–1,0 м. В самих слоях имеются трещины разного размера, в том числе и тектонического происхождения.

Уровень воды в водохранилище имеет сезонный ход с амплитудой 30–40 м, при этом максимум приходится на август–сентябрь, а минимум на апрель–май. Уровень воды в скважине меняется синхронно с уровнем воды в водохранилище, при этом разница в абсолютных отметках составляет 13–15 м.

Для измерений кажущегося электрического сопротивления пород используется симметричная четырехэлектродная установка. Измерительный зонд всегда находится ниже минимального уровня воды в скважине на 30 м, что обеспечивает стабильность режимных измерений и снижает влияние атмосферных факторов сезонного характера. На питающие электроды, которые расположены на глубинах 90 м и 99 м, от генератора подаются прямоугольные разнополярные импульсы постоянного стабилизированного тока  $I = 0,02$  А с периодом 20 с., а с приемных электродов, расположенных в середине между питающими электродами снимается разность потенциалов ( $U$ ), которая пропорциональна силе тока в питающем диполе и кажущемуся сопротивлению  $R_k$ . Величина кажущегося сопротивления определяется формулой:

$$R_k = M \frac{U}{I} \quad (2)$$

где  $R_k$  – величина, зависящая от строения геоэлектрического разреза, удельных сопротивлений слоев и их мощностей;  $M$  – геометрический коэффициент, зависящий от расстояний между электродами измерительной установки. Для однородной среды кажущееся сопротивление равно удельному сопротивлению породы.

Расстояние между питающими электродами выбирается таким образом, чтобы ток по воде был минимальным. Для скважины диаметром 0,1 м, удельным сопротивлением воды 20 Ом×м и расстоянием между электродами 9 м ток по воде будет составлять 2,5%. Остальной ток течет по породе. Следовательно, наблюдаемые изменения кажущегося сопротивления отражают преимущественно процессы, зависящие от изменения состояния горных пород в области расположения зонда.

Для измерений кажущегося сопротивления пород используется специально разработанная установка «Георезистор» [Идармачев и др., 2001] для непрерывного электрического зондирования. Установка состоит из платы сбора данных, сопряженной с персональным компьютером, программы управления измерением кажущегося сопротивления и генератора импульсов стабильного тока для питающего диполя. Относительная погрешность измерений  $R_k$  в результате осреднения суточных данных не превышает  $\pm 0,1\%$ . Величина кажущегося сопротивления пород измеренная вначале наблюдений 21.04.2010 г. равна 99,9 Ом×м.

### Используемые данные для анализа

Для анализа использовались ряды наблюдений с апреля 2010 г. по декабрь 2014 г. кажущегося сопротивления ( $R_k$ ) в скважине, расположенной в районе правого борта плотины Чиркейской ГЭС, уровня воды в верхнем бьефе плотины (Нвдхр), атмосферного давления и температуры в районе ГЭС. Графики рядов наблюдений показаны на рис. 1.

### Методика обработки данных

Для графиков, приведенных на рис. 1 характерен сильный сезонный ход. Для любых рядов, содержащих регулярную вариацию с общим периодом очень высокая вероятность совпадения этих составляющих в фазе или в противофазе. Нулевая корреляция между такими рядами будет наблюдаться только в исключительных случаях.

Для выяснения наличия связи между такими сигналами можно использовать обычные статистические методы – такие, как корреляционный анализ (с учетом возможной задержки во времени). То есть, статистические методы могут применяться независимо от наличия или отсутствия физической модели, объясняющей

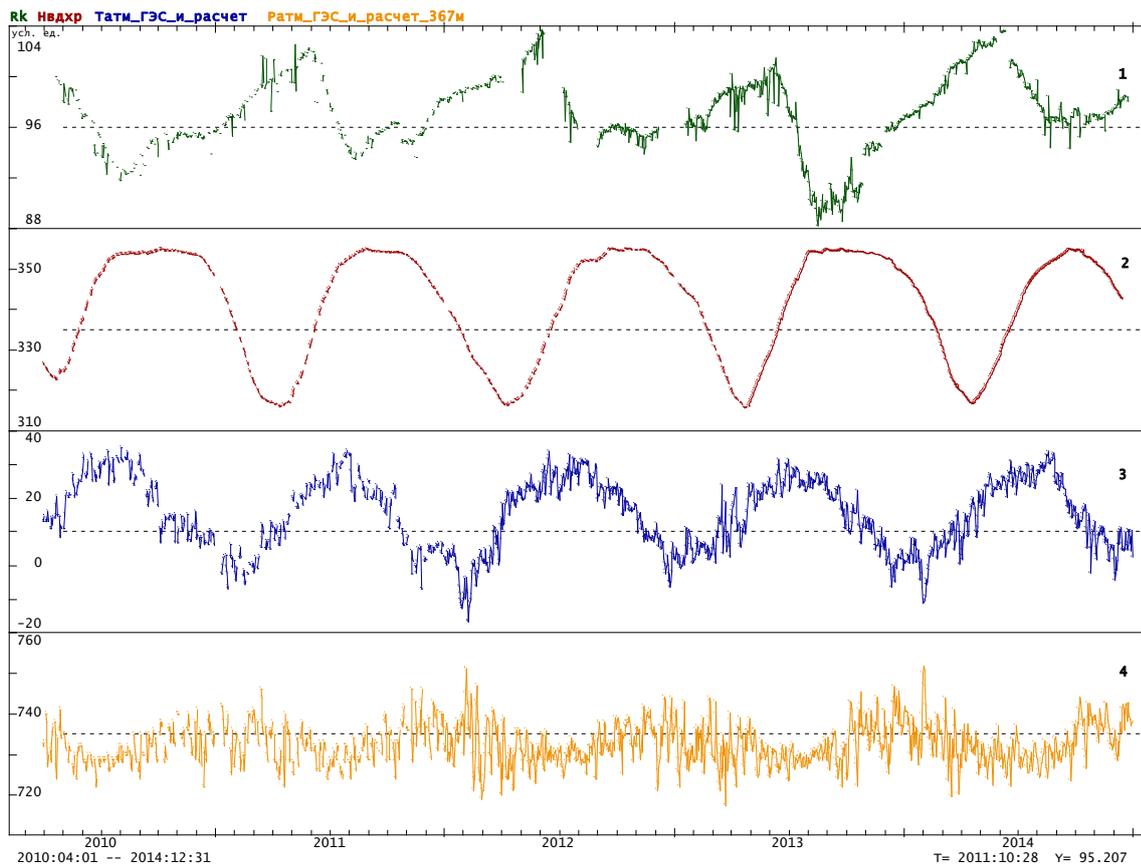


Рис. 1. Графики: 1 – кажущегося сопротивления пород в скважине  $R_k$  ( $\text{Ом}\cdot\text{м}$ );  
 2 – уровня воды в водохранилище Нвдхр (м); 3 – температуры атмосферы  $T_{\text{атм}}$  ( $^{\circ}\text{C}$ );  
 4 – давления атмосферы  $P_{\text{атм}}$  (мм рт. ст.)

влияние атмосферных эффектов на  $R_k$  (либо отсутствие такого влияния). Затем результаты расчетов можно пытаться интерпретировать в рамках тех или иных физических моделей.

Для сезонной компоненты формальный анализ малополезен, так как в общем случае гипотеза об отсутствии связи для таких сигналов обычно не может быть отклонена с приемлемым уровнем значимости. Поэтому при анализе сезонных вариаций надо исходить преимущественно из физических, а не статистических соображений.

Расчет сезонной компоненты  $R_k$ ,  $T_{\text{атм}}$  и  $P_{\text{атм}}$  проводился по методике [Дещеревский, Сидорин, 1999]. Эта методика предполагает расчет сезонной вариации методом наложения эпох с последующим сглаживанием. Цель сглаживания – подавление случайных высокочастотных флуктуаций среднесезонной функции (ССФ). Поэтому оптимальная величина сглаживания подбирается, исходя из степени варибельности сезонного хода от года к году, амплитуды высокочастотных шумов, числа периодов сезонности, по которым рассчитана ССФ. С учетом всех перечисленных факторов, для ряда  $T_{\text{атм}}$  было выбрано сглаживающее окно шириной 30 суток, а для  $P_{\text{атм}}$  – 60 суток.

Для ряда  $R_k$  при построении сезонной модели надо учесть два момента.

Во-первых, в начальный период наблюдений (до середины 2012 г.) наблюдения выполнялись реже, чем во вторую половину срока. Поэтому при формальном суммировании данных за первую и вторую часть срока сравнительный «вес»

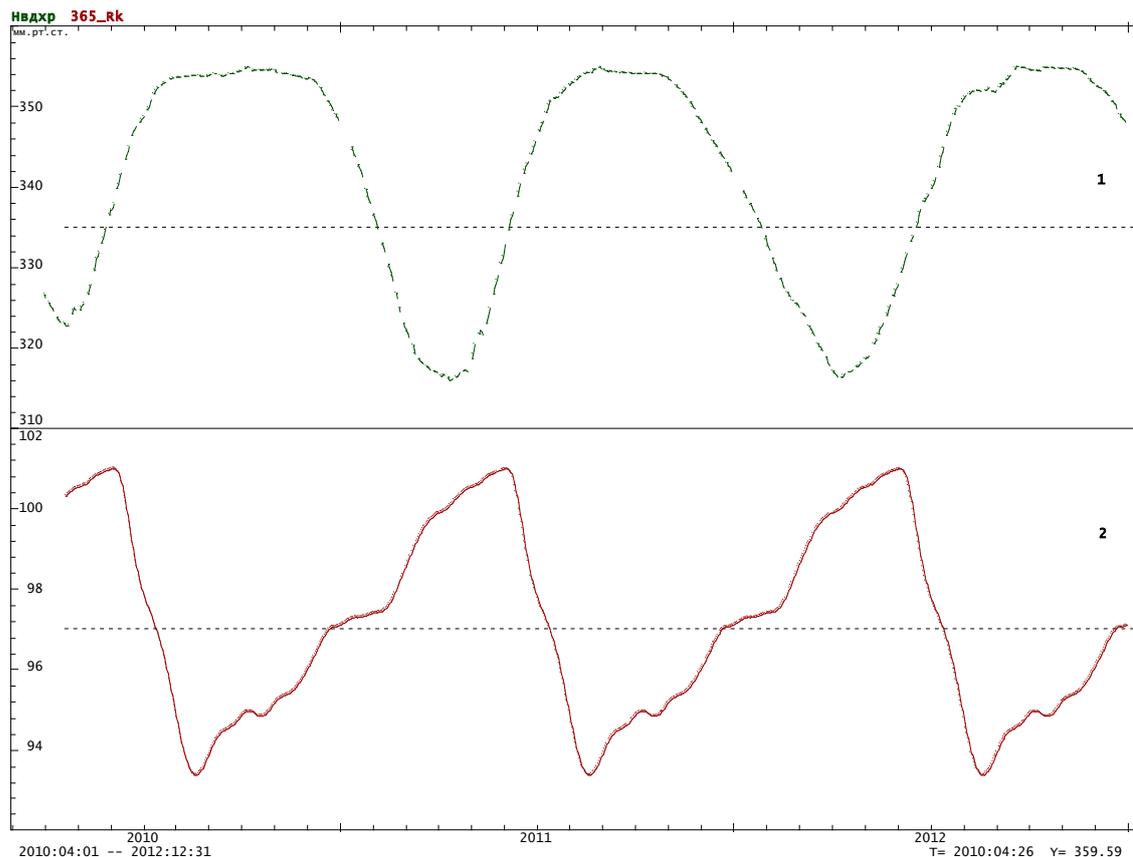


Рис. 2. Графики уровня водохранилища (1) и среднесезонной функции  $365_{R_k}$  (2)

первых наблюдений будет занижен. Очевидно, что это не совсем правильно, т. к. сезонный ход  $R_k$  имеет плавную форму, и наблюдения с периодичностью раз в три дня аппроксимируют сезонный ход практически так же хорошо, как и ежесуточные. Чтобы выровнять вклад первой и второй части срока в сезонную функцию, целесообразно интерполировать пропуски в наблюдениях, по крайней мере, короткие.

Во-вторых, в ряде  $R_k$  периодически прослеживаются высокочастотные флуктуации как, например, в мае-июне 2013 г. Чтобы уменьшить возможное искажение формы ССФ, их лучше отфильтровать перед расчетом ССФ. Поскольку продолжительность таких экскурсов не превышает 1–3 суток, для фильтрации можно использовать медианное сглаживание в окне шириной 7 суток.

Таким образом, для оценки сезонной вариации  $R_k$  были выполнены следующие действия:

- 1) Сглаживание скользящей медианой в окне 7 суток с заполнением пропусков в ряде тренда;
- 2) Оценка ССФ по методу среднесезонной функции со сглаживанием 30 суток.

### Обсуждение результатов

Рассмотрим сначала ряды Нвдхр и среднесезонной функции  $365_{R_k}$ . Их графики приведены на рис. 2.

По графикам особого сходства между Нвдхр и  $365_{R_k}$  не видно. В период весеннего, летнего наполнения водохранилища кажущееся сопротивление уменьша-

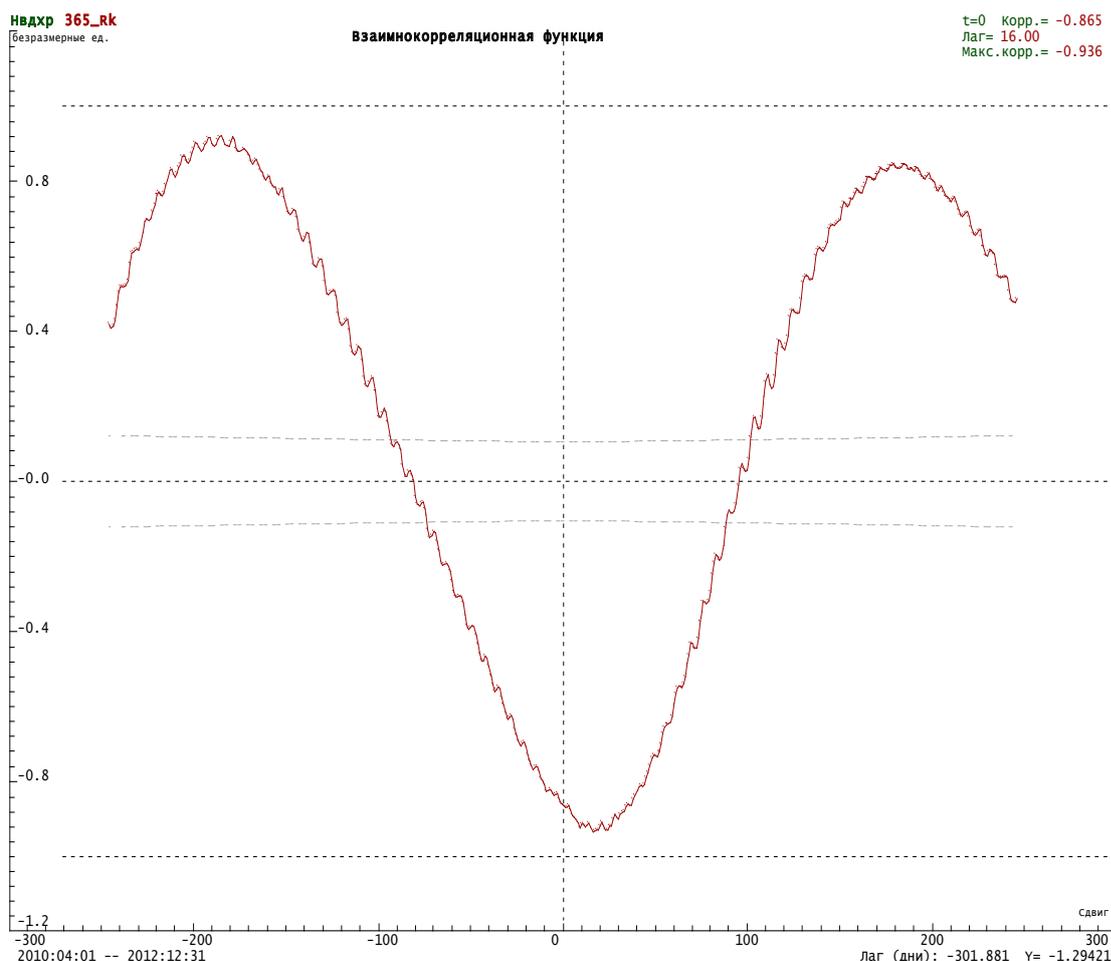


Рис. 3. График взаимнокорреляционной функции между Нвдхр и 365\_  $R_k$

ется с некоторым запаздыванием. В период стабилизации уровня воды с июля по ноябрь совпадения нет,  $R_k$  увеличивается. Зимнему периоду снижения уровня воды соответствует увеличение  $R_k$ . Для периода, когда уровень воды не меняется, наблюдается довольно сложная зависимость  $R_k$  от Нвдхр, которую трудно объяснить с физической точки зрения.

Для дальнейшего анализа для рядов, была рассчитана взаимнокорреляционная функция (ВКФ) между Нвдхр и 365\_  $R_k$  (рис. 3).

Максимальная корреляция  $-0,93$  наблюдается при отставании  $R_k$  на 16 суток, а при нулевом сдвиге  $-0,86$ . Такой коэффициент при нулевом сдвиге позволяет предложить модель деформации земной коры под действием изменяющихся упругих напряжений в массиве горных пород под водохранилищем от сезонной нагрузки веса воды.

Другая альтернативная модель связи предполагает влияние процессов боковой фильтрации. Наличие такого процесса подтверждает изменение уровня воды в скважине, который имеет синхронный ход с уровнем воды в водохранилище с отставанием по амплитуде на 13–15 м.

Возможно также влияние нескольких факторов, в частности метеофакторов, давления и температуры атмосферы в районе ГЭС. Рассмотрим влияние сезонных компонентов  $T_{атм}$  и  $P_{атм}$  на  $R_k$  более подробно.

### Оценка влияния $T_{атм}$ и $P_{атм}$ на $R_k$

На рис. 4 приведены графики среднесезонных функций рядов  $T_{атм}$ ,  $P_{атм}$  и  $R_k$ .

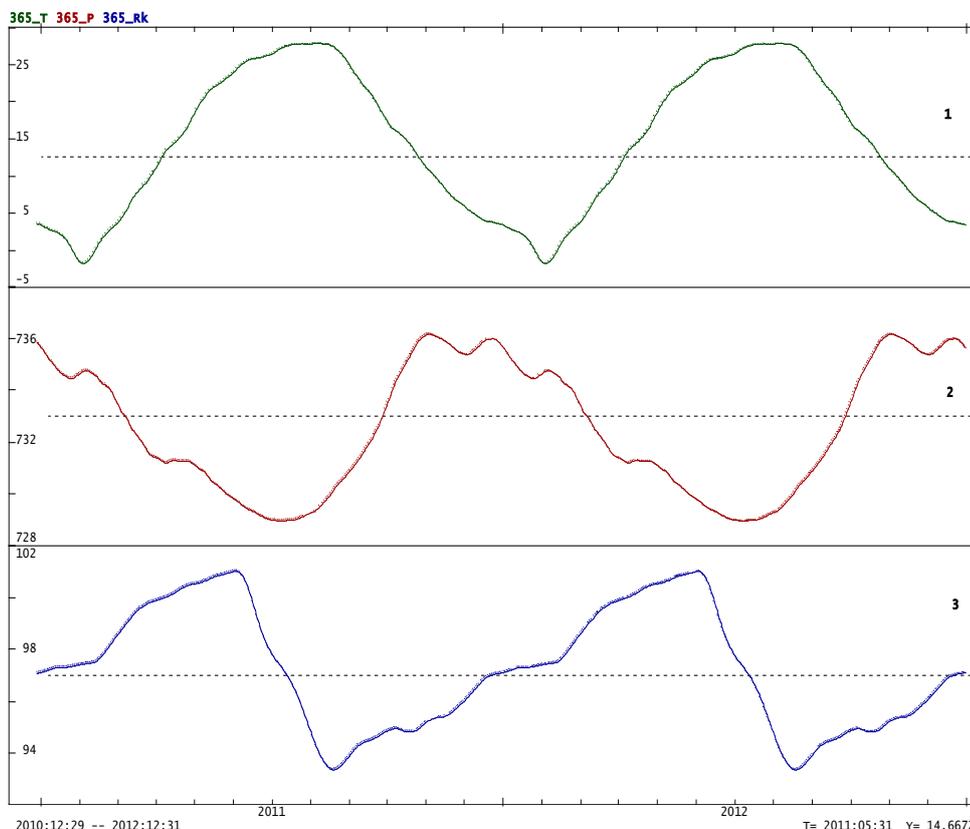


Рис. 4. Графики среднесезонных рядов  $365_{T_{атм}}$  (1),  $365_{P_{атм}}$  (2) и  $365_{R_k}$  (3) за два годовых периода

### Оценка влияния $T_{атм}$ на $R_k$

Рассмотрим вначале графики функций  $365_{T_{атм}}$  и  $365_{R_k}$ . Из их сравнения видно, что форма сезонных функций имеет некоторое сходство. Максимум в обоих случаях более широкий, а минимум более резкий. Однако различий между кривыми больше, чем сходства. В случае  $T_{атм}$  сезонный ход почти симметричный, скорость нарастания  $T_{атм}$  примерно такая же, как скорость спада. Для  $R_k$  характерна резкая асимметрия: падение  $R_k$  происходит очень резко, а рост гораздо более плавно.

Можно ли совместить две эти кривые с учетом некоторой задержки? Для этого рассмотрим ВКФ двух этих рядов (рис. 5). Видно, что ВКФ имеет резкие максимумы.

Причинная связь может быть только в случае запаздывания  $R_k$  по сравнению с  $T_{атм}$ , то есть интерес представляют максимумы на лагах 86 суток (коэффициент корреляции  $-0.92$ ) и 270 суток (коэффициент корреляции  $+0.91$ ).

Рассмотрим графики  $T_{атм}$  и  $R_k$  с соответствующими сдвигами (рис. 6). Видно, что даже после сдвига во времени соответствия между кривыми все равно нет. При сдвиге 86 суток (средняя кривая) резкий спад  $R_k$  не имеет никаких аналогов на кривой  $T_{атм}$ . Рост  $T_{атм}$  начинается раньше, а заканчивается позже, чем спад  $R_k$ . Невозможно предложить разумную модель, которая бы объясняла вариации  $R_k$  как следствие вариаций  $T_{атм}$ . Точно так же нет никаких разумных механизмов, чтобы

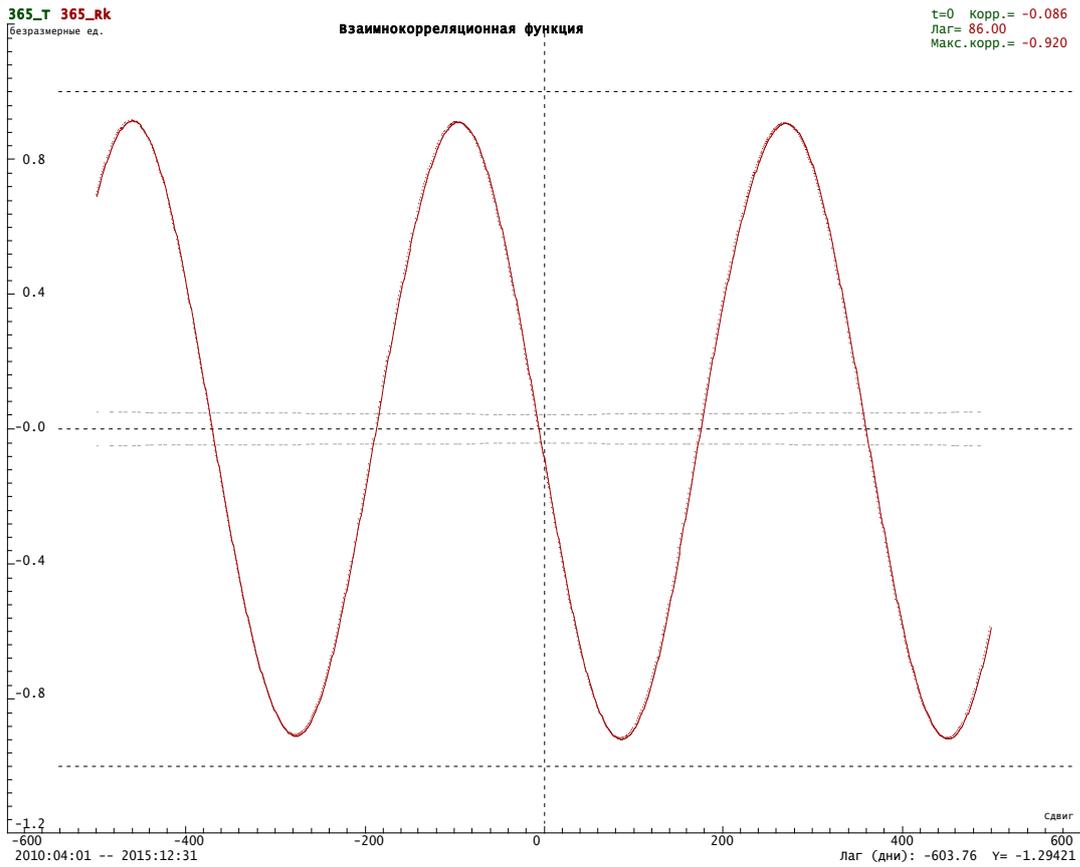


Рис. 5. График взаимнокорреляционной функции между  $365\_T_{атм}$  и  $365\_R_k$

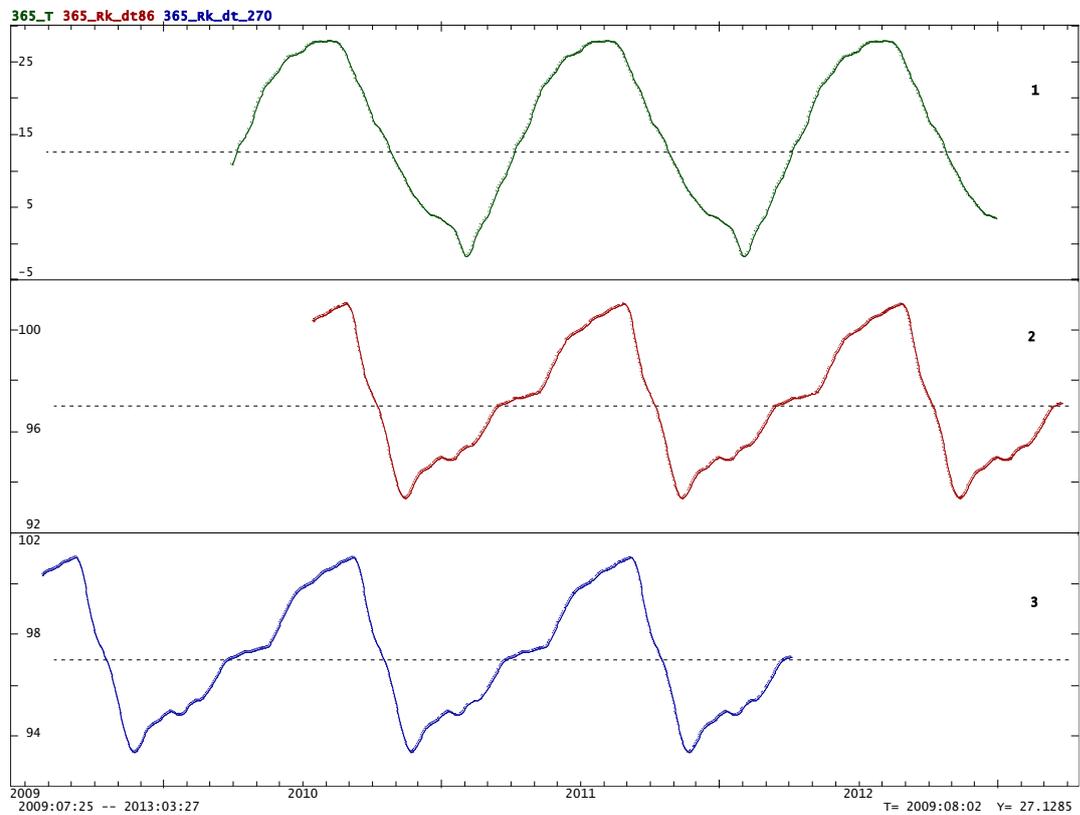


Рис. 6. Сезонные компоненты рядов  $365\_T_{атм}$  (1) и  $365\_R_k$  со сдвигом на 86 (2) и 270 суток (3)

объяснить нижнюю кривую как результат действия  $T_{атм}$ . Обычно, если временной лаг между причинным фактором и откликом настолько сильно размазан во времени, то это приводит к сглаживанию отклика. То есть даже в том случае, когда причинный фактор имеет резкие особенности, отклик все равно получится более плавным и сглаженным. В данном случае все с точностью наоборот. Вариации  $T_{атм}$  более плавные, а на графике  $R_k$  имеются резкие изломы. Поэтому даже, несмотря на достаточно высокую корреляцию между кривыми (более 0,9 по модулю в обоих случаях) можно наверняка утверждать, что сезонная вариация  $R_k$  не связана с влиянием температуры.

### Оценка влияния $P_{атм}$ на $R_k$

Для атмосферного давления (рис. 4, график 2) рост  $P_{атм}$  начинается раньше  $R_k$  на 36 суток, заканчивается позже на 220 суток, т.е. наблюдается полное несоответствие хода графиков 2 и 3. При сдвиге графика 3 вперед на 64 суток функция ВКФ имеет коэффициент корреляции равный  $-1$ . Однако данный сдвиг графика 3 вперед не имеет физического смысла для определения причинно-следственной связи между  $P_{атм}$  и  $R_k$ , так как изменение  $R_k$  не может опережать изменение давления.

### Выводы

1. На основе корреляционного анализа временных рядов уровня воды в Чиркейском водохранилище, кажущегося сопротивления пород в скважине, температуры и давления атмосферы в районе ГЭС с использованием методики, позволяющей рассчитывать среднесезонную составляющую, взаимнокорреляционную функцию с учетом возможной задержки во времени установлено:

а) отсутствие влияния сезонных изменений температуры и давления атмосферы на кажущееся электрическое сопротивление пород в скважине;

б) для рядов уровня водохранилища и кажущегося сопротивления обнаружена физически обоснованная связь (коэффициент корреляции  $-0,93$ ) с задержкой во времени на 16 суток.

2. Высокий коэффициент корреляции ( $-0,86$ ) при нулевом сдвиге позволяет предложить модель деформации земной коры под действием изменяющихся упругих напряжений в массиве горных пород под водохранилищем от сезонной нагрузки веса воды. Вместе с тем, периоду, когда уровень воды стабилизировался после паводкового наполнения водохранилища, наблюдается увеличение кажущегося сопротивления, которое не соответствует ходу графика уровня воды. Предполагается, что увеличение кажущегося сопротивления может быть связано с процессом боковой фильтрации, который будет усиливаться с подъемом уровня воды в водохранилище. Одновременное действие этих двух факторов приводит к искажению сезонного хода графика кажущегося сопротивления относительно графика уровня водохранилища.

### Литература

1. Авагимов А. А. Динамика электромагнитных процессов в Копетдагском сейсмоактивном регионе // Автореферат диссертации доктора физ.-мат. наук. – М., 1991. – 52 с.
2. Дещеревский А. В., Журавлев В. И., Сидорин А. Я. Сезонные вариации кажущегося сопротивления на Гармском геофизическом полигоне. – Изучение природы вариаций геофизических полей. М.: ОИФЗ РАН, 1994. – С. 60–78.

3. Дещеревский А.В., Сидорин А.Я. Некоторые вопросы методики оценки среднесезонных функций для геофизических данных. – М.: ОИФЗ РАН, 1999. – 40 с.

4. Идармачев И.Ш. Вариации кажущегося сопротивления массива горных пород верхнего мела в районе плотины Чиркейской ГЭС под воздействием переменной нагрузки водохранилища // Вестник Дагестанского НЦ РАН. – 2014. – №52. – С. 11–15.

5. Идармачев Ш.Г., Алиев М.М., Абдулаев Ш.-С. О., Хаджи Б.А. Станция для электрического зондирования «Георезистор». Современная геодинамика, глубинное строение и сейсмичность платформенных территорий и сопредельных регионов // Мат. Междунар. конф. Воронеж. – 2001. – С. 86–87.

6. Morrow C., Brace W.F. Electrical resistivity changes in tuffs due to stress // J. Geophys. Res. 1981. Vol. 86, N B4. – P. 2929–2934.

## **ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF SEASONAL ATMOSPHERIC PARAMETERS ON THE APPARENT RESISTIVITY OF ROCKS IN A BOREHOLE LOCATED IN THE AREA OF THE STARBOARD SIDE OF CHIRKEY HYDROPOWER STATION DAM**

© 2016 A.V. Desherevski<sup>1</sup>, Sc. Cand. (Phys.-Math.), I.Sh. Idarmachev<sup>2</sup>, Sh.G. Idarmachev<sup>2</sup>, Sc. Doctor (Phys.-Math.)

<sup>1</sup>Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, Russia, 123995, Moscow, Bolshaya Gruzinskaya str., 10–1, e-mail: adeshere@online.stack.net;

<sup>2</sup>Institute of Geology, DSC RAS, Russia, 367030, 75, M. Yaragski st., Makhachkala, e-mail: idarmachev@yandex.ru

The article made the analysis of time series of water level in Chirkei reservoir, temperature and pressure of the atmosphere to determine its effect on the electrical resistance of rocks in the borehole located in the area starboard of the high dam hydroelectric power station. Based on the analysis found: 1) no effects of seasonal changes in temperature and pressure of the atmosphere on the electrical resistance of rocks in the borehole; 2) the presence of high regard with the correlation coefficient of 0.9 for the module between the seasonal change of water level in the reservoir and an electric resistance of rocks. As the mechanism of such influence is considered the simultaneous influence of two different seasonal factors, deformation of rocks and lateral filtering.

**Keywords:** the water level in the reservoir, the apparent electrical resistance, bore hole, mutually correlated function.

УДК 528.2, 551.24, 550.34

## ВОПРОСЫ ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА ПРИМЕРЕ ВЛАДИКАВКАЗСКОГО ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГНОЗНОГО ПОЛИГОНА

© 2016 В.Б. Заалишвили<sup>1</sup>, д.ф.-м.н., проф., Т.В. Гусева<sup>2</sup>, к.т.н.,  
Н.К. Розенберг<sup>2</sup>, Д.А. Мельков<sup>1</sup>, к.т.н.

<sup>1</sup>Геофизический институт ВНЦ РАН, Россия, 362002,  
г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: cgi\_ras@mail.ru;  
<sup>2</sup>Институт физики Земли РАН им. О.Ю. Шмидта, Россия, 123995,  
г. Москва, ул. Б. Грузинская, 10/1

В статье рассмотрены вопросы организации геодезического мониторинга для прогноза землетрясений на примере Владикавказского геодинамического прогнозного полигона. Основными элементами системы являются деформационно-геодезические прогнозные профили, ортогонально пересекающие сейсмогенный разлом и включающие 25 закрепленных пунктов, на которых возможно выполнять высокоточные геодезические измерения как методами наземной, так и методами космической геодезии. Практическая реализация измерений методами космической геодезии включает выбор оптимальной продолжительности регистрации спутниковых сигналов на каждом из пунктов, интервала записи и периодичности проведения измерений, отвечающих требованиям обеспечения точности и зависящих от имеющейся в распоряжении материально-технической базы и ресурсов.

**Ключевые слова:** мониторинг, геодезия, GPS/ГЛОНАСС, режим регистрации, точность, разлом, прогноз, землетрясение, Северная Осетия, полигон.

Столица Северной Осетии – г. Владикавказ, расположена в одной из наиболее сейсмоопасных зон Северного Кавказа, что требует специального контроля за безопасностью [Zaalishvili, Rogozhin, 2011; Заалишвили и др., 2011в]. Южная граница города находится всего лишь в нескольких километрах от северной ветви Владикавказской разломной зоны (рис. 1). Инструментальными наблюдениями последних лет в этой зоне зарегистрированы землетрясения с магнитудой лишь до пяти, однако существуют оценки потенциальной возможности возникновения здесь более сильных событий. Согласно выполненным в последние годы детальным сеймотектоническим исследованиям с применением тренчинг метода установлено, что этот разлом порождал в прошлом землетрясения с магнитудой около семи [Рогожин, 2011; Рогожин и др., 2011; Горбатиков и др., 2011; Zaalishvili, Rogozhin, 2011]. Разлом в настоящее время является тектонически активным, поэтому достаточно велика вероятность порождения им сейсмических катастроф.

С учетом изложенных обстоятельств: расположение г. Владикавказа в опасной близости от сейсмогенного разлома и возможное появление в этом разломе зоны сейсмического затишья являются более чем достаточным обоснованием для создания на Владикавказском разломе системы наблюдений, способной ответить на вопрос: готовится или нет в этой зоне очаг, способный породить сильное землетрясение [Заалишвили и др., 2011а, б].

Основными элементами такой системы являются деформационно-геодезические прогнозные профили, ортогонально пересекающие сейсмогенный разлом.



Рис. 1. Расположение пунктов Владикавказского геодинамического прогнозного полигона в зоне Владикавказской разломной зоны

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 [Певнев, 1988, 2003, 2009, 2016]. Есть основания считать, что максимальное расстояние между смежными пунктами профиля не должно превышать один километр. Однако вблизи центральной части разломной зоны, где при подготовке очага землетрясения накопление деформаций упругого изгиба происходит наиболее интенсивно (по экспоненциальному закону), расстояния между пунктами наблюдений целесообразно сокращать до 500 м.

Размещение профилей показано на рис. 1. Деформационно-геодезическая основа Владикавказского прогнозного полигона состоит из пяти геодезических прогнозных профилей, пересекающих Владикавказский сейсмогенный разлом [Певнев и др., 2014]. По условиям рельефа (транспортная доступность пунктов наблюдений) указанные профили расположены в долинах рек Ардон, Фиагдон, Гизельдон, Терек и Камбилеевка.

Каждый профиль должен быть закреплен на местности геодезическими пунктами, на которых возможно выполнять высокоточные геодезические измерения как методами наземной, так и методами космической геодезии. Так как Владикавказский разлом является надвигом, т. е. в нем имеют место достаточно выраженные как горизонтальные так и вертикальные смещения, то и геодезические наблюдения должны обеспечить надежные измерения обеих указанных компонент смещений.

Для практической реализации измерений на пунктах требуется выбор оптимальной продолжительности записи, интервала записи и периодичности проведения измерений, отвечающих требованиям обеспечения точности и экономической целесообразности.

Воспользуемся значениями требуемой точности измерений в зависимости от магнитуды готовящегося землетрясения, приводимой в работе А.К. Певнева [2003]. Если не иметь в виду максимально быстрое обнаружение готовящегося очага землетрясения, а лишь сам факт его подготовки, то в этом случае определяющим фактором является максимальная энергия прогнозируемого очага, так как именно этим

определяется величина упругих сейсмогенных смещений горных пород в очаге. Указанное обстоятельство позволяет для обнаружения разнокалиберных очагов использовать геодезические методы разной точности. Если целью является обнаружение очагов, способных породить землетрясение с магнитудой около 5, максимальное упругое смещение для которого составляет 3–5 см, то в этом случае можно считать достаточным определение смещений пунктов на базах около 1 км с точностью до 3–5 мм. Для магнитуды 6 достаточная точность составит 2–3 см, а для магнитуды 7 – примерно 10–20 см [Певнев, 2003].

Таким образом, сеть должна обеспечивать точность измерений не менее 3 мм, для регистрации смещений готовящегося землетрясения магнитудой 5 и выше, способного вызвать в эпицентральной зоне интенсивность до 8 баллов (в зависимости от глубины очага), принятой нормативной для средних грунтовых условий территории г. Владикавказа для 5%-ой вероятности превышения [Заалишвили и др., 2011в].

Для основного профиля была выполнена оценка точности измерений (табл. 1), на рис. 2–3 приведена зависимость точности от длительности наблюдений с использованием только GPS (GPS) и совместного использования GPS/ГЛОНАСС (GG). Непрерывная регистрация осуществлялась станцией VLAD, наблюдения на пунктах осуществлялись приемниками GB-1000 с антеннами PG-A1 и HiPer+, интервал записи составлял 30 с.

Таблица 1

**Ошибки определения координат: геоцентрических dX, dY, dZ  
и географических dN (север-юг), dE (восток-запад), dU  
(эллипсоидальная высота)**

Точка	Длительность	GPS						GPS+ГЛОНАСС					
		dX, мм	dX, мм	dY, мм	dZ, мм	dN, мм	dE, мм	dU, мм	dY, мм	dZ, мм	dN, мм	dE, мм	dU, мм
BALT	7,37	3,4	2,4	2,8	3,5	1,1	1,0	4,9	3,4	4,5	1,5	1,6	6,2
BDUD	6,08	13,3	6,7	8,0	7,1	2,5	2,3	12,1	11,7	11,7	3,6	7,0	19,7
CHAS	6,89	3,7	2,9	3,8	3,8	1,1	1,4	5,8	4,7	4,7	1,5	1,7	7,3
DPE4	6,93	2,4	2,0	2,1	2,5	0,9	0,8	3,6	2,4	2,8	1,1	1,0	4,1
DZGS	4,27	5,2	3,4	3,0	3,7	1,2	1,6	5,5	4,4	5,6	1,8	1,8	8,4
IZVE	6,87	4,9	3,4	5,4	5,5	1,1	1,9	8,2	8,0	8,1	1,6	2,8	12,0
SNTR	7,35	2,5	1,9	1,9	2,4	0,8	0,8	3,4	2,6	2,9	1,2	0,9	4,4
VDVZ	8,66	2,3	1,9	1,9	2,4	0,8	0,8	3,5	2,4	2,9	1,1	0,9	4,2

Используя полученные результаты, можно сделать следующие выводы:

1. Продолжительность выполненных измерений, достаточная для обеспечения требуемой точности регистрации землетрясений магнитудой 5 и выше составляет 8 часов (обеспечивая точность определения горизонтальных координат 2 мм и вертикальных – 5 мм).

2. Совместное использование GPS+ГЛОНАСС повышает точность определения горизонтальных координат приблизительно в два раза при продолжительности наблюдений 6 часов; для 8-часовой записи ошибки уменьшаются в 1,5 раза.

Данные получены для основного профиля Владикавказского геодинамического прогнозного полигона, учитывая топографические и местные особенности расположения пунктов, для других систем регистрации данные могут отличаться от приведенных в работе.

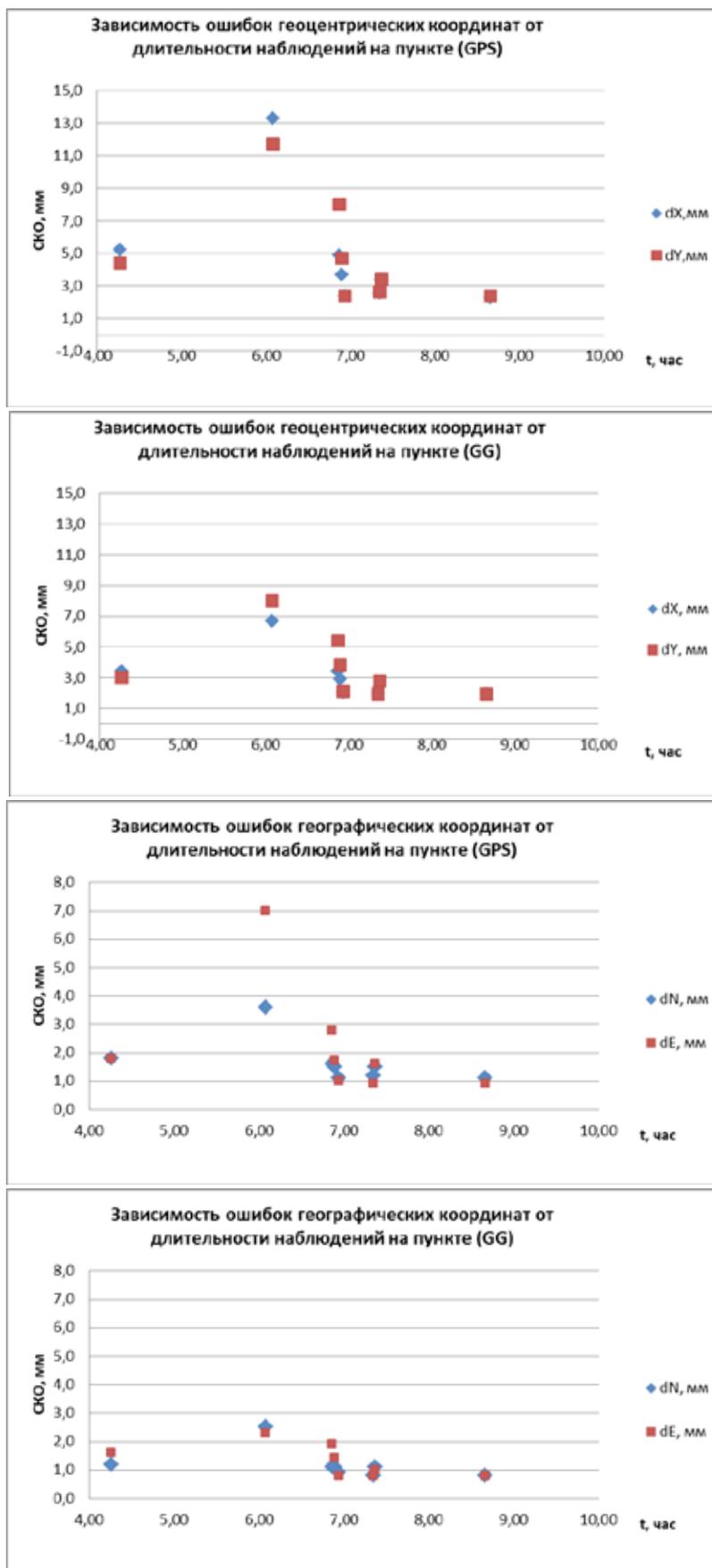


Рис. 2. Зависимость ошибок определения горизонтальных координат от длительности измерений

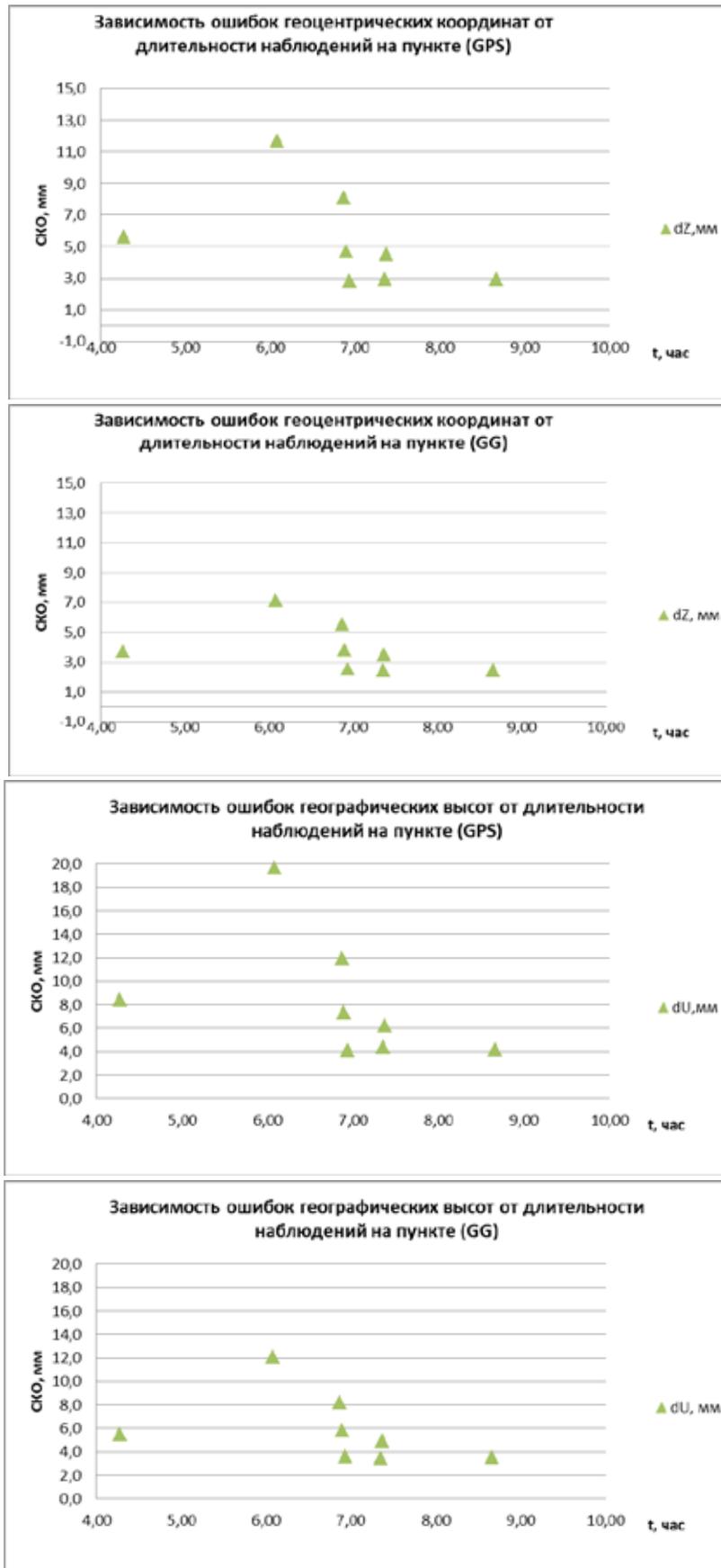


Рис. 3. Зависимость ошибок определения вертикальных координат от длительности измерений

### Литература

1. Горбатиков А.В., Овсяченко А.Н., Рогожин Е.А., Степанова М.Ю., Ларин Н.В. Структура зоны Владикавказского разлома по результатам изучения комплексом геолого-геофизических методов. Геофизические исследования. – 2011. – Т. 37. №3. – С. 47–57.
2. Заалишвили В.Б., Мельков Д.А., Кануков А.С. Развитие сетей GPS/ГЛОНАСС наблюдений на территории Республики Северная Осетия-Алания // Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 10-летию со дня основания КНИИ РАН «Наука и образование в Чеченской республике: состояние и перспективы развития», 7 апреля 2011 г., КНИИ РАН. – 2011а. – С. 325–327.
3. 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. – 2011б. – №2. – С. 33–40.
4. Заалишвили В.Б., Дзеранов Б.В., Габараев А.Ф. Оценка сейсмической опасности территории и построение вероятностных карт // Геология и геофизика Юга России. – 2011 в. – №1. – С. 48–59.
5. Певнев А.К. Прогноз землетрясений – геодезические аспекты проблемы // Изв. АН СССР. Физика Земли. – 1988. – №12. – С. 88–98.
6. Певнев А.К. Пути к практическому прогнозу землетрясений. М.: ГЕОС, 2003. 153 с.
7. Певнев А.К. О причинах кризиса в проблеме прогноза землетрясений и месте геодезического мониторинга в ее решении // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – 2009. – №8. – С. 79–87.
8. Певнев А.К., Заалишвили В.Б., Мельков Д.А. О модернизации геодезических исследований на Владикавказском геодинамическом прогножном полигоне // Геология и геофизика Юга России. – 2014. – Т. 2. №4. – С. 84–90.
9. Певнев А.К. О реальном пути к осуществлению прогноза землетрясений // Геология и геофизика Юга России. – 2016. – №1. – С. 102–131.
10. Рогожин Е.А., Иогансон Л.И., Завьялов А.Д. и др. Потенциальные сейсмические очаги и сейсмологические предвестники землетрясений – основа реального сейсмического прогноза. /Отв. ред. А.О. Глико. – М.: ООО «Светоч Плюс», 2011. – 368 с.
11. Рогожин Е.А. Методы сейсмотектоники в изучении очагов сильных землетрясений и прогнозе сейсмоопасности. Лекция // Современная тектонофизика. Методы и результаты. Материалы Второй молодежной тектонофизической школы-семинара. 17–21 октября 2011 г. Москва, ИФЗ РАН. – М.: ИФЗ, 2011. – Т. 2. – С. 147–155.
12. Zaalishvili V.B., Rogozhin E.A. Assessment of Seismic Hazard of Territory on Basis of Modern Methods of Detailed Zoning and Seismic Microzonation // The Open Construction and Building Technology Journal. – 2011. – 5. – Pp. 30–40.

## **THE PRACTICAL IMPLEMENTATION OF GEODETIC MONITORING THE EXAMPLE VLADIKAVKAZ GEODYNAMIC LOOKING RANGE**

© 2016 V.B. Zaalishvili<sup>1</sup>, Sc. Doctor (Phys.-Math.), prof., T.V. Guseva<sup>2</sup> Sc. Cand. (Tech.), N.K. Rozenberg<sup>2</sup>, D.A. Melkov<sup>1</sup>, Sc. Cand. (Tech.)

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

<sup>2</sup>Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, Russia,  
123995, Moscow, Bolshaya Gruzinskaya str., 10/1

The article deals with the organization of geodetic monitoring for earthquake prediction by the example of Vladikavkaz forecast geodynamic polygon. The main elements of the system are surveying the deformation forecast profiles, orthogonally crossing the seismogenic fault and including 25 fixed points, where is possible to perform high-precision geodetic measurements as a method of land and space geodesy techniques. Practical implementation of the measurement of space geodesy techniques includes selecting the optimal duration of the registration of satellite signals at each of the points, recording interval and frequency of measurements, meet the requirements of accuracy and depending on the available material and technical base and resources.

**Keywords:** monitoring, surveying, GPS/GLONASS, recording mode, accuracy, fault forecast, earthquake, North Ossetia, a polygon.

УДК 550.83

## ВЫЧИСЛЕНИЕ ВЫСШИХ ПРОИЗВОДНЫХ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА НА ОСНОВЕ F-АППРОКСИМАЦИИ

© 2016 И.А. Керимов, д.ф.-м.н., проф.

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

В статье рассмотрен метод трансформации гравитационного поля (определение различных компонент потенциала силы тяжести) на аппроксимационной основе. Разработанный автором метод и компьютерные технологии F-аппроксимации позволяют вычислять горизонтальные и вертикальные производные гравитационного потенциала для исходных данных, заданных как на регулярной, так и на нерегулярной сети. Метод апробирован на модельных и фактических гравиметрических данных.

**Ключевые слова:** аппроксимация, высшие производные, аномалия, гравитационное поле, трансформация.

Трансформации аномалий силы тяжести (нахождение пространственного распределения поля и его производных, разделение полей, осреднение, сглаживание, пересчет их в некоторые другие функции и др.) достаточно широко применяются в практике обработки и интерпретации гравитационных данных. Как известно, гравитационному потенциалу и его производным присуще так называемое свойство аддитивности, которое заключается в том, что значение функции от суммы аргументов равняется сумме значений функции от каждого аргумента в отдельности [Гравиразведка, 1990; Керимов, 2015; Керимов и др., 2008; Маловичко, Тарунина, 1981; Страхов, Токарь, 1985; Тарунина, 1995].

Как известно, трансформация гравитационных аномалий выполняется на основе априорных предположений (диапазон глубин, в котором заключены источники аномалий, либо минимальные и максимальные значениями градиента поля и др.). Одним из наиболее эффективных способов трансформации является вычисление высших производных потенциала силы тяжести [Гравиразведка, 1990; Керимов, 2011б; Маловичко, Тарунина, 1981; Страхов, Токарь, 1985; Тарунина, 1995]. Большинство известных методов вычисления высших производных потенциала являются неустойчивыми. Недостатком большинства существующих методов является также их неадекватность реальной геофизической практике (не учет нерегулярности и разновысотности гравиметрических сетей и другие идеализации) [Керимов, 2011а, 2015; Керимов и др., 2008; Маловичко, Тарунина, 1981].

Использование аппроксимационного подхода к спектральному анализу, основанного на методе линейных интегральных представлений В.Н. Страхова, позволяет устранить недостатки существующих методов [Керимов, 2011а, б, 2003, 2009а, б, 2015; Керимов и др., 2008; Маловичко, Тарунина, 1981; Страхов, 1992, 1999, 2001; Страхов и др., 2009]. Теоретические основы, алгоритмы и компьютерные программы аппроксимационного подхода к спектральному анализу, получившего название метод F-аппроксимации, описаны в ряде работ [Керимов, 2011а, б, 2003, 2009а, б, 2015; Страхов, 1999, 2001]. Результаты апробирования метода на модельных и фактических геофизических данных, заданных на нерегулярной сети, позволили

сделать вывод о высокой точности восстановления поля путем F-аппроксимации [Керимов, 2011а, 2009а, б; Страхов, 1999]. Метод F-аппроксимации позволяет также принципиально по-новому решать ряд вопросов трансформаций потенциальных полей.

В данной статье в продолжение предыдущих работ автора по нахождению линейных трансформаций потенциальных полей рассмотрены алгоритмы и компьютерные технологии пространственного распределения поля и его производных на основе F-аппроксимации. Приводятся также результаты опробования алгоритмов и компьютерных технологий на модельных и практических геолого-гравиметрических материалах.

В предыдущих работах [Керимов, 2011а, б, 2003, 2009а, б; Страхов, 1999] было получено выражение для первой вертикальной производной гравитационного потенциала:

$$W_z(\xi_{1,l}, \xi_{2,l}, \xi_{3,l}) = \frac{3}{2\pi} \sum_{k=1}^N \lambda_k \frac{(2z_{k,l}^2 - 3p_{k,l}^2) \cdot z}{(z_{k,l}^2 + p_{k,l}^2)^{7/2}}, \quad (1)$$

где

$$p_{k,l} = \sqrt{(x_{1,k} - \xi_{1,l})^2 + (x_{2,k} - \xi_{2,l})^2} \quad (2)$$

$$z_{k,l} = x_{3,k} + \xi_{3,l} + 2H \quad (3)$$

С учетом (1) и (2) окончательно имеем формулы для расчета различных элементов гравитационного поля на заданном уровне  $h$  ( $h < H$ ). Полученные формулы (4–9) могут быть использованы для пересчета поля силы тяжести и его производных на заданный уровень  $h$  как на нерегулярной, так и на регулярной сети. С целью оценки точности аналитического продолжения гравитационного поля на основе F-аппроксимации были выполнены расчеты на модельных участках №№ 1–3. Используемые модели описаны в работах [Керимов, 2003, 2011а, б, 2015; Страхов и др., 2009]. Результаты расчетов приведены в таблицах №№ 1–3.

Для оценки относительной точности аппроксимации использовалась следующая мера:

$$\gamma_k = \frac{\|f_{уст} - f_{выч}^{(k)}\|_E}{\|f_{уст}\|_E}, \quad (4)$$

где:

$f_{уст}$  – исходные (в случае модельных примеров точное) значения гравитационного поля;

$f_{выч}^{(k)}$  – восстановленные по результатам аппроксимации значения поля при решении СЛАУ различными методами.

Для оценки среднеквадратических погрешностей аппроксимации, полученных при решении СЛАУ использовалась следующая формула:

$$\sigma_k = \frac{\|f_{выч}^{(k)} - f_{уст}\|_E}{\sqrt{N}} \quad (5)$$

Рассмотрим особенности решения некоторых задач (восстановления поля, измеренного на нерегулярной сети, на регулярной сети, пересчет наблюдаемого поля на заданный уровень, расчет горизонтальных и вертикальных производных на различных уровнях и др.).

## Вычисление гравитационного потенциала $W(\xi)$ и его производных

Учетом вышеизложенного выражение для гравитационного потенциала имеет следующий вид:

$$W(\xi_{1,l}, \xi_{2,l}, \xi_{3,l}) = \frac{1}{2\pi} \sum_{k=1}^N \lambda_k \frac{2z_{k,l}^2 - p_{k,l}^2}{(z_{k,l}^2 + p_{k,l}^2)^{3.5}}, \quad (6)$$

где  $p_{k,l}$  и  $z_{k,l}$  определены в соответствии с формулами (2) и (3).

Соответственно выражение для первой вертикальной производной гравитационного потенциала:

$$W_z(\xi_{1,l}, \xi_{2,l}, \xi_{3,l}) = \frac{3}{2\pi} \sum_{k=1}^N \lambda_k \frac{(2z_{k,l}^2 - 3p_{k,l}^2) \cdot z}{(z_{k,l}^2 + p_{k,l}^2)^{3.5}} \quad (7)$$

Полученная формула (7) для вычисления первой вертикальной производной может быть использована для восстановления поля силы тяжести на нерегулярной или регулярной сети, а также для пересчета на заданный уровень. Аналогичные выражения можно получить для первых горизонтальных производных гравитационного потенциала:

$$W_x(\xi_{1,l}, \xi_{2,l}, \xi_{3,l}) = \frac{3}{2\pi} \sum_{k=1}^N \lambda_k \frac{(x_{1,k} - \xi_{1,l})(p_{k,l}^2 - 4z_{k,l}^2)}{(z_{k,l}^2 + p_{k,l}^2)^{3.5}} \quad (8)$$

$$W_y(\xi_{1,l}, \xi_{2,l}, \xi_{3,l}) = \frac{3}{2\pi} \sum_{k=1}^N \lambda_k \frac{(x_{2,k} - \xi_{2,l})(p_{k,l}^2 - 4z_{k,l}^2)}{(z_{k,l}^2 + p_{k,l}^2)^{3.5}} \quad (9)$$

Аналогичный рассмотренному выше подход может быть использован для получения выражений для вторых горизонтальных и вертикальной производной гравитационного потенциала. В свою очередь на основании выражений для вторых горизонтальных производных можно получить формулы для определения модуля и направления полного горизонтального градиента силы тяжести. Окончательные выражения для вторых горизонтальных и вертикальной производных гравитационного потенциала имеют следующий вид:

$$W_{xz}(\xi_{1,l}, \xi_{2,l}, \xi_{3,l}) = \frac{15}{\pi} \sum_{k=1}^N \lambda_k \frac{(x_{1,k} - \xi_{1,l})(3\rho_{k,l}^2 - 4z_{k,l}^3)}{(z_{k,l}^2 + \rho_{k,l}^2)^{4.5}} \quad (10)$$

$$W_{yz}(\xi_{1,l}, \xi_{2,l}, \xi_{3,l}) = \frac{15}{\pi} \sum_{k=1}^N \lambda_k \frac{(x_{2,k} - \xi_{2,l})(3\rho_{k,l}^2 - 4z_{k,l}^3)}{(z_{k,l}^2 + \rho_{k,l}^2)^{4.5}} \quad (11)$$

$$W_{sz}(\xi_{1,l}, \xi_{2,l}, \xi_{3,l}) = \frac{15}{\pi} \sum_{k=1}^N \lambda_k \frac{(3\rho_{k,l}^2 - 4z_{k,l}^3)p_{k,l}}{(z_{k,l}^2 + \rho_{k,l}^2)^{4.5}} \quad (12)$$

$$W_{zz}(\xi_{1,l}, \xi_{2,l}, \xi_{3,l}) = \frac{15}{\pi} \sum_{k=1}^N \lambda_k \frac{8z_{k,l}^4 - 24\rho_{k,l}^2 z_{k,l}^2 + 3\rho_{k,l}^4}{(z_{k,l}^2 + \rho_{k,l}^2)^{4.5}} \quad (13)$$

После очевидных преобразований получим формулы для вычисления третьих производных гравитационного потенциала:

$$W_{zzz}(\xi_{1,l}, \xi_{2,l}, \xi_{3,l}) = \frac{75}{\pi} \sum_{k=1}^N \lambda_k \frac{z_{k,l}(8z_{k,l}^4 - 40\rho_{k,l}^2 z_{k,l}^2 + 15\rho_{k,l}^4)}{(z_{k,l}^2 + \rho_{k,l}^2)^{5.5}}, \quad (13)$$

$$W_{xxz}(\xi_{1,l}, \xi_{2,l}, \xi_{3,l}) = \frac{75}{\pi} \sum_{k=1}^N \lambda_k \frac{z_{k,l}(x_{2,k} - \xi_{2,l})(8z_{k,l}^4 - 40\rho_{k,l}^2 z_{k,l}^2 + 15\rho_{k,l}^4)}{(z_{k,l}^2 + \rho_{k,l}^2)^{5.5}} \quad (14)$$

$$W_{yyz}(\xi_{1,l}, \xi_{2,l}, \xi_{3,l}) = \frac{75}{\pi} \sum_{k=1}^N \lambda_k \frac{z_{k,l}(x_{2,k} - \xi_{2,l})(8z_{k,l}^4 - 40\rho_{k,l}^2 z_{k,l}^2 + 15\rho_{k,l}^4)}{(z_{k,l}^2 + \rho_{k,l}^2)^{5.5}} \quad (15)$$

Полученные выше выражения были положены в основу алгоритма и программы Gradient-F вычисления высших производных гравитационного потенциала на основе F-аппроксимации гравитационного поля.

Для оценки точности вычисления производных был использован тестовый пример (2500 точек), для которого были рассчитаны теоретические значения аномального гравитационного поля, также значения горизонтальных и вертикальных производных от 7 призматических тел. Для тестового примера была выполнена F-аппроксимация и рассчитаны значения горизонтальных ( $Wxz$ ,  $Wyz$ ,  $Wsz$ ) и вертикальных ( $Wzz$ ,  $Wzzz$ ), которые сравнивались с теоретическими значениями. Результаты оценки точности вычисления производных приведены в таблице 1. По результатам расчетов были построены карты производных, а также карты разностных полей между теоретическими и полученными по результатам F-аппроксимации значениями производных.

Расчеты горизонтальных и вертикальных производных по результатам F-аппроксимации были также выполнены для модельных примеров №1, №2 и №3. Результаты оценки точности приведены в таблицах 2–4.

На рис. 1–24 приведены карты теоретических и расчетных на основе F-аппроксимации значений горизонтальных и вертикальных производных, а также карты разностных полей для производных  $Wsz$ ,  $Wzz$  и  $Wzzz$  для модельных примеров №1, №2 и №3.

На рис. 25–26 представлены карты  $Wzz$  и  $Wzzz$  для Сереговской и Сибирской площадей. Из анализа карт разностных полей видно, что максимальные отклонения отмечаются на периферии. Точность вычисления высших производных без учета около 5% периферийных точек значительно выше для всех точек (табл. 1–4).

Таблица 1.

Элемент поля	$\gamma = \frac{\ W_{уст} - W_{выч}\ _E}{\ W_{уст}\ _E}$			
	$C^2=10^{-5}$		$C^2=10^{-3}$	
	$K_{\text{КОИТ}}=2500$	$K_{\text{КОИТ}}=1805$	$K_{\text{КОИТ}}=2500$	$K_{\text{КОИТ}}=1805$
$Wz$	0.00214	0.00126	0.01504	0.01211
$Wxz$	0.05918	0.00794	0.12531	0.04282
$Wyz$	0.05056	0.00567	0.11437	0.02739
$Wsz$	0.05164	0.00527	0.11271	0.02526
$Wzz$	0.19379	0.05757	0.22543	0.06614
$Wzzz$	0.32302	0.03943	0.43675	0.11079

Таблица 2.

Элемент поля	$C^2=10^{-5}$				$C^2=10^{-4}$				$C^2=10^{-3}$			
	$K_{\text{КОИТ}}=6000$		$K_{\text{КОИТ}}=4914$		$K_{\text{КОИТ}}=6000$		$K_{\text{КОИТ}}=4914$		$K_{\text{КОИТ}}=6000$		$K_{\text{КОИТ}}=4914$	
	$\gamma$	$\sigma$										
$Wz$ (mgal)	0.002	0.01	0.001	0.01	0.006	0.04	0.002	0.02	0.016	0.11	0.009	0.08
$Wxz$ (E)	0.289	0.94	0.010	0.09	0.433	1.41	0.018	0.17	0.627	2.04	0.044	0.42
$Wyz$ (E)	0.175	0.47	0.007	0.06	0.290	0.77	0.014	0.14	0.464	1.23	0.033	0.31
$Wsz$ (E)	0.245	1.03	0.010	0.10	0.369	1.55	0.019	0.18	0.544	2.29	0.044	0.42
$Wzz$ (E)	1.00	4.50	0.145	1.38	1.088	4.89	0.152	1.45	1.172	5.27	0.159	1.52
$Wzzz \times 10^{-15}$	2.48	23.6	0.203	1.9	2.957	28.2	0.327	3.1	3.403	32.5	0.599	5.7

Таблица 3.

Элемент поля	$C^2=10^{-5}$				$C^2=10^{-4}$				$C^2=10^{-3}$			
	$K_{\text{КОИТ}}=6000$		$K_{\text{КОИТ}}=4914$		$K_{\text{КОИТ}}=6000$		$K_{\text{КОИТ}}=4914$		$K_{\text{КОИТ}}=6000$		$K_{\text{КОИТ}}=4914$	
	$\gamma$	$\sigma$										
$Wz$ (mgal)	0.002	0.01	0.001	0.01	0.005	0.02	0.001	0.02	0.015	0.06	0.004	0.05
$Wxz$ (E)	0.129	0.45	0.013	0.05	0.189	0.66	0.008	0.11	0.256	0.90	0.017	0.22
$Wyz$ (E)	0.064	0.21	0.010	0.03	0.102	0.33	0.006	0.07	0.155	0.50	0.013	0.17
$Wsz$ (E)	0.100	0.48	0.009	0.04	0.148	0.71	0.008	0.11	0.204	0.97	0.016	0.21
$Wzz$ (E)	0.370	1.81	0.108	0.53	0.400	1.96	0.043	0.56	0.424	2.08	0.047	0.61
$Wzzz \times 10^{-15}$	0.783	10.2	0.076	0.99	0.915	11.9	0.127	1.65	0.915	13.2	0.237	3.08

Таблица 4.

Элемент поля	$C^2=10^{-5}$				$C^2=10^{-4}$				$C^2=10^{-3}$			
	$K_{\text{КОИТ}}=6000$		$K_{\text{КОИТ}}=4991$		$K_{\text{КОИТ}}=6000$		$K_{\text{КОИТ}}=4991$		$K_{\text{КОИТ}}=6000$		$K_{\text{КОИТ}}=4991$	
	$\gamma$	$\sigma$										
$Wz$ (mgal)	0.002	0.01	0.000	0.01	0.005	0.03	0.001	0.02	0.014	0.08	0.002	0.05
$Wxz$ (E)	0.112	0.60	0.006	0.14	0.228	1.21	0.013	0.34	0.400	2.12	0.025	0.64
$Wyz$ (E)	0.083	0.34	0.005	0.12	0.178	0.73	0.010	0.25	0.332	1.36	0.021	0.52
$Wsz$ (E)	0.099	0.66	0.006	0.15	0.201	1.35	0.014	0.35	0.355	2.38	0.026	0.64
$Wzz$ (E)	0.498	3.61	0.056	1.42	0.586	4.25	0.060	1.51	0.680	4.93	0.065	1.63
$Wzzz \times 10^{-15}$	1.069	26.9	0.189	4.8	1.566	39.4	0.347	8.7	2.006	50.5	0.633	15.9

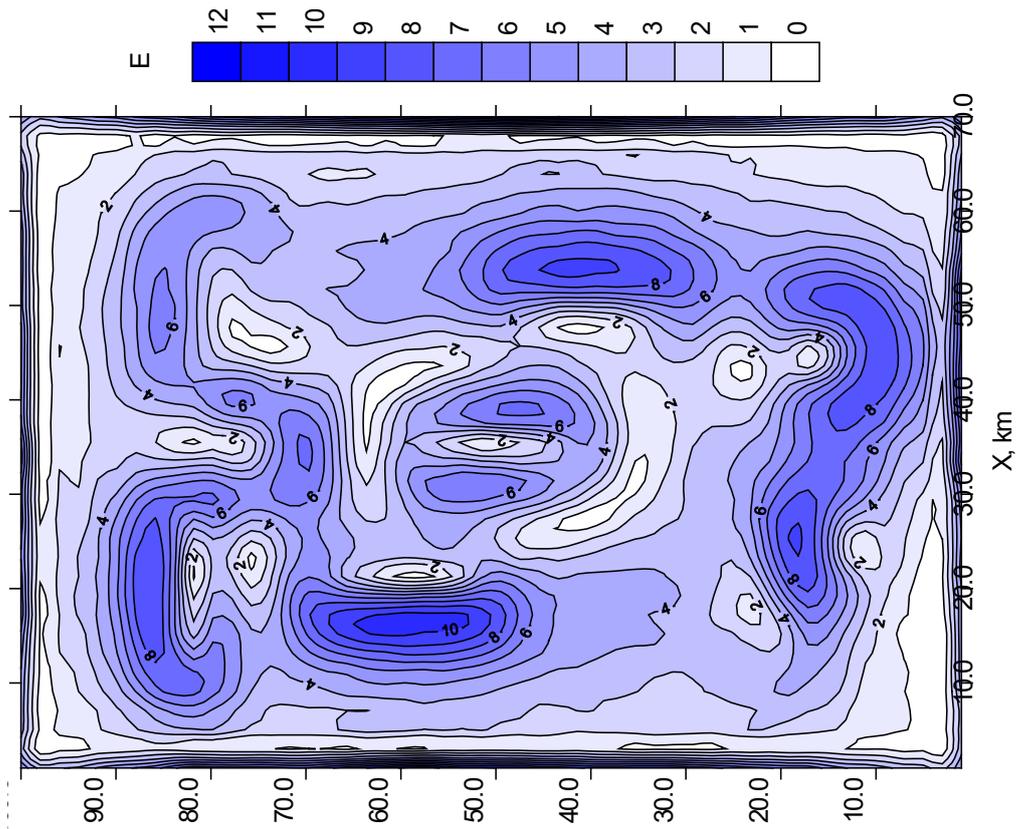


Рис. 2. Модельный участок №1  
Карта  $Wsz$  по результатам F-аппроксимации

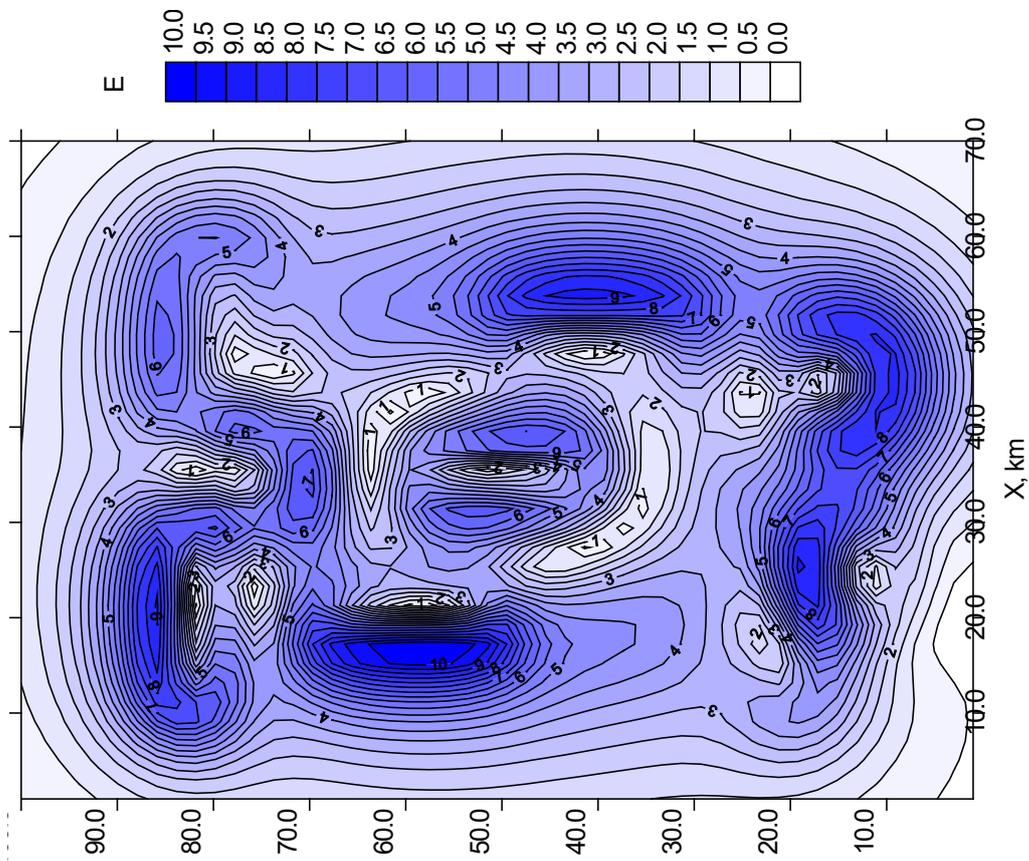


Рис. 1. Модельный участок №1  
Карта  $Wsz$

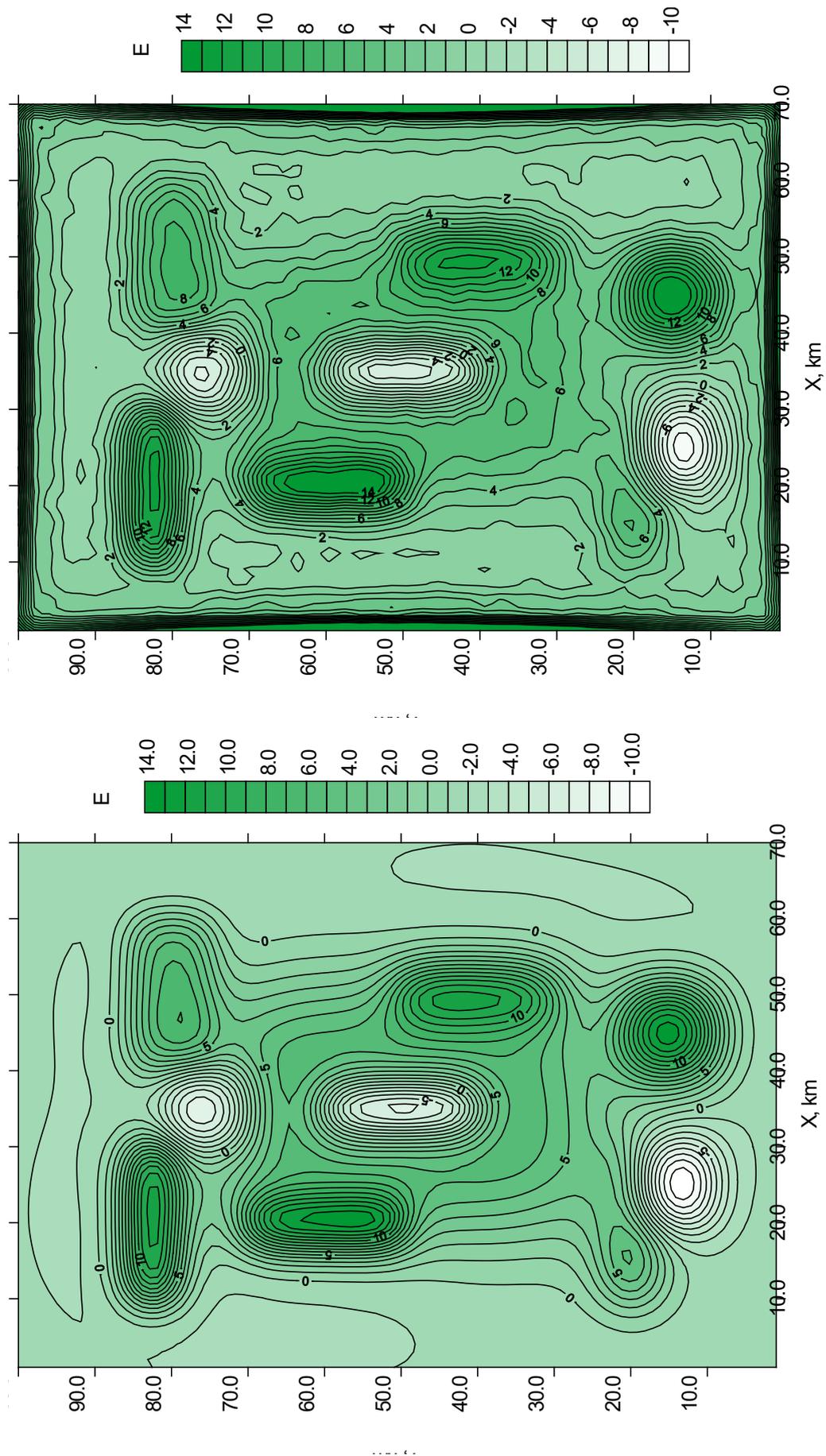


Рис. 4. Модельный участок №1  
Карта Wzz по результатам F-аппроксимации

Рис. 3. Модельный участок №1  
Карта Wzz

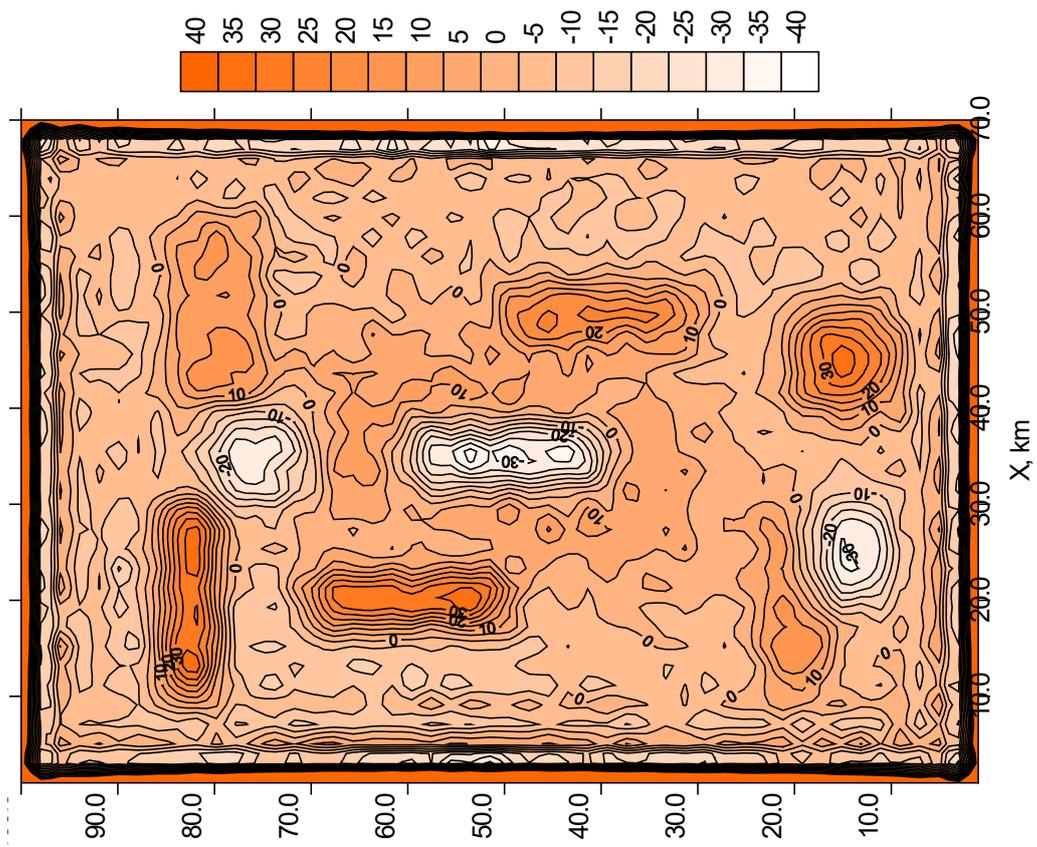


Рис. 6. Модельный участок №1  
Карта  $W_{zzz}$  по результатам F- аппроксимации

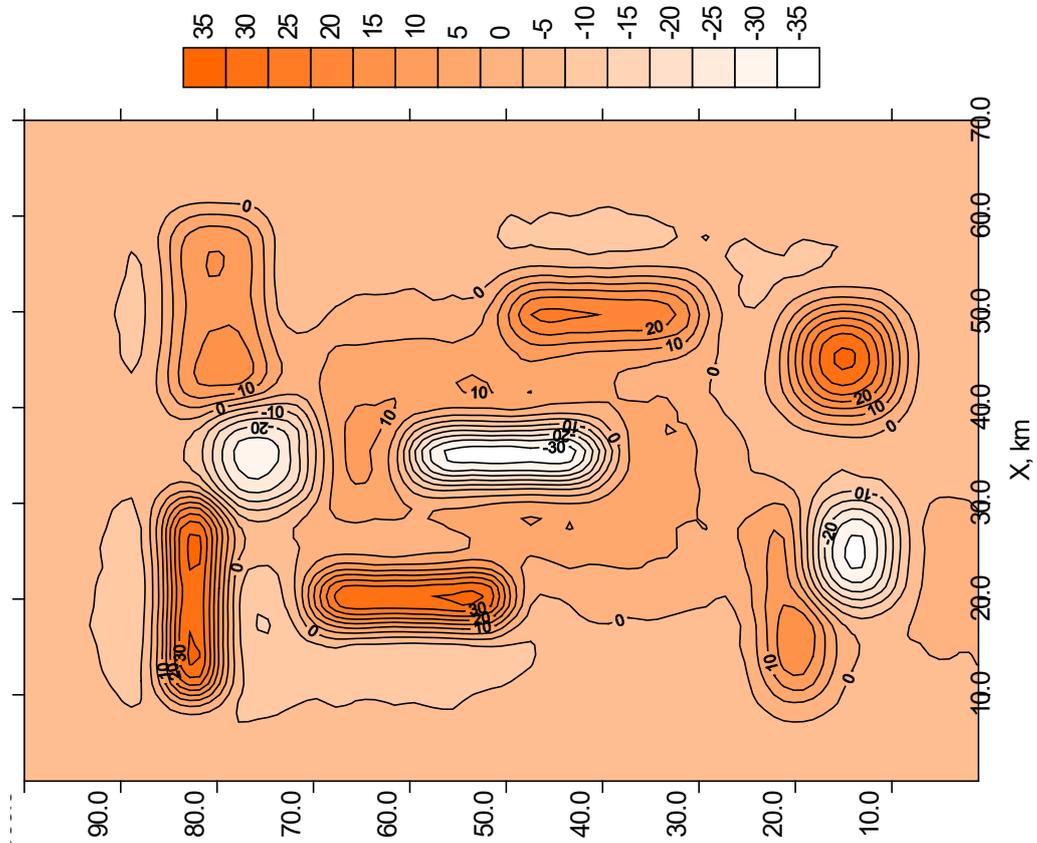


Рис. 5. Модельный участок №1  
Карта  $W_{zzz}$

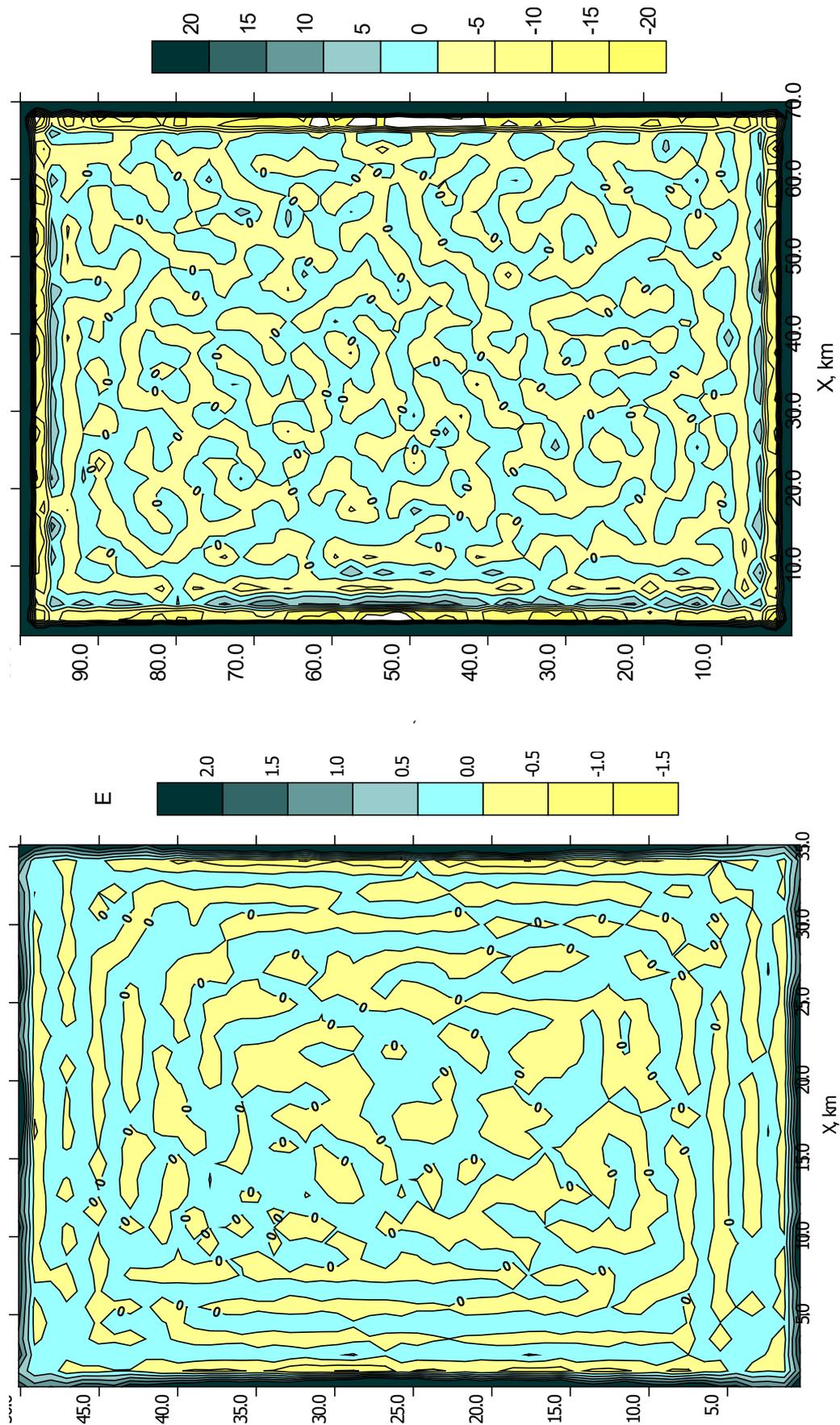


Рис. 8. Модельный участок № 1  
Карта разностного поля  $W_{zz}$

Рис. 7. Модельный участок № 1  
Карта разностного поля  $W_{sz}$

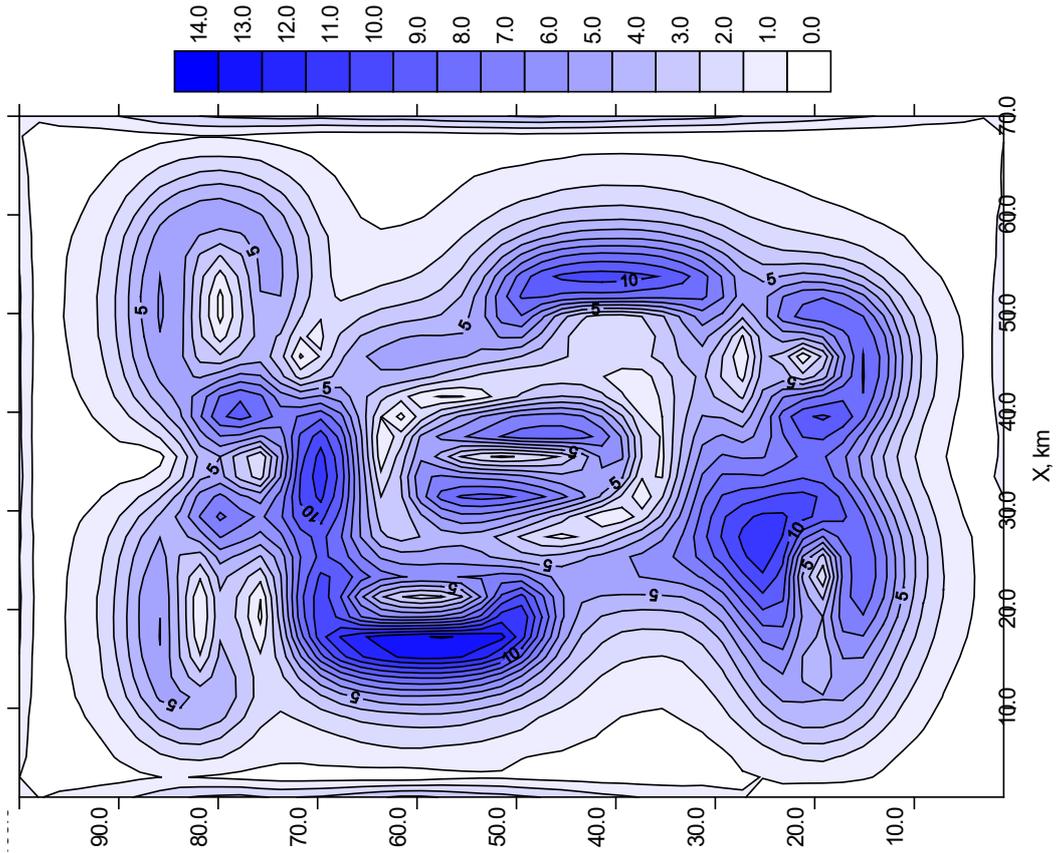


Рис. 10. Модельный участок №2  
Карта  $Wsz$  по результатам F-аппроксимации

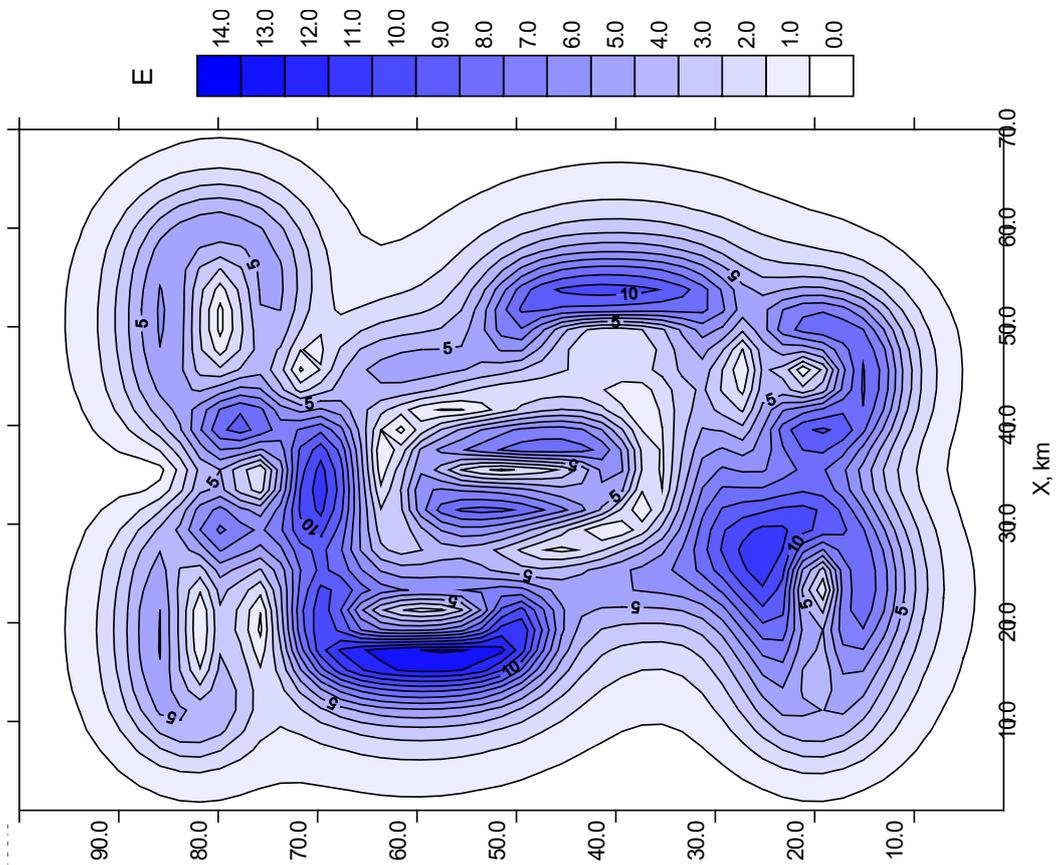


Рис. 9. Модельный участок №2  
Карта  $E$

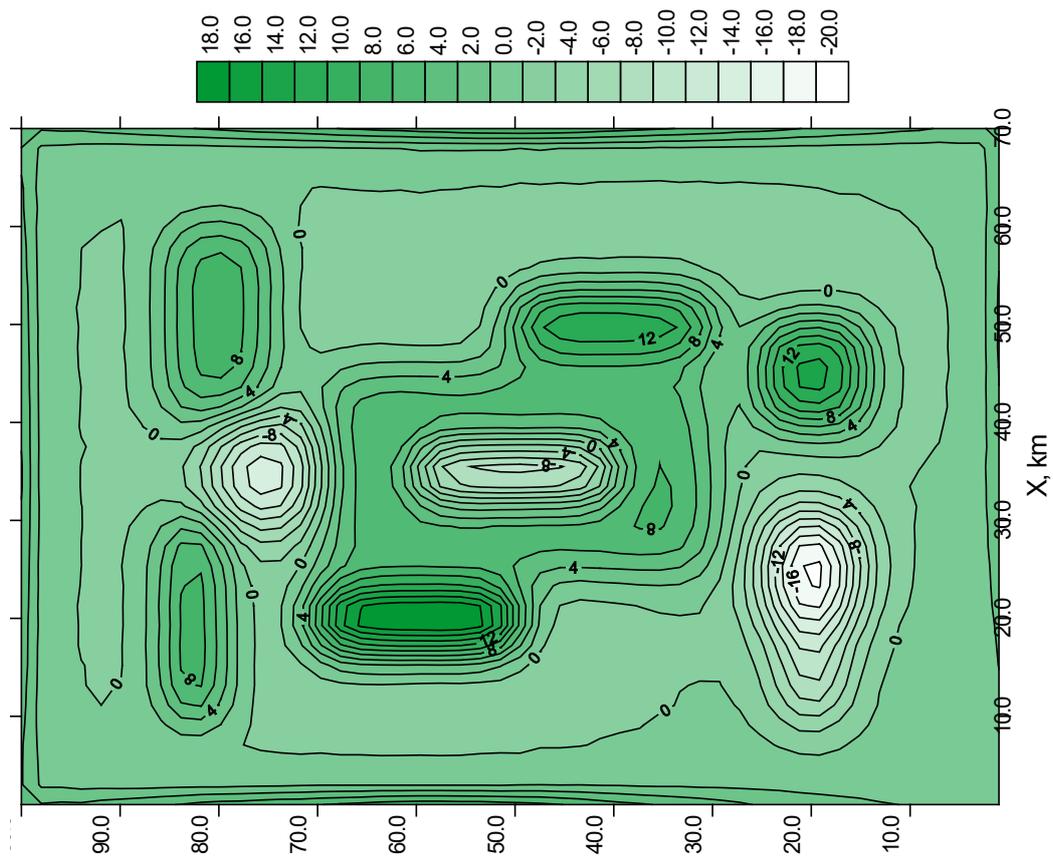


Рис. 12. Модельный участок №2  
Карта  $W_{zz}$  по результатам F-аппроксимации

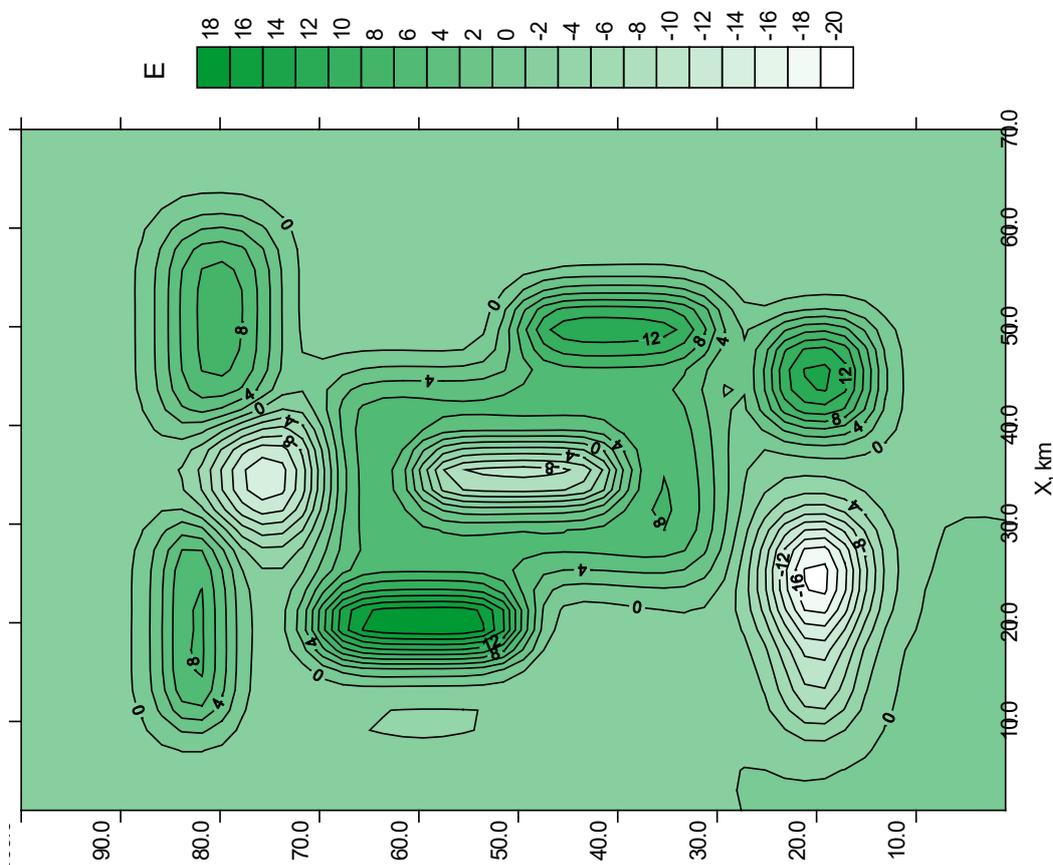


Рис. 11. Модельный участок №2  
Карта E

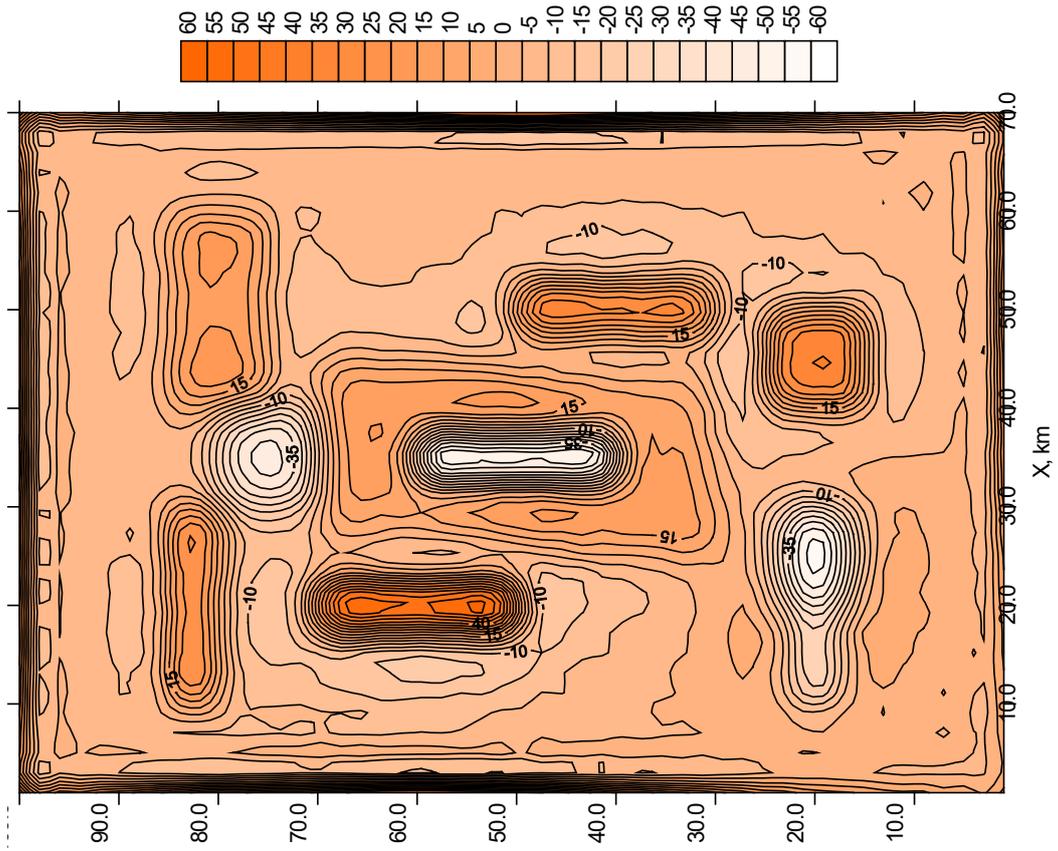


Рис. 14. Модельный участок №2  
Карта Wzzz по результатам F- аппроксимации

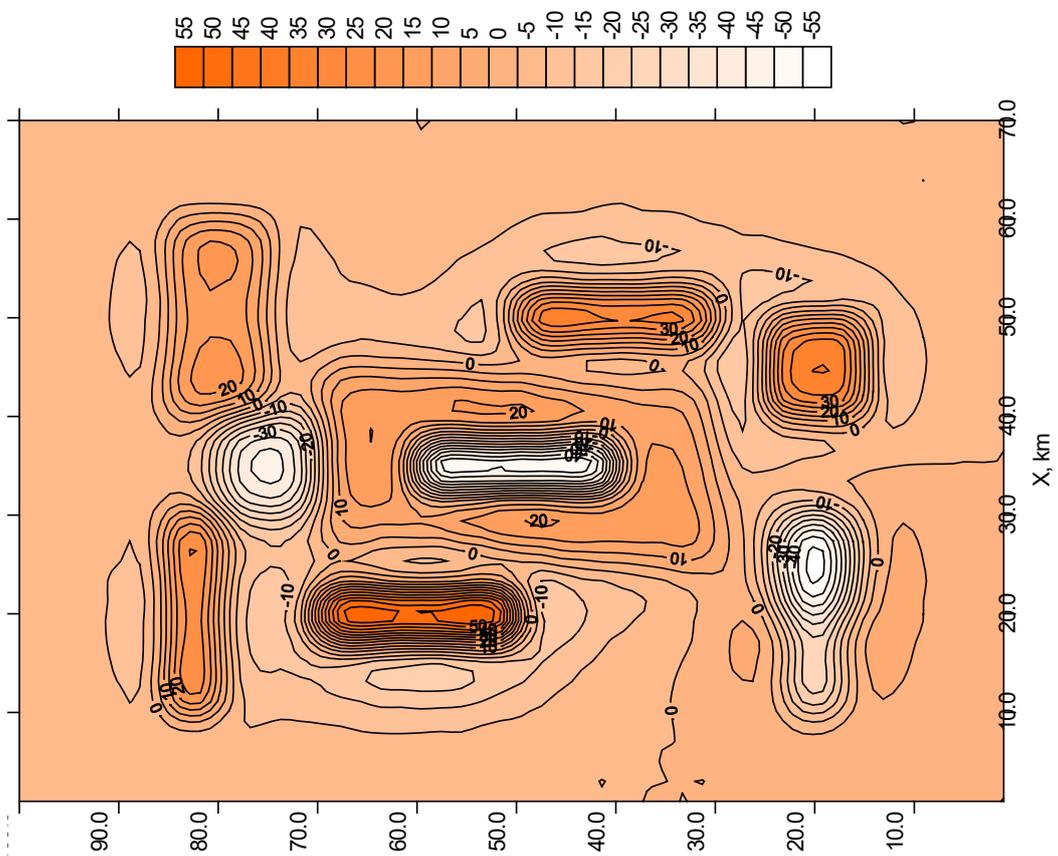


Рис. 13. Модельный участок №2  
Карта Wzz

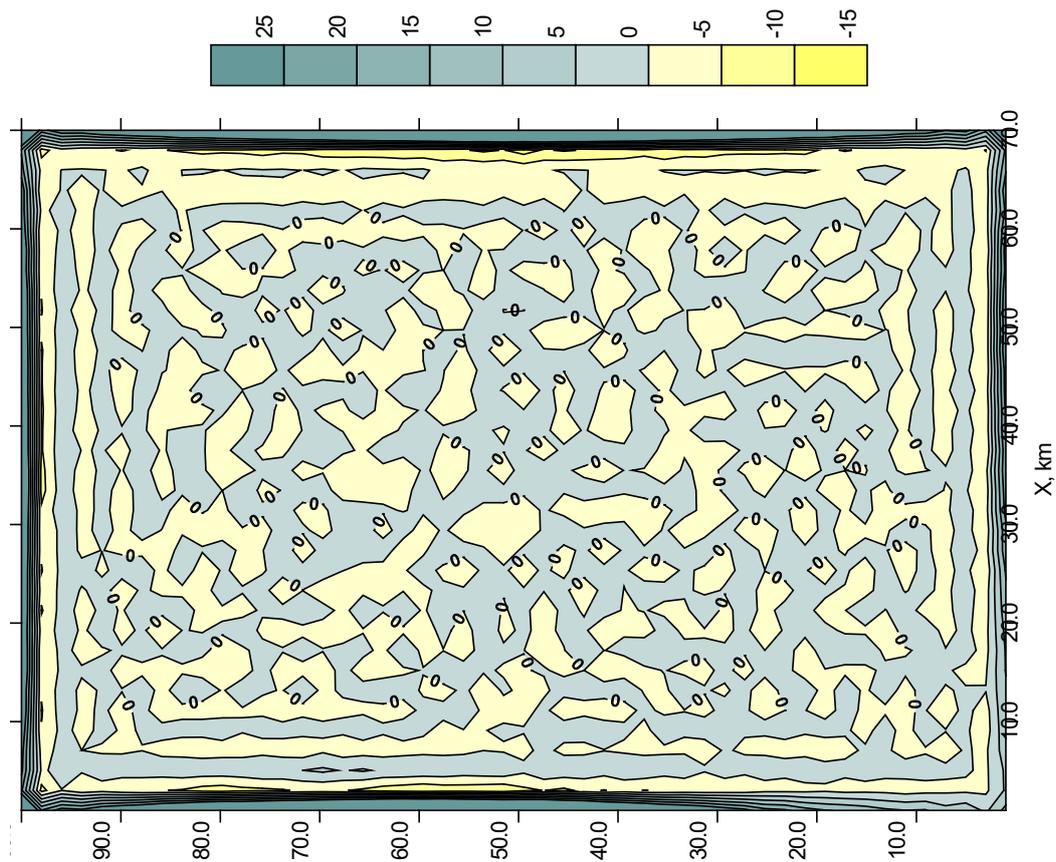


Рис. 15. Модельный участок №2  
Карта разностного поля  $W_{zz}$

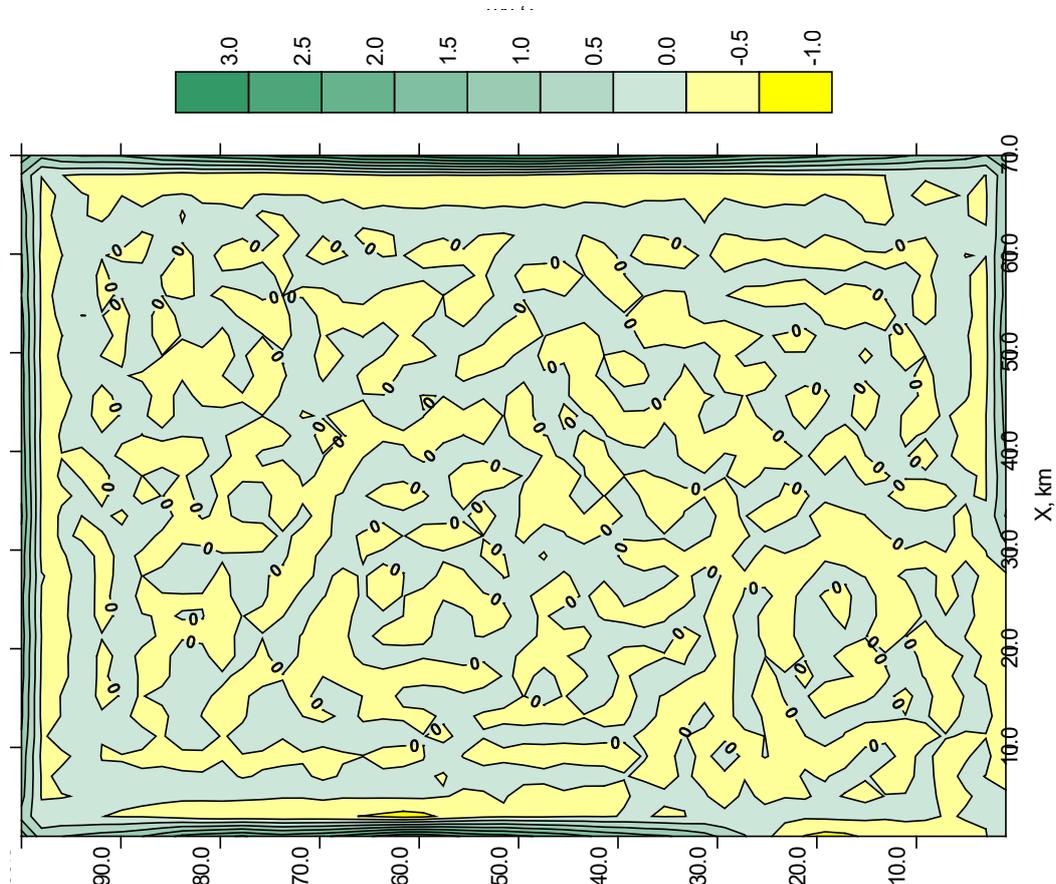


Рис. 16. Модельный участок №2  
Карта разностного поля  $W_{sz}$

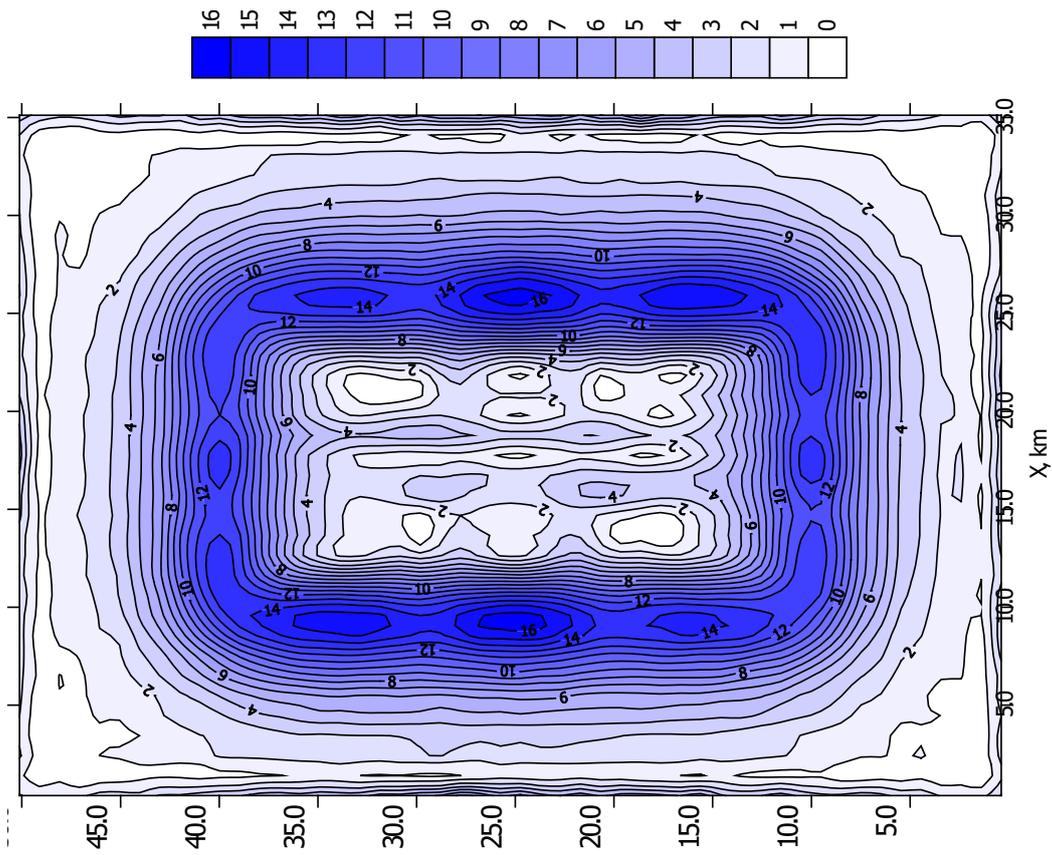


Рис. 18. Модельный участок №3  
Карта  $Wsz$  по результатам F-аппроксимации

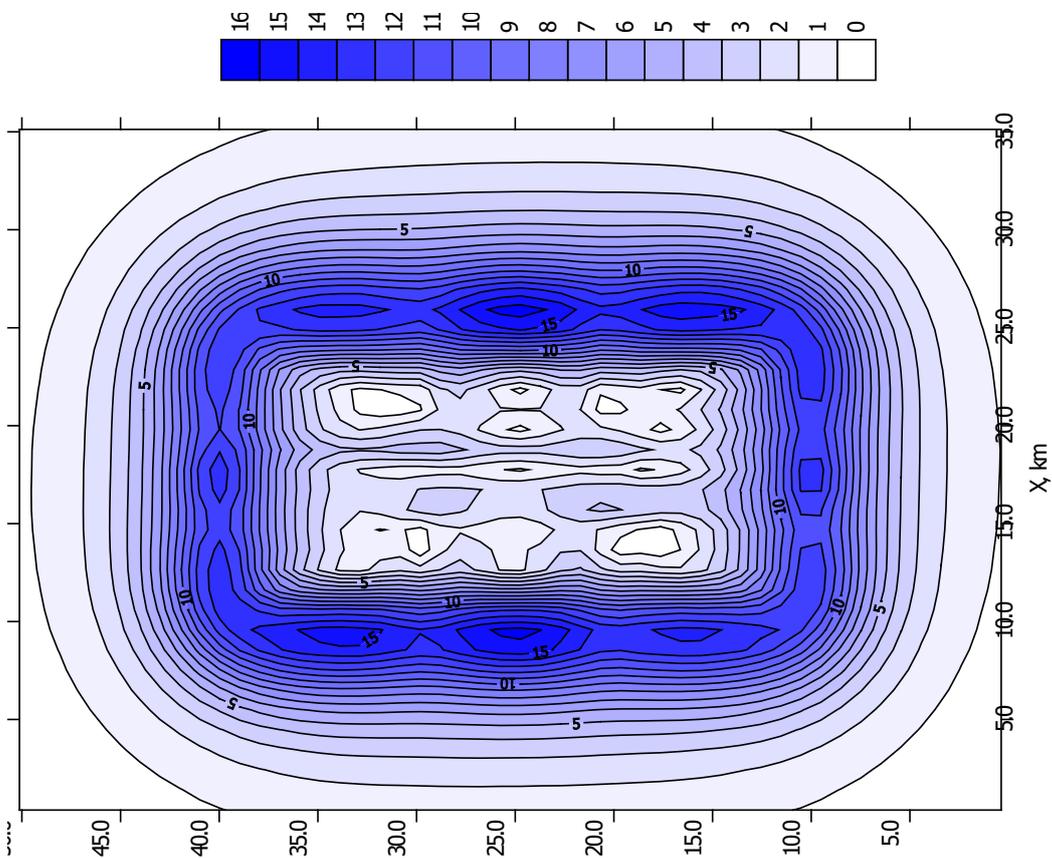


Рис. 17. Модельный участок №3  
Карта  $Wsz$

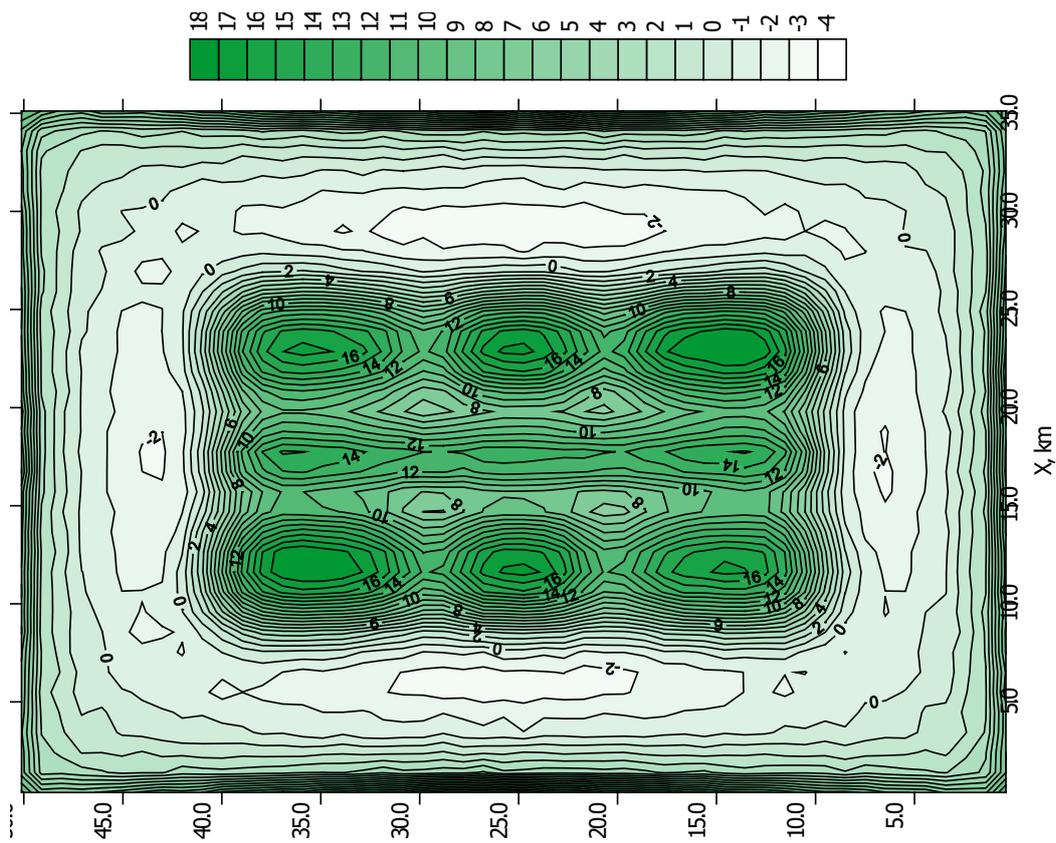


Рис. 19. Модельный участок №3  
Карта  $W_{zz}$

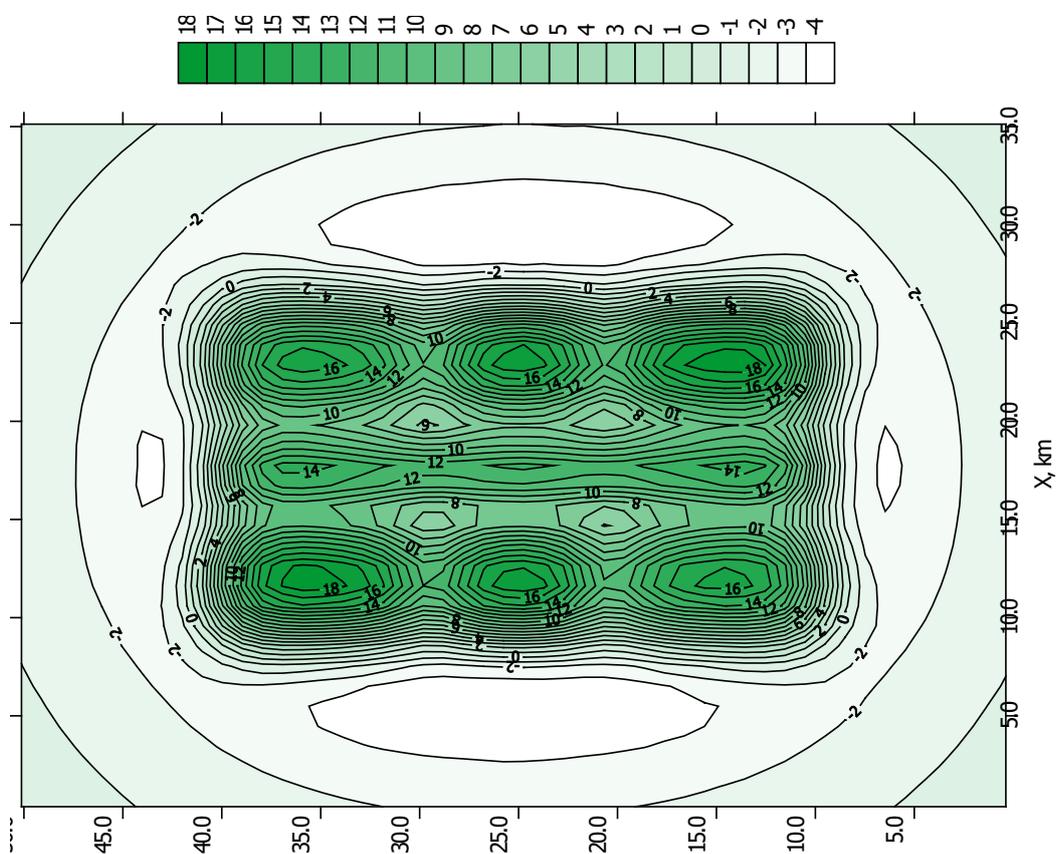


Рис. 20. Модельный участок №3  
Карта  $W_{zz}$  по результатам  $F$ -аппроксимации

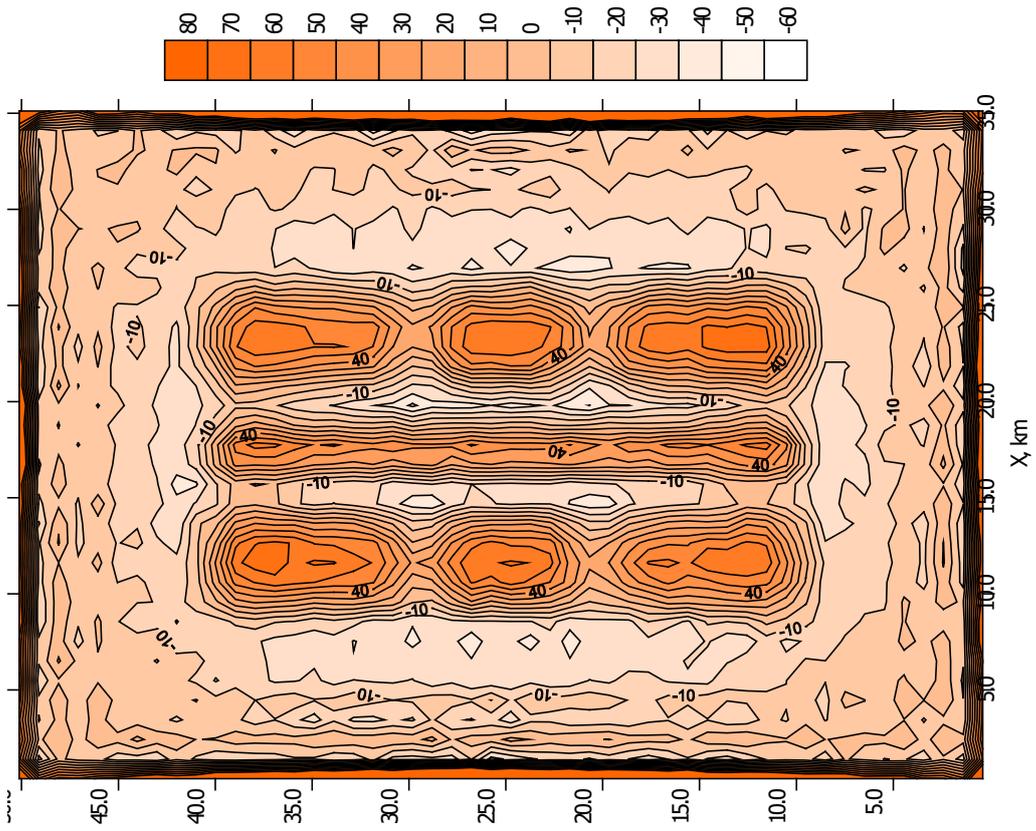


Рис. 21. Модельный участок №3  
Карта Wzzz

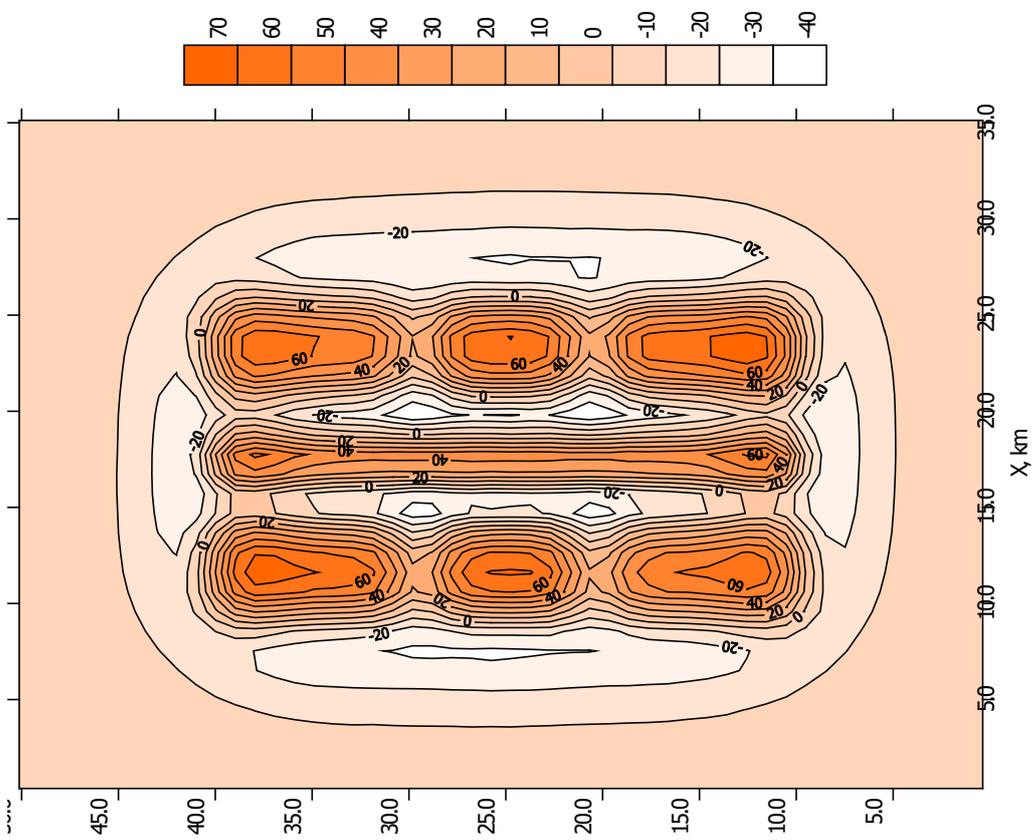


Рис. 22. Модельный участок №3  
Карта Wzzz по результатам F-аппроксимации

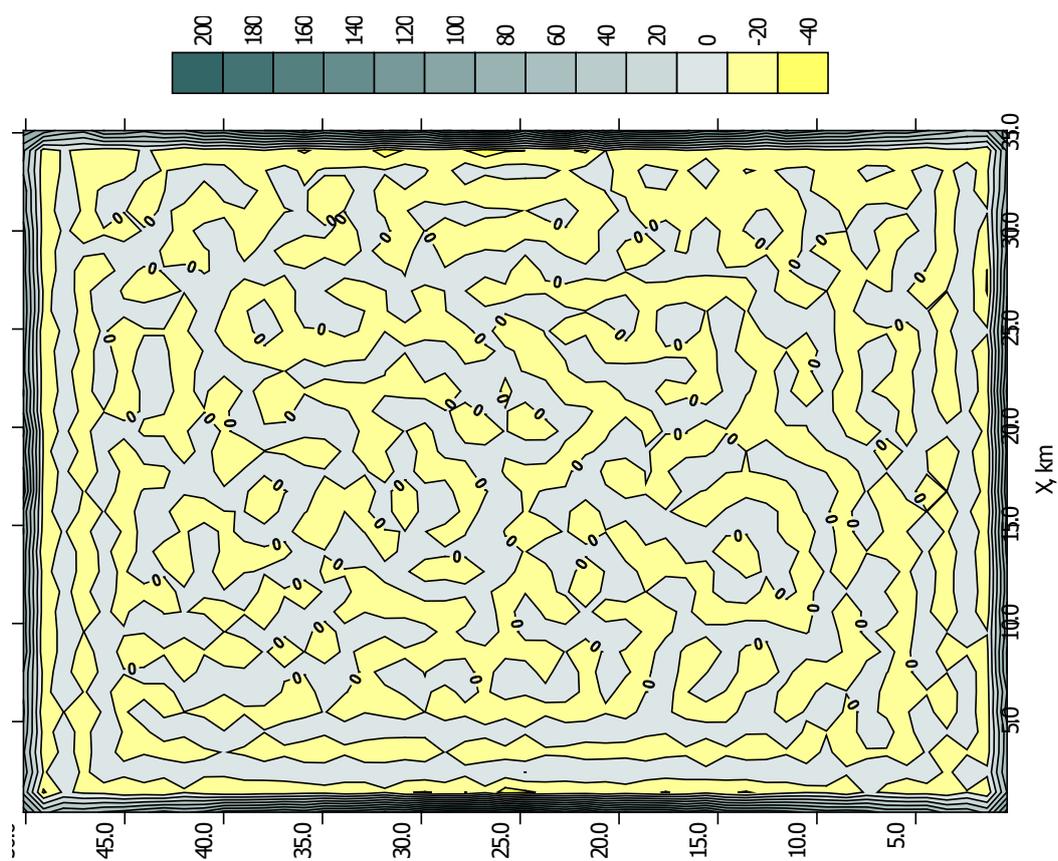


Рис. 20. Модельный участок №3  
Карта  $W_{zz}$  по результатам  $F$ -аппроксимации

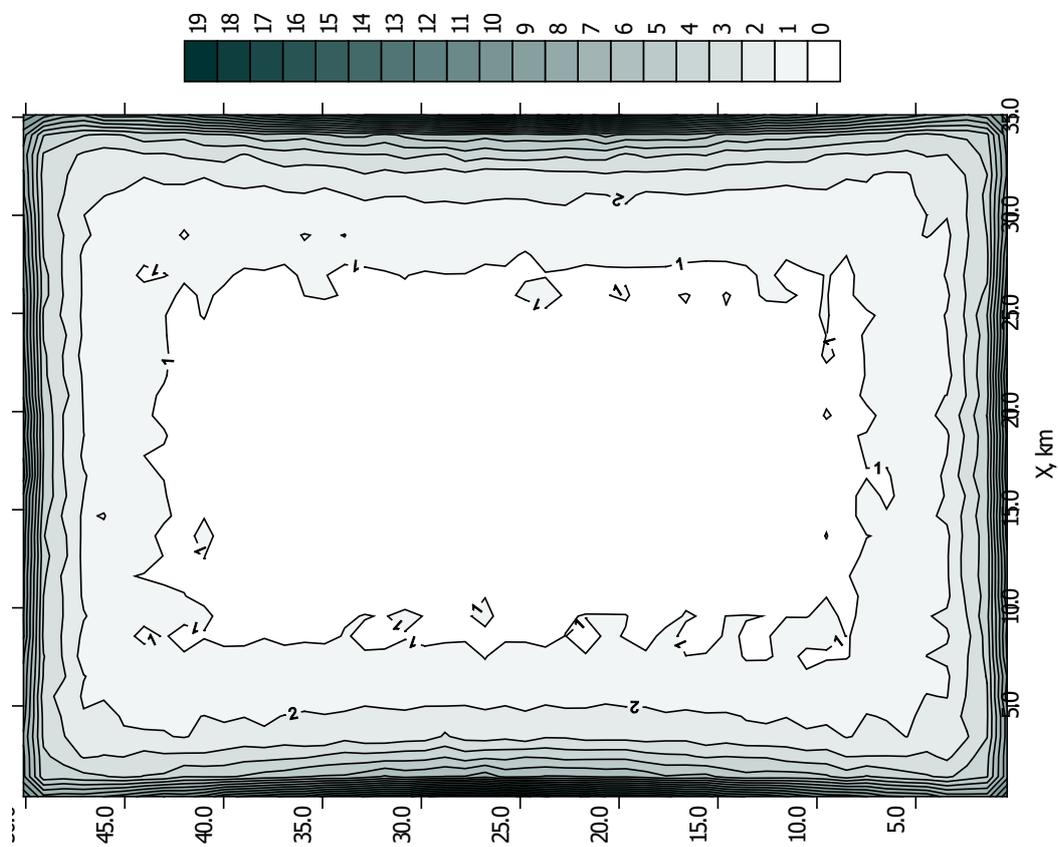


Рис. 19. Модельный участок №3  
Карта  $W_{zz}$

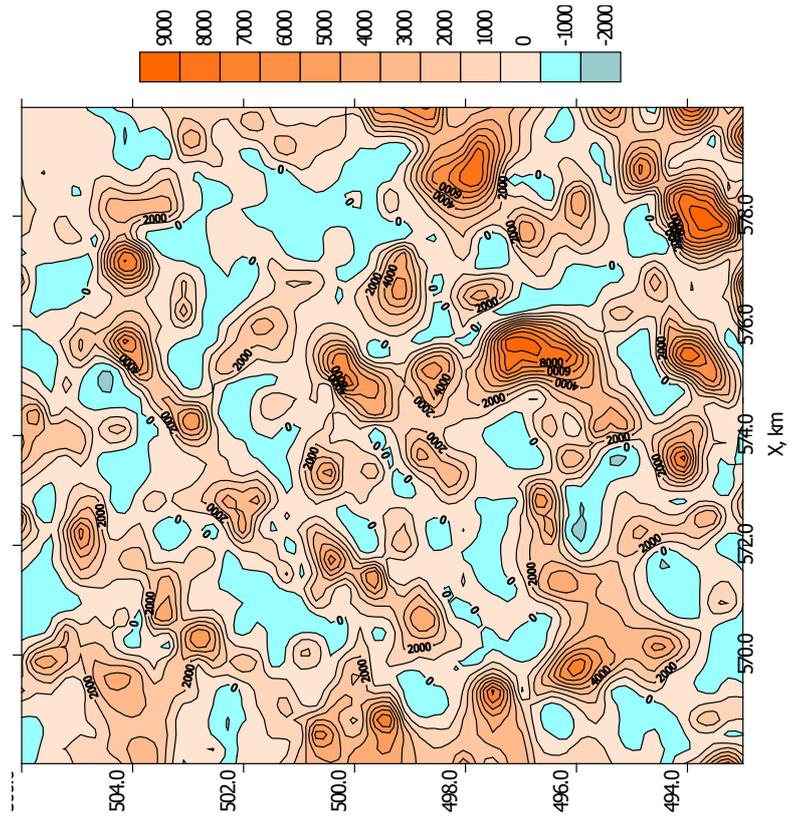


Рис. 25. Сибирская площадь.  
Карта  $W_{zzz}$  по результатам  $F$ -аппроксимации

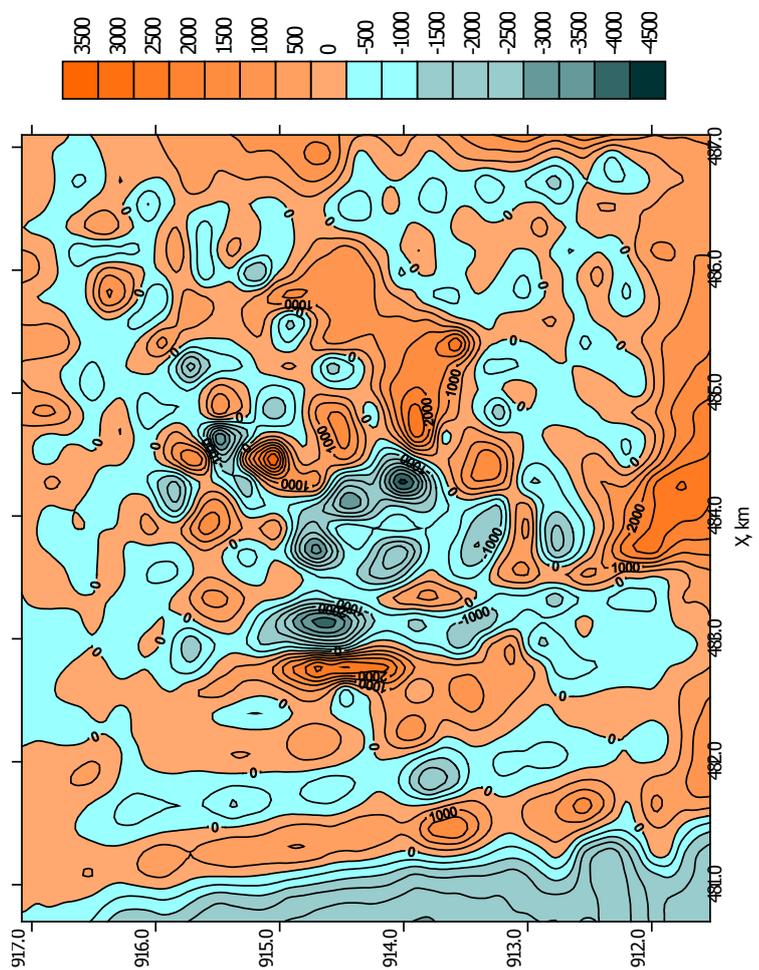


Рис. 26. Сергеевская площадь.  
Карта  $W_{zzz}$  по результатам  $F$ -аппроксимации

Результаты расчетов производных гравитационного поля на приведенных выше модельных и фактических материалах, а также на ряде других модельных и реальных геолого-гравиметрических данных, позволяют сделать вывод о высокой эффективности вычисления высших производных потенциала силы тяжести на основе F-аппроксимации.

### Выводы

Анализ результатов вычисления высших производных гравитационного потенциала гравитационного поля на основе метода F-аппроксимации, выполненных на модельных и фактических геолого-гравиметрических данных позволяет сделать следующие выводы:

1. Метод F-аппроксимации является высокоэффективным способом вычисления высших производных гравитационного потенциала, обладающий высокой точностью и устойчивостью к ошибкам в исходных данных.
2. Вычисление высших производных гравитационного потенциала на основе метода F-аппроксимации является эффективным инструментом разделения локальных гравитационных аномалий от близко расположенных геологических тел.
3. Карты модуля горизонтального градиента ( $W_{sz}$ ) и 2-х и 3-х вертикальных производных ( $W_{zz}$ ,  $W_{zzz}$ ) потенциала силы тяжести целесообразно использовать для трассирования разрывных нарушений.
4. Для выделения малоамплитудных локальных поднятий осадочного чехла и рифовых тел эффективным является использование карт 2-х и 3-х вертикальных производных ( $W_{zz}$ ,  $W_{zzz}$ ) потенциала силы тяжести.
5. Периферийные участки (около 5% от всей площади вносят максимальный вклад в погрешность). Погрешность вычисления высших производных гравитационного потенциала без учета точек периферийной зоны значительно ниже погрешности вычисления производных по всей площади.

### Литература

1. Гравиразведка: Справочник геофизика/Под ред. Мудрецов Е.А. и Веселова К.Е. – М.: Недра, 1990. – 607 с.
2. Керимов И.А. Использование F-аппроксимации при интерпретации гравиметрических данных. I. Методика и результаты опробования на модельных примерах // Физика Земли, 2003. – № 1. – С. 57–76.
3. Керимов И.А. Использование F-аппроксимации при интерпретации гравиметрических данных. II. Результаты опробования на материалах гравиметрических и магнитометрических съемок // Физика Земли, 2009а. – № 5. – С. 77–93.
4. Керимов И.А. F-аппроксимации рельефа земной поверхности // Физика Земли, 2009б. – № 8. – С. 101–112.
5. Керимов И.А. Метод F-аппроксимации при решении задач гравиметрии и магнитометрии. – М.: Физматлит, 2011а. – 264 с.
6. Керимов И.А. Теория и компьютерные технологии аналитических аппроксимаций аномальных потенциальных полей // Геология и геофизика Юга России, 2011б. – № 2. – С. 50–63.
7. Керимов И.А. Аналитическое продолжение потенциальных полей на основе F-аппроксимации // Геология и геофизика Юга России, 2015. – № 1. – С. 19–32.
8. Керимов И.А., Гайсумов М.Я., Абубакарова Э.А. К вопросу о вычислении высших производных гравитационного потенциала // Вестник Академии наук Чеченской Республики, 2008. – № 2. Т. 1. – С. 53–62.

9. Маловичко А.К., Тарунина О.Л. Использование высших производных при обработке и интерпретации геофизических наблюдений. – М.: Недра, 1981. – 186 с.
10. Страхов В.Н. Алгоритмы редуцирования и трансформаций аномалий силы тяжести, заданных на физической поверхности Земли // Интерпретация гравитационных и магнитных полей. – Киев: Наукова думка, 1992. – С. 4–81.
11. Страхов В.Н. Три парадигмы в теории и практике интерпретации потенциальных полей (анализ прошлого и прогноз будущего). – М.: ОИФЗ РАН, 1999. – 78 с.
12. Страхов В.Н., Керимов И.А. Аппроксимационные конструкции спектрального анализа (F-аппроксимация) гравиметрических данных // Физика Земли, 2001. – № 12. – С. 3–20.
13. Страхов В.Н., Керимов И.А., Степанова И.Э. Разработка теории и компьютерной технологии построения линейных аналитических аппроксимаций гравитационных и магнитных полей. – М.: ИФЗ РАН, 2009. – 254 с.
14. Страхов В.Н., Токарь Л.М. О вычислении высших производных и аналитическом продолжении двумерных потенциальных полей на основе аппроксимации алгебраическими полиномами // Решение прямой и обратной гравиметрии и магнитометрии (вопросы теории и методики). – М.: ИФЗ, 1985. – С. 4–76.
15. Тарунина О.Л. Структурно-картировочные возможности гравиразведки в комплексе геолого-геофизических исследований. – Пермь: ПГУ, 1993. – 200 с.

## CALCULATION OF HIGHER DERIVATIVES OF THE GRAVITATIONAL POTENTIAL ON THE BASIS OF F-APPROXIMATION

© 2016 I.A. Kerimov, Dr. Sc. (Phys.-Math.), Prof.

The Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences,  
Russia, 123995 Moscow, B. Gruzinskaya st., 10–1, e-mail: kerimov@ifz.ru

This article considers an approximate method of the gravitational field transformation (the determination of different components of the gravity potential). The method developed by the author and computer technologies of the F-approximation permit the calculation of horizontal and vertical derivatives of the gravitational potential for basic data defined both on a regular and on an irregular grid. The method is tested on model and actual gravimetric data.

**Keywords:** approximation, higher derivatives, anomaly, gravitational field, transformation.

УДК 551.464.541.132.3

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАСТВОРЕННЫХ ФОРМ ЖЕЛЕЗА И МАРГАНЦА В ВОДНОЙ ТОЛЩЕ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

© 2016 вв. Ковалев к.г.-м.н, С.И. Фелицин, к.т.н.

Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, институт водного транспорта, Россия, 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Седова, 8; e-mail: kovalev-45@mail.ru; fsi1956@mail.ru

По результатам химических анализов 518 проб воды Северного, Среднего Каспия и, частично, Южного Каспия определено содержание растворенных форм наиболее распространенных элементов – железа и марганца. Приведены карты пространственного распределения этих элементов в поверхностном и наддонном водных горизонтах, а также по вертикальным разрезам водной толщи. Для каждого из изученных элементов выявлены факторы, определяющие его концентрацию и закономерности распространения в морской воде.

**Ключевые слова:** Каспийское море, водная толща, вертикальные разрезы, растворенные формы, железо, марганец, концентрации.

Анализ распределения тяжелых металлов в Каспийском море встречается во многих работах, но, в основном, по единичным пробам. Исследований, касающихся площадного и вертикального размещения микроэлементов в воде Каспийского моря, практически нет. Последние публикации посвящены, в основном, определению форм микроэлементов в воде, влиянию физико-химической обстановки среды на их термодинамические равновесия, выяснению механизма поступления с речным стоком. Целью настоящей работы является изучение распределения растворенных микроэлементов по всей водной толще Каспийского моря.

Отбор проб производился с помощью винипластового батометра послойно через определенное количество метров. Отобранные пробы воды, объемом 1 литр, фильтровались через мембранные фильтры № 3 и фиксировались азотной кислотой для обеспечения рН от 1,5 до 2,0. Подготовка проб воды к анализам проводилась по методике Гидрохимического института. Определение металлов в воде выполнялось эмиссионным спектральным анализом. Метод основан на концентрации металлов 8-миоксинолином и NN-диэтилдикарбонатом натрия, извлечении образовавшихся металлоорганических комплексов хлороформом и дальнейшим спектрографическим определением. При этом использовались искусственные или природные препараты, в которых содержание определяемых элементов достоверно известно. При исследованиях использовались стандартные образцы для анализа вод: ГСО 12938001, 1759–80, 1760–80, 1761–80, СОВ-2, СОВ-3, СОВ-4, СОВ-5. На их основе готовилась серия рабочих градуировочных графиков. В качестве буферной смеси был использован графитовый порошок марки «осч» 7–4 с введенным элементом сравнения – палладий 0,5%, близкий по испаряемости в дуге ко всем определяемым элементам. Введение пробы, смешанной с буферной смесью, в разряд осуществлялось из канала анодного электрода, имеющего диаметр 3 мм, глубину 4 мм, толщину стенок 1 мм. Возбуждение спектра проходило в активизированной дуге

переменного тока. Сила тока от 12 до 14 ампер. Регистрация спектров проводилась на спектрографе PGS-2, 650 штр/мм. Спектры регистрировались до полного испарения. Измерения почернения аналитических линий на фотопластинках выполнялись на микрофотометре МФ-2. В результате проанализировано 518 проб воды Северного, Среднего Каспия и, частично, Южного Каспия на десять химических элементов (Fe, Mn, Ni, Ti, V, Cu, Pb, Bi, Sn, Mo), отобранных по точке, указанных на рисунке 1. В настоящей статье приведены результаты исследований двух наиболее распространенных элементов – Fe и Mn, для них построены схемы распределения в поверхностном и наддонном горизонтах, а также по вертикальным разрезам.

*Распределение растворенного железа.* Железо – один из наиболее изученных элементов. Основная масса железа поставляется на акваторию Каспийского моря во взвешенной форме (в среднем 99,76% от суммы растворенного и взвешенного). Равнинными реками – Волга, Урал, Эмба, во взвешенном состоянии в море выносятся несколько меньше железа, в среднем 95,1%, против 99,86%, поступающего в этой же форме с горными реками – Терек, Самур, Сулак [Усенова, Дильмаганбетов, 2010]. В растворе речных вод элемент мигрирует в суммарном и ионном, частично коллоидном (в виде коллоидных гидратов окисей, комплексных гуматов) и органически связанном (в виде комплексов с гуминовыми веществами и органическими кислотами). В реках Каспийского бассейна в растворенном состоянии переносится незначительное количество Fe, в среднем 0,25%. Железо относится к группе микроэлементов, содержание которых в речной воде больше чем в морской. Fe раств. интенсивно удаляется вместе с гуминовыми кислотами на начальной стадии смешения речных вод с морскими, при этом потери элемента могут достигать до 80% [Демина и др., 1978]. Процессы, происходящие на границе «река – море»: флокуляция, адсорбция и биологическое извлечение металлов из растворов, резко сокращают их содержание, так что в конечном итоге уже геохимически трансформированные речные воды определяют концентрации микроэлементов непосредственно в морских водах. По данным разных авторов средняя концентрация растворенного железа в воде морей и океанов колеблется в пределах от 1,5 до 10 мкг/л в среднем, составляя величину 5 мкг/л. Среди определенных элементов в водной толще Каспийского моря железо является наиболее распространенным металлом. Концентрация железа изменяется в широком диапазоне значений от 1,7 до более 40 мкг/л. В поверхностном горизонте средние содержания металла (27,5 мкг/л) немного выше, чем в наддонной воде (26,8 мкг/л). В поверхностных водах распределение растворенных форм железа имеет неравномерный характер (рис. 2). Аналогичная «пятнистость» обнаружена и в других морях – Азовском, Черном, Северном, Балтийском, Японском [Виноградова и др., 1971]. Как и следовало ожидать, наибольшие значения растворенного железа (более 40 мкг/л) обнаружены в северо-западной части Каспия, которая находится под влиянием речного стока Волги и Терека. Область высоких концентраций протянулась неширокой полосой вдоль побережья от Бахтемирского рукава до границы со Средним Каспием. Такие же концентрации элемента сосредоточены в центральной части Среднего и Северного Каспия. В наддонном горизонте по сравнению с поверхностным характер распределения растворенной формы железа несколько изменяется. К северо-западному району Каспия по-прежнему приурочены максимальные концентрации элемента (более 40 мкг/л), но они занимают меньшую площадь, чем на поверхности моря. Зато увеличивается ареал Fe раств. в районе влияния рек Терека, Сулака. Эти две

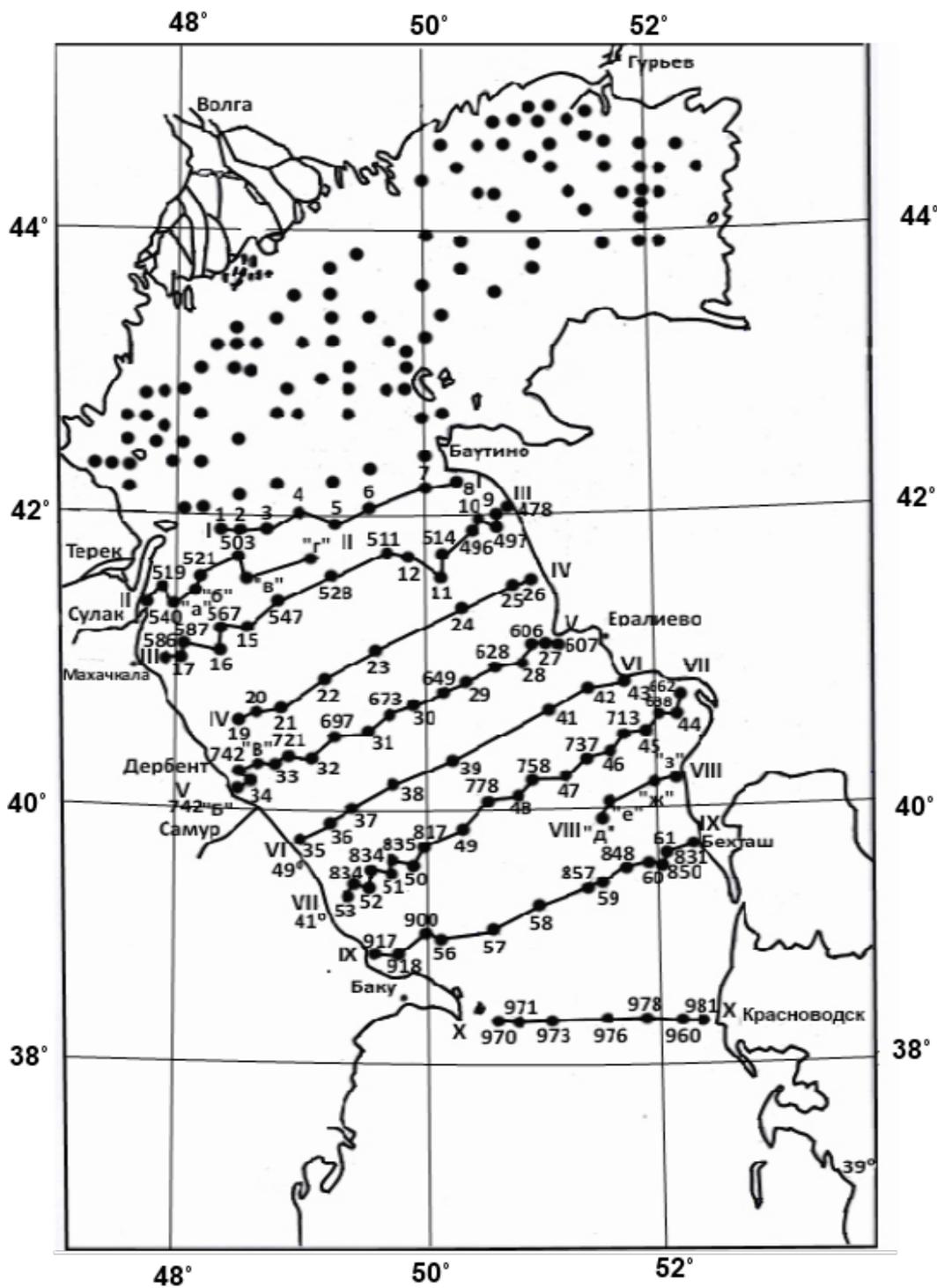


Рис. 1. Схема размещения станций отбора проб

области не соединяются между собой и, видимо, относятся к отдельным провинциям поступления микроэлементов. Изолиния значения железа менее 20 мкг/л четко оконтуривает авандельтовое пространство реки Волги, тем самым, вероятно, опре-

деляя границу влияния волжских вод на содержание элемента. В глубоководной впадине Среднего Каспия содержания металла достигают максимальных величин более 40 мкг/л. Возможно, это связано с проявлением грязевого вулканизма, активизирующегося в период трансгрессивной фазы развития моря [Ковалев, 2003]. Как в центральной части Северного Каспия, так и в Дербентской впадине, дно которых заполнены мелкоалевритовыми и глинистыми илами, обогащение наддонных вод растворенной формой железа происходит за счет перехода рекреационной части элемента ( $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ) из иловых вод в придонные горизонты в процессе массообмена в системе «осадок-вода». Южнее Среднекаспийской котловины наблюдается постепенное понижение концентраций растворенного железа до меньших значений (менее 20 мкг/л). Геохимической особенностью мелководного Северного Каспия является то, что водные массы довольно быстро реагируют на те изменения в содержании железа, которые вызваны огромными поступлениями Fe раств. 24,2 тыс. т/год с речным стоком [Коновалов, Коренева, 1979].

В глубоководном Среднем Каспии выделяются три характерные зоны по степени гидродинамической активности, количеству поступающего растворенного и обломочного вещества, степени развития фито- и зоопланктона. Первая зона (от уреза до изобаты 50 м) прибрежная, наиболее подвержена волновому и дрейфовому движению водных масс, сюда выносятся значительные количества растворенных и взвешенных микроэлементов, здесь во всем деятельном слое фотосинтеза интен-

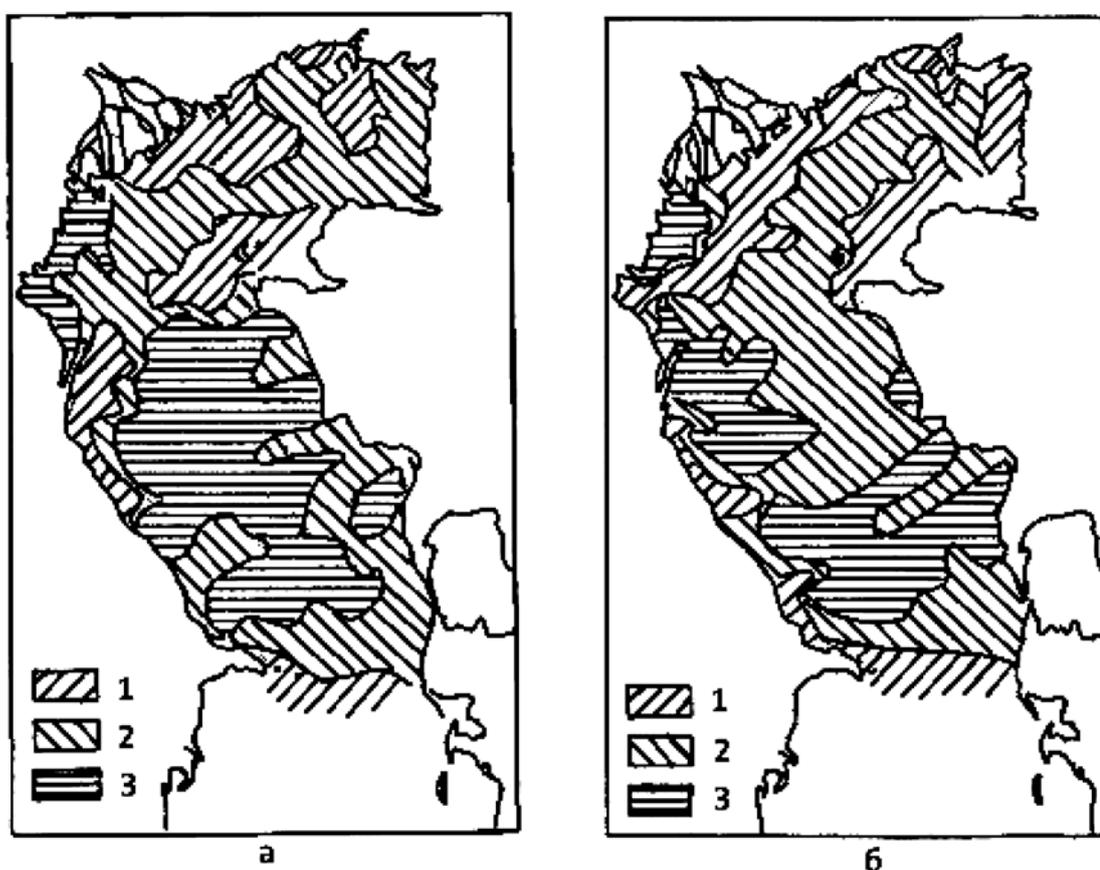


Рис. 2. Распределение растворенного железа, мг/л: а – в поверхностном слое; б – в наддонном слое. 1 – менее 20; 2 – 20–40; 3 – более 40.

сивно развивается планктон. Главным образом, эти вышперечисленные факторы способствовали некоторому увеличению содержания Fe раств. в поверхностном слое (29,0 мкг/л) по сравнению с наддонным (28,7 мкг/л). Вторая зона (от 50 до 200 м изобаты) – шельфовая, находится в пределах основного циклонального течения Каспийского моря. На поверхности происходит снижение содержания железа по сравнению с первой зоной. Видимо, она является областью трансформации элемента, по мере его прохождения от прибрежных к центральным районам моря. Наибольшие концентрации железа сосредоточены в промежуточных слоях на глубине от 50 до 100 м, к наддонному горизонту содержания уменьшаются. В слое максимального градиента плотности, расположенного на глубине 25–28 м, происходит еще большее увеличение содержания железа (микроэлементов). Немаловажную роль на распределение Fe раст. во второй зоне оказывает фитопланктон. В процессе фотосинтеза он способен связывать растворенные элементы в протоплазму и скелетные образования, т.е. в органическую взвесь. Некоторые виды фито организмов могут даже усваивать железо в виде коллоидных соединений типа  $Fe(OH)_3$ . Учитывая, что вторая зона в основном находится в пределах циклонального течения, несущего большие количества биогенных элементов, здесь следует ожидать интенсивное развитие планктона. В западную часть Среднего Каспия биогенные вещества поступают с течением, направленным из пределов Северного Каспия, на востоке – в результате подъема вод из глубинных горизонтов.

Третья зона (от 200 м изобаты до максимальных глубин) занимает глубоководную, центральную, халистатическую часть Среднего Каспия. Здесь наблюдаются незначительные, но более частые изменения в содержании железа по вертикали. Отмечаются отдельные пики с повышенными (в поверхностном горизонте, в слое 200–500 м и у самого дна) и пониженными концентрациями элемента (в слое 100–300 м и 500–600 м).

Анализ распределения растворенного железа по разрезам Среднего Каспия (рис. 3) показал, что основные изменения концентрации элемента происходят в первой (прибрежной) и второй (шельфовой) зонах. Особенно сильные колебания величин зафиксированы в первых трех разрезах, приуроченных к области влияния речного стока Терека и Сулака. Приустьевые районы, как было отмечено, отличаются многообразием факторов, способствующих как увеличению, так и уменьшению содержания микроэлементов. Снижение концентрации Fe раст. вызваны флокуляцией, адсорбцией, разбавлением речной и морской воде и потреблением фитопланктоном. Увеличение железа определяется поступлением с речным стоком растворенных форм, десорбцией минералов-носителей, разложением остатков фито- и зоопланктона. Незначительные колебания железа наблюдаются в крайней восточной части почти всех разрезов Среднего Каспия, вследствие поступления сюда из пустынных областей суши только взвешенных терригенных частиц. Значения растворенного железа, превышающих ПДК, в периоды исследований обнаружены не были.

*Распределение растворенного марганца.* По степени насыщения вод Каспийского моря, это второй элемент семейства железа. Минимальные и максимальные концентрации марганца варьируют в пределах чувствительности метода его определения Среднее значение на поверхности Каспия составляет 7,3 мкг/л, у дна немного меньше – 6,3 мкг/л. Марганец, как и железо, в основном поступает в Каспийское море во взвешенном состоянии, весовые соотношения между растворенными и взвешенными частями элемента имеют следующие пропорции: Волга 1:45–1:50,

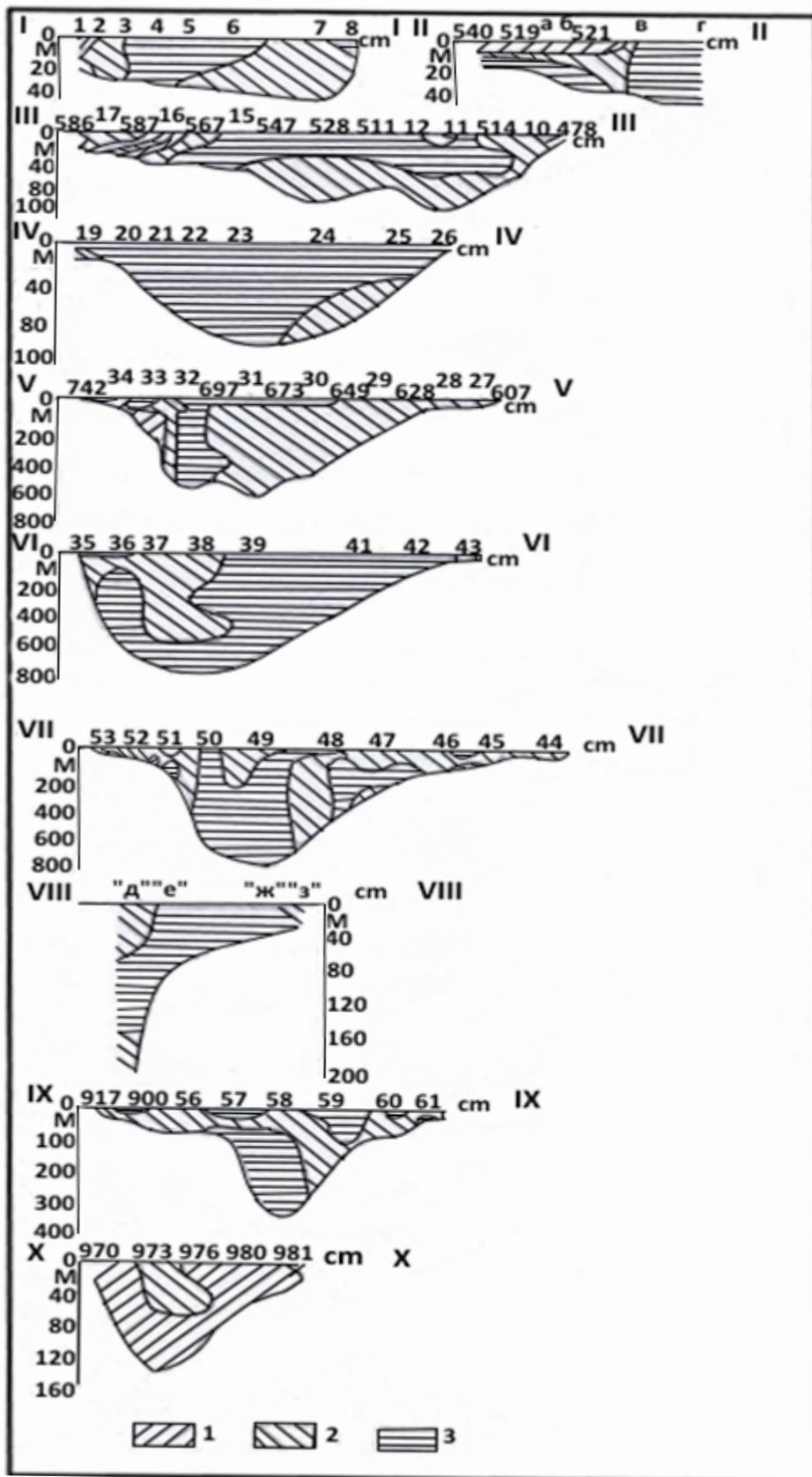


Рис. 3. Распределение растворенного железа по разрезам, мг/л: 1 – менее 20; 2 – 20–40; 3 – более 40.

Терек и Урал 1:99. В растворе речных вод марганец мигрирует в виде ионов, нерастворимых и органических комплексов [Коновалов, Коренева, 1979]. В реках Каспийского бассейна (Волга, Урал, Кура, Терек) в растворенном состоянии переносится в среднем 1,7% марганца, что в 6–7 раз больше, чем железа. Растворенный марганец, попадая с речной водой в морскую среду, не так активно флокулирует, как, например, органическая форма железа [Закруткин и др., 2002]. Это объясняется тем, что уже с речным стоком значительное количество марганца поступает, главным образом, в виде коагулированных коллоидных гелей гидроокисей, которые в аэробных условиях состоят из гидратированной двуокиси марганца  $MnO(OH)_2$ . Вместо процессов коагуляции в геохимическом барьере «река-море» на передний план выступает простое разбавление речной водой. Здесь же происходит изменение соотношения форм  $Mn$  взв./ $Mn$  раств. в сторону увеличения последней в среднем до 3,4%. В зоне смешения пресных и соленых вод растворенный марганец, примерно в равных количествах, находится как в неорганической, так и в органической связанной формах [Лисицын и др. 1985]. В водной толще Каспийского моря растворенный марганец распределен еще более неравномерно по сравнению с железом. На поверхности сохраняется приуроченность средних значений (5–10 мкг/л) элемента к приустьевым районам равнинных рек, вследствие его больших поступлений с речным стоком. В жидком слое река Волга выносит 3,49, Терек – 0,081 и Урал – 0,021 тыс. т/год марганца [Коновалов, Коренева, 1979]. В Среднем Каспии,

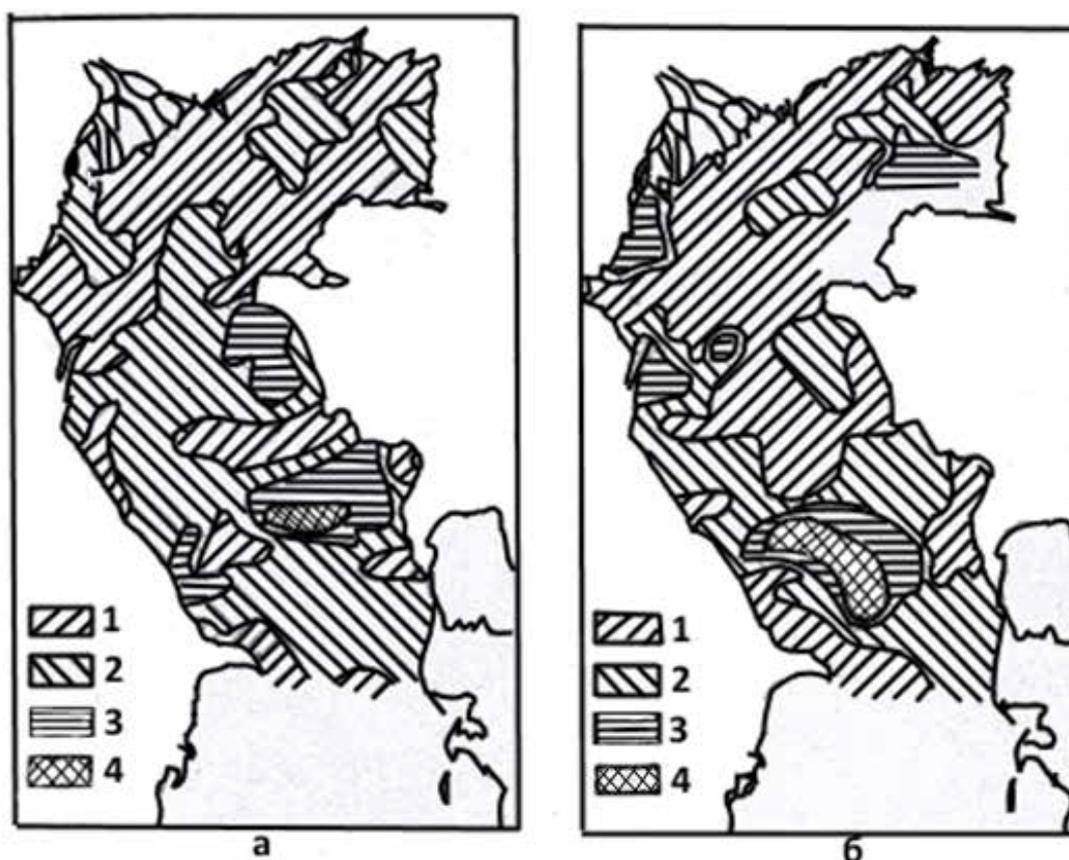


Рис. 4. Распределение растворенного марганца, мкг/л: а – в поверхностном слое; б – в наддонном слое. 1 – менее 5; 2 – 5–10; 3 – 10–20; 4 – более 20.

по сравнению с Северным, основную площадь, (главным образом, в его центральных частях) занимают средние значения марганца (5–10 мкг/л). Минимальные содержания элемента (менее 5 мкг/л) рассредоточены отдельными небольшими ареалами, тяготеющими как к западному, так и восточному берегу. На участке выхода обогащенных металлом глубинных вод у восточного побережья наблюдаются высокие (10–20 мкг/л) и максимальные (более 20 мкг/л) концентрации марганца, превышающие ПДК по рыбохозяйственному критерию в 1,5–2 раза. В наддонном горизонте Каспийского моря характер распределения растворенного марганца несколько меняется (рис. 4). Более значительным становится влияние речных вод на концентрацию элемента в приустьевых областях. Но не только за счет прямого поступления марганца с речным стоком обуславливается рост значений металла.

Он определяется и через косвенные факторы: во-первых, развитием в поверхностных слоях фитопланктона, активно потребляющего растворенные формы микроэлементов (Mn раств.), и зоопланктона, усваивающего как взвешенные формы металлов (Mn взв.), так и сами водоросли. В результате отмирания и частичного разложения, фито- и зоопланктона в глубинных слоях вод, происходит увеличение минеральных и растворенных органических форм элементов, к ним, в первую очередь, принадлежит марганец. Во-вторых, мягкие (алевро-пелитовые) грунты приустьевых пространств рек обогащены марганцем: 0,071% в авандельте Волги, 0,078% – Урала, 0,074% – Терека и 0,109% – Самура [Закруткин и др., 2002]. В процессе диффузионного обмена, направленного в основном из донных осадков, наблюдается увеличение содержания марганца в придонных слоях вод. Наглядным примером проявления такой зависимости являются авандельты рек Терека и Сулака. Если в поверхностном горизонте вод здесь преобладали минимальные (менее 5 мкг/л) и средние значения элемента (5–10 мкг/л), то в наддонных слоях основными становятся повышенные концентрации (10–20 мкг/л). Увеличение содержания марганца до 20,0 мкг/л происходит также у устья Волги и Урала. В целом для водной толщи Северного Каспия наблюдается незначительная тенденция увеличения содержания марганца от поверхностного к наддонному горизонту, главным образом, за счет образования высоких концентраций элемента у дна.

В Среднем Каспии на поверхности, сохраняются повышенные содержания марганца, что указывает не только на апвеллинг глубинных вод, но и на развитие здесь планктонных организмов. Эти два процесса (гидродинамические и биологические) обычно действуют последовательно. Высокая продуктивность фитопланктона восточных прибрежных районов Среднего Каспия обеспечивается существованием циклонической циркуляции, приводящей к подъему глубинных вод, несущих биогенные элементы для потребления фитоорганизмами. Наибольшие значения марганца (более 20 мкг/л) приурочены к придонным слоям глубоководной Дербентской впадины. Определяющими факторами максимального содержания элемента послужили, во-первых, процессы массообмена в системе «донные осадки – иловая вода – придонная вода». Как правило, при смене физико-химической обстановки в придонных слоях вод, на границе раздела «твердая–жидкая фаза» (при непосредственном участии органического вещества и микроорганизмов) происходит переход металлов из осадков в иловую воду ( $Fe^{3+} \rightarrow Fe^{2+}$ ,  $Mn^{4+} \rightarrow Mn^{2+}$ ). В результате диффузионного обмена, направленного из иловых вод, наблюдается увеличение содержания микроэлементов в придонных слоях вод. Во-вторых, другим источником обогащения марганца является фито- и зоопланктонные организмы, способные после

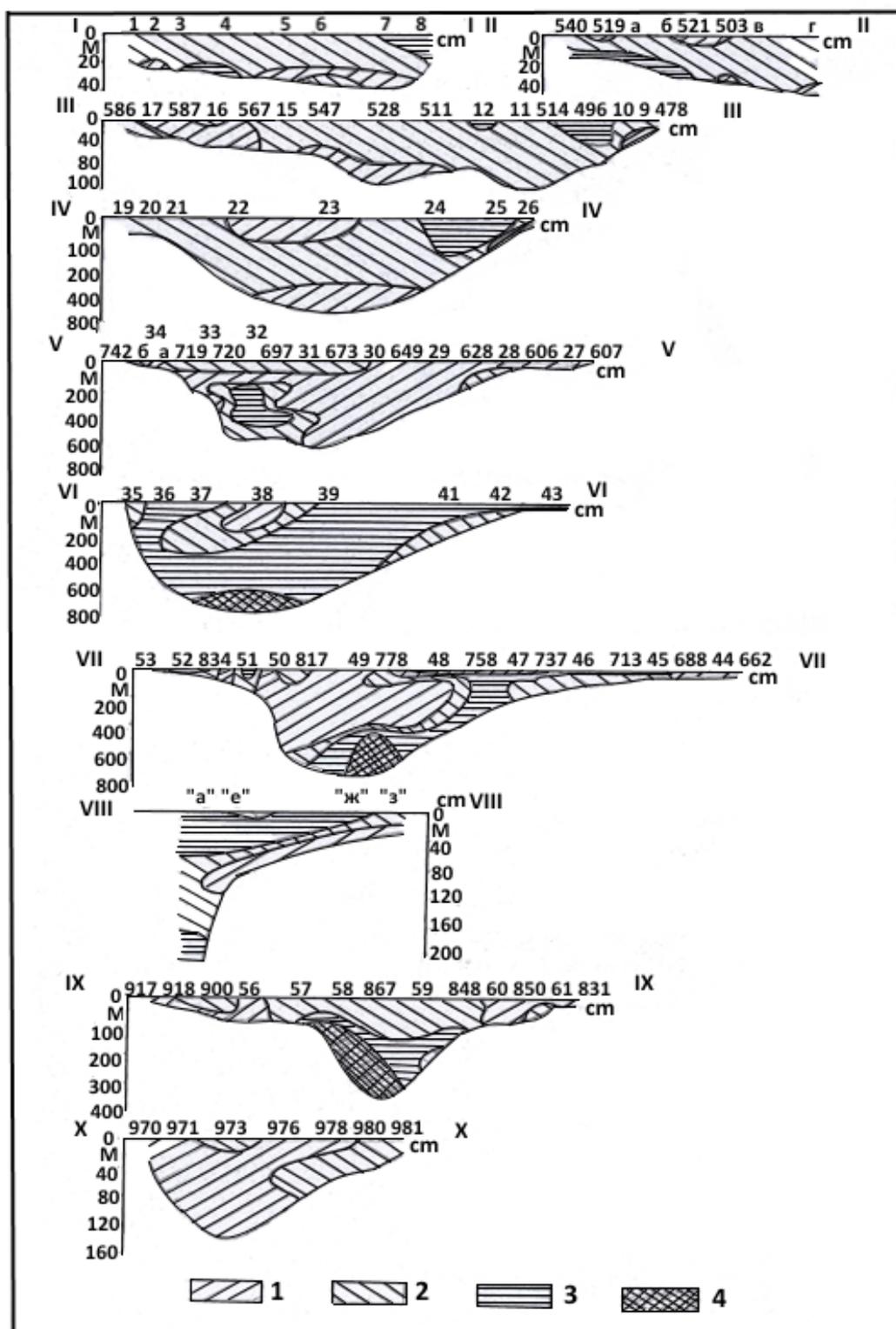


Рис. 5. Распределение растворенного марганца по разрезам, мг/л. 1 – 5; 2 – 5–10; 3 – 10–20; 4 – более 20

отмирания и дальнейшего разложения остатков, отдавать в водную среду элементы, сконцентрированные в процессе жизнедеятельности. Большая роль в накоплении металлов в глубоководной котловине Среднего Каспия принадлежит некоторым

видам зоопланктона. В общем для всей водной толщи Каспийского моря за счет действия гидробиологических, гидродинамических и геохимических процессов характерно постепенное уменьшение растворенного марганца от поверхностного (7,3 мкг/л) к наддонному (6,3 мкг/л) горизонту. В Среднем Каспии прослеживается тенденция увеличения разницы между содержанием марганца в поверхностном и наддонном слое вод по направлению от прибрежной зоны (1 мкг/л), через шельфовую (1,3 мкг/л) к глубоководной (1,7 мкг/л). То есть, по мере увеличения глубины моря и, следовательно, длительности пребывания элемента в водной среде возрастает вероятность адсорбции и биологического поглощения марганца. Процесс уменьшения концентрации марганца, как было уже отмечено, во всех трех зонах определяется адсорбцией растворенных форм элемента на гидроокислах железа, глинистых и пелитаморфных частиц, а также вследствие увеличения в аэробных условиях среды коллоидных гелей гидроокислов и образования взвешенных, аутигенных форм  $MnCO_3$ . В первой прибрежной зоне «нормальное» распределение нарушается на приустьевых пространствах рек, где глубинные горизонты обогащены марганцем, за счет диагенетических и биохимических факторов. Во второй переходной зоне на глубине 50, иногда 100 м, наблюдается некоторое увеличение содержания марганца, обусловленное, главным образом, преобладанием процессов деструкции над продукцией фито- и зоопланктона. По сравнению с первой зоной, здесь намечается некоторое снижение растворенных форм марганца, как на поверхности, так и у дна. В третьей халистатической зоне Среднего Каспия из-за биохимических и физико-химических причин, которые уже подробно рассмотрены при описании распространения железа, от поверхностного к наддонному горизонту прослеживается несколько разнонаправленных пиков в колебании средних значений элемента. Верхний деятельный слой фотосинтеза (от поверхности до 50 м) обогащен растворенным марганцем, на глубине, примерно, 100 м наблюдается снижение, а в инфрапелагиали (200–500 м) увеличение содержания металла, потом опять (с 600 м до дна) происходит уменьшение концентрации элемента. Исключение составляют придонные слои самой глубоководной впадины Среднего Каспия, где идет процесс повышения растворенных форм марганца до самых высоких величин (более 20 мкг/л). В целом для всего центрального района водной толщи третьей зоны Среднего Каспия характерны повышенные содержания марганца по сравнению с прибрежной и шельфовой областями. Почти на всех разрезах из-за сорбции и адсорбции, наблюдается понижение концентраций марганца в наддонных слоях вод. Только на профиле II–II, западная часть которого находится на авандельте реки Самур, в наддонном слое содержания элемента достигают 20 мкг/л. На разрезах, имеющих незначительные глубины, преобладают средние концентрации марганца (5,0–10,0 мкг/л), понижающиеся у самого дна до значения менее 5,0 мкг/л. С ростом глубины, на разрезах V–V; VI–VI; VII–VII; IX–IX, происходит увеличение концентраций растворенного марганца до 20 мкг/л и более в наддонных слоях среднекаспийской глубоководной впадины, что, как уже выяснено, вызвано диагенетическими преобразованиями в илах и деструкцией некоторых видов зоо- и фитопланктона. Дополнительным источником обогащения придонных слоев и грунтовых растворов марганцем и другими микроэлементами может являться разгрузка подземных минерализованных вод [Ковалев, Парада, 2013]. Поступающие с субмаринной водой двухвалентные формы железа и марганца, попадая в окислительную обстановку, из растворенного состояния переходят во взвесь, оседают и тем самым увеличивают свою концентрацию

донных осадков. Вот почему марганца в каспийских осадках содержится больше, чем в черноморских по всем литологическим разностям. В восточной части моря на разрезе VII–VII хорошо вырисовывается апвеллинг глубинных вод. В Среднем Каспии по сравнению с Северным наблюдается увеличение содержания растворенной формы марганца в поверхностном и наддонном горизонтах (вероятно, и в промежуточных водах) почти в два раза. Вероятность нахождения значений растворенного марганца выше ПДК (10 мкг/л) возрастает на приустьевых участках рек, особенно в наддонном горизонте, на востоке Среднего Каспия в местах подъема глубинных вод и наддонном слое Дербентской котловины.

Анализ распределения растворенных железа и марганца в водной толще Каспия позволяет, во-первых, проследить закономерности, свойственные этим элементам и, во-вторых, выявить специфические особенности каждого. На характер размещения микроэлементов оказывают влияние многочисленные факторы: близость источников поступления (речной сток, эоловый вынос, атмосферные осадки, диффузия из иловых растворов, субмаринная разгрузка грунтовых вод), физико-химические и термодинамические различия (комплексообразование, адсорбция, десорбция, растворение, флокуляция), биогеохимические преобразования (связывание растворенных форм элементов во взвешенные под действием органического вещества и обратный переход из взвеси в раствор), образование плохо растворимых гидроокислов железа и марганца, диагенез в донных осадках. Все эти перечисленные процессы приводят к неравномерному распределению микроэлементов по горизонтали и вертикали исследуемого водоема. На приустьевых пространствах рек наблюдается увеличение площадей, занятых высокими концентрациями элементов. С учетом того, что равнинными реками на акваторию моря поставляется больше растворенной формы металлов, чем с горными реками, в которых преобладает взвешенная форма, следует, что ареалы распространения максимальных величин на авандельте Волги и Урала на значительное расстояние вдаются в открытое пространство Северного Каспия, на авандельтах Терека, Сулака, Самура они не так явно выражены и приурочены ближе к берегу. В поверхностном горизонте повышение содержания железа, отчасти марганца занимают центральные части моря. В наддонном горизонте железо и марганец сохраняют тенденцию повышения концентраций к центральным областям моря. В глубоководном Среднем Каспии эти величины смещаются к центральной котловине. Вследствие процессов массообмена на границе «осадок – водная толща», деструкции планктона, частичного растворения гидроокислов железа и марганца, а также некоторых минеральных соединений, поступления подземных вод за счет субмаринной разгрузки в придонном слое Среднекаспийской впадины наблюдаются максимальные концентрации микроэлементов.

В общем, для всей водной толщи мелководного Северного Каспия происходит незначительное увеличение содержания микроэлементов от поверхностного к придонному слою вод. Эта закономерность справедлива и для глубоководного Среднего Каспия. Однако, здесь распределение металлов по вертикали имеет более сложный характер, чем в Северном Каспии, вследствие, во-первых, продукции и деструкции фито-зоопланктона, способного концентрировать, а после отмирания отдавать в водную среду металлы; во-вторых, связывания микроэлементов в коллоидные окисные и гидроокисные образования (взвесь) и растворение при появлении локальных восстановительных условий; в третьих – сорбционных и адсорбционных процессах на взвешенных гидроокислах и органическом детрите; в четвертых,

гидродинамических особенностей глубоководной части моря (апвеллинг, склоновые течения и т. д.). Большинство этих факторов способствуют увеличению времени пребывания каждого элемента в водной среде от момента его поступления, до времени его мобилизации, седиментации и захоронения в донных осадках. Можно указать еще ряд причин, но главный механизм, способный вызвать сильные флуктуации концентраций микроэлементов, остается один – развитие и отмирание планктонных организмов. Конечно, и в Северном Каспии действуют приведенные причины, но из-за его мелководности, они сnivelированы. В прибрежной шельфовой зоне Среднего Каспия, вследствие близости источников поступления растворенных форм элементов, на поверхности отмечаются более высокие их содержания, чем у дна. В переходной зоне (на шельфе от 50 до 200 м) с ростом глубины, концентрации увеличиваются за счет разложения планктона, опустившегося из верхних слоев. В третьей глубоководной халистатической зоне намечается три пика экстремальных (максимальных) значений металлов: первый – на поверхности деятельного фотосинтетического слоя, второй – в инфрапелагиали (200–500 м) и третий – в наддонном горизонте (700 м).

### Литература

1. Виноградова Э.А., Еремина Н.Э., Коган Г.М. О вертикальном распределении микроэлементов, растворенных в воде Черного моря // ДАН СССР, 1971. – Т. 204, № 3. – С. 704–706.
2. Демина Л.Л., Гордеев В.В., Фомина Л.С. Формы железа, марганца, цинка и меди в речной воде и взвеси и их изменения в зоне смешения речных вод с морскими (на примере рек бассейнов Черного, Азовского и Каспийского морей) // Геохимия, 1978. – № 7. – С. 1211–1229.
3. Закруткин В.Е., Бессонов О. А, Ковалев В.В. Колебание уровня Каспийского моря: геологические и социально-экологические последствия на Российском побережье // Известия СКНЦ ВШ, 2002. – № 3. – С. 72–79.
4. Ковалев В.В., Парада С.Г. Геологические аспекты современных изменений уровня Каспийского моря. Вестник Южного научного центра РАН, 2013. – Т. 9, № 2. – С. 38–46.
5. Ковалев В.В. Причины эвстазии Каспийского моря // Известия СКНЦ ВШ. Естественные науки. 2003. – № 2. – С. 1–9.
6. Коновалов Г.С., Коренева В.И. Вынос микроэлементов речным стоком с территории СССР в моря в современный период. Гидрохим. матер. 1979. – Т. XXV. – С. 11–21.
7. Лисицын А.П., Гордеев В.В., Демина Л.Л., Лукашин В.Н. Геохимия марганца в океане // Изв. АН СССР. Серия геол., 1985. – № 3. – С. 18–26.
8. Усенова Н.А., Дильмаганбетов С.Н. О содержании некоторых микроэлементов в воде р. Эмбы Актюбинской области // Геология, география, и глобальная энергия. 2010. – № 2 (37). С. 148–152.

---

---

## THE DISTRIBUTION OF DISSOLVED FORMS OF IRON AND MANGANESE IN THE WATER COLUMN OF THE CASPIAN SEA

© 2016 V.V. Kovalev, Sc. Cand. (Geol.-Min.), S.I. Felitsin, Sc. Cand. (Tech.)

State Maritime University named after Admiral F.F. Ushakov, Institute of water transport, Russia, 344006, Rostov-na-Donu, Sedova str., 8; e-mail: kovalev-45@mail.ru; fsi1956@mail.ru

Based on the results of chemical analyses of water samples 518 North Caspian, middle and southern Caspian Sea, partially, the contents of soluble forms of the most common elements of iron and manganese. Provides maps of the spatial distribution of these elements in the surface and aquifers, as well as on vertical sections of the water column. For each of the studied elements identified factors that determine its concentration and patterns of distribution in seawater.

**Keywords:** Caspian Sea water column, vertical cuts, the dissolved form, iron, manganese, concentration.

УДК 550.8:552.3

## СОСТАВ И СТРОЕНИЕ МАЛКИНСКОГО УЛЬТРАБАЗИТОВОГО МАССИВА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПЕРЕИНТЕРПРЕТАЦИИ АЭРОМАГНИТНЫХ ДАННЫХ (КАБАРДИНО-БАЛКАРСКАЯ РЕСПУБЛИКА)

© 2016 М.Ю. Маркин, к.г.-м.н., С.Г. Парада, д.г.-м.н., И.Ю. Шишкалов, к.г.-м.н.

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

В статье приводится обоснование нового концептуального подхода к выявлению апопород серпентинитовых массивов и их картированию путем оцифровки результатов аналоговой аэромагнитной съемки и их переинтерпретации на основе ГИС-технологий. Проведена оцифровка и последующая компьютерная обработки данных аналоговой аэромагнитной съемки 1971 г. В результате выявлена и отображена на геологической карте первично магматическая неоднородность Малкинского серпентинитового массива. При заверке отдешифрованных контуров в полевых условиях и последующих петрографических исследований в составе массива выделены и откартированы аполерцолиты, апогарцбургиты, железистые апогарцбургиты и аподуниты. Установлено, что все разности апопород закономерно расположены в пространстве, образуя петрологическую зональность в соответствии с первично магматической расслоенностью.

**Ключевые слова:** оцифровка, аэромагнитная съемка, ГИС-технологии, серпентиниты, ультрабазиты, аполерцолиты, апогарцбургиты, аподуниты.

### Введение

Малкинский серпентинитовый массив по данным В.Е. Хаина входит в состав Средиземноморского офиолитового пояса, состоящего из серии тектонических пластин – фрагментов тектонических покровов, сформированных в период проявления позднепалеозойской коллизии южной (в современных координатах) пассивной окраины Восточно-Европейской платформы и палеомикроконтинента Центрального Кавказа (современный горст-антиклинорий Главного хребта) [Хаин, 1984]. На западе по р. Уллу-Лахран и, частично, на юге в верховьях р. Гедмыш массив граничит с отложениями верхнего силура по тектоническому разлому. Однако, по результатам ГДП 200 установлены признаки интрузивного контакта ультрабазитов с верхнесилурийскими сланцами [Маркин, 2011]. По Н.С. Скрипченко и Н.И. Пруцкому Малкинский массив представляет собой субсогласное пластообразное интрузивное тело мощностью более 0,5 км. [Скрипченко, Пруцкий, 2002]. Массив трансгрессивно перекрыт среднеюрско – нижнемеловым карбонатно-терригенным комплексом Северо-Кавказской моноклинали. Породы массива разбиты многочисленными трещинами отдельности, тектоническими зонами дробления, брекчирования и развальцевания. С ультраосновными породами Малкинского массива связаны рудопроявления хрома, с процессами выветривания серпентинитов связаны киммерийские железные руды остаточного и осадочного происхождения.

На геологических картах различного масштаба Малкинский серпентинитовый массив изображен однородным телом. Вместе с тем, металлогенические, геофизические и геохимические данные указывают на его первичную неоднородность, что определяет перспективы обнаружения различных полезных ископаемых [Парада и др., 2011а, 2014, 2015]. В связи с этим нами предпринята попытка выявить и от-

картировать первичный состав (апосостав) ультрабазитов, слагающих Малкинский серпентинитовый массив.

### Методика

Известно, что серпентинизация ультрабазитов сопровождается новообразованием ферромагнитных минералов, количество и вариации состава которых зависят от количества и состава первично магматических силикатов. Таким образом, визуально неразличимая разная степень серпентинизации будет отражаться различиями магнитных свойств внешне похожих эпипород. Это позволяет использовать результаты магнитных съемок для выявления неоднородностей в составе и строении серпентинитовых массивов и определения апопород [Маркин, 2011; Шишкалов, Холод, 2011; Емкужев и др., 2013].

Сохраняющиеся в различных фондохранилищах результаты магнитных съемок прошлого века обладают неоценимой информацией. Однако создание и хранение ее в аналоговом виде не позволяет проводить всестороннюю обработку и анализ этой информации с помощью компьютерных ГИС-технологий. Вместе с тем, современные прогнозно-поисковые технологии не мыслимы без цифровой обработки дистанционных данных [Матишов и др., 2010, 2011; Шишкалов, Холод, 2011; Парада и др., 2011б]. В связи с чем нами предпринята попытка оцифровки результатов аналоговой аэромагнитной съемки на примере территории, включающей самый крупный на Северном Кавказе Малкинский серпентинитовый массив.

Для этой территории имеются результаты аналоговой аэромагнитной съемки (масштаб 1:25000, точность 10 нТл), проведенной в 1971 г. В качестве конечного результата работ в фондохранилище размещены карта магнитного поля и карта графиков  $\Delta T_a$ , выполненные в виде чертежей на листах ватмана. Для выявления неоднородностей в составе массива нами использована карта графиков  $\Delta T_a$ .

Перевод аналоговых данных в цифровой формат позволяет проводить обработку первичных геофизических данных при помощи геоинформационных технологий, что дает возможность более точно установить местонахождение слепых и выходящих на дневную поверхность намагниченных объектов. Но наиболее ценным продуктом цифровой обработки является разделение общей информации на отдельные компоненты. Из цифровых данных можно выделить фоновые, площадные, локальные и остаточные аномалии, чего нельзя сделать с аналоговыми данными. Появляется возможность сопоставлять отдельные компоненты магнитного поля с различными особенностями строения территории и выделять структурно-вещественные неоднородности ультрабазитового массива. Методика выявления и регламент изучения вещественно-структурных неоднородностей вполне применимы к Малкинскому серпентинитовому массиву.

Решались две задачи, – получение числового массива, описывающего  $\Delta T_a$  по исследуемой площади и выделение локальных аномалий поля  $\Delta T_a$ , обусловленных геологическими объектами, выходящими на дневную поверхность, или же залегающими на небольших глубинах.

В программе Arc Gis 9.1, приложения Arc Map, карта графиков магнитного поля 1971 г. была привязана в проекции Gaussa Kruger-a, Pulkovo 1942 (рис. 1а). Следующим этапом установлены значения начальных и конечных координат ( $X_0, Y_0; X_k, Y_k$ ) аэромагнитных маршрутов, максимальные и минимальные значения  $\Delta T_a$ , которые преобразованы в программе оцифровки графиков Graph<sup>2</sup>Digit (рис. 1б). Имеющие значения использованы для градуировки осей X и Y. Аэромагнитный маршрут не является прямой линией, следовательно использовался принцип линейности, выделялись прямые отрезки, и профиль разделялся на два и более интервалов. Устанавливались значения  $\Delta T_a$  и значение  $X_i$ , в каждом линейном интервале кривой.

Значение  $\Delta T_a$  подразумевает собой длину перпендикуляра опущенного с кривой на профиль.

Весь полученный массив данных был переведен в Microsoft Office Excel, где рассчитывались координаты точек  $Y_i$ . Расчет производился в несколько этапов. В первую очередь подсчитывалась разница между координатами  $X_i$  и  $X_0$ . После был определен угол наклона аэромагнитного профиля относительно оси X. Для создания регулярной сети данных, график поворачивался до горизонтального по-

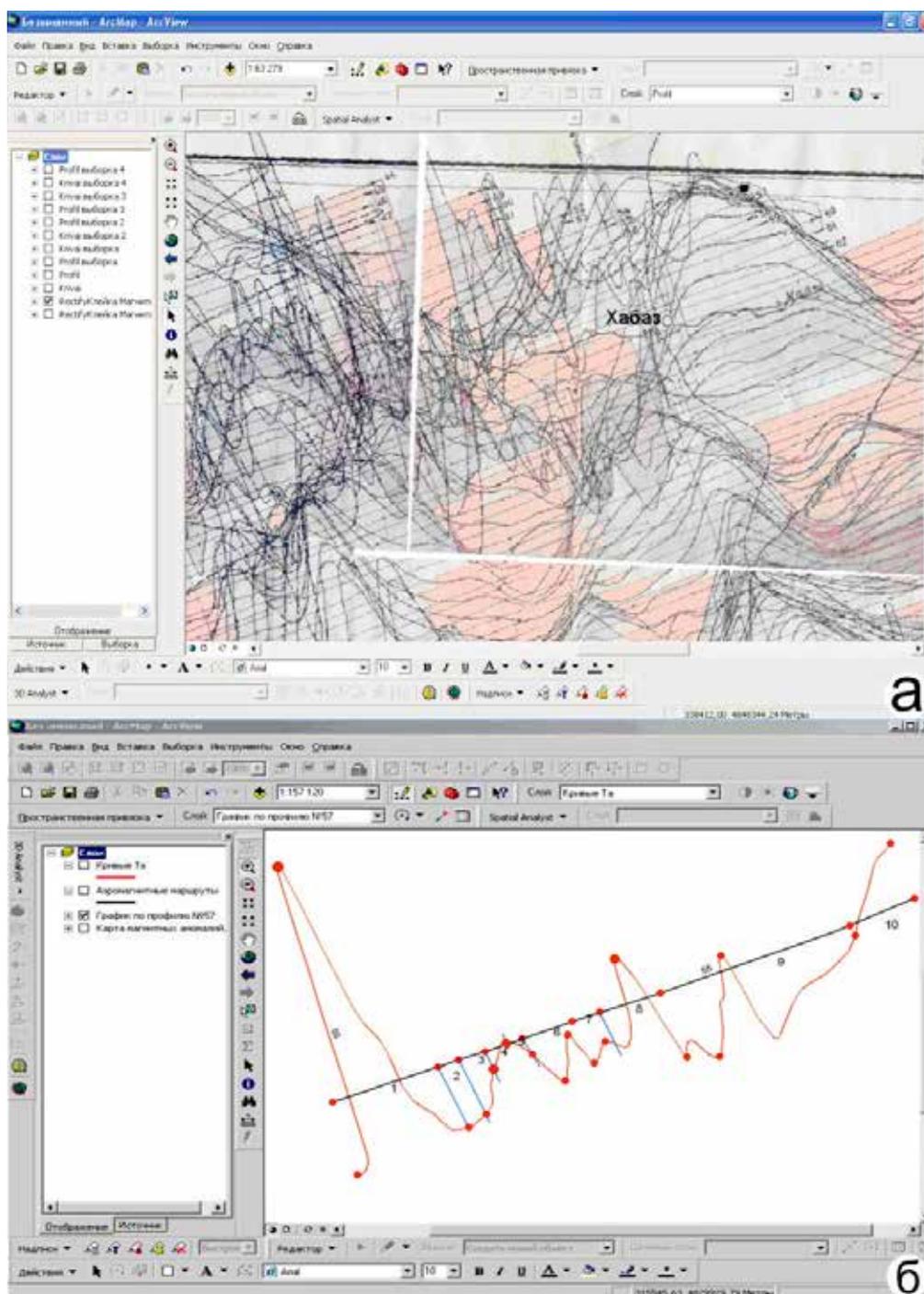


Рис. 1. Векторизация растрового материала: а – исходная карта графиков  $\Delta T_a$ , помещенная в ArcMap ArcGis; б – пример графика со снятием исходных значений (точки на профиле – значение  $X_0, Y_0; X_i, Y_i$ ; точки на кривой – значение  $\max$  и  $\min \Delta T_a$ )

ложения на угол  $\alpha$ . Далее вычислялся  $\text{tg}$  угла  $\alpha$ , чтобы координаты по оси  $Y$  уже повернутого графика совпали с начальным положением профиля (рис. 2а). После находилась сумма  $X_i - X_0$  и  $\text{tg}$   $\alpha$ . Таким образом, было определено значение  $Y_i$ , координата точки на исходном профиле. Весь массив данных  $X_i$ ,  $Y_i$  и  $\Delta T$ , полученный в Microsoft Office Excel (рис. 2б) был переведен в формат DBF IV, чтобы все полученные значения занести в Arc Map. Путем добавления массива данных  $X$ ,  $Y$  получены точки непосредственно в пространственной привязке. В результа-

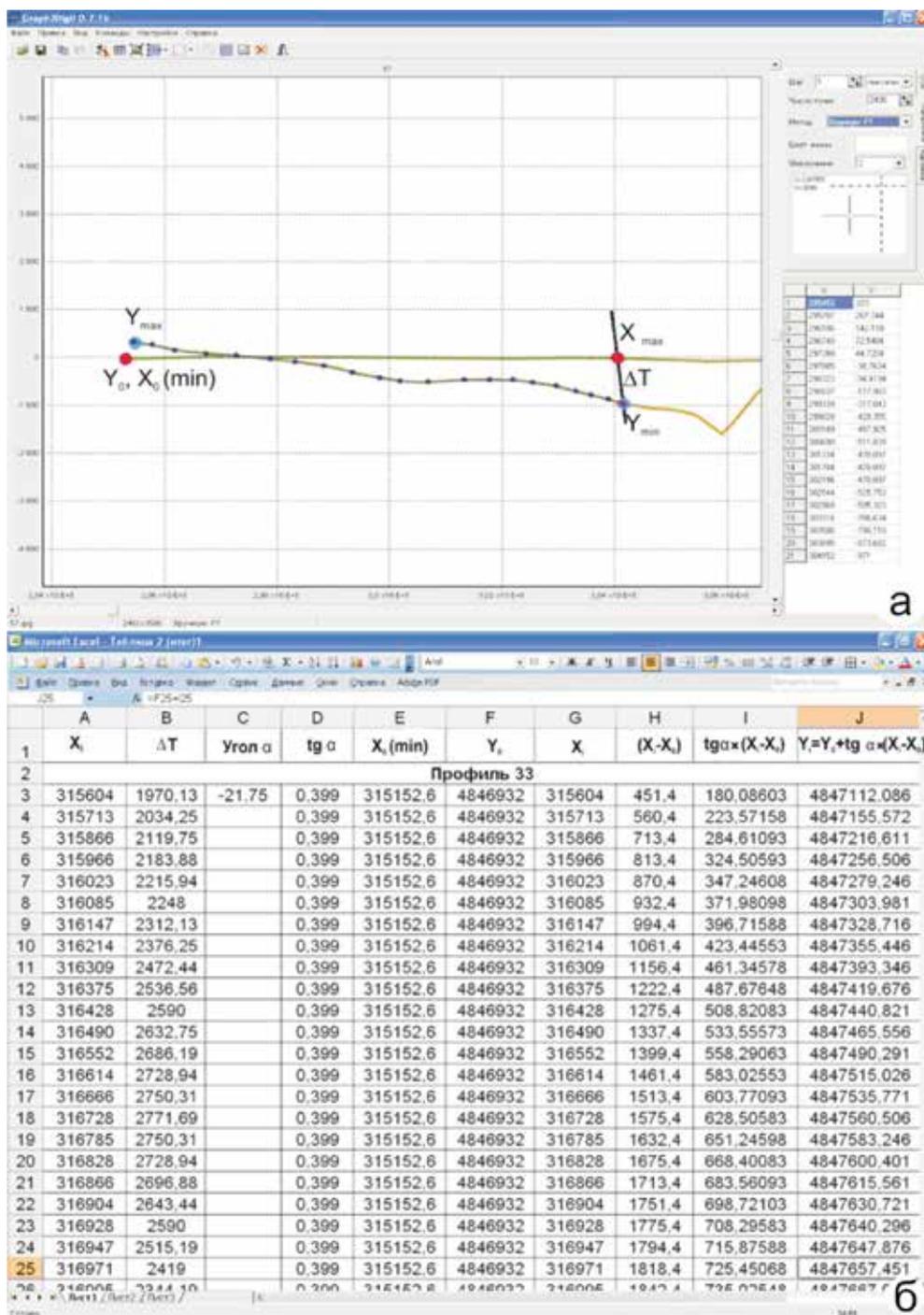


Рис. 2. Пример оцифровки графика в программе Graph<sup>2</sup>Digit с последующим формированием базы данных: а – определение  $\Delta T$  в программе Graph<sup>2</sup>Digit, б – сводная атрибутивная таблица полученных значений

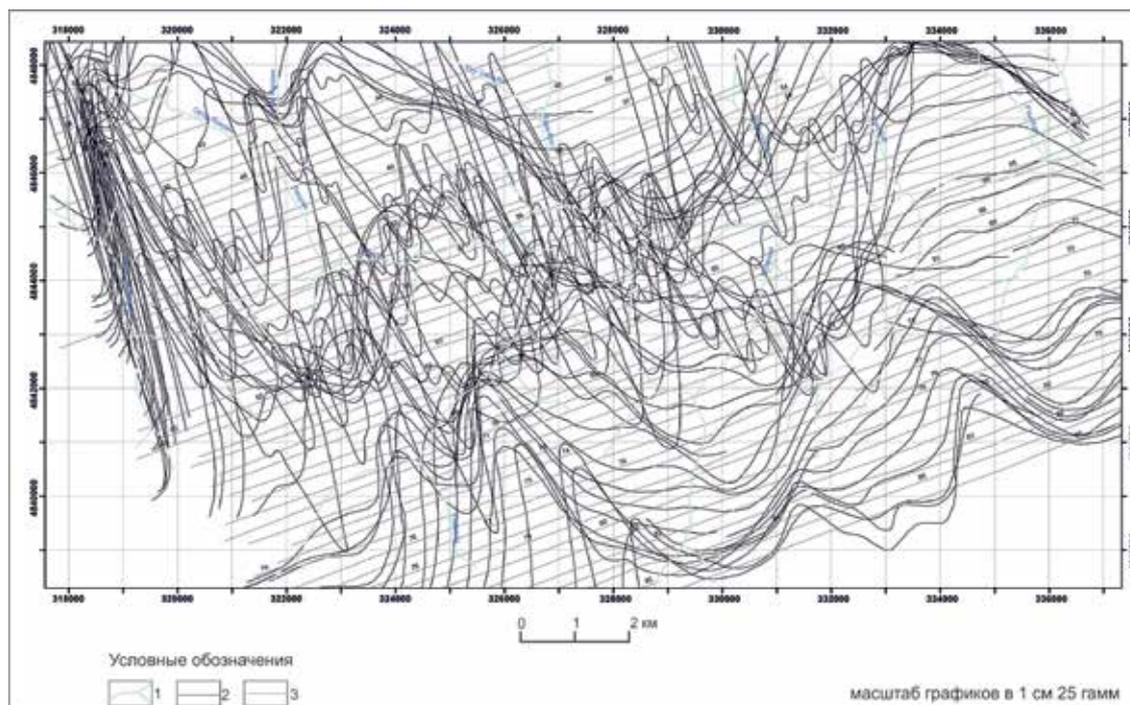


Рис. 3. Цифровая (векторизованная) карта графиков  $\Delta T_a$  района Малкинского серпентинитового массива: 1 – реки; 2 – графики  $\Delta T_a$ ; 3 – аэромаршруты и их номера

те проведенных процедур получена цифровая (векторизованная) карта графиков  $\Delta T_a$  (рис. 3).

При помощи дополнительного модуля Arc Gis 9.1 Spatial Analyst на основе полученных пространственных данных создана поверхность методом крайгинга. Крайгинг используется для построения карт в изолиниях, но, в отличие от обычных алгоритмов оконтуривания, он имеет статистически оптимальные свойства. Наиболее важным является то, что этот метод обеспечивает измерение ошибки или неопределенности поверхности изображаемой изолиниями. Крайгинг использует информацию из полувариограммы для нахождения оптимального множества весов, для оценки поверхности в точках, отличных от точек опробования [Дэвис, 1990]. Поэтому такая технология позволяет не только получить расчетную поверхность, но также определить значение точности или достоверности расчета. Крайгинг создает вариограммы и ковариационные функции для оценки значений статистических зависимостей (называемых пространственной автокорреляцией), которые зависят от модели автокорреляции (модели согласования). Путем создания Grid, получена поверхность с изображением аномалий. Методом статистики по окрестностям высчитаны площадные (фоновые) значения аномалий. После того как найдены общие и фоновые значения аномалий, вычислена их разница при помощи калькулятора раstra.

### Результаты и обсуждения

Полученная карта изолиний магнитного поля  $\Delta T_a$  приведена на рис. 4. Остаточные аномалии магнитного поля, полученные после вычитания фона, еще включают в себя крупные по площади аномалии, но интенсивность и горизонтальные градиенты их как минимум на порядок ниже, чем у аномалий региональных объектов. Такие аномалии обусловлены глубинным строением данного участка земной коры.

Локальные аномалии магнитного поля представлены на рис. 5. Они получены путем вычитания из исходного параметра фоновых значений магнитного поля и

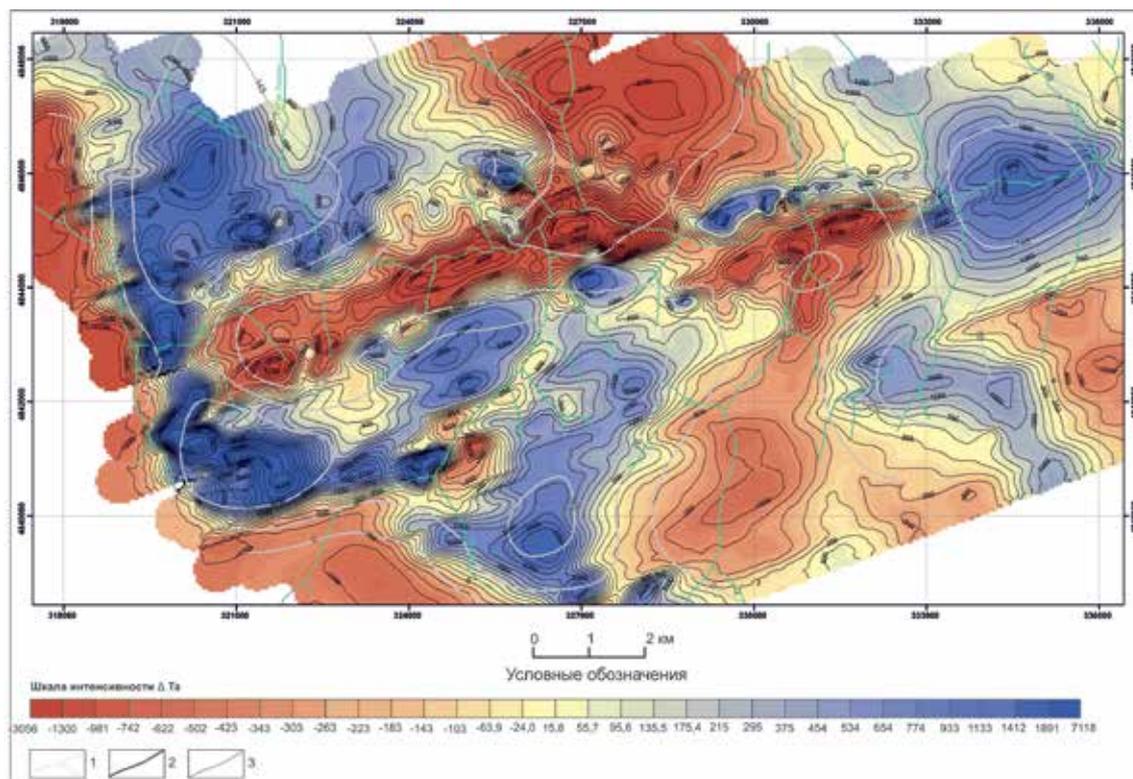


Рис. 4. Карта изолиний  $\Delta T_a$ . 1 – речная сеть; 2 – изолинии исходных данных; 3 – изолинии регионального фона

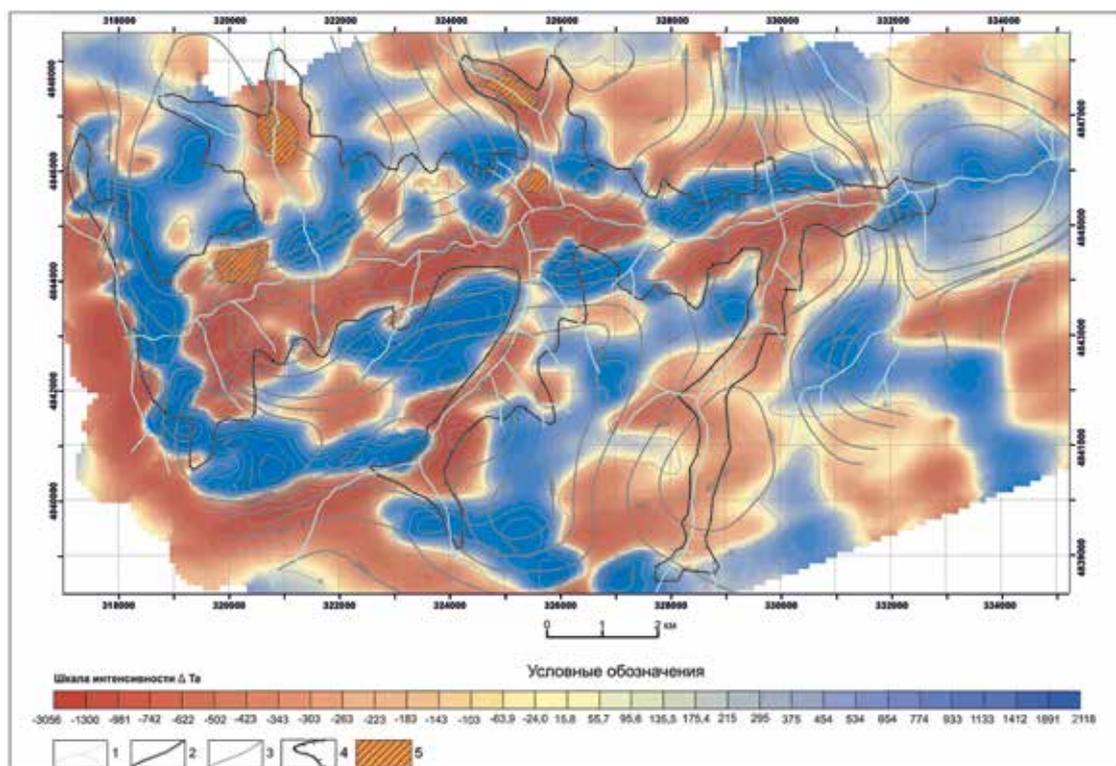
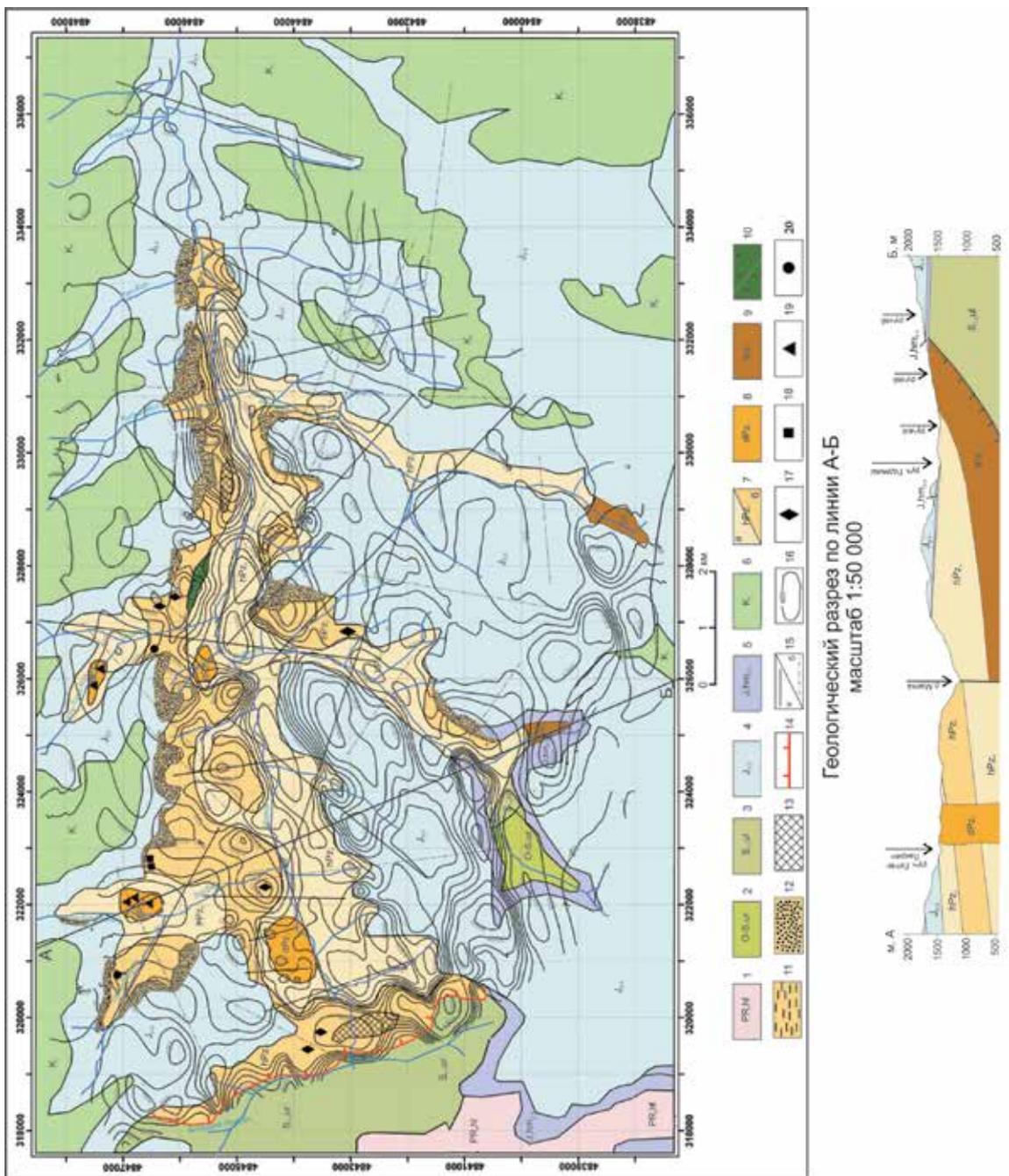


Рис. 5. Карта локальных аномалий и площадного фона  $\Delta T_a$ . 1 – речная сеть; 2 – изолинии локального магнитного поля; 3 – изолинии площадного фона; 4 – контур Малкинского массива; 5 – контуры предполагаемых аподунитов.

Рис. 6. Геологическая карта и разрез Малкинского ультрабазитового массива, составленные по результатам настоящего исследования, с данными по полезным ископаемым.

Условные обозначения: 1 – метаморфизованные вулканы, кварциты, филлиты халтухаколской свиты хасутской серии (PR<sub>1</sub>H); 2 – песчаники, алевролиты урлеической свиты (O-S<sub>1</sub>U); 3 – филлитизированные глинистые и -алевритовые сланцы, песчаники, кварциты улулахранской свиты (S<sub>1-2</sub>Ul); 4 – песчано-глинистые отложения (J<sub>2,3</sub>); 5 – песчаники с прослоями углей хумаринской свиты (J<sub>1</sub>Hm); 6 – известняки, доломиты (K); 7 – апогарцбургиты (а – нормальные и б – железистые); 8 – аподуниты; 9 – перцолиты; 10 – габброиды; 11 – никель-кобальтовые руды; 12 – железные руды; 13 – апогарцбургиты с гидротермическим ореолом; 14 – надыг; 15 – разрытые нарушения (а – установленные, б – предполагаемые); 16 – изолинии локальных магнитных аномалий; 17 – асбест; 18 – медные и свинцово-цинковые руды; 19 – хромитовые руды; 20 – камнесамоцветное сырье



площадных аномалий и уже не содержат площадной составляющей. Различный знак локальных аномалий может быть обусловлен различной высотой съемки, так как некоторая часть максимумов приурочена к положительным формам рельефа, а минимумов – к распадкам и руслам рек. Поэтому был проведен статистический анализ с целью выявления возможной зависимости интенсивности аномалий от высоты съемки и сложности рельефа. Зависимость оказалось незначительной.

Выделенные по локальным магнитным аномалиям контуры предполагаемых апопород были заверены в полевых условиях, по коренным обнажениям и горным выработкам предшественников путем геологической документации и замеров магнитной восприимчивости пород прибором ПИМВ-2, отбором каменного материала и дальнейшими минералого-петрографическими исследованиями.

В результате составлена петрографическая карта Малкинского ультрабазитового массива (рис. 6). На ней отображено распределение четырех типов ультраосновных апопород, выделенных в результате настоящего исследования по характеру и интенсивности магнитного поля, полевым наблюдениям и петрографическим исследованиям, а также проявления различных полезных ископаемых.

**Аполерцолиты** выделяются по карте магнитных аномалий в полосе шириной 0,6 км и протяженностью около 4 км, характеризующейся знакопеременным магнитным полем с диапазоном значений от  $-400$  до  $+1200$  нТл. В ходе полевой заверки в местах этих магнитных аномалий обнаружены коренные выходы аполерцолитов. Они расположены в истоках р. Гедмыш и приурочены к границе отрицательного и положительного магнитного поля с разбросом значений от  $-100$  до  $+1200$  нТл. Для второго тела, расположенного в истоках руч. Мозекей характерны значения от  $-15$  до  $-400$  нТл. Оба выхода ограничены по площади, что связано с их позицией в русловых врезках рек.

Аполерцолиты представляют собой в значительной степени серпентинизированные породы. В коренных обнажениях они разбиты системой трещин отдельности, выполненных обычно голубовато-синим серпофитом грубо-волокнистого строения. Макроскопически аполерцолиты представляют собой массивные породы серовато-бурого цвета с зеленоватым оттенком, с пятнистой текстурой, иногда порфиридовидного сложения. На фоне тонкозернистой почти сливной основной массы выделяются блестящие кристаллы с совершенной спайностью размером от  $0,3 \times 0,3$  до  $5 \times 1$  мм. Равномерные порфировые выделения представлены ромбическим пироксеном и псевдоморфозами коричневатого-золотистого бастита по нему. Часто породу пересекают тончайшие ( $0,2$  мм) беловатые жилки брусита, обычно расположенные параллельно друг другу, иногда пересекающиеся под различными углами. Состоит порода из оливина ( $10-15\%$ ), ромбического пироксена ( $10-15\%$ ), моноклинного пироксена ( $3-6\%$ ), серпентина ( $55-60\%$ ), хромшпинелида ( $\sim 3\%$ ), магнетита ( $\sim 2\%$ ). Более интенсивно изменен оливин с образованием петельчатой микротекстуры. По серпентину (хризотилу) развиваются просечки вторичного магнетита. Ромбический пироксен часто деформирован, трещинки спайности изогнуты с развитием по ним бастита.

**Апогарцбургиты** выделяются по характерным значениям отрицательного магнитного поля со средней интенсивностью около  $-400$  нТл. Аномалии вытянуты в широтном направлении. Наибольшая интенсивность поля отмечается в центральной части массива и в наиболее крупных его притоках, т. е. с глубиной возрастает.

Апогарцбургиты имеют темно-серый цвет с зеленоватым оттенком, массивную, местами пятнистую текстуру, петельчатую или порфиробластовую структуру. Сложены в основном бастит-хризотиловыми разностями серпентина. В составе первичных минералов присутствуют оливин ( $30-35\%$ ), ромбический и моноклинный пироксены ( $15-20\%$ ), хромшпинелиды. Из вторичных минералов основное значение имеют серпентин, брусит, магнетит, карбонаты. Оливин является существен-

ной составной частью гарцбургита, вместе с возникающим за его счет серпентином. Всегда в оливине наблюдается густая сеть трещинок, по которым развивается серпентин (хризотил). Серпентин образует сложную сеть тонких переплетающихся жилок с петлями неправильной формы, формируя петельчатую микротекстуру. Центральные части петелек представлены незамещенным оливином.

Ромбический пироксен (энстатит) встречается в подчиненном количестве. Он присутствует в виде более крупных, чем оливин, зерен до 3,5–5 мм. По сравнению с оливином он более устойчив к серпентинизации, вследствие чего на фоне более мелких участков зерен оливина, разобренных трещинками, выполненных серпентином, крупные зерна ромбического пироксена создают впечатление порфирированной структуры. Не затронутые серпентинизацией зерна ромбического пироксена встречаются редко. По трещинкам спайности и по контурам он обычно замещается баститом. Пироксен ксеноморфен по отношению к оливину, а также часто деформирован. Местами по трещинкам в пироксене отмечается замещение мелкозернистым актинолитом с выделением магнетита. В шлифах отмечаются красно-коричневый хромшпинелид (пикотит), большая часть зерен которого замещена по краям черной каемкой магнетита. Для породы характерны более поздние наложенные прожилки магнетит-хлорит-бруситового состава мощностью до 0,1 мм с характерным попеременно шестовато-волокнистым строением

**Железистые апогарцбургиты** выделяются повышенными значениями положительного магнитного поля со значениями около +300 нТл. Отмечаются локальные аномалии в виде обширных пятен неправильной формы со значениями магнитного поля от +400 до +800 нТл. В северо-восточной части массива, судя по замкнутым в плане изолиниям площадного фона, на глубине находится тело, создающее поле с интенсивностью до +2118 нТл и размером (в плане) около 1,9 км. Аномалии площадного фона наблюдаются в междуречье руч. Гедмыш и Мозекей, размером около 1,5 км и интенсивностью +1600 нТл, руч. Большой Лахран и Орта-Лахран, размером около 2,8 км и интенсивностью +1700 – +1891 нТл. Эти аномалии вытянуты в северо-восточных румбах.

Железистые апогарцбургиты отличаются от обычных повышенным содержанием магнетита (до 10–15%) и наличием гидроокислов железа (до 1–2%). Оливин и пироксен нацело замещены серпентином. По реликтам спайности замещенного пироксена наблюдаются отдельные пластинки магнетита. Серпентинизация развивается также в виде последующих метельчатых оторочек вокруг баститовых псевдоморфоз, секущих прожилков и мелкозернистой массы по катаклазированным участкам. Очень часто развита сложно-петельчатая структура, обусловленная возникновением просечек более позднего брусита.

Процесс серпентинизации осуществлялся в две фазы. Первая – это общая серпентинизация породы. Вторая фаза характеризуется выделением магнетита, иногда в количестве очень обильном. Магнетитовые зерна равномерно рассеяны, иногда образуют неправильной формы скопления.

**Аподуниты** выявлены на северо-западе обнаженной части Малкинского массива в местах проявления локальных изометричных аномалий магнитного поля интенсивностью от –535 до –860 нТл, проявленных на фоне отрицательного магнитного поля, свойственного нормальным апогарцбургитам. По результатам полевых работ и петрографических исследований выделено четыре тела аподунитов изометричной и вытянутой в северо-западном направлении формы. Размеры дунитовых тел в плане от 0,5×0,5 до 1,2×0,8 км. Контакт аподунитовых пород с апогарцбургитами интрузивный. Вмещающие породы осветлены до светло-зеленого, светло-желтого, светло-бурого оттенков на расстоянии от 0,1 до 0,6 м с развитием тонких нитевидных прожилков магнетита и отдельных небольших (0,05 мм) зерен хромшпинелида.

Макроскопически аподуниты представляют собой породу темно-зеленого цвета с массивной текстурой. Отмечаются типичные для дунитов зеленовато-коричневая и белесая корочки выветривания и тарелкообразная отдельность. Под микроскопом порода обнаруживает аллотриоморфнозернистую с элементами прожилково-петельчатой структуру. Порода характеризуется практически полной серпентинизацией (90–95%). Характерно отсутствие бастита, – минерала, образующегося за счет ромбического пироксена. Содержание хромшпинелида достигает 5–10%, при фоновом содержании магнетита 1–2%. По прожилкам развивается преимущественно хризотил, который имеет различную окраску, – от бесцветной или слабо зеленоватой до различных оттенков буроватого цвета, обусловленной импрегнацией гидроокислов железа, вдоль волокон хризотила участками выделяется пылевидный магнетит. Ядерная часть отверстий петелек выполнена ритмично зональным антигоритом светло-зеленоватого до буроватого цветов. В них отмечаются редкие (до 1–2%) идиоморфные зерна хромшпинелида размером до 0,1 мм. Присутствуют извилистые не пигментированные гидроокислами железа наложенные на петельчатую микротекстуру серпентиновые прожилки более поздней генерации. Хромшпинелиды красновато-коричневого цвета, часто разбиты трещинками, по которым развит серпентин. В отдельных образцах наблюдается повышенное количество магнетита (3–5%), которые отмечаются в виде идиоморфных и неправильных зерен в центральных частях серпентинитовых петелек.

Выделенные разности ультраосновных апопород имеет определенную закономерность в своем относительном расположении.

Первое, что обращает внимание, это ограниченное распространение аполерцолитов. Всего два выхода аполерцолитов обнаружены только на самом крайнем юге распространения обнаженной части Малкинского массива по руч. Гедмыш и Мозекей. Оба выхода ограничены по площади, что связано с их позицией в русловых врезках рек. Судя по карте локальных магнитных аномалий, оба выхода соединяются между собой под мезозойскими отложениями, и продолжают немного далее на юг. Скорее всего, лерцолиты продолжают и на северо-запад в сторону р. Малки. Таким образом, следует ожидать, что видимые фрагменты лерцолитов объединяются и залегают по периферии массива, образуя дугообразное в плане тело, западная часть которого срезана надвигом.

Большая часть видимой области массива представлена апогарцбургитами. Они обнажаются в самых глубоких эрозионных врезках р. Малки и ее наиболее крупных притоков, формируя как бы центральную зону видимой части массива, хорошо отображающуюся на карте локальных магнитных аномалий. Однако вряд ли эти апогарцбургиты действительно характеризуют именно центральную часть массива, так как их распространение отмечается и в самой северной обнаженной его части. Похоже, что апогарцбургиты – это наиболее распространенные апопороды Малкинского массива, подстилаемые аполерцолитами в его первично расслоенном строении.

Железистые апогарцбургиты выделяются повышенными значениями интенсивности магнитного поля. Они отмечаются в виде обширных пятен неправильной формы, преимущественно по левобережью р. Малки, а также слагают самое крупное удлиненное тело в лежачем боку пограничного надвига на западной оконечности массива. Железистые апогарцбургиты отмечаются и на правом берегу р. Малки и даже в истоках р. Гедмыш на юге. Переход между нормальными и железистыми апогарцбургитами постепенный, происходящий на расстоянии до 100 и более метров. В целом, как видно при сопоставлении с картой локальных магнитных аномалий, пространственная позиция железистых апогарцбургитов в некоторой степени связана, прежде всего с их более высокой позицией в расслоенной структуре массива, а также с узлами пересечения разрывных нарушений различных направлений.

Именно эти узлы обеспечили более высокую проницаемость железистых гарцбургитов и их более высокую эпигенетическую переработку.

В прирусловой части р. Малки на востоке территории на ее обоих берегах в железистых апогарцбургитах развит гранат (гидрогроссуляр), обнаруживаемый при минералого-петрографических исследованиях. Иногда количество граната достигает нескольких процентов. Это приближает их к родингитам и может свидетельствовать о повышенном давлении при их формировании. Еще одно такое тело с гранатом закартировано на западе массива висячем боку надвига. Все тела гранатовых апогарцбургитов имеют удлиненную форму. В первом случае они вытянуты вдоль р. Малки, во втором случае – поперек реки вдоль сместителя пограничного надвига. Все это может свидетельствовать о приуроченности гранатовых гарцбургитов к зонам динамометаморфизма, связанным с разломами.

Аподуниты достаточно надежно выделяются по комплексу признаков при дистанционном изучении площади. Выходам аподунитов соответствуют локальные положительные магнитные аномалии и дуговые и кольцевые разломы малого радиуса. Все выделенные по этим признакам аподунитовые тела были подтверждены при наземных геологических исследованиях. Они залегают среди апогарцбургитов, обладают почти круглой и вытянутой в плане формой и крутыми границами по вертикали. Контакты аподунитов с вмещающими породами имеют интрузивный характер. Таким образом, можно говорить о штоках аподунитов. Если же учесть крайне малую площадь выходов, то эти тела можно называть трубками, что более принято в петрологии ультраосновных пород, и что подчеркивает их эксплозивный характер.

Выявлено четыре трубки аподунитов. Все они расположены на левом берегу р. Малки, – две из них у уреза воды, а две других – в истоках ее левых притоков (р. Кызыл-Кол и р. Гитче-Лахран). Установлено, что с ними пространственно связаны геохимические потоки элементов платиновой группы в пределах Малкинского массива [Маркин, 2011]. Границы таких тел с апогарцбургитами резкие, отчетливые. Можно говорить, что аподуниты занимают центральную зону видимой части массива. Однако масштабы этой центральной зоны оценить не представляется возможным, так как далее на север массив перекрыт юрско-меловыми отложениями Северо-Кавказской моноклинали.

В пределах Малкинского массива выявлены также более поздние тела габброидов, секущих ультраосновные породы. Тела габброидов имеют удлиненную форму. Наиболее крупное из них закартировано в приустьевой части р. Улу-Тазы-Кол. Оно приурочено к контакту нормальных и железистых апогарцбургитов.

Закономерное распределение апопород в пределах Малкинского массива, очевидно, отражает первичную магматическую расслоенность, которая связана с закономерностями магматической и кристаллизационной дифференциации [Парада и др., 2011а]. Одновременно с дифференциацией происходила закономерная концентрация некоторых полезных компонентов и их локализация в определенных зонах интрузива. Такие механизмы формирования пород и сопряженных с ними полезных ископаемых подтверждаются эмпирически приуроченностью определенных типов месторождений и рудопроявлений к определенным типам ультраосновных пород. Все это создает основу для минерагенического районирования Малкинского серпентинитового массива на основе петрографических различий ультраосновных апопород. Фактически карта петрографических разностей апопород является основой минерагенического районирования Малкинского серпентинитового массива.

Таким образом, картирование апопород по результатам оцифровки и переинтерпретации аэромагнитной съемки и петрографических исследований позволило установить первично магматическую расслоенность Малкинского ультрабазитового массива, в результате которой донная часть представлена аполерцолитами,

наиболее объемная промежуточная часть – апогарцбургитами, верхняя часть – железистыми апогарцбургитами. При этом, центральная часть расслоенного массива прорвана небольшими штоками дунитов.

### Выводы

1. Основным итогом данной работы является обоснование нового концептуального подхода к выявлению апопород серпентинитовых массивов и их картированию путем оцифровки полученных ранее результатов аналоговой аэромагнитной съемки и их переинтерпретации на основе ГИС-технологий. Таким образом появляется возможность воспользоваться скопившимися за многие десятилетия геофизическими данными, которые безусловно, несут в себе важную первичную информацию.

2. В ходе оцифровки и последующей компьютерной обработки результатов аналоговой аэромагнитной съемки 1971 г. была выявлена и отображена на геологической карте первично магматическая неоднородность Малкинского серпентинитового массива. Удалось выделить и откартировать в его составе четыре разности ультраосновных апопород, которые при заверке отдешифрованных контуров в полевых условиях и по результатам последующих петрографических исследований оказались аполерцолитами, апогарцбургитами, железистыми апогарцбургитами и аподунитами.

3. Установлено, что выявленные разности апопород закономерно расположены в пространстве, образуя петрологическую зональность в соответствии с первично магматической расслоенностью.

### Литература

1. Дэвис Дж. Статистический анализ данных в геологии. Т. 2. – М.: Наука, 1990. – 427 с.
2. Емкужев А.С., Парада С.Г., Столяров В.В., Тарасов В.А. Опыт применения крупномасштабной магнитной съемки при поисках золотого оруденения в Восточной части Передового хребта (Кабардино-Балкарская республика) // Геология и геофизика Юга России. – 2013. – № 3. – С. 3–19.
3. Маркин М.Ю. Предпосылки и признаки платиноносности Малкинского гипербазитового массива // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. – 2011. – № 3. – С. 74–77.
4. 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.
5. 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.
6. Парада С.Г., Маркин М.Ю., Столяров В.В., Шишкалов И.Ю. Геологические условия локализации золотоносных минерализаций и структура Муштинского рудного поля (Кабардино-Балкарская республика) // Геология и геофизика Юга России. – 2015. – № 2. – С. 51–65.
7. Парада С.Г., Столяров В.В., Маркин М.Ю., Шишкалов И.Ю. Проявление потенциально платиноносных гипербазитов в геохимических аномалиях Ni, Cr и Co на примере Восточной части Передового хребта (Кабардино-Балкарская республика) // Геология и геофизика Юга России. – 2014. – № 2. – С. 42–54.

8. Парада С.Г., Маркин М.Ю., Холод Ю.В., Шишкалов И.Ю. Минерагенические аспекты геохимических исследований Малкинского рудного района // Вестник Южного научного центра РАН. – 2011а. – Т.7, №1. – С. 47–58.

9. 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. – 2011б. – №3–4. – С. 134–136.

10. Скрипченко Н.С., Пруцкий Н.И. Генезис окраинных бассейнов с активной терригенной седиментацией (на примере активных бассейнов кавказской группы). – Новочеркасск: Южно-Российский государственный технический университет, 2002. – 175 с.

11. Хаин В.Е. Офиолиты и герцинская покровная структура Передового хребта Северного Кавказа. – М.: Наука, 1984. – 94 с.

12. Шишкалов И.Ю., Холод Ю.В. Выявление интрузивных тел Малка-Муштинского рудного узла по результатам ГИС-обработки аэромагнитных данных // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2011. – №3. – С. 77–80.

## THE COMPOSITION AND STRUCTURE OF MALKIN ULTRABASITE ARRAY ACCORDING TO THE RESULTS OF RE- INTERPRETATION OF AEROMAGNETIC DATA (KABARDINO- BALKAR REPUBLIC)

© 2016 Y.M. Markin, Sc. Candidate (Geol.-Mineral), S.G. Parada, Sc. Doctor.  
(Geol.-Mineral.), I.Y. Shikalov, Sc. Candidate (Geol.-Mineral.)

Institute of arid zones Southern Scientific Center Russian Academy of Sciences,  
Russia, 344006, Rostov-on-Don, Chekhov St., 41, e-mail: parada@ssc-ras.ru

The article provides a rationale for a new conceptual approach to identifying Rapoport serpentinite massifs and their mapping by digitizing the analog of the results of aeromagnetic images and their re-interpretation on the basis of GIS-technologies. Performed digitizing and subsequent computer processing of the results of analog aeromagnetic images of 1971 as a result we identified and mapped on the geological map of the primary magmatic heterogeneity Malka serpentinite massif. With certification otesyvaniy contours in the field and subsequent petrographic studies in the structure of the array allocated and otкалиbrovani apoliticality, aposertraline, glandular of aposertraline and opotunity. Found that all the difference Rapoport regularly arranged in space, forming a petrological zonation in accordance with primary magmatic stratification.

**Key words:** digitization, aeromagnetic survey, GIS-technologies, serpentinites, ultrabasites, apoliticality, aposertraline, opotunity.

УДК 911.2; 551.4

## ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АКАДЕМИКА И.П. ГЕРАСИМОВА НА КАВКАЗЕ

© 2016 В.А. Снытко<sup>1,2</sup>, д.г.н., проф., А.В. Собисевич<sup>2</sup>, к.г.н., Т. Щипек<sup>3</sup>, д.н.,  
проф., И.А. Керимов<sup>2,4</sup>, д.ф.-м.н., проф.

<sup>1</sup>Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 664033,  
г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1, e-mail: vsnytko@yandex.ru;

<sup>2</sup>Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН,  
125315, г. Москва, ул. Балтийская, 14, e-mail: sobisevich@mail.ru;

<sup>3</sup>Силезский университет в Катовицах, Польша, 40–007,  
Катовице, ул. Банкова, 12, e-mail: bajka158@wp.pl;

<sup>4</sup>Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Россия, 123995,  
г. Москва, ул. Б. Грузинская, 10, стр. 1, e-mail: kerimov@ifz.ru

Статья посвящена научному наследию академика Иннокентия Петровича Герасимова (1905–1985), внесшего большой вклад в геоморфологию, четвертичную геологию, литологию, геохимию, тектонику и почвоведение. Значительные исследовательские работы были проведены им на Кавказе, где он выработал новые методологические подходы к роли геоморфологи и в развитии Земли. Особо рассмотрены результаты организованных им международных проектов «Альпы – Кавказ» и «Кавказ – Стара-Планина». Показано значение его исследований почв Кавказа и предложенной теории происхождения Пятигорских лакколлитов.

**Ключевые слова:** Кавказ, Альпы, история геологии, минеральные воды, геоморфология, Стара-Планина, коричневые почвы.

### Введение

В научном творчестве академика Иннокентия Петровича Герасимова (1905–1985) исследования горных территорий занимают особое место, их изучению он посвятил ряд работ [Альпы – Кавказ..., 1980; Большой Кавказ – Стара-Планина..., 1984; Генетические типы почв..., 1979; Герасимов, 1974, 1979, 1984; Герасимов и др., 1984, 1975; Герасимов, Звонкова, 1978; Герасимов, Лилиенберг, 1984; Герасимов, Ромашкевич, 1984; и др.]. Начав изучение отдельных горных стран в почвенном, географическом, геоморфологическом и других направлениях, он перешел к разработке крупных научных и природно-хозяйственных проблем. Разработанная им методика современной геодинамики рельефа позволила производить оценку различных морфоструктур с точки зрения прогноза сейсмичности и поиска полезных ископаемых. Почвоведение сыграло большую роль в понимании И.П. Герасимовым особенностей различных аспектов географии. Он создал теорию элементарных почвенных процессов, что позволило определять возраст почв и проводить прогнозирование их изменения под действием эндогенных и экзогенных факторов. Во многом он был продолжателем идей В.В. Докучаева о зональном распределении почвенного покрова [Зонн, Фирсова, 1991; Таргульян, Герасимова, 2015].

К исследованиям на Кавказе И.П. Герасимов неоднократно обращался, проводя свои наблюдения как в горных районах, так и на территориях предгорий. Во время этих продолжительных поездок он пришел к необходимости провести сравнительный географический анализ территорий разных горных стран.

Большой вклад в изучение геоморфологии Кавказа внесли исследования Института географии АН СССР, выполненные в разное время И. П. Герасимовым, Д. А. Лиленбергом, Н. В. Думитрашко, Е. Л. Ранцман и др. В изданной И. П. Герасимовым в 1980 г. книге «Альпы – Кавказ» приведена первая попытка интерпретации рельефа Большого Кавказа с позиций тектоники плит [Альпы – Кавказ..., 1980].

### Международные географические проекты

В 1970-е гг. И. П. Герасимов явился инициатором двух международных проектов сравнительного плана: Альпы – Кавказ и Большой Кавказ – Стара-Планина (рис. 1). В них с советской стороны приняли участие в основном сотрудники Института географии АН СССР, руководимого И. П. Герасимовым, и ученые из Франции и Болгарии. Осуществление этих проектов стало возможным потому, что к этому времени было исключительно много сведений о природе гор Кавказа, Альп и Стара-Планины. Однако главным было проведение специальных полевых симпозиумов во Франции, Болгарии и регионах Кавказа. Именно в полевых условиях происходило согласование точек зрения на природные объекты и процессы. Душой этих симпозиумов был И. П. Герасимов, обладавший умелым использованием сравнительного географического метода, искрометным обобщением увиденного, что было им выработано в ходе экспедиций, начавшихся в 1920-е гг. во время обучения в Географическом институте в Петрограде под руководством С. С. Неуструева, выдающегося географа-почвоведа.

Как результат совместных исследований Академии наук СССР и Национального центра научных исследований Франции по результатам проекта «Альпы – Кавказ» в 1980 г. была опубликована монография «Альпы-Кавказ: Современные проблемы конструктивной географии горных стран. Научные итоги франко-советских полевых симпозиумов в 1974 и 1976 гг.» [Альпы – Кавказ..., 1980]. Ответственными редакторами книги были И. П. Герасимов, французские ученые И. Бравар и Ж. Дреш. Полевые симпозиумы проводились в 1974 и 1976 гг. В течение 1975–1977 гг. проводился совместный анализ наблюдений французских и советских участников симпозиумов, а также литературных материалов. Одним из результатов были доклады для XXIII Международного географического конгресса, проходившего в Москве в июле-августе 1976 г.

Общая структура книги (*Альпы-Кавказ*, 1980) следующая: после вводного очерка следует первый раздел, посвященный Французским (Западным) Альпам (природа и использование естественных ресурсов), затем второй раздел, посвященный Западному и Центральному Кавказу (общий обзор, природа и использование естественных ресурсов). Книга заканчивается третьим разделом, освещающим научные итоги проведенных географических симпозиумов. И. П. Герасимов не только редактировал монографию, но и написал тексты: «Геологическое строение и рельеф», «Районы, посещенные в ходе полевого симпозиума» (в соавторстве), «Черты сходства и различий в природе Французских (Западных) Альп, Западного и Централь-



*И. П. Герасимов (1905–1985)*

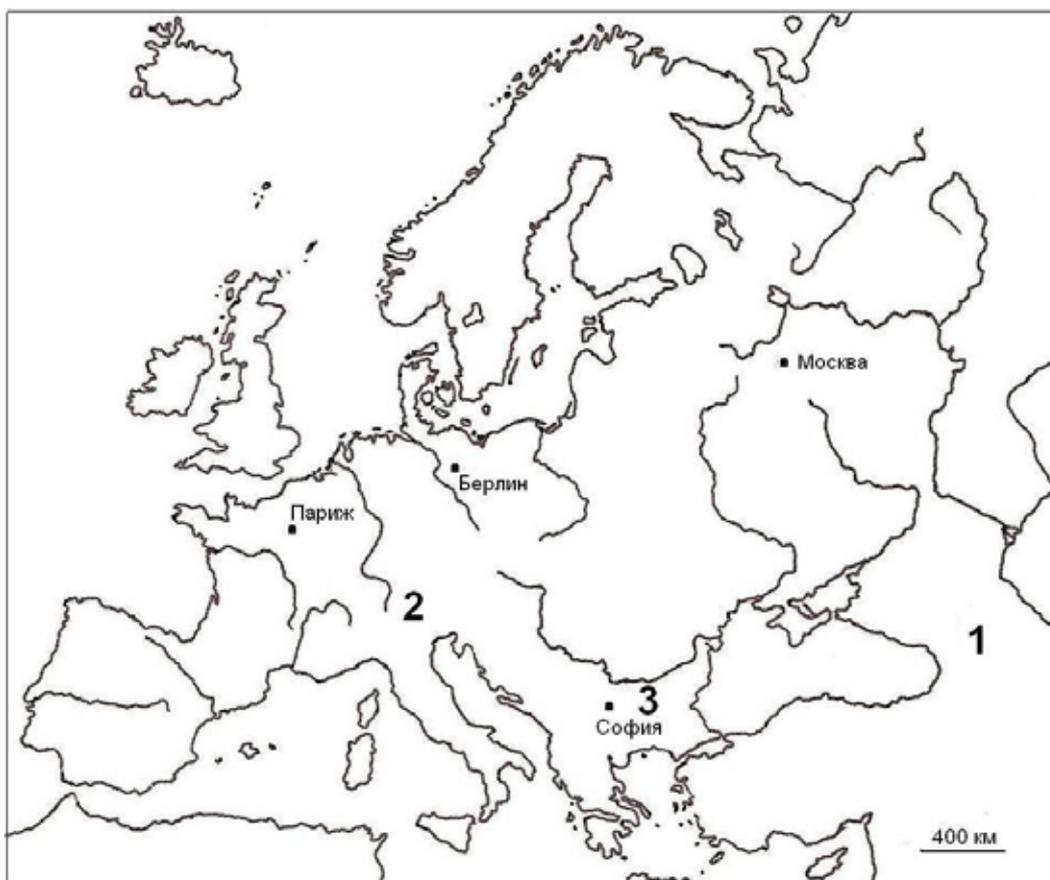


Рис. 1. Объекты сравнительных анализов под руководством И.П. Герасимова:  
1 – Кавказ, 2 – Альпы, 3 – Стара-Планина.

ного Кавказа» в разделе «Западный и Центральный Кавказ» [Альпы – Кавказ..., 1980].

Как один из результатов книги явилось то, что: «в результате симпозиумов «Альпы-Кавказ» советские специалисты, работая совместно с французскими учеными, получившими большую научную информацию о современной географии Альп, разработали и обосновали новые подходы к проблемам географии горных стран, сформировали концепцию «географического полиморфизма» [Альпы – Кавказ..., 1980. С.313–314]. Итогом советско-французских симпозиумов также посвящена особая статья, подготовленная И.П. Герасимовым совместно с его сотрудниками [Герасимов и др., 1975].

Результатом проекта «Большой Кавказ – Стара-Платина» также явилась научная монография «Большой Кавказ – Стара-Планина (Балкан)»: Сравнительно-географический анализ природно-ресурсного потенциала и его роли в развитии и размещении хозяйства и населения в горных странах», вышедшая в 1984 г. [Большой Кавказ – Стара-Планина..., 1984]. Монография основана на результатах совместных советско-болгарских исследований в области географии, начало которым было положено И.П. Герасимовым в 1977 г. и которые проводились также в 1978, 1979 и 1980 гг. Авторами книги явились участники полевых симпозиумов, а редакторами – руководители проделанных работ. Все разделы книги написаны в сравнительно-географическом плане: «Геоморфологические модели Большого Кавказа и Стара-Планина и формирование их рельефа»; «Современные экзогенные процессы и стихийные природные явления»; «Климат и биоклиматические ресурсы»; «Водный

баланс и водные ресурсы»; «Географо-генетические особенности почвенного покрова»; «Растительный покров и животное население»; «Промышленность и сельское хозяйство»; «Рекреационное хозяйство»; «Современное население и условия его размещения». Заключение к книге подготовлено И.П. Герасимовым совместно с болгарскими учеными Ж. Гылыбовым и К. Мишевым. В этой книге им также были написаны статьи (Герасимов, 1984; Герасимов и др., 1984; Герасимов, Лилиенберг, 1984; Герасимов, Ромашкевич, 1984), касающиеся основных этапов формирования орогенной морфоструктуры Большого Кавказа, черт сходства и различий морфоструктур Большого Кавказа и Стара-Планины, почв Большого Кавказа, сравнительного анализа вертикальных поясов Большого Кавказа и Стара-Планины. Эта книга вошла в серию «Проблемы конструктивной географии», которая издавалась под руководством И.П. Герасимова. Она – пример комплексного сравнительного анализа регионов с позиций физико-географических и экономико-географических.

### **И.П. Герасимов и география риска**

В 1980–1990-х гг. при становлении нового направления – географии риска – получила развитие точка зрения академика И.П. Герасимова, который считал, что понятие «катастрофический» обязательно должно включать социально-экономический элемент и не может характеризовать природный процесс сам по себе [Герасимов, Звонкова, 1978]. Такой подход послужил основанием для разделения геофизической и социально-экономической сущности явления.

### **И.П. Герасимов – исследователь почв Кавказа**

Особо значим вклад И.П. Герасимова в изучение почв Южного Кавказа, в том числе, таких как коричневые, желтоземно-подзолистые, черные и желто-бурые. Известно, что коричневые почвы впервые были выделены С.А. Захаровым в 1904 г. в окрестностях Мцхета. Однако, отсутствие четкого знания экологических условий их формирования, недостаточная генетическая интерпретация аналитических данных, затрудняло выделения коричневых почв в качестве самостоятельного типа. Обстоятельные результаты исследования этих почв, опубликованные И.П. Герасимовым, позволили им получить «гражданские права» существования [Таргульян, Герасимова, 2015].

Не менее значим вклад И.П. Герасимова в изучение желтоземно-подзолистых почв влажных субтропиков Южного Кавказа. Им было убедительно показано, что эти почвы, развитые на повышенных, расчлененных и дренированных частях речных и морских террас (район Большого Сочи, Абхазия, Ленкоранская низменность) и на пологих подгорных шлейфах (предгорья Западной Грузии и др.), по условиям формирования, элементарным процессам почвообразования и показателям состава не имеют ничего общего с «истинными подзолами» севера Европы и Азии [Генетические типы почв..., 1979].

Самобытность желто-бурых почв, как сочетающих свойства почв влажных субтропиков (красноземов и желтоземов), так и бурых лесных почв, впервые была отмечена И.П. Герасимовым в окрестностях г. Батуми, на склонах горы Мтирала («Плачущая») во время полевой экскурсии по Грузии в 1963 г. К этому же времени относится обоснованность выделения черных почв как аналогов «смольниц» (черных слитных почв) Балканского полуострова.

Особо следует отметить вышедшую под редакцией И.П. Герасимова в 1979 г. капитальную монографию «Генетические типы почв субтропиков Закавказья», которая сыграла этапную роль в развитии почвоведения на Кавказе [Генетические типы почв..., 1979].

## Кавказские минеральные воды по исследованиям И.П. Герасимова

Природе Кавказских минеральных вод И.П. Герасимов посвятил особую статью «Пятигорские „лакколиты“ и происхождение Кавказских минеральных вод», опубликованную в журнале «Геоморфология» [Герасимов, 1974]. Она основана на личных наблюдениях автора и обобщении накопленных к 1970-м гг. знаний о природе региона. В ней высказан оригинальный взгляд на происхождение Пятигорских лакколитов: «... автор приходит к выводу об индивидуальном поднятии каждой возвышенности или их группы (системы) путем тектонического „выдавливания“ их снизу вверх, сквозь форму деформируемых при мезокайнозойских осадочных отложений. Происхождение термальных углекислых вод связывается непосредственно с интрузивными магматическими массивами; по мнению автора, медленное и постепенное „выдавливание“ этих массивов было важнейшим фактором, длительное время поддерживающим существование Кавказским минеральных вод» [Герасимов, 1974: с. 3].

Поднимаясь, интрузивные тела куполообразно приподнимают перекрывающие слои осадочных отложений, обуславливая их периклинальное наклонение (рис. 2). Особые черты геологического строения районов пятигорских лакколитов констатировались детальными исследованиями. И.П. Герасимов (1974) выступал против денудационного способа происхождения этих лакколитов: «Я имею смелость утверждать, что изложенное выше представление о денудационном „способе“ раскрытия Пятигорских интрузий (лакколитов) не только не подтверждается современными геоморфологическими особенностями рассматриваемой территории, а прямо им противоречит» [Герасимов, 1974: с. 7]. И.П. Герасимов предполагал индивиду-

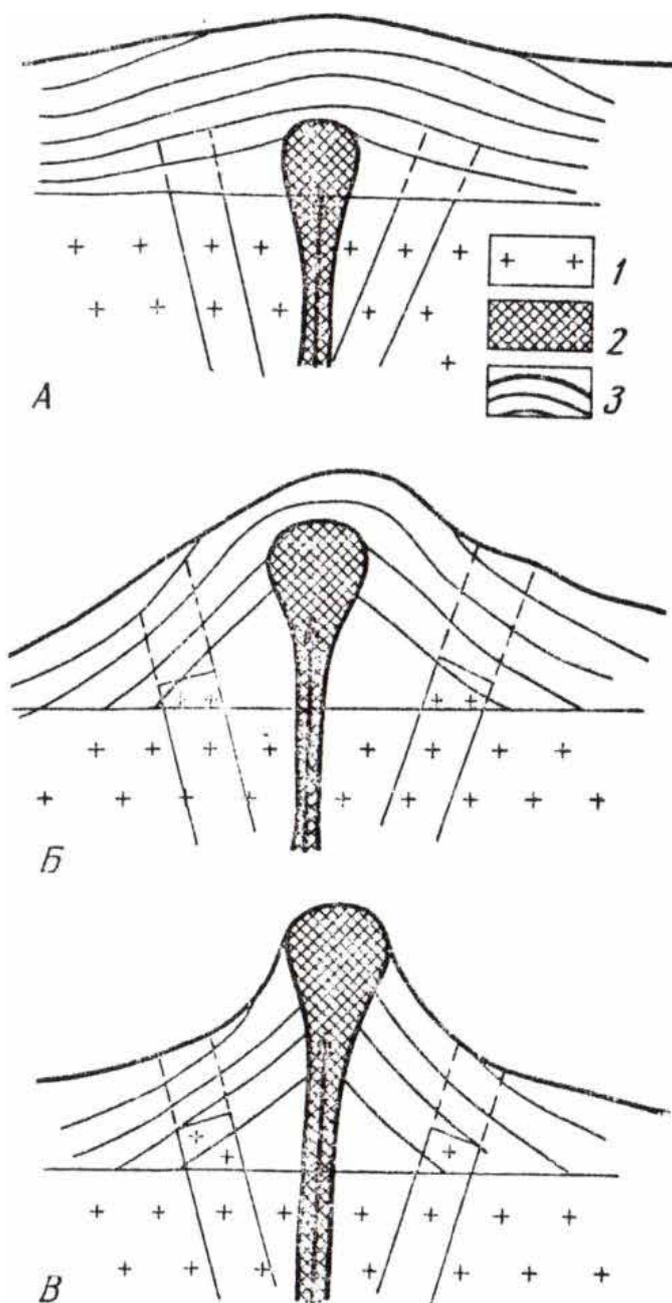


Рис. 2. Схема морфоструктурного развития горст-лакколита (по И.П. Герасимову, 1974): 1 – палеозойский фундамент, 2 – интрузивное тело, 3 – осадочный покров. А, Б, В – фазы развития.

альное поднятие каждой лакколитовой возвышенности Пятигорья путем постепенного тектонического выдавливания снизу-вверх.

И.П. Герасимов обращал внимание на геоморфологию лакколитов, которые весьма часто наряду с «дайкообразными» выходами интрузивных тел обладают еще прекрасно выраженными и совершенно своеобразными наклонными предгорными «педиментами», которые он называл «периклинальными пьедмонтами» (рис. 3). Пьедмонты сложены наклонными слоями мелокайнозойских осадочных пород, прикрытых маломощными делювиальными отложениями и травертинами, образованных выходами минеральных термальных вод [Герасимов, 1974].

И.П. Герасимов подчеркивал значение теоретических представлений для практических мероприятий для практических мероприятий порациональной эксплуатации Кавказских минеральных вод.

### Заключение

Большой вклад И.П. Герасимова в географические и геологические исследования несомненен. В статье В.П. Чичагова, посвященной 110-летию великого ученого, отмечается: «За 60 лет плодотворной и многообразной научной деятельности И.П. Герасимов существенно расширил круг вопросов, решаемых геоморфологией, наполнил качественно новым содержанием само понятие этой науки, прежде всего потому, что он являлся географом самого широкого профиля. Четвертичная геология, литология, геохимия, тектоника и сейсмоструктурная геология, палеогеография, почвоведение, биогеография – вот неполный перечень разрабатываемых им на-

правлений, среди которых видное место занимает геоморфология. Развитие советской науки о рельефе тесно связано с именем и трудами этого ученого» [Чичагов, 2015: с. 100].

Научные кавказские проекты И.П. Герасимова способствовали международному сотрудничеству отечественных географов с зарубежными коллегами, повышали престиж российской географической науки [Зиминова и др., 1995]. Всегда посещение И.П. Герасимовым Кавказа сопровождалось многочисленными встречами с местными почвоведом и географами. Им проводились лекции о своеобразном и неповторимом мире почв вообще и Кавказа, в частности. Он также выступал с позиций необходимости проводить активную при-

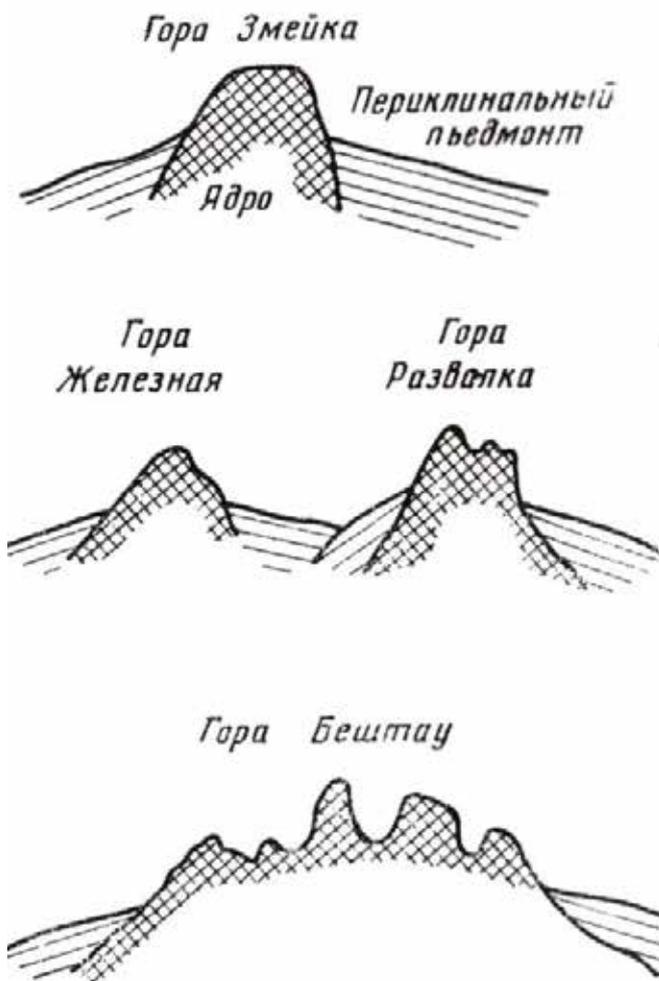


Рис. 3. Морфологические разновидности Пятигорских гор – лакколитов (по И.П. Герасимову, 1974).

родоохранную деятельность, необходимую для сохранения уникальных и очень уязвимых экосистем Кавказа [Герасимов, 1979]. И.П. Герасимов способствовал популяризации и знаний о Кавказе и подготовке кадров географов Кавказа [Будагов, 1995].

Работа выполнена по программе фундаментальных исследований Президиума РАН 2016 №28

### Литература

1. Альпы – Кавказ: Современные проблемы конструктивной географии горных стран. Научные итоги франко-советских полевых симпозиумов в 1974 и 1976 гг./Ред. Герасимов И.П., Бравар И., Дреш Ж. – М.: Наука, 1980. – 325 с.
2. Большой Кавказ – Стара-Планина (Балкан): Сравнительно-географический анализ природно-ресурсного потенциала и его роли в развитии и размещении хозяйства и населения в горных странах/Ред. Герасимов И.П., Гылыбов Ж. – М.: Наука, 1984. – 255 с.
3. Будагов Б.А. Лидер многонациональной географии // Иннокентий Петрович Герасимов. 1905–1985. – М.: Наука, 1995. – С. 183–195.
4. Генетические типы почв субтропиков Закавказья/Ред. Герасимов И.П. – М.: Наука, 1979. – 272 с.
5. Герасимов И.П. Пятигорские «лаколлиты» и происхождение Кавказских минеральных вод // Геоморфология, 1974. – №3. – С. 3–13.
6. Герасимов И.П. Уникальная природа Центрального Предкавказья // Природа, 1979. – №12. – С. 3–13.
7. Герасимов И.П. Сравнительный анализ вертикальных почвенных поясов Большого Кавказа и Стара-Планины // Большой Кавказ – Стара-Планина (Балкан). – М.: Наука, 1984. – 120 с.
8. Герасимов И.П., Гылыбов Ж., Лилиенберг Д.А., Ванцаров И. Черты сходства и различия морфоструктур Большого Кавказа и Старо-Планины // Большой Кавказ – Стара-Планина (Балкан). – М.: Наука, 1984. – С. 38–42.
9. Герасимов И.П., Звонкова Т.В. Стихийные бедствия: изучение контроль и оповещение // Стихийные бедствия: изучение и методы борьбы. – М.: Прогресс, 1978. – С. 25–30.
10. Герасимов И.П., Зими́на Р.П., Котляков В.М., Лилиенберг Д.А., Преображенский В.С. Научные итоги франко-советского симпозиума «Альпы-Кавказ» // Известия АН СССР. Серия географическая, 1975. – №2. – С. 24–36.
11. Герасимов И.П., Лилиенберг Д.А. Большой Кавказ // Большой Кавказ – Стара-Планина (Балкан). – М.: Наука, 1984. – С. 8–25.
12. Герасимов И.П., Ромашкевич А.И. Почвы Большого Кавказа // Большой Кавказ – Стара-Планина (Балкан). – М.: Наука, 1984. – С. 113–116.
13. Зими́на Р.П., Преображенский В.С., Машбиц Я.Г., Лилиенберг Д.А. Четыре десятилетия международного сотрудничества // Иннокентий Петрович Герасимов 1905–1985. Серия «Научно-биографическая литература». – М.: Наука, 1995. – С. 127–154.
14. Зонн С.В., Фирсова В.П. Академик Иннокентий Петрович Герасимов как почвовед. – М., 1991. – 126 с.
15. Таргульян В.О., Герасимова М.И. Вклад академика И.П. Герасимова в почвоведение (начало 1920-х – 1985 гг.). // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. – 2015. – №81. – С. 5–11.

16. Чичагов В.П. Иннокентий Петрович Герасимов – великий ученый XX века (к 110-летию со дня рождения) // Геоморфология, 2015. – №4. – С. 99–106.

## GEOLOGICAL AND GEOGRAPHICAL RESEARCHES OF ACADEMICIAN I.P. GERASIMOV IN THE CAUCASUS

© 2016 V.A. Snytko<sup>1,2</sup>, Sc. Doctor (Geol.-Min.), prof., A.V. Sobisevich<sup>2</sup>, к.г.н.,  
T. Schipek<sup>3</sup>, Sc. Doctor, prof., I.A. Kerimov<sup>2,4</sup>, Sc. Doctor (Phys.-Math.), prof.

<sup>1</sup>V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, 1 Ulan-Batorskaya St.,  
Irkutsk, 664033, Russia, e-mail: vsnytko@yandex.ru;

<sup>2</sup>Institute for the History of Science and Technology named after S.I. Vavilov RAS,  
Russia, 125315, Moscow, 14 Baltinskaya str., e-mail: sobisevich@mail.ru;

<sup>3</sup>University of Silesia in Katowice, Bankowa 12, 40–007 Katowice,  
Poland, e-mail: bajka158@wp.pl;

<sup>4</sup>The Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences,  
Russia, 123995 Moscow, B. Gruzinskaya st., 10–1, e-mail: kerimov@ifz.ru

This article devoted the scientific heritage of academian Inokentiy P. Gerasimov (1905–1985), who made the great impact in geomorphology, Quaternary geology, lithology, geochemistry, tectonics and soil science. I.P. Gerasimov is famous by the huge amount of scientific work in Caucasus region, where he created the new methodological approaches to the role of geomorphology in the development of the Earth. The results of organized by I.P. Gerasimov international projects «Alps – Caucasus» and «Caucasus – Balkan Mountains» were considered. Particular attention was paid to his important research of Caucasian soils and theory of creation laccoliths in Piatigorsk region.

**Keywords:** Caucasus, Alps, history of geology, mineral springs, geomorphology, Balkan Mountains, brown soils.

УДК 551

## АРХЕОСЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ДРЕВНЕМ ГОРОДЕ ХЕРСОНЕСЕ (СЕВАСТОПОЛЬ, КРЫМ)

© 2016 В.В. Хапаев<sup>1</sup>, к.и.н., А.М. Корженков<sup>2</sup>, д.г.-м.н., А.Н. Овсяченко<sup>2</sup>,  
к.г.-м.н., А.С. Ларьков<sup>2</sup>, А.В. Мараханов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Филиал Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова  
в г. Севастополе, Россия, 299001, г. Севастополь, ул. Героев Севастополя, 7,  
e-mail: khapaev007@mail.ru;

<sup>2</sup>Институт физики Земли РАН им. О.Ю. Шмидта, Россия, 123995, г. Москва, ул.  
Б. Грузинская, 10, стр. 1, e-mail: ovs@ifz.ru

Руины хорошо изученного древнего города Херсонес Таврический дают уникальную возможность для восстановления сейсмической истории Южного Крыма за последние 2,5 тыс. лет. Специфические деформации в стенах Херсонеса Таврического однозначно свидетельствуют о неоднократных сильных землетрясениях, происходивших в далёком прошлом. В результате проведённых исследований удалось выявить следы, по крайней мере, двух или трех сильных землетрясений. Массовые разрушения в городе и его округе, не связанные с военными действиями, датируются: III в. н.э., V или VI в. н.э. и рубежом X–XI вв. н.э. Совместное использование исторических и археологических свидетельств открывает принципиально новые возможности для оценки сейсмической опасности.

**Ключевые слова:** Херсонес Таврический, Севастополь, оценка сейсмической опасности, историческая сейсмология, археосейсмология, активные разломы.

### Введение

Инструментальные сейсмологические наблюдения в Крыму начались сразу после разрушительных Ялтинских землетрясений 1927 г. Но период инструментальных наблюдений слишком краток для выявления всех сейсмогенерирующих структур, т.к. повторяемость сильных землетрясений может составлять несколько сотен, а то и тысяч лет. Согласно современным сейсмологическим представлениям, сейсмическая опасность определяется вероятностью достижения некоторого уровня сейсмических воздействий на данной территории в течение заданного периода повторяемости. В то же время, в сейсмологических каталогах инструментального периода наблюдений для всего Крымского региона имеется лишь одно сильное землетрясение – Ялтинское 1927 г., что сильно затрудняет возможности вероятностного подхода к оценке сейсмической опасности. Выход из этой ситуации возможен лишь с привлечением сведений о землетрясениях более далёкого прошлого.

Главная особенность сейсмотектоники Крымского региона, выявленная за период инструментальных наблюдений, заключается в расположении подавляющего большинства эпицентров в акватории Черного моря, где они недоступны для непосредственных наблюдений. В таких случаях, при оценке сейсмической опасности урбанизированных территорий, всё больше стали использоваться методы исторической сейсмологии и археосейсмологии.

Уникальную возможность для восстановления сейсмической истории Крыма за последние 2,5 тыс. лет предоставляет древний город Херсонес Таврический. Он

является наиболее полно исследованным археологическим памятником Северного Причерноморья: раскопанная площадь превышает 12 га, хотя 2/3 городища остаются до сих пор неисследованными, что открывает возможности для дальнейшего совместного изучения как открытых, так и еще неисследованных памятников археологами и сейсмогеологами. Учитывая вышеизложенное, в 2015 г. группа сотрудников ИФЗ РАН провела рекогносцировочные археосейсмологические исследования в Херсонесе с участием научных сотрудников Государственного историко-археологического музея-заповедника «Херсонес Таврический» С.Г. Рыжова и В.Г. Самойленко, которая позволила сделать некоторые предварительные выводы.

### **Методы исследований**

Помимо палеосейсмологических, в настоящее время продолжают активно развиваться методы археосейсмологии и исторической сейсмологии, направленные на выявление и параметризацию сейсмических событий путём анализа архитектурных и литературных памятников древности. Повреждения, наблюдаемые в древних руинах, могут быть вызваны плохой строительной технологией, выветриванием с течением времени (статическое повреждение), разрушением вражескими армиями, или результатом землетрясений. Распознавание сейсмической природы повреждений архитектурных памятников наиболее достоверно при выявлении преимущественно ориентированного обрушения и деформирования строительных элементов. Систематические наклоны, выдвигания, обрушения, повороты элементов древних строительных конструкций, характерные для стен определенных простираний, представляют собой кинематические индикаторы характера деформаций. Их использование даёт нам в руки эффективный количественный инструмент для решения главных задач археосейсмологической науки: а) выявления генезиса деформаций археологических памятников; б) оценки местной интенсивности сейсмических колебаний; в) локализации эпицентров методом, независимым от сейсмической сети и дополняющим её; г) идентификации зон с сейсмически наведенной деформацией сжатия и растяжения и д) продлении сейсмической летописи на временной интервал в сотни и тысячи лет [Korzhnikov, Mazor, 1999; Корженков, Мазор, 2001 и др.].

### **Очерк истории Херсонеса**

Херсонес Таврический – античный и средневековый город в Юго-Западном Крыму, на территории современного Севастополя. Согласно новейшим исследованиям, он был основан около 528 г. до н.э. Версия немецкого ученого XIX в. Г. Шнайдервирта об основании Херсонеса около 422 г. до н.э. опровергнута в ходе археологических исследований, во время которых были найдены греческие амфоры, столовая посуда и глиняные черепки с процарапанными на них надписями (остраконами), датируемые последней четвертью VI–началом V вв. до н.э. Херсонес непрерывно существовал около 2000 лет: последнее тотальное разрушение города произошло в конце XIII в. в результате военного захвата, который не удалось пока точно датировать и связать с конкретным историческим событием. В XIV–XV вв. на руинах Херсонеса существовал портопункт генуэзцев и (во второй четверти XV в.) небольшое укрепление, принадлежавшее греческому княжеству Феодоро.

Херсонес неоднократно подвергался массивным разрушениям, но ни одно из них, за исключением разгрома конца XIII в., не связано с военными действиями: об этом свидетельствуют и письменные источники, и данные археологии. Город

впервые был захвачен неприятельским войском в 988 г. в результате Корсунского похода князя Владимира. Однако это не привело к разрушениям, так как город был взят киевским князем на измор. Впоследствии русское войско длительное время пребывало в городе, там же состоялись торжественные церемонии крещения князя и его дружины, а затем – венчания князя Владимира и византийской принцессы Анны. Церкви и дворцовые здания, в которых проводились эти церемонии, по данным древнерусских летописей, сохранились потом как минимум до конца XIII в.

Но, несмотря на неприступность херсонесских стен для внешних захватчиков, и они сами, и здания внутри города, в том числе монументальные храмовые сооружения, неоднократно разрушались, что приводило к восстановлению и усилению оборонительных стен и башен с применением иных строительных технологий, перепланировке и изменению функционального назначения городских кварталов, изменению технологий жилищного строительства. По данным археологических раскопок, проводимых в Херсонесе (с перерывами) с 1827 года, массовые разрушения в городе и его округе, не связанные с военными действиями, датируются: III в. н.э., V или VI в. н.э. и рубежом X–XI вв. н.э. С конца 80-х гг. XX в. в научной литературе ведется интенсивная дискуссия о причинах этих разрушений. Поскольку их не удается соотнести с военными действиями, большинство историков и археологов считают, что причиной этих разрушений могли быть землетрясения большой силы. Уязвимым местом такой трактовки является отсутствие упоминаний об этих сейсмических событиях в древних и средневековых письменных источниках [Хапаев, 2008].

### Региональная сейсмотектоника

Систематические сведения о землетрясениях Крыма появляются с середины XIX в., а во второй половине XX в. начинают проводиться палеосейсмологические исследования. Они были систематизированы с выделением в районе Севастополя трёх основных сейсмогенерирующих структур [Никонов, 2000]. Несомненна сейсмогенерирующая роль Южно-Крымской (Прикрымской) складчато-надвиговой зоны, которая протягивается в акватории Черного моря вдоль Южного берега Крыма. В 1927 г. в Южно-Крымской зоне произошли Ялтинские землетрясения с  $M = 6,0$  и  $M = 6,8$ .

Вдоль западного берега Крыма выделяется субмеридиональная Западно-Крымская зона. Она предположительно представляет собой крупнейший сдвиг, строение которого изучено слабо, преимущественно геофизическими методами [Вольвовский и др., 1992]. В этой зоне землетрясения средней силы происходили в 1875 ( $M = 5,2$ ) и 1957 гг. ( $M = 5,5$ ).

По косвенным данным о глубинном строении и распределении сейсмогравитационных образований выделяется Северо-Крымская зона, где под платформенными слабодислоцированными отложениями верхнего мела – кайнозоя трассируется глубинный разлом, разделяющий Скифскую плиту и альпийское сооружение Горного Крыма [Юдин, 2011]. Вдоль упомянутого глубинного разлома вытянута широкая полоса сейсмогенных обвалов и гигантских оползней [Борисенко и др., 1999]. Они приурочены к высоким обрывам прочных пород куэстовой моноклинали Горного Крыма и обусловлены благоприятными геоморфологическими и литологическими условиями. Сейсмотектонические разрывы голоценового возраста в этой полосе не выявлены.

В районе Севастополя, где изучен Инкерманский активный разлом, выделяется субширотный отрезок Северо-Крымской сейсмогенерирующей зоны (рис. 1). Инкерманский сбросо-сдвиг лишь частично трассируется на суше, на восточной окраине Инкермана. Здесь были обнаружены выразительные палеосейсмодислокации гравитационно-сеймотектонического типа [Борисенко и др. 1995]. Западнее Инкермана, разлом выделяется в Севастопольской бухте по данным бурения и интерпретируется как правый сдвиг [Иванов, 2014]. Берега бухты резко различаются. Если вдоль северного берега крупные боковые бухты отсутствуют, то на южном берегу расположены многочисленные затопленные долины балок, создающие типичный облик риасового побережья, не характерный для других берегов Крыма. Затопление балок указывает на локальное опускание южного берега залива, в отличие от более приподнятого северного. По всей видимости, нарушения в районе Инкермана расположены на восточном окончании сейсмогенерирующей структуры, скрытой под водами Севастопольской бухты.

Даже краткий обзор сеймотектоники региона показывает возможность сильных землетрясений в районе Севастополя. Согласно имеющимся данным, потенци-

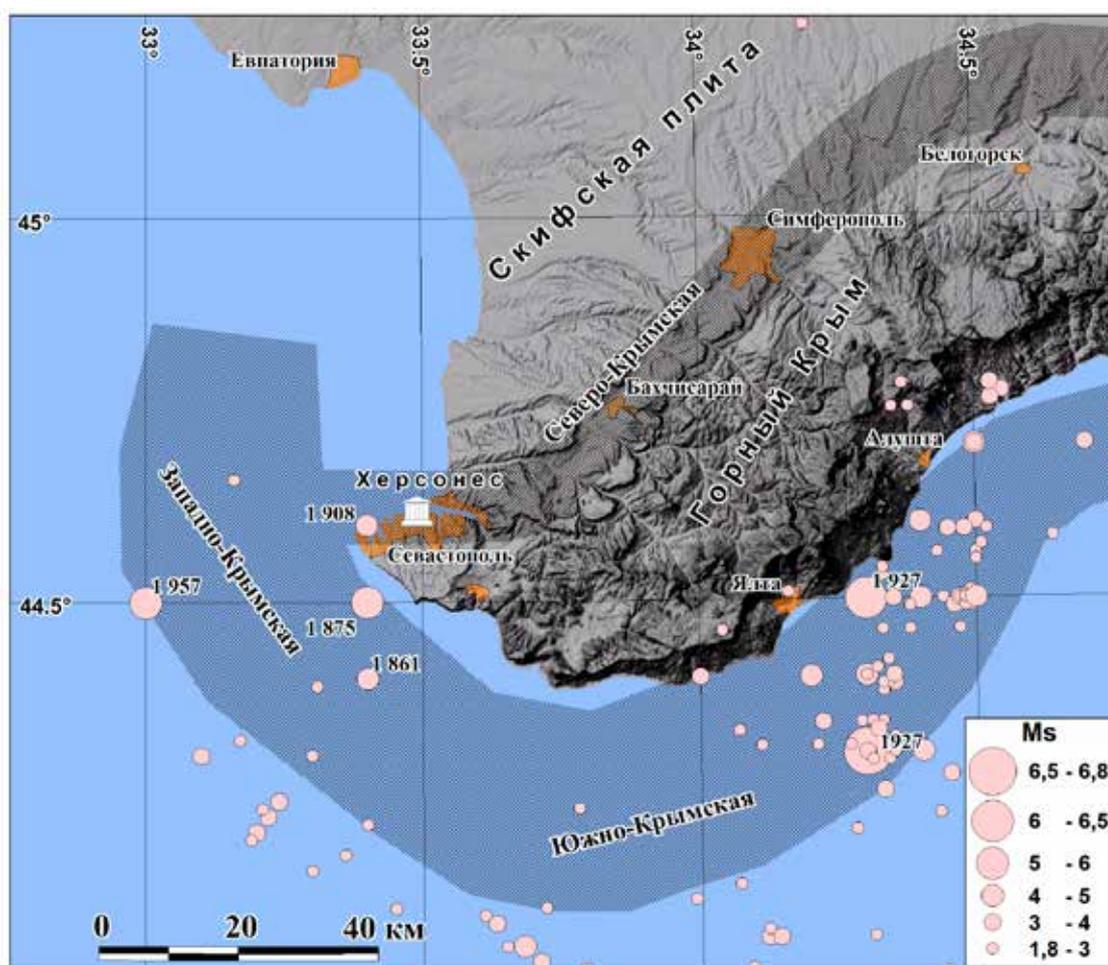


Рис. 1. Сейсмогенерирующие зоны (заштрихованные области) района г. Севастополь по инструментальным, археосейсмологическим и палеосейсмологическим данным. Кружками показаны эпицентры землетрясений по инструментальным и макросейсмическим данным за период 1800–2014 гг. [Пустовитенко и др., 1989; Shebalin, Leydecker, 1997; ГС РАН], с указанием года для сильнейших событий.

альные очаги землетрясений расположены на разном удалении от города, вплоть до непосредственной близости.

### Результаты археосейсмологических исследований

В руинах трех наиболее исследованных районов Херсонеса (Юго-восточного, Северо-восточного и Северного) нами был выявлен целый комплекс повреждений и разрушений, который включает:

– выкалывание и выдвигание целых фрагментов стен по ряду сопряженных сколовых трещин (рис. 2).

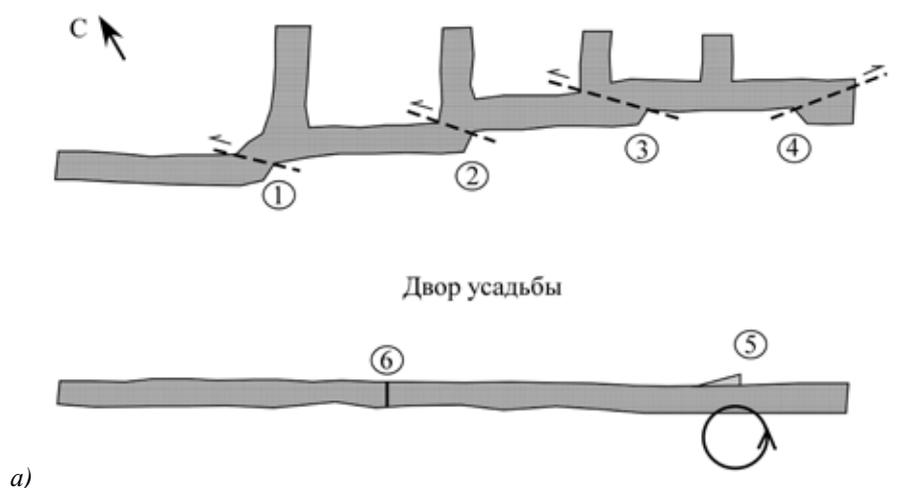


Рис. 2. Деформации стен внутреннего фасада усадьбы XI–XIII вв. в VI квартале Херсонеса (Северо-восточный район города, к северо-западу от главной улицы). (а) схематический план части двора усадьбы XI–XIII вв. в VI квартале с нанесенными на него образцами деформации; цифры в кружочках: 1–4 – выкалывания и выдвигания стен к ССВ, 5 – поворот нижней части стены против часовой стрелки на  $12^\circ$ , 6 – сквозная трещина, пробивающая два крупных античных блока вторичного использования подряд. (б) Вид на одну из сколовых трещин сверху. Простирание трещины –  $175^\circ$ , общее простирание расколотой стены –  $120^\circ$ , простирание обоих фрагментов стен близ скола –  $126^\circ$ , смещение по сколу – до 30 см. Снято с юго-востока.

– развороты стен целиком, их фрагментов и отдельных каменных блоков вокруг вертикальной оси по и против часовой стрелки (рис. 3).

– изломы бутовых бесфундаментных стен XIII в. в связи с толканием их смежными перпендикулярными стенами (рис. 4). Подобные деформации уже наблюдались и описывались нами в стенах древнего города Мамшит в Израиле [Korzhenkov, Mazor, 2003].

– сквозные трещины (joints), пробивающие несколько строительных блоков подряд (рис. 5). Важно отметить, что в древнейшей части башни Зенона (ее так называемом ядре), построенной в III в. до н.э., сквозные трещины распространены не равномерно по всей окружности башни, но сосредоточены в ее частях с простиранием  $20\text{--}35^\circ$  и  $155\text{--}165^\circ$ , что указывает (скорее всего) на сейсмогенный характер их возникновения. Всего нам удалось выявить и замерить 12 сквозных трещин в башне.



а)



б)

Рис. 3. Развороты стен целиком и их частей в Херсонесе.

(а) Значительные последовательные развороты по часовой стрелке в каменной кладке в ЮВ части стены-крепиды (третьего утолщения) башни XVII (Зенона), возведение которой датируется X веком. Снято с северо-востока.  
(б) разворот против часовой стрелки бутовой бесфундаментной стены XIII в. целиком в юго-восточном углу квартала XIII–XVIII Северного района Херсонеса. Имеется также наклон этой стены к ВЮВ под углом  $80^\circ$ . Снято с юго-востока.



*Рис. 4. Толкание стеной с простиранием  $35^\circ$  противоположной стены, в связи с чем наблюдается излом последней с выпуклостью к ЮЗ. Имеется также наклон изломанной стены (с общим простиранием  $130^\circ$ ) к ЮЗ под углом  $85^\circ$ . Квартал XIII–XVIII. Снято с юго-востока.*



*Рис. 5. Сквозная трещина в башне Зенона, пробивающая два каменных блока подряд.*



*Рис. 6. Послойное и последовательное выдвигание рядов каменной кладки на ЮЮЗ в стене с общим простиранием  $124^\circ$ . VI квартал. Снято с юго-востока.*



*Рис. 7. Сплюснутое в субмеридиональном направлении устье каменного обклада колодца. VI квартал Херсонеса.*

- послойные выдвигания и наклоны стен (рис. 6).
- деформации каменных обкладов устьев колодцев. В VI квартале нами было выявлено овальное удлинение устья одного из колодцев (рис. 7). Ясно, что изначально оно строилось округлым, но в настоящее время оказалось сплюснутым по оси  $10^\circ$ . Само по себе небольшое сплюскивание, возможно, и не привлекло бы нашего внимания, но оно было выявлено в квартале, где мы обнаружили 7 сколов в стенах ЮЗ простирания, что согласуется с диаграммой существовавших тектонических (сейсмических) напряжений. Ко всему прочему, каменный обклад был разбит трещинами, одна из которых прошла насквозь через два каменных блока.

### Заключение

Описанные выше деформации в стенах Херсонеса Таврического однозначно свидетельствуют о сейсмогенной причине их возникновения. Нам удалось выявить следы, по крайней мере, двух или трех сильных землетрясений: одно – в стенах средневековых кладок XI–XIII вв., а два других – в разновременных стенах башни XVII (Зенона). Свидетельством первого античного землетрясения являются многочисленные сквозные трещины в каменной кладке ядра башни. Именно поэтому, по-видимому, пришлось возвести стену-крепиду вокруг башни в III в. н.э., затем – еще одну, в конце V в. н.э. и, наконец, третью – в X в. н.э., в результате чего диаметр башни увеличился с первоначальных 8 до 22 метров, а первый пояс утолщения III в. н.э. был разобран, и в освободившемся кольцевом пространстве между ядром башни и утолщением V в. н.э. устроено караульное помещение. Второе землетрясение, следы которого обнаружены во внешнем поясе утолщения башни XVII, произошло после его строительства, т.е. после X в. Возможно, это было то же сейсмическое событие, которое повредило бутовые стены городских кварталов XI–XIII вв. Возможно также, что это – след более раннего землетрясения XI в., в ходе которого был разрушен практически весь город, в том числе обширные участки оборонительных стен, и особенно пострадали жилые кварталы [Хапаев, 2010].

По данным письменных источников и археологии, после XIII в. руины Херсонеса испытали разрушительное воздействие землетрясений XV в. (около 1423 г.) и 11 сентября 1927 г. Во время первого из упомянутых событий Херсонес находился в руинах, во время второго часть исследованных нами объектов была уже раскопана и находилась на дневной поверхности (башня XVII, квартал VI), часть еще находилась в земле (квартал XIII–XVIII).

Более точный возраст сейсмических событий, а также направления прихода максимальных сейсмических колебаний нам предстоит определить позже, в результате детальных исследований совместно с археологами. Местная интенсивность сейсмических колебаний была, по всей вероятности, не менее чем (VIII)  $\leq I_0 \leq IX$  баллов по Шкале MSK.

### Благодарности

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

### Литература

1. Борисенко Л.С., Никонов А.А., Останин А.М., Пустовойтов К.Е., Сергеев А.П. Сейсмодислокации в юго-западном Крыму (район г. Севастополя) // Доклады АН. – 1995. – Т. 343. № 6. – С. 791–794.
2. Борисенко Л.С., Пустовитенко Б.Г., Дублянский В.Н., Вахрушев Б.А., Ключкин А.А., Ена А.В., Китин М.А. Сейсмодислокации и палеосейсмичность Крыма // Сейсмологический бюллетень Украины за 1997 год. – Симферополь: Изд.-во ИГ НАНУ, 1999. – С. 101–132.
3. Вольвовский Б.С., Соллогуб В.Б., Финетти И. и др. Строение и эволюция земной коры Черного моря. – М.: Наука, 1992. – 88 с.
4. Иванов В.Е. Об особенностях осадконакопления в устьях рек Юго-Западного Крыма в позднем плейстоцене и голоцене // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. – 2014. – № 1. – С. 94–107.

5. Корженков А.М., Мазор Э. Структурная реконструкция сейсмических событий: руины древних городов как окаменевшие сейсмографы // Изв. МОН РК, НАН РК. Серия общественных наук. – 2001. – № 1. – С. 108–125.
6. Никонов А.А. Сейсмический потенциал Крымского региона: Сравнение региональных карт и параметров выявленных событий // Физика Земли. 2000. № 7. С. 53–62.
7. Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е., Горячун А.В. Землетрясения Крымско-Черноморского региона. – Киев: Наукова думка, 1989. – 190 с.
8. Хапаев В.В. Письменные источники по истории Крымских землетрясений античного и средневекового периодов // Ученые записки Таврического национального университета. Серия «История». – 2008. – Т. 21 (60). № 1. – С. 3–8.
9. Хапаев В.В. Византийский Херсон во второй половине X – первой половине XI веков: проблема разрушения города // Дис. ... кандидата исторических наук. – Севастополь. 2010. – 409 с.
10. Юдин В.В. Геодинамика Крыма. – Симферополь: ДИАЙПИ, 2011. – 336 с.
11. Korzhenkov A.M., Mazor E. Structural reconstruction of seismic events: Ruins of ancient buildings as fossil seismographs // Science and New Technologies. 1999. No. 1. – P. 62–74.
12. Korzhenkov A.M., Mazor E. Archeoseismology in Mamshit (southern Israel): Cracking a millennia code of earthquakes preserved in ancient ruins // Archeologischer Anzeiger. 2003, No. 2. – P. 51–82.
13. Shebalin N.V., Leydecker G. Earthquake Catalogue for the Former Soviet Union and Borders up to 1988. European Commission, Report No. EUR 17245 EN, Nuclear Science and Technology Series. ISSN 1018–5593 – Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 1997. – 135 p.

## **ARCHEOSEISMOLOGICAL STUDY AT ANCIENT TAURIC CHERSONESOS (SEVASTOPOL, CRIMEA)**

**© 2016 V.V. Khapaev<sup>1</sup>, Sc. Candidate (Hist.), A.M. Korzhenkov<sup>2</sup>, Sc.  
Doctor (Geol.), A.N. Ovsyuchenko<sup>2</sup>, Sc. Candidate (Geol.), A.S. Larkov<sup>2</sup>,  
A.V. Marahanov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Sevastopol MSU campus, Russia, 299001, Sevastopol, Geroev Sevastopolya str., 7,  
e-mail: khapaev007@mail.ru;

<sup>2</sup>Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, Russia,  
123995, Moscow, Bolshaya Gruzinskaya str., 10–1, e-mail: ovs@ifz.ru

Ruins of well studied ancient Tauric Chersonesos give unique possibility for restoration of Southern Crimea seismic history for last 2,5 thousand years. Specific deformations within the walls of Chersonesos clearly testify to the numerous strong earthquakes occurring far back in the past. As a result of the studies it was possible to reveal traces, at least, two or three strong earthquakes. Mass destructions in a city and its district, not connected with military operations, are dated: III century AD, V or VI century AD and a boundary X–XI centuries AD. Sharing of historical and archaeological data opens essentially new possibilities for seismic hazard assessment.

**Keywords:** Tauric Chersonesos, Sevastopol, seismic hazard assessment, historical seismology, archeoseismology, active faults.

УДК 622.01;681.586.732

## КОНТРОЛЬ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГОРНОГО МАССИВА ЗВУКОМЕТРИЧЕСКИМИ И ГЕОФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

© 2016 Х.О. Чотчаев

Геофизический институт ВНЦ РАН, Россия, 362002, г. Владикавказ, ул. Маркова,93а, e-mail: cgi\_ras@mail.ru

Уровень промышленной безопасности в горнодобывающей отрасли остается одним из низких, что обусловлено, в первую очередь, недостаточной изученностью геотектонических условий разреза, отсутствием инновационных разработок в предупреждении чрезвычайных ситуаций при горнопроходческих и добычных работах, слабой автоматизацией опасных операций производственного цикла. Главной же причиной высокой аварийности в горной отрасли является низкий уровень организации контроля проявления и развития в массиве деформационных процессов, недостаточная разрешающая способность используемых методов контроля, сложность и дороговизна проведения наблюдений, помехонезащищенность используемых радиосхем и электролиний измерительных установок. В работе рассмотрены основные звукометрические и геофизические методы контроля динамики напряженно-деформированного состояния горных пород, физико-механические изменения матрицы горной породы на уровне структурно-текстурной упаковки и кристаллической решетки. Дается обоснование эффективности использования волоконно-оптических материалов, как линий связи и детекторов давления на основе дифракционных решеток Брэгга.

**Ключевые слова:** напряженно-деформированное состояние, контроль, поляризационно-оптический метод, акустико-эмиссионное явление, ультразвуковые исследования, электромагнитные импульсы, волоконно-оптические датчики давления, решетки Брэгга.

**Актуальность темы.** Производство горнодобывающей отрасли ведется во все времена с высокой степенью риска, во-первых, из-за сложности геологической обстановки, как в плане структурно-тектонической раздробленности, так и в многообразии негативно воздействующих факторов на устойчивость массива горных пород, учесть влияние по полному списку которых пока не представляется возможным. Во-вторых, из-за недостаточной изученности геолого-структурных, тектонических и геотехнических условий разреза, как на стадии детальной разведки, так и в процессе промышленного освоения. Под массивом в данной работе понимается объем горной породы, представляющий определенный интерес и подготавливаемый к промышленному освоению, геотектонические условия которого подлежат детальному изучению для безопасного ведения горнопроходческих работ.

Международная сеть компаний, оказывающих услуги в области консалтинга и аудита Deloitte Touche Tohmatsu Limited («Делойт Туш Томацу Лимитед»), анализируя деятельность горнодобывающих предприятий, приходит к выводу о низком организационно-хозяйственном и технологическом уровне производства и рекомендует переходить на инновационные технологии проектирования и планирования работ на рудниках.

Горнодобывающая отрасль России ведет добычу 48 типов минеральных продуктов, являясь лидером среди ведущих стран и обеспечивая до 10% ВВП России,

хотя остается наименее непривлекательной сферой для развития информационных технологий. В общей массе IT-проектов, выполненных в промышленном секторе России, внедрения на горнодобывающих предприятиях составили порядка 1,5% от общего числа проектов, в то время как объемы инновационных технологий, выполненных в ТЭК, – 24,12%, в машиностроении – 24,01%, в нефтегазодобывающей отрасли – порядка 22% от всех IT-проектов в промышленности.

Являясь наиболее сложной, трудоемкой и опасной сферой деятельности в системе недропользования, горнодобывающая отрасль, специализирующаяся на добыче твердых полезных ископаемых способом подземных выработок, больше всего подвержена природным и техногенным воздействиям негативного характера. Они вызваны как эндогенными геодинамическими процессами (сейсмического, тектонического, вулканического, магматического характера и т. д.), так и изменениями физики твердого тела на межмолекулярном уровне, когда нарушается геостатическое равновесие в определенной части среды (подходные штольни, штреки, камеры и т. п.) [Единые правила..., 2003]

Эти воздействия вызывают нарушения производственного цикла в выработке, выход из строя шахтного оборудования, обвалы, горные удары, подтопления, которые в свою очередь приводят к человеческим жертвам из числа находящегося под землей персонала.

Внедрение IT-проектов, направленных на совершенствование технологических процессов, предусматривает полную или частичную автоматизацию производства, что значительно повышает не только производительность труда, но и безопасность производства за счет исключения ручного труда в технологических циклах на опасных участках и использования новейших достижений электронно-вычислительной техники и радиоэлектронной промышленности в управлении этими технологическими циклами.

Низкий уровень инновационных технологий в производственном цикле горнопроходческих и добычных работ представляется основной причиной высокого уровня аварийности, экономических потерь на ликвидацию последствий, ущерба жизни и здоровью шахтеров и порче подземного оборудования.

Все без исключения горнодобывающие предприятия, ведущие добычу твердых полезных ископаемых подземным способом, относятся к объектам высокого риска, но к наиболее опасным подземным производствам следует отнести угольные выработки, где к прочим негативным природным и техногенным явлениям добавляются выбросы метана и, как следствие, частые пожары, сопровождающие горные удары. [Федеральные нормы и правила..., 2015]

Системы современных средств контроля и предупреждения состояния элементов локального подземного пространства, безопасного и бесперебойного функционирования транспортных средств и горнопроходческого оборудования, а также позиционирования местонахождения каждого работника в случае чрезвычайного происшествия базируются, в основном, на принципиальных схемах электрической и радиотехнической цепей, которые недостаточно чувствительны и плохо защищены от помех электромагнитного характера. Кроме того, они легко подвержены воздействию человеческого фактора, заключающееся в возможности принудительного отключения сигнальных средств, произвольной интерпретации причин автоматизированных сигнальных предупреждений отдельными работниками или целыми группами работников с якобы ложными срабатываниями контрольной аппаратуры

и, как следствие, игнорирование предупреждений контрольных систем. Поколение ныне действующего шахтного контрольно-предупредительного оборудования уровня безопасности не может блокировать производственные циклы и выполнять программу спасения людей. Инновационные технологии средств контроля и предупреждения должны быть запрограммированы на независимую блокировку производственных процессов, позиционирование местоположения функционирующих в производственном цикле площадок и каждого персонифицированного работника в реальном времени. Инновационные технологии должны содержать не только программы ведения производственного цикла, но и программы автоматизированной ликвидации аварий в горных выработках.

Из множества факторов природного и техногенного характеров, негативно влияющих на безопасность горнодобывающей отрасли в условиях подземных выработок, на наш взгляд, самым распространенным является процесс накопления напряженного состояния элементов горной выработки (боковых стенок и кровли, отдельных рудных и породных массивов), по мере накопления избыточного давления, чреватого катастрофическими последствиями.

#### **Физико-механические предпосылки методических разработок. Звукометрические методы определения напряженного состояния горного массива.**

Усиление напряжения происходит за счет перераспределения давления боковых либо вышележащих пород и изменения, скорее всего, текстурных особенностей породы, в последствие и межэлементных связей на уровне структурных изменений. При дальнейшем усилении давления наступает фаза упругих деформаций породы, увеличивающихся к свободной поверхности. Когда давление создает напряжения превышающие предел прочности породы, фаза упругих деформаций сменяется нелинейными изменениями структуры среды (пластические деформации) и разрывами сплошности. Далее следует обрушение горной породы или разрядка в виде горного удара.

Напряженно-деформированное изменение представляется динамическим процессом и проявляется смещениями и сдвигами на межмолекулярном уровне структурно-тектонической упаковки горной породы. Эти деформации порождают высокочастотные упругие продольные и поперечные волны, частотный спектр которых будет смещаться влево по мере подготовки, появления и развития остаточной деформации. Диапазон частот на ранней стадии развития напряженно-деформированного процесса может фиксироваться СВЧ – датчиками, внедрение которых позволит получить графическое изображение состояния рудных массивов и горных пород, а также полный цикл подготовки, развития и протекания напряженно-деформированных процессов на опасных участках горных выработок. Напряжение, соответствующее начальной стадии деформации в виде микротрещины, будет иметь малую длительность (порядка микросекунд или долей микросекунд). Амплитуда и энергия первоначального импульса при этом может меняться в широком диапазоне.

Продольно-сдвиговые смещения при постоянно возрастающем давлении перестают быть упругими, упругая деформация переходит в пластическую и часть энергии начинает расходоваться на диссипативные потери, включая и остаточную деформацию, которая используется на практике поляризационно-оптической регистрации напряжений, испытываемых горным массивом и определяемых по величине соотношения главных оптических осей, для чего используются оптические композиционные материалы.

Строго говоря, любой материал – оптический или светонепроницаемый (горные породы, металлы, конструкционные и композиционные слоистые и сплошные пластмассы), обладающий свойством пластической деформации, после снятия нагрузки сохраняет в себе все изменения, протекавшие в его структуре в процессе силового нагружения, т.е. материал обладает «эффектом памяти». При последующем повторении силового нагружения однажды уже нагруженного материала дополнительные пластические деформации в материале будут наблюдаться начиная с того момента, когда сжимающее напряжение превысит максимальное усилие при первом нагружении. Можно выделить две стадии процесса разрушения отдельно взятого блока горных пород: стадию накопления дефектов в объеме нагруженного тела до определенной концентрации и стадию появления и развития самого очага разрушения. Макроскопическое разрушение «целого» блока может произойти не только при нагружении материала до уровня предела прочности, но и при более низких нагрузках, важно, чтобы нагружение было длительное, а материал обладал свойством пластической деформации.

Пластические деформации, связанные с появлением и развитием дефектов на уровне структурно-текстурных особенностей материала в виде микро- и макротрещин и аллотропических изменений кристаллической решетки, проявляются в виде отдельных акустических импульсов, служащих универсальным признаком обнаружения разномасштабных трещин по частотному спектру излучения. Такие импульсы проявляются в кристаллической решетке даже в области упругости, а возникают от того, что среда неоднородна на уровне текстурно-структурной упаковки, нагружена неравномерно и в отдельных областях происходит пластическая деформация, хотя в целом процесс остается упругим.

Кривая цикла акустической эмиссии породы от начала нагружения до полного разрушения будет дифференцироваться характерными амплитудно-частотными спектрами, отражающими стадии деформаций на уровнях кристаллической решетки, структурно-текстурного и литологического строения среды.

На данном этапе валидность метода ограничивается единичными работами, однако при создании банка данных и наработанного опыта анализа амплитудно-частотных спектров акустико-эмиссионных процессов, метод может позволить оценивать литологические и петрофизические особенности массива горных пород.

В нагруженном состоянии горной породы или наращивании усилия на пласт за счет образования пустотного пространства под землей в определенный момент, когда достигается напряжение усилия равное пределу упругости, происходит явление лавиноподобного образования микротрещин, названное эффектом акустической эмиссии за счет сопровождения остаточной деформации излучением упругих волн звукового диапазона частот [Леонтьев, 2013]. По частотному спектру можно качественно судить о размерах трещин, об уровне силового напряжения на локальный блок пород и в целом о стадии напряженного состояния массива или его части.

Акустическая эмиссия отличается от большинства методов неразрушающего контроля тем, что источником сигнала служит сама исследуемая среда и дополнительных внешних источников для генерации импульса не требуется. Другим важным отличием метода является возможность обнаружения динамики дефекта, а не статического состояния деформированной среды. Метод позволяет в реальном времени по сигналам эмиссии непрерывно наблюдать за поведением материала при нагружении. Поскольку интенсивность акустической эмиссии зависит от структуры

материала и режима деформирования в разных средах при различных способах нагружения по-разному протекают акустико-эмиссионные процессы [Pollock, 1989].

Акустико-эмиссионный метод, как средство неразрушающего контроля, позволяет проводить интегральный контроль и обнаруживать только дефекты, представляющие опасность. Напряжения, испытываемые массивом при отсутствии дефектов, не вызывают акустико-эмиссионный процесс.

Звукометрические определения напряженного состояния горного массива можно выполнять по методу оценки на основе акустико-эмиссионного эффекта памяти в образцах горных пород, извлеченных из массива, методом оценки напряженного состояния массива на основе акустико-эмиссионного эффекта памяти горных пород околоскважинного пространства и на основе эффектов памяти в композиционных материалах.

В первом случае образец нагружается в лабораторных условиях в направлении главного вектора приложения деформирующей силы в естественных условиях до проявления эффекта памяти первой стадии развития напряжения и начала роста напряжения второй стадии. Второй случай сочетает в себе элементы методов разгрузки и акустико-эмиссионной памяти. Проводится локальная разгрузка горных пород в массиве посредством бурения скважины, а затем восстановление исходного напряженного состояния пород околоскважинного пространства с помощью прессиометра или гидродомкрата, в которые под давлением закачивают рабочую жидкость. Измерение производится в процессе восстановления активности или суммарного счета акустической эмиссии, по скачкообразному увеличению которых судят о действующих напряжениях [Ямщиков и др., 1991; Deutsch et al., 1989].

В третьем случае образец композиционного материала с деформированной структурой в напряженном поле естественного массива выбуривается и просматривается в поляризованном свете. Используется известное свойство изотропных оптически активных прозрачных материалов при нагружении проявлять оптическую анизотропию – двойное лучепреломление, величина которого может быть измерена по интерференции поляризованного света. Оптические свойства в каждой точке анизотропной среды выражаются эллипсоидом показателей преломления с полуосями, равными главным показателям преломления исследуемого материала –  $n_1, n_2, n_3$ , которые являются величинами обратно пропорциональными скорости распространения света (т. е. исследуются свойства оптической индикатрисы). Установлено, что в каждой точке напряженной модели направления главных напряжений –  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ , вызванных деформацией, совпадают с главными осями симметрии оптической индикатрисы и выражаются величиной оптической разности хода ( $\Gamma$ ), т. е. величиной двойного лучепреломления.

Главными недостатками звукометрических методов определения напряженного состояния горного массива являются: трудоемкость, ограниченный предел прочности композиционных оптических материалов при производстве работ в магматических и метаморфических породах, дорогостоящее оборудование, низкий уровень оперативности, ограниченная возможность дистанционного контроля, обнуление информации о напряжениях в массиве ниже достигнутого предела эффекта памяти.

**Геофизические методы контроля** напряжений в массиве горных пород основаны на взаимосвязи параметров различных искусственно или естественно наводимых физических полей с напряженным состоянием массива. К таким полям относятся упругие волны, радиационные, электрические, магнитные, электромагнит-

ные, гравитационные. Из перечисленного комплекса физических полей наиболее полно разработан ультразвуковой (импульсный сейсмический) метод определения напряжений, основанный на взаимосвязи с напряженным состоянием горных пород таких сейсмических характеристик как скорость и затухание упругих волн, возбуждаемых в массиве. Для количественной оценки напряжений в массиве используют эффект скоростной анизотропии пород при нагружении. Сущность данного метода заключается в том, что в пробуренные параллельно друг к другу на некотором расстоянии скважины вставляются ультразвуковые преобразователи: излучатель и приемник. На этой базе измерения определяется скорость прохождения ультразвукового импульса. Переместив ультразвуковые датчики по глубине скважин, можно получить картину изменения скорости распространения упругих волн в окрестности выработки. Для пересчета скорости распространения ультразвука в напряжения необходимо произвести соответствующую тарировку, например, с помощью метода разгрузки, определив одновременно величины напряжений и соответствующие им скорости упругих волн. [Гребёнкин и др., 2010].

Мониторинг этим же методом фронтальной зоны вероятного направления горного удара позволяет контролировать характер изменения напряжения в массиве, определить временной интервал достижения предела прочности горных пород и последующего возможного обрушения или горного удара, своевременно предупредить персонал о выходе из опасной зоны.

Если в основе акустико-эмиссионных способов контроля напряженно-деформированного состояния горного массива лежат следственные факторы деформации, то в ультразвуковом сейсмическом способе исследуются причинные факторы возникновения деформаций, каковыми могут быть пустотные пространства техногенного и природного характера, участки разуплотненных тектонических зон, фронты распространяющихся упругих волн землетрясений и искусственных взрывов, сейсмические сдвиги и т. д.

Известно, что чем плотнее среда, тем выше скорость упругих волн, а деформационные изменения ведут к лавинообразному проявлению микротрещин, как правило, заполненных флюидами, либо воздухом, скорость распространения упругих волн в которых значительно меньше, чем в массиве горной породы, не подверженном деформационным изменениям. При увеличении объема трещин (потенциальных пустот) в породе, скорость распространения упругих волн будет падать, что является признаком ослабления прочности массива и индикатором состояния элементов горной выработки.

Вторым важным физическим параметром наряду с упругими характеристиками среды является электрическая проводимость и магнитная восприимчивость, определяющие трансформирующие и генерирующие свойства геологической среды во взаимодействии с электромагнитными полями естественной и искусственной природы.

Генерация электромагнитных импульсов (ЭМИ) представляется следствием динамических процессов в земной коре, сопровождающихся перемещением относительно друг друга структурных блоков, восходящим движением магматических расплавов, дислокационными изменениями в процессе горообразования, прочими сеймотектоническими подвижками. Следовательно, перед горными ударами или в момент подготовки землетрясения участки горного массива или поверхностные слои Земли испытывают усиленные деформации. Возникновение сигналов ЭМИ происходит, как правило, в диапазоне 1 кГц – 50 МГц.

Использование метода ЭМИ в решении задач обнаружения, мониторинга развития события в виде напряженного деформирования среды, предупреждения катастрофических последствий и прогноза таких крупных геодинамических событий как горные удары на рудниках и шахтах пройденных на больших глубинах, а также землетрясений представляет огромный интерес с точки зрения обеспечения безопасности подземных горнопроходческих работ.

Применение метода ЭМИ для решения комплекса обозначенных задач обосновывается зависимостью возникающих аномальных электромагнитных полей от механики приложенных сил природно-техногенного характера, являющейся первопричиной возникновения напряженно-деформированного состояния блока, массива, геологического участка или целой территории. Для программирования и организации безаварийной работы необходимо иметь представление об изменениях напряженно-деформированного состояния опасных подземных участков и технологических линий на всем временном интервале появления и развития напряженно-деформированного состояния среды, для принятия адекватных мер инженерной защиты, обеспечения сохранности машин и оборудования, своевременного вывода персонала в безопасное место. Аппаратурно-методический комплекс мониторинга напряженно-деформированного состояния исследуемой среды должна обеспечивать обнаружение деформационных изменений уже на уровне не более 20% от разрушающего напряжения.

Плотность и точность наблюдений должны отражать полный цикл нагружения с учетом петрофизических, литологических, тектонических особенностей исследуемого геологического объекта, а также вариационные отклонения от среднего значения кривой нагружения. 1. Критерием оценки состояния среды и соответствующих мер инженерных и организационных мер защиты и предупреждения следует выбирать границу вариационного отклонения. 2. Установить количественные взаимосвязи вариаций электромагнитного излучения и напряженно-деформированного состояния при изменениях напряжений 5–20% от разрушающих. 3. Оценить возможность прогноза местоположения и момента сдвижения (отрыва) тела оползня, а также контроля процесса деформации вмещающего массива в местах деятельности суффозионных процессов при регистрации электромагнитного излучения по профилям на припортальных склонах. 4. Разработать количественные критерии для оперативной оценки геодинамической активности массива и эффективность методики оперативной идентификации и прогнозирования геомеханических процессов в массивах горных пород на основе инструментальных данных электромагнитного излучения, многократно проверяются и подтверждаются лабораторными испытаниями и такими методами контроля, как поляризационно-оптический, акустико-эмиссионный, сейсмоакустический или разгрузки керна, щелевой разгрузки, гидро-разрыва и т. д. [Методическое руководство..., 2009; Власов и др., 2000; Шамелис, 1956; Теличенко и др., 2010].

Основным недостатком контроля механического состояния подземных горных объектов электромагнитным методом является многообразие электромагнитных полей, точная идентификация природы которых представляет собой не простую задачу. Решению этой проблемы может способствовать использование нескольких дополнительных широкополосных детекторов для регистрации электромагнитных импульсов вне зоны исследуемого объекта. В предположении, что частотная характеристика излучаемых массивом электромагнитных импульсов за счет изменяюще-

гося напряженного состояния будет более высокочастотный и всеобъемлемый.

Отличие от фоновой частоты ЭМИ за счет взаимодействия региональных геологических сред с магнитным и электрическим полями Земли, а также геологических сред и внешних факторов атмосферного, ионосферного характера и околосолнечного космического пространства, такая методика может позволить локализовать аномальное поведения участков геологического разреза или инженерного сооружения.

**Контроль напряжено-деформированного состояния массива на основе волоконно-оптических датчиков.** Круг решаемых задач с использованием волоконно-оптических технологий настолько широк и всеобъемлющий, что перечислять их нет возможности. Отметим, однако, что весь комплекс физико-механических проявлений нестабильного состояния элементов горной выработки и отдельного массива или блока горных пород в полной мере решается с помощью волоконно-оптических линий связи с нанесенными дифракционными решетками Брэгга, либо датчиков на волоконно-оптической основе. Для использования линии оптического волокна в качестве детектора деформации, температуры, наклона, ускорения, вибрации, давления, перемещения и т. д. необходимо записать в оптоволокне решетки Брэгга, которые наносятся при помощи ультрафиолетового лазера большой мощности, каждая из которых отражает свет определенной длины волны при ширине спектра порядка 1 нм.

Изменение регистрируемого физического или механического параметра среды ведет к деформации оптоволокна, изменению в нем длины волны и величины выходного сигнала.

Использование волоконно-оптической технологий для контроля безопасности подземных выработок продиктовано их высокой чувствительностью (1 нм по смещению), широкополосностью, обусловленной чрезвычайно высокой частотой несущей ( $F_0 = 10^{14}$  Гц), малым затуханием, устойчивостью к электромагнитным и радиоволновым помехам. Чувствительный элемент волоконных датчиков не содержит электронных компонент и поэтому они являются полностью пассивными, что означает возможность использовать их в зоне повышенной взрывоопасности, агрессивности, сильных электромагнитных помех.

К сожалению, невысокая стоимость оптического волокна, пока не компенсирует значительную дороговизну активных элементов, преобразующих электрические сигналы в свет, для передачи сигнала, и, наоборот, для преобразования оптического сигнала в электрические импульсы, но высокая эффективность использования инновационной технологии оправдывает расходы на комплектующие.

В качестве источника света используется полупроводниковый лазер или светодиод, генерирующие несколько десятков близких по частоте спектральных линий с определенным распределением энергии по спектру излучения.

В зависимости от решаемых задач и требуемой точности, передача света по любому световоду может осуществляться в одномодовом и многомодовом режимах, когда распространяется по световоду только одна или несколько мод (независимых частотных импульсов, т. е. спектральных линий). Диаметр сердцевины многомодовых волокон обычно составляет 50...100 микрон. По такому волокну одновременно распространяется большое количество типов волн (мод) с различными геометрическими параметрами. Эти лучи испытывают множественные отражения от границы между сердцевиной и оболочкой, что приводит к заметному затуханию сигналов.

Диаметр сердцевины одномодовых световодов составляет не более 10 микрон. В таком световоде может распространяться только один тип волны (мода) и затухание света здесь существенно меньше, чем в многомодовых световодах.

В том и другом случаях удержание светового импульса в оптоволокне происходит вследствие того, что коэффициент преломления материала сердцевины больше чем у оболочки. Таким образом, при оптимально подобранном соотношении коэффициентов преломления материалов происходит полное отражение светового луча внутрь сердцевины.

На практике широко используется способ распространения оптического луча в волноводе на принципе двухлучевой интерферометрии, когда луч лазера расщепляется на два и направляется в два идентичных одномодовых оптических волокна. На приемном конце оба луча образуют интерференционную картину. Механические воздействия на чувствительный кабель приводят к изменениям интерференционной картины, которые и регистрируются фотоприемником. Еще большее применение имеет способ последовательной интерференции оптического луча между двумя ближайшими волоконными решетками Брэгга показатель преломления (ПП) периодически изменяется в продольном направлении волновода. Для излучения с длиной волны в два раза большей, чем период решетки, отраженные лучи последовательно складываются по фазе и в результате появляется отраженный световой сигнал с интенсивностью 1...99% от интенсивности падающей волны и очень узкой спектральной полосой. Условия усиления отраженного света на определенной длине волны называются брэгговскими условиями, а длина волны, на которой это происходит, называется брэгговской длиной волны. Для всех остальных длин волн брэгговская решетка практически прозрачна. Брэгговская длина волны и коэффициент отражения решетки могут быть заданы с большой точностью в процессе изготовления решетки. Эти параметры должны оставаться постоянными на протяжении всего срока эксплуатации решетки. Брэгговская длина волны зависит от температуры и натяжения волокна, что нашло применение в пассивных волоконно-оптических датчиках, где по изменению длины волны отраженного сигнала можно судить о температуре или величине приложенной нагрузки.

По топологии расположения волоконно-оптические датчики подразделяются на три типа: точечные, распределенные и квазираспределенные. Точечные, как следует из названия, позволяют проводить измерения и контролировать параметры в определенной точке объекта, они обладают малым размером и высокой точностью измерения. Их используют в качестве локальных термометров, тензодатчиков, датчиков давления, акселерометров и т. п. В зависимости от типа сенсорного элемента локализация датчиков может достигать 0,1 см<sup>2</sup>, как в случае брэгговского чувствительного элемента, когда датчиками служат решетки Брэгга. Сенсорные массивы позволяют проводить мониторинг подземных естественных и искусственных хранилищ, горных выработок, инженерных сооружений, мостов, тоннелей и т. п., анализировать градиент распределения температуры, нагрузок, давления, контролировать до 100 и более точечных объектов. Причем, для этого используется только один волоконный световод и анализатор.

Распределенные сенсорные системы могут быть использованы для контроля больших территорий в качестве датчиков радиации, эманации газа, естественных электрических полей, температурного распределения по площади и т. п. [Гармаш и др., 2005].

Бесспорным преимуществом распределенных датчиков является возможность осуществления непрерывного контроля параметров по длине (объему) объекта в любой его точке, где установлен сенсорный световод, хотя невысокая точность определения локализации возмущения (несколько метров по длине) и относительно невысокая точность измерения величины являются недостатком распределения измеряемого параметра по длине.

Система на квазираспределенных датчиках объединяет преимущества первых двух схем. Квазираспределенный датчик представляет собой массив точечных сенсорных элементов, как правило, на основе внутриволоконных решеток Брэгга, объединенных одним общим световодом. Каждый элемент обладает своими уникальными характеристиками, что позволяет проанализировать его состояние независимо от других сенсорных элементов. Точность таких систем определяется точностью отдельных датчиков, а массив может объединять до 100 и более элементов.

Использование длины волны света в качестве информационного параметра делает волоконный датчик нечувствительным к долговременным дрейфам параметров источника и приёмника излучения, а также случайным затуханиям оптической мощности в волокне.

Установку волоконно-оптических кабелей с решетками Брегга или тензометров напряжений, давлений и т. д., а также выбор оптимальной топологии распределения датчиков в пространстве массива или на его поверхностях следует проводить с учетом удароопасности, обрушения кровли выработок и камер, тектонических и обводненных зон, опасные зоны, выявленные в результате регионального прогноза, рудные, безрудные целики и выступающие части массива, приконтактные зоны литологических разновидностей пород [РД 06–329–99..., 1999].

Все функциональные блоки мониторинга должны быть недоступны посторонним лицам и персоналу подземных работников, объединены и выведены на верхний уровень в систему, подобную классической автоматизированной системе управления технологическими процессами (АСУ ТП), при необходимости для начала оперативных действий по предотвращению катастрофических последствий.

## Выводы

Использование инновационных производственных технологий в горнодобывающей промышленности для прорыва технологического отставания в отрасли необходимо сочетать с внедрением достижений в области контроля безопасности труда.

Индикатором состояния окружающей подземной среды, элементов технологических выработок, угрозы горного удара и выброса метана, обвалов и обрушений и продолжительных сейсмологических воздействий является напряженно-деформированное состояние среды.

Основной причиной высокой аварийности в горной отрасли является низкий уровень организации контроля проявления и развития в массиве деформационных процессов, недостаточная разрешающая способность используемых методов контроля, сложность и дороговизна проведения наблюдений, помехонезащищенность используемых радиосхем и электролиний измерительных установок.

Для резкого снижения аварийности в подземных выработках горнодобывающей отрасли следует вести постоянный мониторинг в автоматическом режиме закрытыми измерительными системами, без возможности доступа к управлению постороннего персонала. Функциональные блоки мониторинга должны быть объединены и

выведены на верхний уровень в систему, подобную классической автоматизированной системе управления технологическими процессами (АСУ ТП), при необходимости для начала оперативных действий по предотвращению катастрофических последствий.

Рассмотрены основные звукометрические и геофизические методы обнаружения и регистрации динамики развития напряженного состояния горной породы и последующих деформационных процессов. Ранняя стадия проявления пластических деформаций в горной породе теоретически связывается с изменениями на уровне кристаллической решетки, текстурной и структурной упаковок породы, сопровождающихся лавинообразным проявлением микротрещин в особых очаговых точках и генерацией акустических колебаний высокочастотной области и малой интенсивности.

Звукометрические методы регистрации динамики процесса развития напряжений эффективны, но трудоемки и дорогие для непрерывного контроля и периодического обновления. Методы требуют параллельного функционирования лабораторных установок нагружения при акустико-эмиссионном контроле и периодических извлечений композиционного образца для просмотра в лабораторных условиях на полярографе.

Учитывая достижения в области волоконно-оптических технологий, наиболее эффективным способом непрерывного контроля напряженно-деформированного состояния исследуемого массива (блока, элемента горной выработки) представляются волоконные – оптические линии на основе оптических решеток Брегга или интерференционной картины по принципу Фабри – Перо. В качестве датчиков используются также решетки Брэгга и собственно волоконно-оптические датчики.

## Литература

1. Власов С.Н., Маковский Л.В., Меркин В.Е. при участии Куплиса А.Э., Сарabeeва В.Ф., Торгалова В.В. «Аварийные ситуации при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей и метополитенов» // 2-ое изд. доп. – М.: ТИМР. – 2000.
2. Гармаш В.Б., Егоров Ф.А., Коломиец Л.Н., Неугодников А.П., Поспелов В.И. Возможности, задачи и перспективы волоконно-оптических измерительных систем в современном приборостроении «ФОТОН-ЭКСПРЕСС». – НАУКА, 2005. – №6.
3. Гребёнкин С.С., Самойлов В.Л., Петренко Ю.А. Управление состоянием массива горных пород: учеб. пособ. для студ. – Донецк: «ВИК», 2010. – 191 с.
4. Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и рассыпных месторождений полезных ископаемых подземным способом. ПБ 03–553–03, НПО ОБТ, 2003.
5. Леонтьев А.В. Физические и методические аспекты акустоэмиссионного контроля напряженно-деформированного состояния массива горных пород // Журнал Интерэкспо Гео–Сибирь. – Выпуск №3, том 2. – 2013.
6. Методическое руководство по комплексному горно-экологическому мониторингу при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей. – М.: УРАН ИПКОН РАН, НИПИИ «Ленметрогипротранс», 2009. – 68 с.
7. РД 06–329–99. Инструкция по безопасному ведению горных работ на рудных и нерудных месторождениях, объектах строительства подземных сооружений,

склонных и опасных по горным ударам (утв. Постановлением Госгортехнадзора РФ от 24.11.1999. № 86).

8. Теличенко В.И., Зерцалов М.Г., Конюхов Д.С., Королевский К.Ю., Король Е.А. «Современные технологии освоения подземного пространства мегаполисов». Научное издание. – М.: Издательство АСВ, 2010. – 322 с.

9. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах» С изменениями и дополнениями, приказ № 129 Госгортехнадзора, 2015.

10. Шамелис И.М. «Тоннели и их восстановление», Часть II. – Л.: РТА, 1956.

11. Ямщиков В.С., Шкуратник В.Л., Лыков К.Г., Фарафонов В.М. Оценка напряженного состояния массива на основе эмиссионных эффектов памяти в горных породах околоскважинного пространства/ФТПРПИ, 1991. – №2. – С. 26–29.

12. Deutsch W.L., Koerner R.M., Lord A.E. Determination of prestress of in situ soils using acoustic emission // J. Geotech. Engrg., ASCE. 1989. – V. 115. №2. – P. 228–245.

13. Pollock A. Physical Acoustics Corporation (PAC) Author's reprint from the book Metals Handbook), 9th edition, vol. 17, ASM International (1989): pp. 278–294.

## CONTROL OF THE MOUNTAINOUS AREA STRESS-STRAINED STATE BY THE SOUND RANGING AND GEOPHYSICAL METHODS

© 2016 Kh.O. Chotchaev

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

The level of industrial safety in the mining branch remains one of the low, which is caused, in the first place, by the insufficient mastery of the geotectonic conditions for section, by the absence of innovation developments in warning of extraordinary situations with the mine-constructing and mining works, by the weak automation of the dangerous operations of production process. However, the main reason for high accident rate in the mountain branch is the low level of the of the manifestation and development control organization in the massif of deformation processes, the insufficient resolution of the utilized methods of control, complexity and high costs of conducting observations, lack of interference defense of the utilized radio circuits and power lines of measuring units. Work examines the basic sound ranging and geophysical methods of the stress-strained state dynamics of the rocks checking, physicommechanical changes in the matrix of the rock at the level of structural-textural packing and crystal lattice. The effectiveness substantiation of the fiber-optic materials use as the communications lines and detectors of pressure on the basis of the Bragg diffraction lattice is given.

**Keywords:** the stress-strained state, control, polarization-optical method, acoustic-emission phenomenon, ultrasonic studies, electromagnetic pulses, the fiber-optic pressure sensors, lattice of Bragg.

---

---

## НАШИ ГОСТИ

---

---

УДК 550.34; 031.1 (479.24)

### СЕЙСМИЧЕСКАЯ АНИЗОТРОПИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОПЕРЕЧНЫХ ВОЛН НА ПРИМЕРЕ ГАДЖИГАБУЛЬСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 10 ФЕВРАЛЯ 2014 Г. С $M_L = 5,8$

© 2016 И.Э. Казымов, к.г.-м.н., С.Э. Казымова, к.г.-м.н.

Национальная Академия Наук Азербайджана, Республиканский Центр Сейсмологической Службы, Азербайджан, 1001, Баку, ул. Гусейн Джавида, 123, e-mail: sabina.k@mail.ru

В статье представлен анализ параметров расщепленных поперечных волн от глубокого ( $h = 56$  км) землетрясения, произошедшего в пределах Нижнекуруинской впадины 10 февраля 2014 г. с  $M_L = 5,8$ . Пространственный анализ волновых форм ведется с использованием 3-компонентных цифровых записей сигнала. Для выделенных участков 3-компонентной записи в программе «DIMAS» строится трехмерный график траектории движения частиц и проекции траектории движения на плоскости NE, NZ, EZ. Установлен эффект двулучепреломления, когда поперечная волна расщепляется на две ( $S_1$  и  $S_2$ ), каждая из которых имеет свою поляризацию и скорость для широкополосных трехкомпонентных записей (VNE, VNN, VNZ) 4-х сейсмических станций («QUB», «GAN», «LKR», «GOB»). Это дает возможность изучения мелко-масштабных деформаций для лучшего понимания динамических процессов и свойств среды с глубиной.

**Ключевые слова:** поляризация, анизотропия, поперечные волны, землетрясение.

#### Введение

Впервые идея широкого использования поляризации волн для увеличения эффективности сейсморазведочных и сейсмологических исследований была выдвинута в 50-х годах Г.А. Гамбурцевым. Им был предложен новый вид корреляции волн – азимутально-фазовая корреляция, основанная на прослеживании фаз сейсмических волн в функции ориентировки в пространстве составляющих колебаний при неизменном положении точек наблюдения. Развитие этих исследований привело к созданию азимутального метода сейсмических наблюдений [Гальперин, 1977]. Были разработаны способы обработки азимутальных сейсмограмм и определения параметров поляризации сейсмических волн. Данный подход исследования анизотропии поперечных волн в последнее время в своих работах применил профессор Университета Миссури Э. Сандвол. Поляризационный анализ успешно применялся в разное время при анализе волнового поля, возбуждаемого искусственными [Заалишвили, 1986, 2000] и естественными [Zaalishvili et al., 2016] источниками, а также при решении задач локализации сейсмических событий в условиях ограниченных данных [Заалишвили, Мельков, 2013].

Целью данной статьи являлось определение направления смещения частиц среды и параметров эллиптически-поляризованных колебаний, оценка точности определения направления вектора движения частиц и выявление расщепленных поперечных волн на примере глубокого ( $h = 56$  км) землетрясения произошедшего

в пределах Нижнекуринской впадины 10 февраля 2014 г. с  $M_l = 5,8$ . Исследование проводилось на программе «DIMAS».

### Описание программы «DIMAS»

Программа DIMAS (Display, Interactive Manipulation and Analysis of Seismograms) предназначена для детальной обработки и визуального анализа цифровых сейсмических сигналов, поступающих с различных систем сбора [Дрознин, Дрознина, 2004]. Данная программа позволяет пользователю как проводить комплексную обработку и анализ сейсмического сигнала, так и оценивать основные параметры землетрясений. Отвечает повышенным требованиям работы в реальном режиме времени на системах сбора сейсмометрической информации.

В качестве входного файла используется «SAC» формат. Традиционная ориентация каналов инструмента:

Z-----Dip=90, Azimuth = 0  
 N-----Dip=0, Azimuth = 0  
 E-----Dip = 0, Azimuth = 90

Пространственный анализ волновых форм ведется с использованием 3-хкомпонентных цифровых записей сигнала. Для выделенных участков 3-хкомпонентной записи в программе строится трехмерный график траектории движения частиц и проекции траектории движения на плоскости NE, NZ, EZ. При этом эффект объемной траектории создается за счет вращения с помощью функциональных клавиш, а проекции на соответствующие плоскости получаются путем разворота объемной фигуры на соответствующие углы. В программе предусмотрено исследование поляризационных характеристик сигнала [Етирмишли, Казымов, 2007; Етирмишли и др., 2007], а также графическое отображение азимутов и углов выхода осей поляризации сейсмической волны на сетке Вульфа для заданного интервала времени.

### Поляризация сейсмических волн

На рис. 1 показан пример эллиптической поляризации поперечной волны в трехмерном пространстве. Эллиптически-поляризованное колебание в общем случае возникает при сложении двух взаимно перпендикулярных линейно-поляризованных колебаний (гармонических). Форма эллипса поляризации и его ориентировка в плоскости существенно зависят от параметров интерферирующих колебаний.

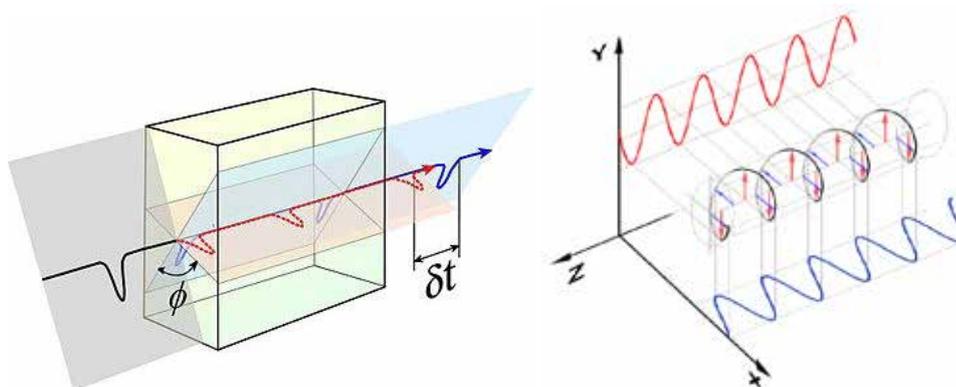


Рис. 1. Пример расщепления и эллиптической поляризации поперечной волны в трехмерном пространстве.

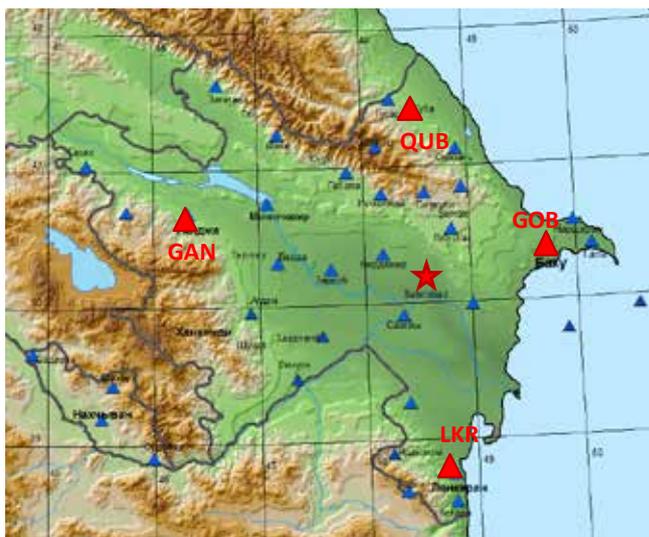


Рис. 2. Эпицентр Гаджигабульского землетрясения 10 февраля 2014 г. с  $M_l = 5,8$ .

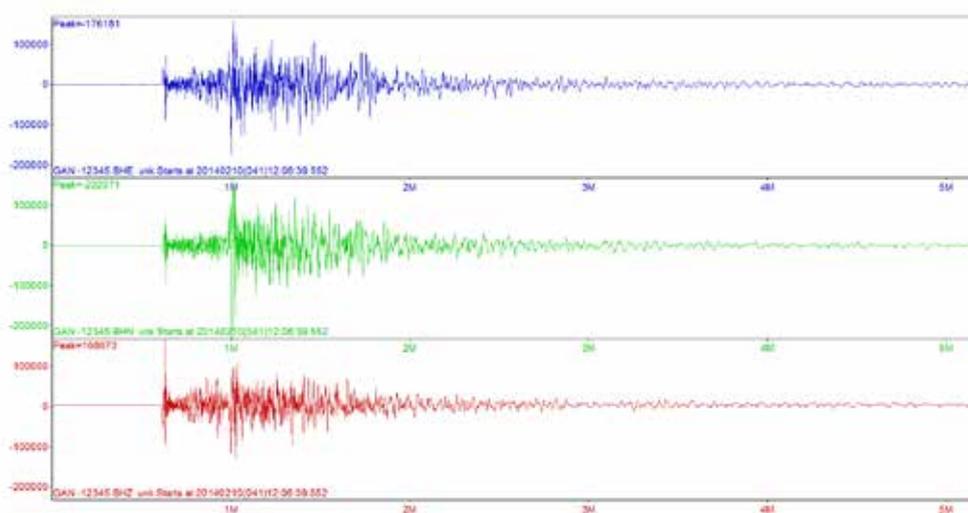


Рис. 3. Пример трехкомпонентной записи Гаджигабульского землетрясения 10 февраля 2014 г. на станции «GAN»

Не останавливаясь здесь на способах представления траекторий, которые будут описаны подробно ниже, рассмотрим поляризацию основных типов волн.

Как было сказано выше исследования проводились на примере одного из самых сильных землетрясений, произошедших на территории Азербайджана за последние 10 лет – Гаджигабульского (10 февраля 2014 г.) с  $M_l = 5,8$ . Были выбраны широкополосные трехкомпонентные записи (BHE, BHN, BHZ) 4-х сейсмических станций («QUB», «GAN», «LKR», «GOB») так чтобы, обеспечить полный азимутальный охват (рис. 2, 3).

С целью выбора интервала поперечных волн для каждой станции была построена спектрограмма (рис. 4). Как видно на рисунке максимальные значения по частоте характерны для станции «GOB», однако по интенсивности распределения волны выделена станция «QUB». Затухание поперечной волны для станций «QUB»,

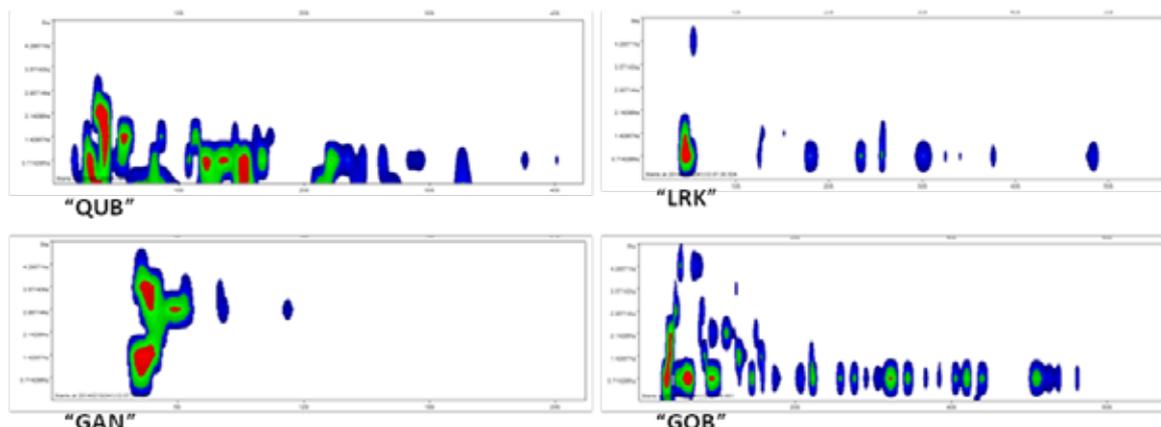


Рис. 4. Спектрограммы поперечных волн исследуемых станций

«LKR» и «GOB» колеблется в интервале 40–60 с., тогда как для станции «GAN» волна затухает на 12 с. записи.

На рис. 5–8 представлены азимутальные сейсмограммы, построенные в горизонтальной плоскости с шагом по азимуту в  $2^\circ$  и отсчетом от севера в интервале S-волн, проекция движения частиц в трехмерном пространстве и сейсмограммы трехкомпонентной записи.

При прохождении поперечных волн через анизотропный слой, возникает эффект двулучепреломления, т. е. поперечная волна расщепляется на две ( $S_1$  и  $S_2$ ), каждая из которых имеет свою поляризацию и скорость. Нелинейная поляризация волн S обусловлена наложением нескольких колебаний. В том случае, когда анизотропия вызвана направленной трещиноватостью, вектор смещения волны  $S_1$  оказывается параллельным плоскости трещин и, определяя его поляризацию, мы в состоянии определить направление трещин [Гальперин, 1977; Заалишвили, 2000].

Таким образом, для оценки волновых параметров на азимутальных сейсмограммах выделяются  $S_1$  и  $S_2$  фазы и их следующие характеристики: 1) время вступления  $t_{S1}$ ,  $t_{S2}$ ; 2) временной интервал  $\Delta t_{S12}$ , включающий обе волны.

Как видно на рисунках быстрая и медленная S-волны хорошо выделяются в волновом поле, их векторы поляризации взаимно-ортогональны. Последующие волны имеют значительно меньшие амплитуды, и их азимуты близки к азимуту медленной волны  $S_2$ . Время задержки между первой и второй фазой поперечной волны для станции «QUB» равно 15 сек. с ориентацией векторов поляризации вдоль азимутов  $145^\circ$  и  $50^\circ$ , для станции «GAN» – 1,5 с., для станции «LRK» – 0,5 с., для станции «GOB» – 1,0 с. Перед вступлением  $S_1$  не отмечаются поперечные колебания с большим периодом. Сравнивая азимутальные сейсмограммы можно отметить относительную неоднородность на станциях «QUB» и «GOB», что связано с тектонической неоднородностью в данных зонах. Если рассмотреть распределение коэффициента Пуассона на разных глубинах, то можно заметить максимальную неоднородность на всех интервалах глубин в восточной части республики, охватывающая зоны расположения рассматриваемых нами станций (рис. 9) [Етирмишли, Казымова, 2012], что четко отражается на азимутальных сейсмограммах.

На сейсмограмме поперечных волн были выделены 4 интервала и построены траектории движений частиц в трехмерном пространстве. Как видно на рисунках траектории движений частиц в трехмерном пространстве для всех станций пред-

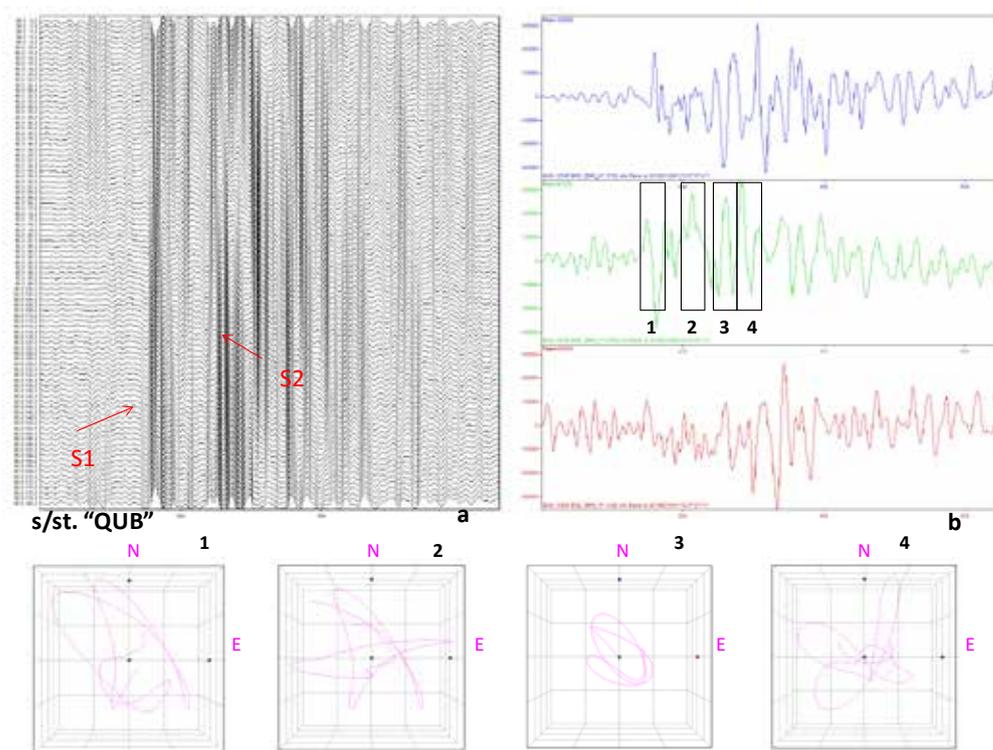


Рис. 5. Азимутальная сейсмограмма построенная в горизонтальной плоскости с шагом по азимуту в  $2^\circ$  и отсчетом от севера в интервале S-волн на станции «QUB». Быстрая ( $S_1$ ) и медленная ( $S_2$ ) волны указаны стрелками. Траектория движения частицы в трехмерном пространстве на станции «QUB»

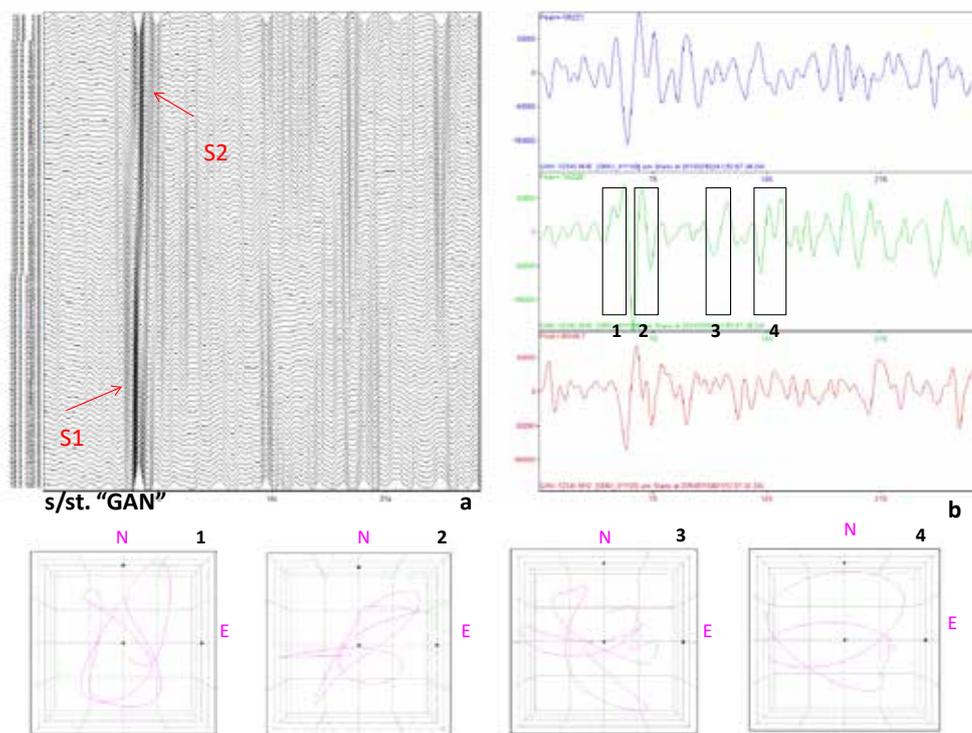


Рис. 6. Азимутальная сейсмограмма построенная в горизонтальной плоскости с шагом по азимуту в  $2^\circ$  и отсчетом от севера в интервале S-волн на станции «GAN». Быстрая ( $S_1$ ) и медленная ( $S_2$ ) волны указаны стрелками. Траектория движения частицы в трехмерном пространстве на станции «GAN»

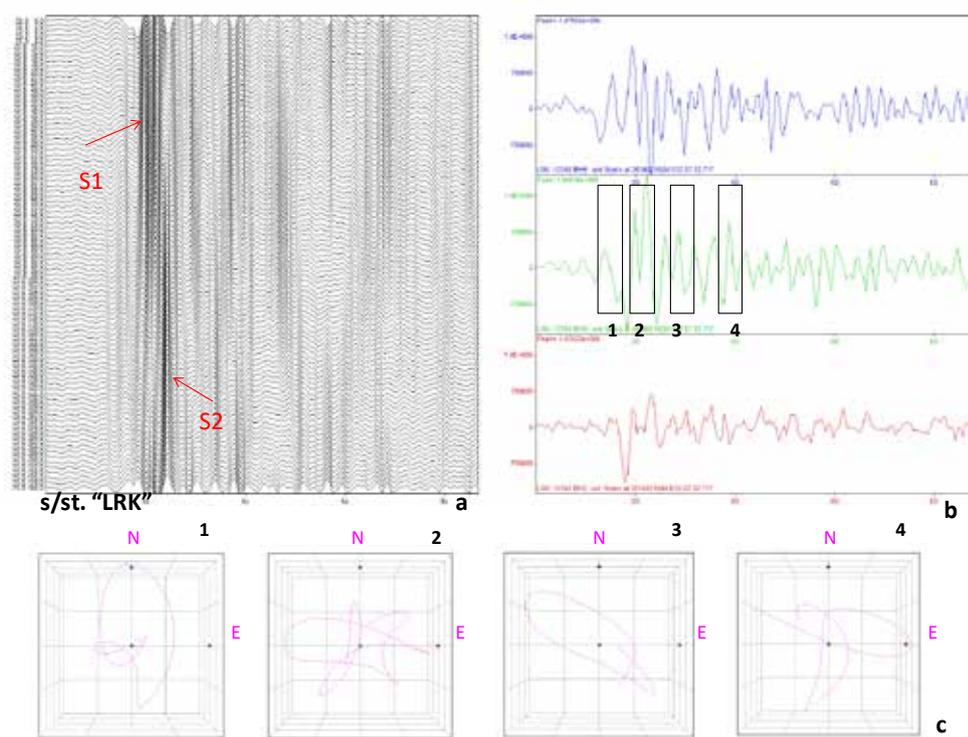


Рис. 7. Азимутальная сейсмограмма построенная в горизонтальной плоскости с шагом по азимуту в  $2^\circ$  и отсчетом от севера в интервале S-волн на станции «LRK». Быстрая ( $S_1$ ) и медленная ( $S_2$ ) волны указаны стрелками. Траектория движения частицы в трехмерном пространстве на станции «LRK»

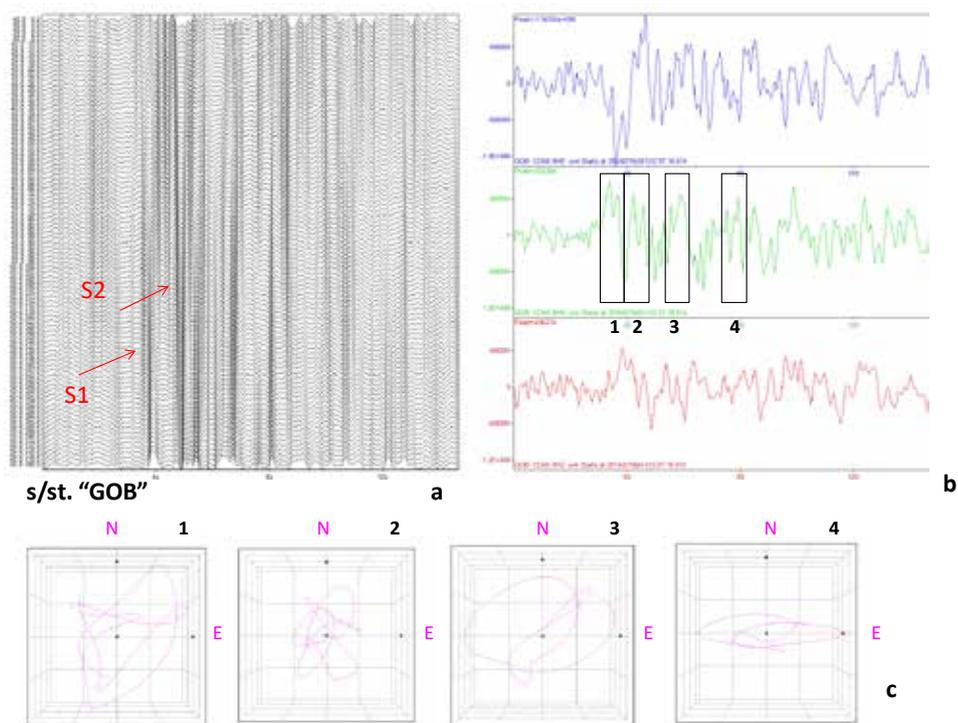


Рис. 8. Азимутальная сейсмограмма построенная в горизонтальной плоскости с шагом по азимуту в  $2^\circ$  и отсчетом от севера в интервале S-волн на станции «GOB». Быстрая ( $S_1$ ) и медленная ( $S_2$ ) волны указаны стрелками. Траектория движения частицы в трехмерном пространстве на станции «GOB»

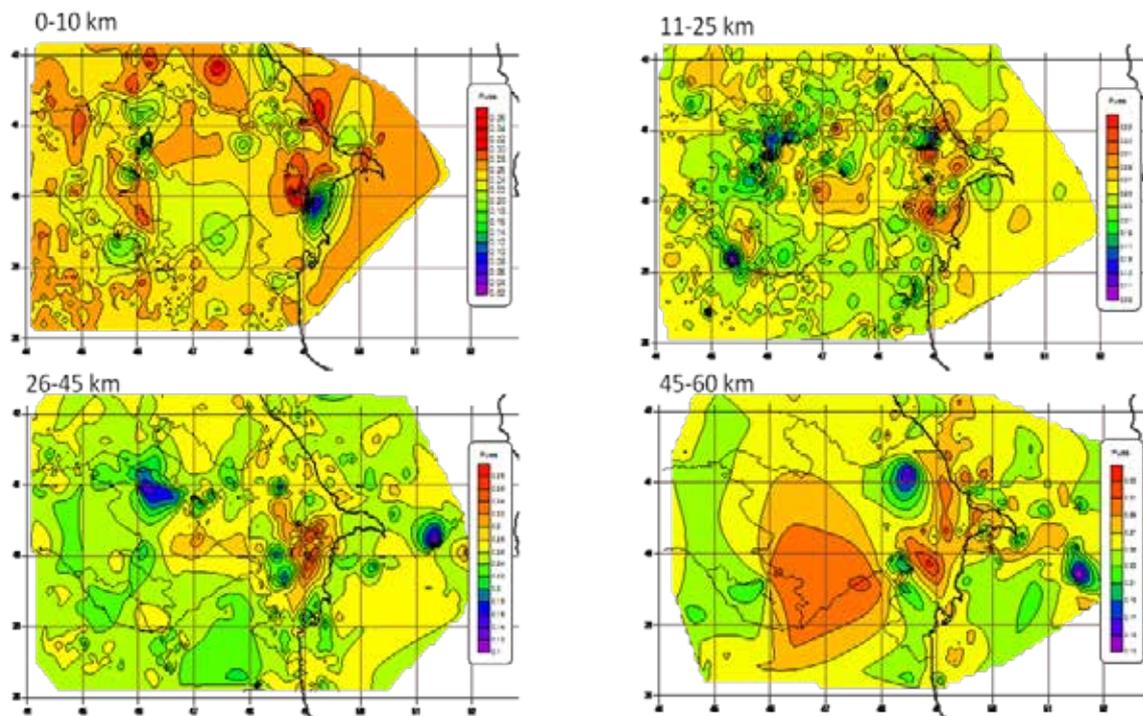


Рис. 9. Распределение коэффициента Пуассона на разных интервалах глубин

ставлены эллипсами, однако в последующем интервале поляризации волн  $S_1$  и  $S_2$  взаимоперпендикулярны друг другу, т. е. колеблются в разных плоскостях. Далее на третьем и четвертых интервалах данная картина повторяется. Данный тип траектории позволяет выделить фазы  $S_1$  и  $S_2$  поперечных волн. А так как вектор смещения волны  $S_1$  оказывается параллельным плоскости трещин, определяя его поляризацию, мы в состоянии определить направление трещин [Лунева, 2008]. Только начальная часть записи волн  $S_1$  менее интерференционна, поскольку интерферирующие волны, как правило, смещены во времени друг относительно друга. Расщепление поперечной волны максимально при распространении волны параллельно плоскости слоистости. В тот момент, когда волны  $S_1$  и  $S_2$ , распространяясь с разными скоростями, смещаются во времени относительно друг друга и, интерферируя между собой, могут образовать колебание, поляризованное по эллипсу. Характер и параметры эллипса будут изменяться в зависимости от условий наложения волн. Данное явление четко проявляется на 3-х и 4-х временных интервалах почти на каждой станции.

Таким образом, можно отметить, что наблюдаются значительные различия в поведении волновых параметров в зависимости от положения станции и глубины. Максимальные изменения характерны для интервала глубин 40–56 км, а также 15–25 км.

**Продольные волны.** Простая продольная волна, регистрируемая как на дневной поверхности, так и во внутренних точках среды вне интерференции с другими волнами, поляризована линейно. Это значит, что направление вектора смещения сохраняется неизменным, а его величина может изменяться, т. е. частицы среды колеблются около положения равновесия. Данное явление отчетливо проявляется на значениях азимутальных углов продольных волн на исследуемых станциях. Как видно на рис. 10 для станции «QUB» установлено значение азимутального угла

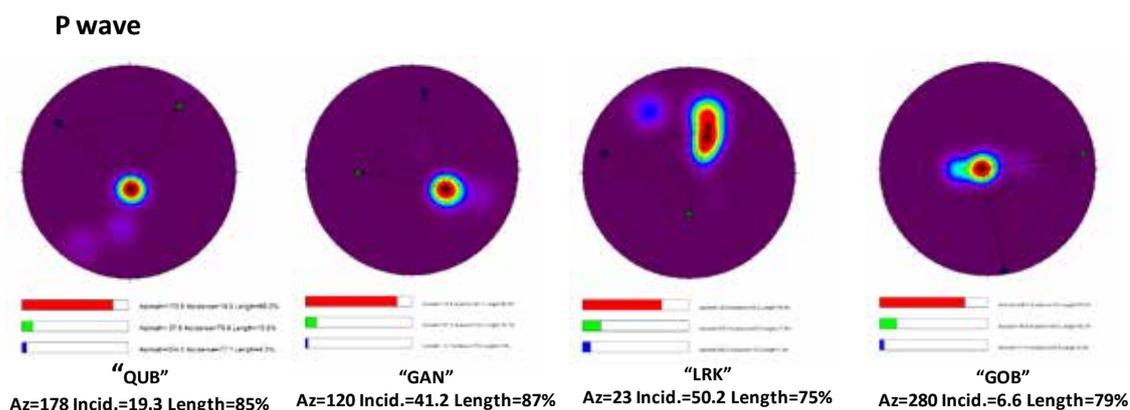


Рис. 10. Пример определения угла выхода продольной сейсмической волны и азимута на сейсмический источник. На сетке Вульфа отображены три главные оси виртуального эллипсоида поляризации. Направление наибольшей оси дает азимут на источник.

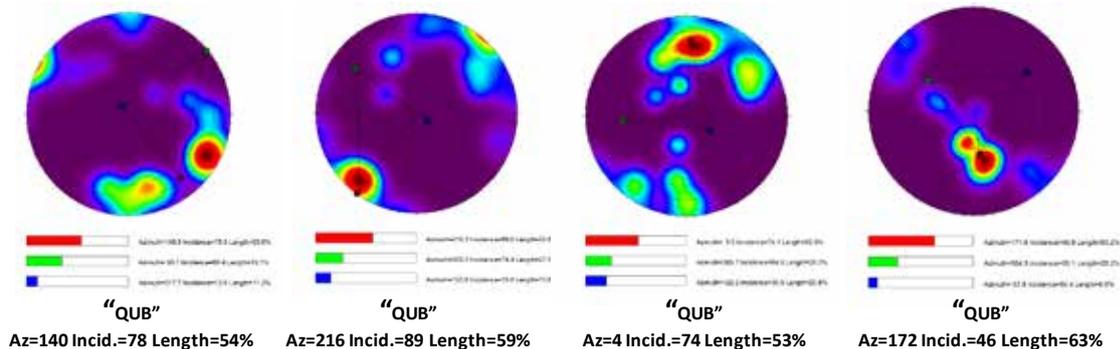
178°, для станции «GAN» – 120°, для станции «LRK» – 23°, для станции «GOB» – 280°, т.е. полностью соответствует азимутальному направлению от рассматриваемого землетрясения на каждую станцию. Угол выхода продольной волны колеблется в интервале 6,6–50,2°.

Для линейно-поляризованного колебания характерны сохранение формы записи и синфазность колебаний в не зависимости от ориентировки составляющих в пространстве. Характер и поляризация продольной волны не зависят от источника и действующих в нем сил. Поэтому в каждой отдельной точке наблюдения характер поляризации волны Р, вызванной землетрясением, будет одинаковым и не может дать сведения об источнике.

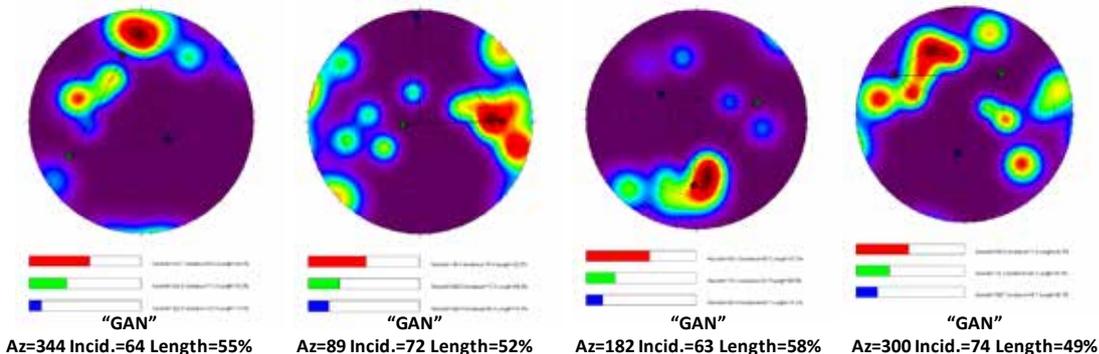
**Поперечные волны.** При вертикальной оси симметрии и источниках с горизонтально действующей силой в направлении, перпендикулярном действию силы, будут распространяться поперечные волны SH, поляризованные горизонтально, т.е. параллельно силе. Эти волны представляют особый интерес, так как при их распространении в осесимметричных средах на границах раздела не возникают обменные волны, и волновое поле отличается сравнительной простотой. Поэтому на использовании SH основан метод поперечных отраженных волн. Для этих волн характерно, что направление движения частиц изменяется с изменением направления действия сил. Волны SV поляризованы преимущественно в вертикальной плоскости, и они в отличие от волн SH возбуждаются источниками различных типов [Лунева, Ли, 2006; Лунева, 2009].

Как видно на рис. 11 для станции «QUB» значение азимутального угла первой поперечной волны составило 140°, а угол выхода 78°, однако на следующем участке волновой записи значение азимутального угла составило 216°, а угол выхода 89°. На третьем участке волновой картины значение азимутального угла резко меняется и равно 4°, и далее вновь перемещается в третью декаду и составили 172°. Подобная картина наблюдается и для станций «GAN» (азимутальные углы – 344°, 89°, 182°, 300°), «LRK» (294°, 57°, 340°, 229°) и «GOB» (145°, 369°, 96°, 255°).

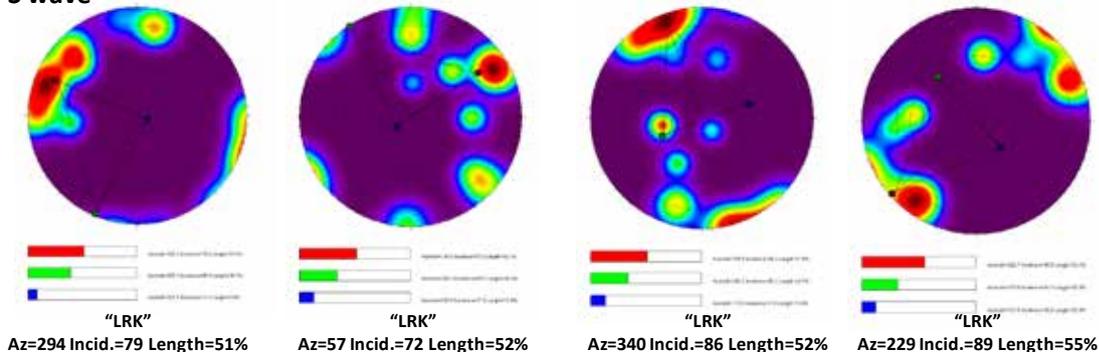
**S wave**



**S wave**



**S wave**



**S wave**

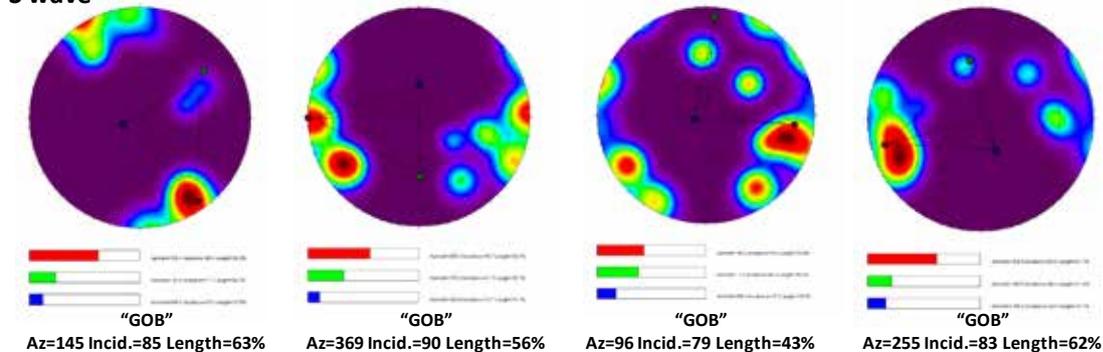


Рис. 11. Пример определения угла выхода поперечной сейсмической волны и азимута на сейсмический источник. На сетке Вульфа отображены три главные оси виртуального эллипсоида поляризации. Направление наибольшей оси дает азимут на источник.

## Результат

Полученные результаты показали высокую эффективность применения поляризационного метода, который заключается в повышении детальности расчленения геологического разреза и позволяет однозначно определять анизотропию среды.

Результаты поляризационного анализа поперечных, показали, что азимутальная анизотропия обнаруживается в большом диапазоне глубин, причем азимут поляризации продольной волны остается постоянным, в то время как интенсивность анизотропии поперечных волн существенно варьирует с глубиной. Причиной возникновения анизотропии может служить вертикальная трещиноватость, характеризующаяся наличием выделенного вертикального направления ориентации эллипсов S-волн. Распределение азимутальной анизотропии среды в четырех исследуемых направлениях, характеризуется преобладанием меридионального направления, что хорошо согласуется с результатами распределения коэффициента Пуассона. Это позволяет предположить, что сейсмическая анизотропия в данной зоне вызвана тектоническими напряжениями. В то же время зависимость параметров расщепленных S-волн от направления распространения и пространственной неоднородности физических свойств среды требует более детального анализа данных в пространстве и во времени.

Резкая смена в ориентации эллипсов поляризации поперечных волн, а также их азимутов и углов выхода, свидетельствуют о чувствительности параметров расщепленных волн к изменению напряженно-деформированного состояния среды. Наблюдаются значительные различия в поведении волновых параметров в зависимости от положения станции и глубины. Максимальные изменения характерны для интервала глубин 40–56 км, а также 15–25 км.

## Литература

1. Гальперин Е.И. Поляризационный метод сейсмических исследований. – М.: Недра, 1977. – 279 с.
2. Дроздин Д.В., Дрознина С.Я. Интерактивная программа обработки сейсмических сигналов Dimas // Камчатский филиал Геофизической службы РАН, Петропавловск-Камчатский, 2004.
3. Етирмишли Г.Д., Казымов И.Э. Выделение вступлений поперечных волн методом поляризационного анализа // Каталог РЦСС НАНА, 2007. – С. 174–181.
4. Етирмишли Г.Д., Казымов И.Э., Казымова С.Э. Зависимость определения положения эпицентра землетрясения от азимутального расположения станций и особенностей времен пробега продольных волн // Сборник материалов Третьей Международной Сейсмологической школы РАН, Москва, 2007.
5. Етирмишли Г.Д., Казымова С. Скоростная модель земной коры Азербайджана по данным цифровых сейсмических станций // Геология и геофизика Юга России. 2012. – № 1. – С. 59–74.
6. Заалишвили В.Б. Сейсмическое микрорайонирование по данным искусственного возбуждения колебаний грунтовой толщи // Автореферат кандидатской диссертации, Институт Геофизики АН ГССР. – Тбилиси, 1986. – 23 с.
7. Заалишвили В.Б. Физические основы сейсмического микрорайонирования // ОИФЗ им. О.Ю. Шмидта РАН. – Москва, 2000. – 367с.
8. Заалишвили В.Б., Мельков Д.А. Возможности поляризационного анализа в решении задач оперативного контроля сейсмической обстановки // Материалы

Международного симпозиума «Устойчивое развитие: Проблемы, Концепции, Модели» посвященного 20-летию КБНЦ РАН, ФГБУН КБНЦ РАН, Том II, 28 июня–3 июля 2013 г. – С. 111–115.

9. Лунева М.Н. Временные вариации параметров расщепленных S-волн от слабых местных землетрясений близкой локализации под восточным Хоккайдо // Физика Земли. – 2008. – № 11. – С. 47–63

10. Лунева М.Н. Сейсмическая анизотропия и частотная зависимость параметров волн от слабых землетрясений в Курильской зоне субдукции // Физическая мезомеханика. – 2009. – Т. 12. № 1. – С. 55–62.

11. Лунева М.Н., Ли Д.М. Анизотропия среды и временные вариации азимута поляризации быстрой S-волны под Южной Камчаткой в период 1993–2002 гг. // Физика Земли. – 2006. – № 4. – С. 40–56.

12. Zaalishvili V.B., Melkov D., Kanukov A.S., Dzeranov B.V. Spectral-temporal features of seismic loadings on the basis of strong motion wavelet database // International Journal of GEOMATE. – 2016. Vol. 10. No.1. – Pp. 1656–1661.

## **SEISMIC ANISOTROPY PARAMETERS OF TRANSVERSE WAVES BY GAJIGABUL EARTHQUAKE WHICH OCCURRED 10 FEBRUARY 2014 ML = 5,8**

**© 2016 I.E. Kazimov, Sc. Candidate (Geol.-Min.), S.E. Kazimova, Sc. Candidate (Geol.-Min.)**

National Academy of Sciences of Azerbaijan Republican Seismic Survey Center,  
Azerbaijan, 1001, Baku, str. Guseyn Javid, 123, e-mail: sabina.k@mail.ru

In the article presents an analysis of the parameters of split shear waves from deep ( $h = 56$  km) the earthquake occurred within the Lower Kura depression February 10, 2014 with  $M_L = 5,8$ . Spatial analysis of waveforms is conducted with use 3-component digital signal records. For selected areas of 3-component records in the program «DIMAS» construct a three-dimensional graph of the trajectory of particle motion and trajectory of the projection on the plane NE, NZ, EZ. Established the birefringence effect, ie, shear wave splits into two (S1 and S2), each of which has its polarization and the rate for broadband three component records (BHE, BHN, BHZ) of 4 seismic stations («QUB», «GAN», «LKR», «GOB»). This makes it possible to study small-scale deformations for a better understanding of dynamic processes and properties with depth media.

**Keywords:** polarization, anisotropy, share waves, earthquakes.

---

---

## НАШИ ГОСТИ

---

---

УДК 551.24 (234.9)

### **КАТАСТРОФИЧЕСКИЕ ЛЕДОВО-КАМЕННЫЕ ИНЕРЦИАЛЬНЫЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ ЛАВИНООБРАЗНЫЕ ПОТОКИ КАК ПРОЯВЛЕНИЯ ПАРОКСИЗМАЛЬНЫХ ВЗРЫВОПОДОБНЫХ НАПРАВЛЕННЫХ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ВЫБРОСОВ ЛЕДНИКОВ. О СООТНОШЕНИИ ПОНЯТИЙ «ЛАВИНООБРАЗНЫЙ ПОТОК» И «СЕЛЬ»**

© 2016 М. Г. Бергер, д.г.-м.н., проф.

Северо-Кавказский инновационный центр «Устойчивое развитие горных территорий», 362021, Россия, 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 особенности катастрофических гляциальных лавинообразных потоков. Выделен особый тип этих потоков, особенности возникновения и движения которых указывают на то, что эти потоки являются проявлениями пароксизмальных взрывоподобных направленных газодинамических выбросов ледников. Дано объяснение механизма и экстраординарных параметров кинематики движения таких потоков. Подчеркнуто принципиальное отличие этих потоков от селей. Соответственно, селевая трактовка Колкинской катастрофы 2002 г. в ее эпицентральной и сопредельной с ней зоне, включающей зону транзита гляциального лавинообразного потока, является необоснованной и ошибочной, с чем согласуется безуспешность предпринятых попыток гидравлического моделирования этой катастрофы. Показано, что эти потоки не относятся к числу склоново-гравитационных, не представляют собой ни обычный, ни особый тип подобных явлений.

**Ключевые слова:** ледниковая катастрофа, гляциальный лавинообразный поток, сель, взрывоподобный направленный газодинамический выброс ледника, инерциальное движение, ледник Колка, гидравлическое моделирование, склоново-гравитационные явления.

Механизмы чрезвычайно быстрых селевых потоков почти полностью неизвестны (ср. Хуаскаранская катастрофа 1970 года). Для объяснения обязательного внешнего и внутреннего трения большинство исследователей ищут источники огромных объемов воды для образования селевых потоков с крайне низким содержанием воды.

*Й. Ханиш*

Нужно исключить воду как движущий механизм обвала, так как таковой воды в действительности вероятнее всего не было.

*Л. А. Варданянц*

(о Колкинской катастрофе 1902 г. – М. Б.)

## 1. Природные лавинообразные потоки и их типы

В природе известны относительно редкие и, в силу этого, немногочисленные грандиозные пароксизмальные ледниковые катастрофы – Колкинские (Геналдонские) 20 сентября 2002 г., 3 и 6 июля 1902 г. и более ранние, Уаскаранские (Перуанские Анды) 10 января 1962 г. и 31 мая 1970 г., Араратские (Закавказье) 20 и 24 июня 1840 г., Девдоракские (Казбекские) 1776, 1832 гг. и некоторые другие.

Одни из наиболее характерных и наиболее опасных проявлений таких событий – чрезвычайно высокоскоростные (сотни километров в час) и быстротечные (минуты, максимум – первые десятки (?) минут) катастрофические гляциальные потоки гигантских масштабов – объемов переносимого материала, дальности и площади распространения, силы воздействия на окружающую среду. Наиболее часто эти потоки именуют обвалами, лавинами, лавинообразными потоками или селями и рассматривают в качестве склоновых гравитационных явлений. Характеристика особенностей и результатов проявления, выделение и идентификация типов этих потоков весьма существенны во многих отношениях, в том числе для установления геодинамического типа, механизма протекания в эпицентре и сопредельной с ним зоне и причин ледниковых катастроф, в частности, Колкинской катастрофы 2002 г.

Необходимо признать, что существующие определения геодинамического типа проявившегося в ходе Колкинской катастрофы основного первичного гляциального потока, именуемого Геналдонским [Никитин и др., 2007 и др.] (по-видимому, неоднотайпного [Никитин и др., 2007; Петраков, 2008 и др.]), нередко различны, недостаточно обоснованны, а иногда – неоднозначны и не вполне определены. Последнее объясняется, прежде всего, крайней необычностью особенностей движения этого потока, которые в своей совокупности не соответствуют особенностям движения природных потоков ни одного из известных на момент Колкинской катастрофы геодинамических типов.

Наиболее часто этот поток именуют селем (а также ультраселем, селем особого типа и т.п.). Однако по составу (прежде всего, отсутствию сколько-нибудь значительного содержания воды), скорости, источнику энергии, механизму перемещения материала, характеру воздействия на окружающую среду (в частности, на днище Геналдонской долины в протяженной зоне транзита), забросу ледово-каменного материала высоко (на 100–150 м и более) на склоны (точнее, прохождению на такой высоте над днищем долины), в том числе в начальной зоне движения потока, и другим существенным особенностям этот поток не является селем и не соответствует имеющимся весьма многочисленным вполне однозначным определениям понятия «сель». (Заметим попутно, что соответствующая позиции гляциологов и других географов по данному вопросу трактовка К. П. Рототаевым [Рототаев и др., 1983] (на которого они обычно ссылаются при характеристике механизма и причин Колкинской катастрофы 2002 года) катастрофических гляциальных потоков в Геналдонском ущелье 3 и 6 июля 1902 г. в качестве селей и принимаемая им максимальная скорость этих потоков в 100 км/час являются ни на чем не основанными и ничего не учитывающими (ни показаний очевидцев, ни официальных документов того времени, ни зафиксированных в этих показаниях и документах фактов, совершенно однозначно характеризующих движение этих потоков в многокилометровой зоне транзита), противоречащими фактам и опровергаемыми ими ошибочными предположениями. Как было показано [Бергер, 2015б], такой же является и нынешняя позиция отечественных гляциологов и других географов по данному вопросу.)

Приведенные в литературе достаточно многочисленные расчетные и полученные экспериментально в натуральных условиях значения скорости селевых потоков обычно не превышают 8–10 м/с, что примерно на порядок уступает по величине максимальным скоростям движения потока обломочного ледово-каменного материала продуктов разрушения ледника Колка. Для уклонов же речных долин до 5° (что соответствует уклону долины р. Геналдон в зоне транзита катастрофического ледово-каменного потока) реальными считаются скорости селей до 5 м/с (18 км/час) [Степанов, Степанова, 1991, с. 163].

С учетом приведенных и других данных [Бергер, 2006а, 2007, 2015а и др.], необходимо отметить, что предвараемые огромной по интенсивности ударной воздушной волной (это, безусловно, важно в плане идентификации их геодинамического типа) Геналдонский и другие катастрофические гляциальные потоки – *не сели* и ничего общего с селями не имеют (и лишь на заключительных этапах ледниковых катастроф, смешавшись с текучими поверхностными водами, сменяются катастрофическими селями, аномально высокоскоростными на начальном отрезке пути, что явно свидетельствует о напорном, даже высоконапорном характере их движения, не позволяя сводить причины движения этих селей к действию силы тяжести).

Содержание воды в катастрофических гляциальных потоках очень небольшое, что отмечает, в частности, и Й. Ханиш [2004] (нередко высказываемые противоположные утверждения по этому поводу лишены оснований и, добавим, опровергаются фактами [Васьков, 2011; Никитин и др., 2007; Дерюга, Набокин, 2004; Бергер, Чотчаев, 2013; и др.]), но никакой необходимости в поисках больших количеств воды для объяснения огромных скоростей их движения нет (да и никаким, сколь угодно большим, количеством воды невозможно объяснить ураганные и сверхураганные скорости движения этих потоков), как нет никакой необходимости в поисках источников больших количеств воды для объяснения причин, характера и механизма (в том числе огромных, особенно – начальных скоростей) отброса, метания, разлета обломочного материала (продуктов разрушения вещества) при техногенных взрывах на выброс или на сброс (направленных взрывах) и взрывоподобных газодинамических выбросах.

\* \* \*

В соответствии с полученными автором ранее результатами [Бергер, 2004, 2006а, б, 2007 и др.], Геналдонский и подобные ему катастрофические гляциальные потоки по их характеру и происхождению представляют собой *дисперсные потоки инерциального движения ледово-каменных продуктов взрывоподобного направленного газодинамического выброса ледника*.

Движение выброшенного ледово-каменного материала происходит в поле силы тяжести под действием огромной кинетической энергии, запасенной этим материалом при выбросе.

Наиболее характерные особенности катастрофических потоков этого типа – исключительно высокая и малоубывающая с расстоянием скорость их движения, его слабо наклонный, на значительном расстоянии субгоризонтальный (иногда даже с набором высоты) характер и большая протяженность по латерали (порядка 10 км и более), определяемая, прежде всего, интенсивностью (силой, мощностью) выброса, углом вылета выброшенного материала и гидравлическими размерами обломков. Такие потоки часто именуют *лавинообразными*. При этом, по крайней мере, по от-

ношению к Геналдонскому лавинообразному потоку, по-видимому, предполагаются однозначность такого его понимания различными авторами и, соответственно, отсутствие необходимости в каком-либо определении содержания, вкладываемого в это наименование.

Принципиально подобные в геомеханическом отношении потоки промоделированы и изучены при многочисленных исследованиях техногенных взрывов на выброс, особенно направленных, нередко именуемых взрывами на сброс [Ромашов, 1976, 1980; и др.].

Обратимся, однако, к имеющемуся общему определению понятия «лавинообразный поток», сформулированному за несколько лет до катастрофической пароксизмальной газодинамической пульсации (взрывоподобного направленного газодинамического выброса) ледника Колка 2002 года и, соответственно, вне какой-либо связи с этим событием.

Согласно этому определению [Войнич-Сяноженцкий, Созанов, 1997, с. 3], «под лавинообразными потоками подразумеваются возникающие за очень короткий промежуток времени потоки горной породы, снега и льда или горной породы и воды, образующие как бы композиционную среду-дисперсоид, развивающие большие скорости на крутых участках горных склонов, вовлекающие в свое движение даже крупные валуны и скальные обломки и обладающие огромной разрушительной силой». И несколько далее [Войнич-Сяноженцкий, Созанов, 1997, с. 5]: «Под термином *лавинообразные потоки* (ЛОП), который предложен относительно недавно, подразумевается такой физико-механический процесс, который сопровождается внезапным возникновением и развитием в пределах горных склонов (или логов) слоя быстро движущегося склонового материала совместно с твердыми или жидкими осадками. Таким потокам присущи все, или почти все, внешние проявления, характерные и потокам снежных лавин, причем в подавляющем большинстве случаев они происходят в основном под действием одних и тех же возмущающих причин, вызывающих потерю их статической устойчивости на отдельных участках горного склона».

Столь широкие, весьма общие определения не позволяют, однако, разграничить собственно лавинообразные потоки (в их традиционном понимании) и сели. Их разграничение (принципиально важное во многих отношениях, в том числе практических) возможно лишь с учетом их состава и особенностей их движения (в частности, скоростных) и воздействия на днище долины и склоны, проявляющихся в пределах протяженной зоны транзита ЛОП.

Геналдонский ледово-каменный поток во многом соответствует этим определениям, но, тем не менее, существенно отличается от подавляющего большинства известных природных лавинообразных потоков по происхождению, причинам, вызвавшим его «внезапное возникновение и развитие» и полностью объясняющим все во многом совершенно экстраординарные особенности, присущие этому потоку, а также сравнительно немногочисленным его геодинамическим (и, вероятно, генетическим) аналогам.

С учетом этого, в рамках природных лавинообразных потоков возможно (и необходимо) выделение генетически и геодинамически принципиально различных их типов.

Первый, наиболее распространенный в природе, обычный (типичный, классический) тип лавинообразных потоков, наиболее строго соответствующий приведен-

ным выше определениям (по Т. Г. Войничу-Сяноженцкому и В. Г. Созанову [1997]), может быть назван *склоново-гравитационным* (С-Г-ЛОП).

Второй, безусловно, крайне редкий (экстраординарный, атипичный, неклассический) («Геналдонский» или «Уаскаранско-Казбекский») тип природных лавинообразных потоков, обусловленных проявлением внезапных взрывоподобных направленных газодинамических выбросов, может быть назван *газодинамическим* (ГД-ЛОП).

По своему составу потоки этого типа, возникающие при газодинамических выбросах ледников, являются ледово-каменными ГД-ЛОП (газодинамическими лавинообразными потоками) с количественно преобладающей ледовой составляющей.

## 2. О селях

Существующие определения понятия «сель», при всех (как правило, не очень больших и не принципиальных) различиях в их формулировках, безусловно, едины в том, что «селевой поток по своему составу представляет собой гетерогенную систему, состоящую из двух основных компонентов: твердого и жидкого» [Шеко, 1980, с. 8].

Безусловно, едины они и в том, что селевой поток – поток *грунтовый*, движущийся по земной поверхности, а не летящий над ней по воздуху (этот вопрос, в силу его полной ясности и однозначности никогда даже не возникает и не обсуждается). Характеризуя основные особенности движения селевых потоков, Б. С. Степанов и Т. С. Степанова [1991, с. 152] специально подчеркивают обязательное «наличие жесткого контакта между частицами и руслом» и «взаимодействие потока с элементами шероховатости русла».

Во всех этих отношениях дисперсные потоки продуктов разрушения ледника Колка в зоне их транзита в Геналдонском ущелье – не сели и никакого отношения к селям не имеют.

Вместе с тем, при рассмотрении затронутого в данной работе круга вопросов приходится признать, что существуют исключительно разнообразные, нередко принципиально отличающиеся друг от друга по объему и содержанию, по своей сути, толкования и объекты приложения понятия «сель» (объекты, именуемые этим термином), причем в последнее время, в частности, в связи с характеристикой и предпринимаемыми попытками объяснения грандиозной природной катастрофы 2002 года на леднике Колка и в Геналдонском ущелье и связанных с нею весьма специфических по своим особенностям природных явлений, трудно поддающихся расшифровке, идентификации и объяснению, наметилась явная тенденция к необоснованному неоправданно расширительному употреблению термина «сель», при котором этот термин оказывается крайне неопределенным по значению фактически равнозначным термину «дисперсный поток», приложимым к обозначению (наименованию) любых природных дисперсных потоков, независимо от механизма, скорости и траектории их движения, характера дисперсионной среды (в частности, от действительного, а не предположительного, количества воды в потоке), а также других особенностей этих потоков (генезиса, характера и степени эрозионного воздействия на днища и склоны долин, характера сейсмического сопровождения, наличия ударной воздушной волны и пр.).

Предпринимаемое в последнее время рассмотрение (точнее, терминологическое обозначение) крайне необычных, совершенно уникальных по их особенностям ка-

тастрофических гляциальных потоков в качестве селей, как, видимо, полагают гляциологи и некоторые другие авторы, снимает необходимость в их обоснованной идентификации, доказательном определении характера, геодинамического типа, движущих сил, механизма, т. е. сущности этих потоков, установлении их генезиса, вызывающих их причин (действующих факторов) (за исключением, разве что, поисков источников предполагаемых огромных объемов воды и следов ее действия), определении условий, вызывающих и делающих возможным их чрезвычайно высокоскоростное субгоризонтальное движение на огромных расстояниях (даже со значительным набором высоты на некоторых участках). Характеристика, оценка и, в какой-то мере, объяснение такой позиции были даны, в частности, в работах [Бергер, 2007, с. 128–129; Бергер, 2015б].

Разумеется, такое, чисто терминологическое (бездоказательное и, к тому же, неправильное, не согласующееся с общепринятой терминологией) решение существующей здесь серьезной проблемы, состоящее в определении этих (фактически, лавинообразных) потоков в качестве селей (или «селей особого типа», «ультраселей» и т.п.) не является решением этой научной проблемы, имеющей во многом принципиальное, ключевое значение для понимания и объяснения сущности и причин катастрофических пароксизмальных ледниковых пульсаций и решения многих теоретических и практических вопросов, связанных с такими пульсациями.

Как отмечает в связи с этим вопросом С.С. Черноморец [2005, с. 159], «в английском языке отсутствует единое слово, эквивалентное понятию «сель». Возможно, поэтому селевые потоки разных типов в англоязычных странах принято рассматривать в рамках не одной, а нескольких различных дисциплин».

Думается, что все обстоит, скорее, наоборот. Поскольку в природе существуют дисперсные потоки различного типа, с различными особенностями, различной концентрацией дисперсного материала, различным составом этого материала и дисперсионной среды, различными механизмами движения и вызывающими их причинами, то требуются, естественно, и различные термины для обозначения (наименования) этих потоков (или, по крайней мере, некоторых из них). Единый же, общий для всех этих потоков термин (при столь расширительном толковании его значения), существующий помимо терминов «поток» и «дисперсный поток» и наряду с ними, применяемый для обозначения совершенно разнородных, разнотипных, различных по своей сущности и генезису природных явлений, лишь препятствует их точной диагностике (идентификации) и изучению, ведет к смешению и подмене понятий, маскируемым общностью формы выражающего различные понятия термина. В таком, столь расширительном, многозначном и неопределенном значении термин «сель», действительно, едва ли может быть необходим и полезен, в связи с чем вполне объяснимо, почему в английском языке отсутствует единый термин, который выражал бы столь многозначное, неопределенное по содержанию и объему понятие.

Предлагаемое же С.С. Черноморцем [2005] отнесение к селям фактически и газодинамических явлений («на воздушной подушке»), каковыми, несомненно, являются по их параметрам многие дисперсные потоки так называемого «Уаскаранско-Казбекского типа» (согласно предложенному С.С. Черноморцем наименованию), совершенно неправомерно и лишь еще более запутывает дело, направляя расшифровку и объяснение Колкинской катастрофы 2002 года по ошибочному и бесперспективному пути. И нередкая необоснованная и ошибочная селевая трак-

товка (при всех ее вариациях) механизма и причин катастрофы на леднике Колка (в ее эпицентре) и в Геналдонском ущелье (до Кармадонских ворот) показала это со всей очевидностью.

В плане характеристики проявившихся еще до Кармадонских ворот особенностей селей данного типа С. С. Черноморец [2005] отмечает «очень высокие объемы материала, скорости более 180 км/ч, а также возможность движения потока с набором высоты до нескольких десятков метров» [Черноморец, 2005, с. 159]; и в другом месте той же работы [Черноморец, 2005, с. 124]: «в долине р. Геналдон происходило движение, сопровождавшееся переброской ледово-водно-каменной массы с одного борта долины на другой и набором высоты заплесков на отдельных участках до 50 м. Характерными особенностями ледово-водно-каменных селей данного типа являются также чрезвычайно большие объемы вовлеченного материала, очень высокие скорости, внезапность и кратковременность, незначительная эродирующая способность, существенное преобладание льда в селевой массе, а также большое расстояние, пройденное потоком».

Обращает на себя внимание, что приведенное во второй части этой характеристики (на с. 124) слово «заплески» в первой части в аналогичном выражении о наборе высоты потоком отсутствует, а присутствие в потоке в сколько-нибудь значительном количестве водной составляющей нигде и ничем не подтверждается. По мнению многих исследователей, содержание воды в этих потоках продуктов разрушения ледника Колка и другого вовлеченного в движение материала на всем пути их следования в зоне транзита было незначительным, в связи с чем определение их состава как ледово-водно-каменного едва ли правомерно. (Например, согласно В. Р. Болову, В. П. Мочалову и Ш. С. Муратову [2014б], содержание воды в теле лавинного потока, двигавшегося 20 сентября 2002 г. по долине р. Геналдон, составляло менее 1%.)

Кроме того, как отмечает С. С. Черноморец [2005, с. 7] в первой же фразе «Введения» к своей работе, «катастрофические селевые потоки приводят к радикальному изменению геоморфологического строения днищ горных долин». Однако, как показывает С. С. Черноморец [2005, рис. 5.10], никаких сколько-нибудь значительных, а тем более радикальных изменений геоморфологического строения днища долины р. Геналдон в зоне транзита катастрофического «ледово-водно-каменного селея» в ходе катастрофы 20 сентября 2002 г. не произошло.

Так что это было, разумеется, катастрофическое, более того, пароксизмальное явление, но, конечно, не сель в общепринятом значении этого термина.

В качестве других фактов (хорошо известных, неоднократно отмечавшихся, в том числе автором, или непосредственно следующих из них), характеризующих эти потоки и область их зарождения, можно отметить также весьма интенсивную ударную воздушную волну, проявившуюся даже на удалении около 20 км от эпицентра катастрофы, центробежный (а не только направленный вниз по уклону долины) разлет значительных масс снего-ледо-каменного материала в эпицентре катастрофы, движение основной компактной массы вещества потоков на протяжении многих километров зоны транзита не по днищу долины, а над ним (с чем, естественно, связано и на что со всей очевидностью указывает незначительное эродирующее воздействие потоков на днище Геналдонской долины и весьма значительное – на склоны, борта ущелья), огромную высоту (100–150 м и более) сплошного, площадного, с весьма протяженной резкой верхней границей эрозионного воздействия по-

токов на склоны (так называемых «заплесков») и заброса переносимого ледово-каменного материала (в том числе на 10–20 м выше «заплесков» [Черноморец, 2005, с. 113]) и другие весьма специфические особенности явлений в эпицентральной зоне (рассматриваемой иногда в качестве «селевого очага» и зоны «начального движения») и в зоне транзита потоков, имеющие мало общего с известными особенностями селей.

Что же касается отмечаемой С.С. Черноморцем [2005, с. 124] «незначительной эродирующей способности» потока, то, как было подчеркнуто выше, это относится, главным образом, к днищу долины. Одновременно это свидетельствует об отсутствии постоянного жесткого контакта между потоком и дном долины р. Геналдон и, соответственно, отсутствию непрерывного взаимодействия между потоком и элементами шероховатости русла в днище долины, т. е. об отсутствии важнейших признаков, характерных для движения селевых потоков [Степанов, Степанова, 1991, с. 152 и др.], отсутствию важнейших показателей принадлежности потока к числу селей.

Не подходит под понятие «селевой очаг», не соответствует этому понятию и ледник Колка по его состоянию 20 сентября 2002 г. Как отмечает А.И. Шеко [1980, с. 8], «в очаге зарождения поток приобретает все особенности, присущие селю». До катастрофы 20 сентября 2002 г. и после нее цирк ледника Колка много раз служил селевым очагом, очагом зарождения, зоной формирования и схода обычных, настоящих, действительных селей. Но дисперсные потоки, возникшие около 20 часов 08 минут 20 сентября 2002 г. в цирке ледника Колка при взрывоподобном внезапном направленном газодинамическом выбросе ледника и обычном, весьма характерном, обязательном для любого газодинамического (газопородного) выброса разлете и направленном метании обломочных продуктов разрушения горных пород (в данном случае льда и каменных горных пород), не обладали важнейшими присущими селям особенностями, описанными в многочисленных специальных изданиях [Степанов, Степанова 1991; Шеко, 1980; Флейшман, 1978; и др.]. Аномально высокоскоростной сель возник лишь примерно в 19 километрах от тыльной части ледника Колка (эпицентра катастрофы), после удара головной части Геналдонского лавинообразного ледово-каменного потока о Скалистый хребет, обусловленного этим приземления (осаждения) в Кармадонской котловине перед Кармадонскими воротами и смешения с текущей водой Геналдона, а затем, за Кармадонскими воротами, уже после выхода из Геналдонского каньона, прорезающего Скалистый хребет, и Гизельдона. В пределах же Колкинского ущелья и выделяемой исследователями катастрофы [Черноморец, 2005; Никитин и др., 2007; и др.] зоны транзита эти в основной своей массе летевшие по воздуху, а не текшие по днищу ущелья (о чем свидетельствуют многочисленные факты) гигантские дисперсные потоки, повторим, не были селями, что, соответственно, указывает на совершенно иные, отнюдь не селевые геодинамические условия в очаге их зарождения – в цирке ледника Колка в момент их зарождения – примерно в 20 часов 08 минут 20 сентября 2002 г. Так что сели (селевые потоки), селевые очаги, селевые процессы, селевые катастрофы (к чему без всяких на то оснований нередко сводят катастрофу на леднике Колка и в Геналдонском ущелье до Кармадонских ворот) и их реальные или предполагаемые механизмы, а также нередко предполагаемые аномальные огромные объемы воды в леднике Колка и в его бассейне и их предполагаемые источники здесь совершенно ни при чем.

В более поздней публикации А. Н. Божинский и С. С. Черноморец [2007] отходят от селевой трактовки ледниковых катастроф и полагают, что «при определении, какой из принятых современных терминов более характеризует процесс ледниковых катастроф, возникают сложности. Так, Б. И. Статковский [1887] считал Казбекские завалы селями. Однако, по современным представлениям, они отличаются от «классических» селей очень высокими скоростями, а также механизмом движения (и, добавим, фазовым составом и другими признаками. – М. Б.). Изучение катастрофы 2002 г. на соседнем (с Девдоракским. – М. Б.) леднике Колка показало, что подобные гравитационные потоки обладают свойствами нескольких процессов... По-видимому, катастрофические гравитационные потоки имеют черты селевого, лавинного, обвального, оползневого механизмов движения, но полностью не относятся ни к одному из этих типов – их можно считать особым видом процессов» [Божинский, Черноморец, 2007, с. 92].

К сказанному можно добавить, более того, необходимо особо подчеркнуть, что подобные потоки по механизму их движения, вызывающим их причинам и факторам, под действием которых они происходят, *не являются* не только селевыми, но и вообще *гравитационными*.

Этот «особый вид» процессов движения, как уже было отмечено выше, представляет собой *инерциальное движение обломочного ледово-каменного материала продуктов взрывоподобного направленного газодинамического выброса ледника, происходящее под действием запасенной при выбросе этим материалом огромной кинетической энергии*.

\* \* \*

Выскажем также несколько слов о результатах проведенного А. Н. Божинским [2005, 2006] математического моделирования катастрофы на леднике Колка и в Геналдонском ущелье 2002 г. с использованием гидравлической модели движения двухфазного селевого потока [Божинский, Назаров, 1999].

При построении этой модели А. Н. Божинским толщина слоя воды в потоке была принята равной 18,5 м, а коэффициент концентрации льда в потоке – равным 0,5. (Согласно выполненным А. Н. Божинским тестовым расчетам по модели, как он отмечает в своей работе [Божинский, 2005, с. 16], при меньшей толщине слоя воды в потоке и угле трения влажного твердого материала  $d = 5^\circ$  фронт водно-ледово-каменного потока не мог бы достигнуть Кармадонских ворот.) С учетом этих данных, объем воды в потоке должен был составить 11 млн м<sup>3</sup> [там же].

Однако полученное А. Н. Божинским при этих исходных параметрах модельное распределение ледово-каменных отложений по длине русла принципиально отличается от реального и А. Н. Божинский [2005, с. 17] в какой-то мере признает это.

В частности, согласно модели [Божинский, 2005, с. 16], максимум толщины отложений сдвинут вверх по потоку и составляет 46 м. На самом же деле, он сдвинут вниз по потоку и составляет более 160 м [Васьков и др., 2008, с. 130; и др.].

Существенно также, что остановка фронта движения твердой фазы потока до Кармадонских ворот на отметке 20 км или несколько менее [Божинский, 2005] произошла, согласно модели, вследствие торможения потока под действием трения о ложе русла, тогда как в действительности поток основного количества ледово-каменного материала был остановлен у Кармадонских ворот механической преградой Скалистого хребта и, если бы не эта непреодолимая преграда, безусловно, не

остановился на этой отметке, а продвинулся бы значительно дальше по ущелью, а возможно, и за его пределы, преодолев, по мнению В. Р. Болова и др. [2014а, с. 288], расстояние не менее чем в 50 км, чего использованная А. Н. Божинским гидравлическая модель уже совершенно не допускает ни при каких условиях.

Таким образом, проведенное А. Н. Божинским [2005, 2006] статистическое моделирование катастрофы 2002 года на леднике Колка и в Геналдонском ущелье (до Кармадонских ворот) с использованием гидравлической модели, базирующееся на распространенных гидрогляциологических (водно-ледниковых, селевых) представлениях об этой катастрофе, требует выполнения не имевших места в действительности условий (прежде всего, невероятно большого количества воды в потоке продуктов разрушения ледника Колка и низких коэффициентов трения при предполагаемом движении этого потока по дну долины), но и при этом показывает крайне малую вероятность (порядка 0,01) того, что такой поток мог достигнуть Кармадонских ворот, и приводит в результате к получению характеристик (прежде всего, распределения ледово-каменных отложений по продольному профилю долины), не соответствующих реальным, принципиально отличающихся от фактически наблюдаемых.

Абсолютно несостоятельно и предпринятое А. Г. Зарини и Е. С. Каменецким [2010] гидравлическое моделирование катастрофы на леднике Колка и в Геналдонском ущелье, согласно которому «сход ледника представлял собой поток ледово-каменно-водяной массы, которая вела себя как поток безнапорной жидкости, движущейся под действием силы тяжести». Специальное обсуждение данного вопроса будет проведено автором в отдельной работе.

### Заключение

Происходивший в течение нескольких минут 20 сентября 2002 г. Геналдонский ледово-каменный поток и подобные ему катастрофические Геналдонские (1902 г., 1752 г. и более ранние), а также, вероятно, Уаскаранские, Араратские, некоторые Девдоракские XVIII–XIX вв. и, возможно, некоторые другие катастрофические ледово-каменные лавинообразные потоки по их особенностям, наиболее явно проявляющимся в эпицентральных зонах (остающихся, как правило, малоизученными) и в зонах их транзита, представляют собой *дисперсные потоки инерциального движения продуктов взрывоподобных направленных газодинамических выбросов ледников*.

Получившие некоторое распространение представления о селевом характере катастрофы 2002 г. на леднике Колка и в Геналдонском ущелье (до Кармадонских ворот) являются необоснованными и ошибочными.

Сель проявился лишь на заключительной стадии катастрофы за Кармадонскими воротами. Он представлял собой вторичное явление, обусловленное взрывоподобным направленным газодинамическим выбросом ледника Колка и связанным с ним чрезвычайно высокоскоростным инерциальным движением выброшенного и вовлеченного в движение ледово-каменного материала.

В эпицентральной же зоне катастрофы (в пределах Колкинского ущелья) и на протяжении многокилометровой зоны транзита чрезвычайно высокоскоростной ледово-каменный поток выброшенного и вовлеченного в движение материала не был селевым. Он не содержал сколько-нибудь значительного количества воды, не носил грунтового руслового характера, двигался не по дну долины, а, в основном,

над ним, о чем свидетельствуют следы исключительно сильной боковой эрозии и экзарации, оставленные этим потоком на огромной площади высоко на скалах, при отсутствии или крайней незначительности следов донной (глубинной) эрозии и селевых отложений на днище долины по пути движения потока в зоне транзита, что, собственно, и явилось основанием для выделения этой зоны.

В соответствии с разработанными Т. Г. Войничем-Сяноженцким и В. Г. Созановым [1997] представлениями, введенными ими определениями и полученными автором результатами [Бергер, 2004, 2006а, б, 2007 и др.], этот и подобные ему потоки – катастрофические гляциальные (ледово-каменные) инерциальные *газодинамические лавинообразные потоки (ГД-ЛОП)*, проявления пароксизмальных взрывоподобных направленных газодинамических выбросов ледников.

Лавинообразные потоки обломочного ледово-каменного материала, в основной своей части состоящие из продуктов разрушения ледника Колка, – не гравитационные склоновые явления типа селей, лавин или обвалов. Их движение (в основном, направленное по уклону долины, но частично, в эпицентре, центробежно-разнонаправленное) и в эпицентральной зоне газового ускорения, и в весьма протяженной зоне транзита происходило, естественно, в поле силы тяжести, но под действием не силы тяжести, а расширяющихся сжатых газов (в зоне газового ускорения) и кинетической энергии, полученной ледово-каменным материалом при исключительно мощном, огромном по количеству выделившейся энергии взрывоподобном направленном газодинамическом выбросе ледника. Гравитационные силы не содействуют, а *противодействуют* инерциальному субгоризонтальному движению этого материала, тем более на участках набора им высоты. При этом огромная дальность инерциального движения по воздуху выброшенного ледово-каменного материала, согласно формулам элементарной баллистики, была определена гигантской начальной скоростью его направленного движения (и позволяет приближенно оценить величину этой скорости), а сопротивление воздуха, как и в случаях техногенных направленных взрывов [Черниговский, 1976], практически не сказалось на скорости и дальности движения выброшенного ледово-каменного материала в связи с тем, что движение основного количества этого материала происходило весьма компактной массой.

Таким образом, Геналдонский катастрофический обломочный ледово-каменный лавинообразный поток 20 сентября 2002 г., как, безусловно, и предыдущие аналогичные по характеру протекания Геналдонские катастрофические лавинообразные потоки 1752 г. и 3 и 6 июля 1902 г., имел *взрывное (взрывоподобное) эндогенное поствулканическое газодинамическое происхождение*, связанное с пароксизмальным катастрофическим внезапным взрывоподобным направленным газодинамическим выбросом ледника Колка. Автор [Бергер, 2015б, с. 99] уже цитировал в этой связи показания очевидцев катастрофы 1902 г., содержащиеся в архивных документах об этом событии [Черноморец, Адцеев, 2014, с. 357]. Напомним также, что именно о *летащем* леднике, *летащих* снеговых и ледяных глыбах, *летевших по воздуху* камнях и кусках льда писал в 1902 г. и Д. Д. Пагирев [Пагирев, 1902, с. 207 и 210], документально характеризуя катастрофический лавинообразный Геналдонский поток этого года и, несомненно, взрывоподобный *разлет* обломочного материала продуктов разрушения и выброса ледника. Принципиально такими же были катастрофические события на леднике Колка и в Геналдонском ущелье и в 2002 году. Так что все многодесятилетние (продолжающиеся и сейчас) многочисленные утверждения

о селевом характере этих потоков и огромном количестве воды, определившем такой их характер, представляют собой грубую ошибку, получившую исключительно широкое распространение в работах гляциологов и некоторых других, примкнувших к ним, специалистов.

Происшедшая в 2002 г. в течение нескольких минут, практически мгновенная компактная переброска более чем стомиллионного количества ледово-каменного материала более чем на 15 км с освобождением ложа ледника Колка и образованием гигантского навала (завала) в Кармадонской котловине у южных склонов Скалистого хребта – важнейший результат и неопровержимый показатель *взрывоподобного направленного газодинамического выброса ледника Колка*. Именно таким был характер (геодинамический тип, механизм протекания) гигантской Колкинской (Геналдонской, Кармадонской) природной ледниковой катастрофы 20 сентября 2002 года.

### Литература

1. 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: Изд-во «РЕМАРКО», 2004. С. 4–5.
2. 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.
3. 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.
4. Бергер М. Г. Ледник Колка: Катастрофа 20 сентября 2002 года – внезапный газодинамический выброс ледника. М.: Изд-во ЛКИ, 2007. 248 с.
5. Бергер М. Г. О проявлении ударной воздушной волны при взрывоподобном внезапном газодинамическом выбросе ледника Колка 20 сентября 2002 года // Геология и геофизика Юга России. 2015а. №2. С. 76–85.
6. Бергер М. Г. Вода, вода... (Об основной гляциологической версии причин и механизма катастрофы на леднике Колка и в Геналдонском ущелье 20 сентября 2002 года) // Геология и геофизика Юга России. 2015б. №3.
7. Бергер М. Г., Чотчаев Х. О. О некоторых физических и фактических основаниях предполагаемых механизмов селевых ледниковых катастроф: Колка, 2002 // Геология и геофизика Юга России. 2013. №1. С. 63–69.
8. Божинский А. Н. Математическое моделирование крупномасштабных селевых и ледниковых катастроф // Материалы гляциологических исследований. 2005. Вып. 99. С. 13–17.
9. Божинский А. Н. Статистическое моделирование гравитационных лавинных потоков // Материалы гляциологических исследований. 2006. Вып. 100. С. 87–94.
10. Божинский А. Н., Назаров А. Н. Динамика двухфазного селевого потока // Вестник МГУ, серия 5. География. 1999. №5. С. 15–20.
11. Божинский А. Н., Черноморец С. С. Моделирование казбекских ледниковых завалов XVIII–XIX вв. // Материалы гляциологических исследований. 2007. Вып. 103. С. 91–95.

12. Болов В. Р., Мочалов В. П., Муратов Ш. С. Итоги работы, нерешенные проблемы и задачи по сбору, анализу и обобщению данных об опасных природных процессах в горных районах Северного Кавказа // 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, 2014а. С. 286–291.

13. Болов В. Р., Мочалов В. П., Муратов Ш. С. Природные катастрофы, обусловленные ледовыми обвалами, и пути их предупреждения // 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, 2014б. С. 296–301.

14. Васьков И. М. Ледово-каменные обвалы и их прогнозирование. На примере Центрального Кавказа. Саарбрюккен, Германия: Lambert Academic Publishing, 2011. 234 с.

15. Васьков И. М., Турлов С. А., Валиев А. Л. Последствия Геналдонской катастрофы 20 сентября 2002 г.: вчера, сегодня, завтра // Опасные природные и техногенные геологические процессы на горных и предгорных территориях Северного Кавказа: Труды Международной научно-практической конференции. Владикавказ, 20–22 сентября 2007 г. – Владикавказ: ВНИЦ РАН и РСО-А, 2008 С. 122–144.

16. Войнич-Сяноженцкий Т. Г., Созанов В. Г. Лавинообразные потоки. Возникновение, динамика и воздействие на окружающую среду. Владикавказ: Изд-во СОГУ, 1997. 221 с.

17. Дерюга А. М., Набокин А. В. Применение георадиолокации для определения местоположения тоннеля, погребенного ледником Майли в Геналдонском ущелье // Горный информационно-аналитический бюллетень. М.: Изд-во МГГУ, 2004. №9. С. 104–107.

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

19. Никитин М. Ю., Гончаренко О. А., Галушкин И. В. Динамика и стадийность развития Геналдонского ледово-каменного потока на основе дистанционного анализа // Вестник Владикавказского научного центра РАН и РСО-А. 2007. Т. 7. №3. С. 2–15.

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

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

22. Ромашов А. Н. Особенности развития выброса породы при взрывах на склоне // Разрушение и деформирование твердой среды взрывом. Взрывное дело. Сборник № 76/33. М.: Недра, 1976. С. 85–97.

23. Ромашов А. Н. Особенности действия крупных подземных взрывов. М.: Недра, 1980. 244 с.

24. Рототаев К. П., Ходаков В. Г., Кренке А. Н. Исследование пульсирующего ледника Колка. М.: Наука, 1983. 169 с.

25. Статковский Б. И. О причинах происхождения Казбекского завала. Тифлис. 1887. 64 с.

26. Степанов Б. С., Степанова Т. С. Механика селей. Эксперимент, теория, методы расчета. М.: Гидрометеиздат, 1991. 379 с.

27. Флейшман С. М. Сели. Изд. 2-е. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 312 с.
28. Ханиш Й. Гигантские движения постгляциальных масс на примерах Гималаев // Предупреждение опасных ситуаций в высокогорных районах: Тезисы докладов Международной конференции, г. Владикавказ, 23–26 июня 2004 г. Владикавказ: Изд-во «РЕМАРКО», 2004. С. 30–32.
29. Черниговский А. А. Применение направленного взрыва в горном деле и строительстве. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Недра, 1976. 319 с.
30. Черноморец С. С. Селевые очаги до и после катастроф. М.: Научный мир, 2005. 184 с.
31. Черноморец С. С., Адцеев В. Г. Ледниковые катастрофы в Геналдонском ущелье: взгляд в прошлое. Архивные документы о событиях XIX века и 1902 года // 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. 329–426.
32. Шеко А. И. Закономерности формирования и прогноз селей. М.: Недра, 1980. 296 с.

## **CATASTROPHIC ICE-STONE INERTIAL GAS-DYNAMIC AVALANCHE-TYPE STREAMS AS AN OCCURRENCE OF PAROXYSMAL AIR-BLAST DIRECTIONAL GAS-DYNAMIC SURGES OF GLACIERS. ABOUT CORRELATION OF THE CONCEPTS «AVALANCHE-TYPE STREAM» AND «MUDFLOW»**

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

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

The features of catastrophic glacial avalanche-type streams are considered in the article. A special type of these streams is singled out. The features of origination and motion of such streams point at the fact that they are the evidence of paroxysmal air-blast directional gas-dynamic surges of glaciers. The mechanism and extraordinary parameters of motion kinematics of these streams are explained. Accordingly a mudflow version of the Kolka catastrophe of 2002 in its epicentral and adjoining zone including the motion zone of glacial avalanche-type stream is unreasonable and false what confirms unsuccessful efforts of hydraulic modelling of this catastrophe. It is shown that such streams are referred to the slope-gravity phenomena and are either ordinary no special type of such phenomena.

**Keywords:** glacial catastrophe, glacial avalanche-type stream, mudflow, air-blast directional gas-dynamic surge of the glacier, inertial motion, Kolka glacier, hydraulic modelling, slope-gravity phenomena.

УДК 550.34:504.55.054:622 (470.6)

## ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ГОРНОГО МАССИВА ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПОЛОГИХ И НАКЛОННЫХ РУДНЫХ ТЕЛ

© 2016 В. И. Голик<sup>1,2</sup>, д.т.н., проф., О. Г. Бурдзиева<sup>1</sup>, к.г.н.

<sup>1</sup>Геофизический институт ВНЦ РАН, Россия, 362002, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: cgi\_gas@mail.ru;

<sup>2</sup>Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), Россия, 362021, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44

Описаны геомеханические особенности разработки месторождений рудных полезных ископаемых, сложенных маломощными пологими и наклонными рудными телами. Систематизированы концепции управления рудовмещающими массивами при разработке месторождений сложного строения с развитой тектоникой и интенсивной трещиноватостью. Приведены результаты аналитического исследования влияния тектоники на устойчивость горных выработок. Предложена методика расчета безопасных параметров управления массивом. Определены безопасные для промышленных объектов параметры обнажений пород. Даны рекомендации по применению технологий с изоляцией пустот при погашении выработанного пространства.

**Ключевые слова:** Месторождение, блок, тектоника, массив, выработка, технология, геофизический мониторинг, обрушение, изоляция.

### Введение

В горной практике с исторически давних наиболее сложна разработка месторождений, сложенных маломощными пологими и наклонными рудными телами. В начальной стадии горного дела в таких месторождениях добывали нужные для того времени металлы. Сложность заключается в том, что подработка таких рудных тел в большей мере, чем разработка крутопадающих рудных тел, нарушает геомеханическое равновесие на данном участке земной коры, а напряжения провоцируют возникновение деформаций.

Безопасная эксплуатация месторождений обеспечивается совокупным использованием арсенала технических средств и методов: сплошная бесцеликсовая система разработки; оценка инженерно-геологических условий разработки; соблюдение параметров обнажений пород, размеров целиков и крепи; построение области влияния горных работ; обеспечение сохранности земной поверхности после погашения выработанного пространства [Голик, 2014б].

В маломощных пологих и наклонных рудных телах сосредоточена большая часть запасов месторождений металлических руд, поэтому вопросы безопасной и эффективной отработки этих тел и погашения выработанного пространства, имеют первостепенное значение.

Исторически первый метод принудительного обрушения имеет ряд недостатков: повышение напряжений в массиве; трудность контроля полноты обрушения; возникновение воздушной волны при обрушении пород; опасность для окружающей среды, людей и биоты при нарушении поверхности.

Многолетние научно-исследовательские работы доказали возможность применения в условиях этих предприятий метода погашения выработанных пространств изоляцией в качестве основного. Использование вариантов системы разработки и необходимость определения для них безопасных параметров очистных выработок и крепи, определяют необходимость методики обоснования выбора надежного и экономичного метода погашения выработанного пространства при разработке полого падающих месторождений [Ляшенко, Голик, 2005].

Комплекс обоснования надежного и экономичного метода погашения включает в себя: оценку напряженно-деформированного состояния рудовмещающего массива, выбор параметров очистного пространства и крепи, выбор способа погашения образованных при отработке рудных тел пустот и конструкцию его элементов.

Мониторинг процессов добычи полезных ископаемых на всех этапах осуществляется геофизическими методами [Голик, Бурдзиева, 2016].

### Материалы и методы

Методы расчета устойчивых обнажений пород, при которых массив принимается дискретным с разнородным полем напряжений, даны в трудах А. А. Борисова, Г. Н. Кузнецова, С. В. Ветрова. Работами М. Т. Алимжанова, Б. З. Амусина, Н. В. Баклашова, И. М. Петухова и др. обосновано использование остаточной несущей способности нарушенных пород [Golik et al., 2016].

Процессам консолидации пород посвящены труды Д. М. Бронникова, М. И. Цыгалова, Н. Ф. Замесова, Л. А. Крупника, А. П. Требукова. Н. Г. Ф. Ф. Рычик дала методики расчетов параметров погашения рудных тел пологого и наклонного падения.

Остаточная несущая способность разупрочненных пород оценена в работах В. Риттера, М. М. Протодьяконова, П. М. Цимбаревича, А. А. Борисова, В. Д. Слесарева, С. В. Ветрова и др.

Объектами исследования безопасной отработки напряженно– деформированных массивов являются рудные тела мощностью до 3 м с локальными раздувами до 10 м с углом наклона 0–50°.

### Результаты и их обсуждение

Параметры разработки определяются устойчивостью пород кровли при ее естественном поддержании. Породы основной кровли разбиты крупными макротрещинами на структурные блоки, которые при обнажении формируют кровлю выработ-



Рис. 1. Схема образования шарнирной арки над выработкой: А, В, С – шарниры

ки. В кровле выработок структурные блоки заклиниваются и образуют трехшарнирную арку, устойчивость которой определяет устойчивость пород (рис. 1) [Golik et al., 2016b].

Устойчивость кровли очистных выработок определяется устойчивостью их эквивалентных пролетов, под которыми подразумевается ширина выработки бесконечной длины, по устойчивости эквивалентной выработке прямоугольной формы. Критерием устойчивости плоской кровли является условие:

$$L_{\text{факт}} \leq L_{\alpha}^{\circ}$$

где  $L_{\text{факт}}$  – эквивалентный пролет кровли фактической выработки, м;  $L_{\alpha}^{\circ}$  – предельно допустимый эквивалентный пролет для конкретных условий, м.

Если рудное тело по условиям устойчивости кровли невозможно отработать сплошным забоем, оно делится на отдельные участки, размеры каждого из которых удовлетворяют условию.

$$L_{\text{факт}} \geq L_{\alpha}^{\circ}$$

Пустоты, удовлетворяющие условию, в случае выхода зоны опасного влияния на границу раздела коренных пород и наносов, погашаются методом изоляции, но зона выхода обрушения на дневную поверхность ограждается.

Оставление не погашенных горных выработок опасно обрушением горных выработок оказавшихся в зоне обрушения; деформациями земной поверхности; воздушными ударами. Критерием безопасности погашения является область его опасного влияния, под которой понимается часть массива горных пород, где над выработками возможно развитие деформаций вмещающих пород с созданием опасных условий в выработках [Голик, 2014а].

При необходимости сохранения земной поверхности без нарушений выработанное пространство погашается закладкой, если в зону опасного влияния попадают эксплуатируемые горные выработки, отрабатываемые и подлежащие отработке рудные тела, граница раздела коренных пород и наносов.

Для безопасной отработки необходимо, чтобы плоская кровля очистной выработки сохраняла свою устойчивость до погашения выработанного пространства. Устойчивость кровли выработки зависит от ее эквивалентного пролета.

Эквивалентный пролет кровли выработки со сторонами  $a$  и  $b$ :

$$L_{\text{факт}} = \frac{a \times b}{\sqrt{a^2 + b^2}}$$

Связь между предельно допустимыми эквивалентными пролетами пород кровли выработок, пройденных в рудных телах с углом падения ( $\alpha^{\circ}$ ) и углом падения  $0^{\circ}$ :

$$L_{\alpha}^{\circ} = K_{\alpha} L^{\circ}$$

где  $K_{\alpha}$  – угловой коэффициент:

$$K_{\alpha} = \frac{1}{\cos^2 \alpha + \eta \sin^2 \alpha}$$

где  $\alpha$  – угол падения рудного тела, градус;  $\eta$  – коэффициент бокового распора:

$$\eta = \frac{\mu}{1 - \mu}$$

Величина  $K_{\alpha}$  зависит от угла падения рудного тела (табл. 1).

Таблица 1

## Значение углового коэффициента

Угол падения	0	10	20	30	40	50
Угловой коэффициент	1	1,02	1,07	1,17	1,31	1,50

Расчет предельно допустимого эквивалентного пролета пород кровли выработки, пройденной в рудном теле с углом падения, равном  $0^\circ$ , ведется на основании полученных геофизическими измерениями геомеханических предпосылок.

Породы основной кровли разбиты макротрещинами на структурные блоки, которые при заклинивании могут образовывать над выработкой трехшарнирную арку. При увеличении ширины горной выработки с плоской кровлей до некоего предельного значения породы ее кровли обрушаются. Решая систему уравнений, одно из которых описывает устойчивость свода естественного равновесия, а второе – устойчивость плоской кровли, нагруженной весом пород под сводом естественного равновесия, определяют предельно допустимые параметры пролетов плоской кровли для данных условий.

Пролет бесконечной длины выработки ( $l$ ), высота свода естественного равновесия над ней ( $h_{св}$ ) и инженерно-геологические характеристики массива связаны между собой [Голик, Комащенко, 2010]:

$$\left( \frac{2R_{сж}k_0d_1h_{св}}{\gamma g(2H - h_{св})} = h_{св}^2 \left( \frac{1}{2} \right)^2 + \left( \frac{1}{2} \right)^4 \right)$$

где  $R_{сж}$  – прочность горных пород на сжатие, Па;  $d_1$  – размер структурного блока в горизонтальном направлении, м;  $k_0$  – коэффициент структурного ослабления пород;  $h_{св}$  – высота свода естественного равновесия, м;  $\gamma$  – плотность горных пород, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с<sup>2</sup>;  $H$  – глубина залегания выработки, м;  $l$  – пролет выработки бесконечной длины, м.

Связь между максимально допустимым пролетом плоской кровли бесконечной длины выработки ( $L^o$ ), высотой соответствующего этой выработке свода естественного равновесия и инженерно-геологическими характеристиками пород:

$$\left( \frac{3R_{сж}k_0d_2^2}{2k_3\gamma h_{св}g} \right) = d_2^2 \left( \frac{L^o}{2} \right)^2 + \left( \frac{L^o}{2} \right)^4$$

где  $R_{сж}$  – прочность горных пород на сжатие, Па;  $k_0$  – коэффициент структурного ослабления пород;  $d_2$  – вертикальный размер структурного блока, м;  $\gamma$  – плотность горных пород, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/сек<sup>2</sup>;  $h_{св}$  – высота свода естественного равновесия, м;  $L^o$  – предельно допустимый пролет плоской кровли выработки бесконечной длины.

Величина предельно допустимого пролета плоской кровли выработки бесконечной длины определяется решением системы уравнений:

$$\begin{cases} \left( \frac{2R_{сж}k_0d_1h_{св}}{\gamma g(2H - h_{св})} \right)^2 = h_{св}^2 \left( \frac{1}{2} \right)^2 + \left( \frac{1}{2} \right)^4 \\ \left( \frac{3R_{сж}k_0d_2^2}{2k_3\gamma h_{св}g} \right)^2 = d_2^2 \left( \frac{L^o}{2} \right)^2 + \left( \frac{L^o}{2} \right)^4 \end{cases}$$

По величине предельно допустимого пролета плоской кровли определяются параметры эквивалентной ей по устойчивости плоской кровли выработки прямоугольной формы со сторонами  $a$  и  $b$ .

Расчет целиков ведется по предельно допустимым напряжениям с учетом коэффициента формы. Условие прочности целика по Турнеру–Шевякову:

$$\frac{k_H \gamma g H S}{k_a S_{ц}} = \frac{k_o k_{\phi 1} k_{\phi 2} R_{сж}}{k_3}$$

где  $k_H$  – коэффициент учитывающий соотношение между размерами рудного тела и глубиной его залегания;  $H$  – глубина расположения целика, м;  $S$  – площадь кровли, приходящаяся на целик, м<sup>2</sup>;  $k_a$  – коэффициент, учитывающий влияние угла падения рудного тела;  $k_o$  – коэффициент структурного ослабления;  $k_{\phi 1}$  – коэффициент формы целика, учитывающий соотношение между шириной и длиной целика;  $k_{\phi 2}$  – коэффициент формы целика, учитывающий соотношение между размерами обрабатываемого рудного тела и глубиной его залегания;

Для целиков, длинная сторона которых расположена по простиранию рудного тела,  $k_a = 1$ , для целиков, длинная сторона которых расположена по падению:

$$K_a = \frac{1}{\cos^2 \alpha + \eta \sin^2 \alpha}$$

где  $\alpha$  – угол падения рудного тела, градус;  $\eta$  – коэффициент бокового распора;  $R_{сж}$  – прочность слагающих целик пород, Па;  $k_3$  – коэффициент запаса прочности целика.

После подстановки значений коэффициентов:

$$S_{ц} = \frac{0,7 \gamma g H S}{k_o R_{сж} k_a}$$

Для ленточных целиков, расположенных по падению рудного тела, ширина целика:

$$a_{цп} = \frac{0,35 \gamma g H (L_{факт1} + L_{факт2})}{k_o R_{сж} k_a}$$

где  $L_{факт1}$  и  $L_{факт2}$  – фактические эквивалентные пролеты кровли выработки двух участков, между которыми расположен целик, м;

Для ленточных целиков, расположенных по простиранию рудного тела, ширина целика:

$$a_{цп} = \frac{0,35 \gamma g H (L_{факт1} + L_{факт2})}{k_o R_{сж}}$$

Под глубиной залегания целика ( $H$ ), длинная сторона которого расположена по падению рудного тела, подразумевается расстояние от поверхности до среднего по его длине сечения целика.

Наибольшая ширина целика  $a_{цmax}$  имеет место, когда участки, между которыми расположен целик, имеют размеры:

$$L_{факт1} \text{ и } L_{факт2} = L^{\circ}_{\alpha}$$

Устойчивое состояние кровли не исключает вывалов отдельных блоков пород и обрушения непосредственной кровли, поэтому при отбойке руды из очистного пространства крепление очистного пространства распорной крепью обязательно (рис. 2) [Ляшенко и др., 2006].



Рис. 2. Схема расчета параметров крепи

Шаг установки распорной крепи:

$$L_{кр} = \sqrt{\frac{6,28k_1k_2\varphi\sigma_{сж}r_{ст}^2}{\gamma g d_2}}$$

Где  $L_{кр}$  шаг крепления распорной крепью, м;  $k_1$  – коэффициент, учитывающий постоянство действия нагрузки на крепь;  $k_2$  – коэффициент, учитывающий условия работы крепи;  $\varphi$  – коэффициент продольного изгиба;  $\sigma_{сж}$  – сопротивление древесины при сжатии вдоль волокон, Па;  $r$  – радиус стойки, м;  $\gamma$  – плотность горных пород, кг/м<sup>3</sup>;  $G$  – ускорение свободного падения, м/сек<sup>2</sup>;  $d_2$  – вертикальный размер структурного блока, м.

Варианты сплошной системы с отбойкой руды из буровых восстающих и подэтажных штреков предусматривают отработку панелей без захода рабочих в отработанное пространство, поэтому поддержания кровли не требуют.

Область опасного влияния образуется при обрушении слабых трещиноватых пород, при перепуске обрушенных пород с верхних горизонтов, а также при сдвиге удаленных от рудного тела пород, сопровождаемого подвижками и раскрытием трещин. Для построения области опасного влияния на разрезе вкрест простирания от нижней границы выработанного пространства в породах висячего бока проводится прямая линия под углом  $\beta = 55^\circ$  до пересечения с линией, проведенной параллельно кровле рудного тела и отстоящей от нее по нормали на расстоянии  $h$ , кратном вынимаемой мощности рудного тела  $m$  [Голик, 2014а]:

- на участках рудного поля с перепуском обрушенных пород с верхних горизонтов или с их принудительным обрушением –10 м;
- на участках рудного поля с естественным обрушением пород, когда перепуск пород затруднен –16 м.

По простиранию рудного тела область ограничивается линиями, проведенными от границ выработанного пространства по простиранию под углом  $\beta = 85^\circ$  до плоскости, отстоящей от рудного тела на указанном выше расстоянии  $h$ . При угле падения рудного тела менее  $30^\circ$  боковые границы области проводят на разрезах вкрест простирания от верхней и нижней границ горных работ параллельно напластованию вмещающих пород (рис.) и на разрезах по простиранию под углом  $\beta = 85^\circ$ .

Верхняя граница области проводится параллельно кровле рудного тела на расстоянии от нее по нормали к рудному телу  $h = 6$  м. При углах падения рудного тела  $30^\circ$  и более построение границ области производится аналогично, но высота ее над верхней границей горных работ увеличивается до  $h = 10$  м.

При обрушении пород кровли выработок возникает и распространяется воздушная волна, возможная скорость которой в подходных выработках [Воробьев и др., 1998]:

$$V_{max} = \frac{k_{обр} S_k \sqrt{\frac{2gh}{\cos a}}}{S_n + (1 - k_{обр}) S_k}$$

где  $V_{max}$  – максимальная скорость воздушной волны, м/сек;  $S_k$  – площадь обнажения кровли, м<sup>2</sup>;  $S_n$  – суммарная площадь всех подходных выработок, м<sup>2</sup>;  $k_{обр}$  – коэффициент обрушаемости пород кровли;  $h$  – высота очистного пространства, м;  $g$  – ускорение свободного падения;  $a$  – угол падения рудного тела, град.

Обрушаемость пород зависит от их крепости и площади обнажения пород кровли (табл. 2).

Таблица 2

### Параметры обрушаемости пород

Площадь обнажения, м <sup>2</sup>	Коэффициент обрушаемости пород	
	Коэффициент крепости 8–9	Коэффициент крепости 10–14
1000	0,56–0,59	0,46–0,48
5000	0,85–0,86	0,58–0,70
10000	0,92–1,00	0,70–0,80
30000	1,00	0,87–0,95
50000	1,00	0,94–0,99

Безопасной для человека принята скорость воздушной волны до 15 м/с.

В табл. 3 даны расчетные значения площадей обнажений пород кровли, самообрушение которых не вызовет в подходных выработках воздушные потоки с превышающей допустимую, скоростью. В расчетах высота очистного пространства принята 3 м, а суммарная площадь подходных выработок – 24 м<sup>2</sup>.

Таблица 3

### Предельно допустимое по воздушной волне обнажение пород

Коэффициент крепости	Безопасная площадь обнажения при угле падения рудных тел		
	0–20°	20–40°	40–60°
До 10	1400	1000	750
Более 10	4000	3500	2500

При локализации выработанного пространства методом изоляции в подходных выработках устанавливаются перемычки. Если площадь обнажения кровли не превышает допустимой, в подходных выработках достаточно установить перемычку, преграждающую доступ людей и снижающую скорость воздушной волны в 0,6 раза. В противном случае в подходных выработках устанавливаются бетонные перемычки, давление на которые рассчитывается, исходя из закона Бойля–Мариотта:

$$P = P_a \left( \frac{h S_k + \sum_{i=1}^n (S_{bi} l_{bi})}{h(1 - k_{обр}) S_k + \sum_{i=1}^n (S_{bi} l_{bi})} - 1 \right)$$

$P_a$  – атмосферное нормальное давление, МПа;  $h$  – высота очистного пространства, м;  $S_k$  – площадь обнажения кровли, м<sup>2</sup>;  $S_{bi}$  – сечение подходной выработки, м<sup>2</sup>;

$l_{bi}$  – расстояние подходной выработки от погашаемого пространства до места установки перемычки, м;  $k_{обр}$  – коэффициент обрушаемости пород кровли.

В зависимости от соотношения между максимальным линейным размером поперечного сечения выработки и толщиной перемычки материал перемычки под нагрузкой работает на изгиб или на срез. Перемычка рассчитывается по сопротивлению срезу, поэтому толщина перемычки по всей площади одинакова:

$$L_n = 0,25r_{max}$$

Прочность материала перемычки на срез:

$$G_{cp} = \frac{4PS_B}{Fr_{max}}$$

где  $G_{cp}$  – сопротивление материала перемычки на срез, МПа;  $P$  – давление воздуха на перемычку, МПа;  $S_B$  – сечение выработки, м<sup>2</sup>;  $F$  – периметр выработки, м;  $r_{max}$  – максимальный линейный размер сечения выработки, м.

Выработанное пространство с обнажениями пород средней устойчивости, не превышающими 10000 м<sup>2</sup>, могут быть изолированы перемычками толщиной  $0,25 r_{max}$  из бетона марки М–200. Во всех других случаях выработанное пространство с обнажениями пород, не превышающими 12000 м<sup>2</sup>, изолируются перемычками толщиной  $0,25 r_{max}$  из бетона марки М–100.

В качестве изолирующих перемычек используют перемычки из обрушенных пород подходных выработок путем взрывания зарядов в скважинах диаметром 57–65 мм на глубину, равную 2–2,5 высотам подходной выработки на 5,5–6,5 м по длине выработки. Такими перемычками можно изолировать выработанное пространство с площадью подработки пород до 30000 м<sup>2</sup> [Голик и др., 2011].

Для определения степени устойчивости подработанных массивов применяют метод звукометрического контроля, основанный на регистрации сейсмоакустических импульсов, возникающих в породах при деформации. Критерием устойчивости подработанных массивов является интенсивность (частота) сейсмоакустических импульсов [Ляшенко и др., 1995].

Разрушение горных пород происходит при деформациях, сопровождающихся возникновением примерно 100 сейсмоакустических импульсов в минуту. Переход твердого тела в пластическое состояние характеризуется нарушением сил сцепления и скольжением отдельных слоев пород по плоскостям.

Коэффициент запаса по устойчивости:

$$k_3 = \sqrt{\frac{F_{разр}}{F_{факт}}}$$

где  $k_3$  – коэффициент запаса по устойчивости;  $F_{разр}$  – частота возникновения сейсмоакустических импульсов при разрушении, имп./мин (100);  $F_{факт}$  – фактическая частота возникновения сейсмоакустических импульсов при наблюдении, имп./мин.

При коэффициенте запаса устойчивости 2 за критическое состояние массива принимается интенсивность сейсмоакустических импульсов 25 имп./мин (против 100 имп./мин при  $k_3 = 1$ ) (табл. 4).

Таблица 4

### Типизация состояния пород по сейсмоакустической активности

Степень устойчивости пород	Интенсивность, имп./мин	Принимаемые меры
Устойчивые	0–16	Обычный режим
	16–25	Повышенное внимание
Неустойчивые	Более 25	Прекращение работ

Геофон представляет собой пьезоэлектрический датчик, преобразующий сейсмоакустические импульсы в электрические колебания. Измерительный пульт усиливает электрические импульсы, поступающие с геофона, и выдает информацию об их количестве на табло и на выход.

Наблюдения за состоянием пород проводятся при неработающих механизмах в скважинах, пробуренных по породам кровли в 5–6 м над выработанным пространством из выработок, не имеющих непосредственного выхода в погашаемое пространство. Скважины промывают водой для обеспечения наиболее плотного контакта геофона с массивом пород.

Над выработанным пространством бурят скважины по центру очистного пространства с расстоянием между ними 20–25 м.

«Прослушивание» осуществляется по длине скважины через 6–10 м. В каждой точке проводится 2 прослушивания по 10 минут каждое. Полученное количество импульсов делится на время прослушивания, в результате чего определяется средняя интенсивность звукометрических импульсов.

Характер расслоения пород кровли с течением времени определяют приборами – аналогами РВП–456 в скважинах и шпурах длиной 1,5–5,0 м. Наблюдениями устанавливают нарушение внутренней поверхности стенок скважин (рис. 3) [Голлик, Исмаилов, 2016].

Это позволяет судить о характере и интенсивности разрушения пород, например, так было установлено, что том, что в скальных массивах дискретного строения

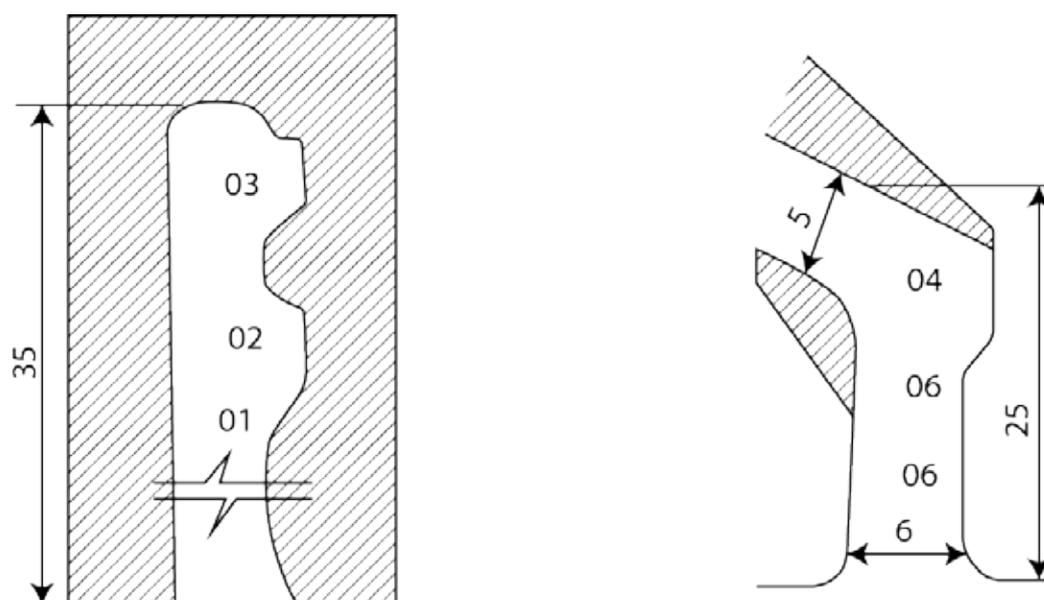


Рис. 3. Исследование процесса расслоения пород в скважинах: 01–06 – номера шпуров

образование вывалов при раскрытии природных трещин происходит без предварительного расслоения структурных отдельностей.

Исследуемое рудное тело залегает в известняках внутренней части тектонического блока. Падение рудного тела северо-западное под углом  $25^\circ$ . Длина по падению в северной части около 130 м, длина по простиранию – 160 м. Глубина залегания нижнего края рудного тела  $150+240 = 390$  м. Мощность рудного тела до 2 м [Голик и др., 2015].

Предельно допустимый эквивалентный пролет плоской кровли равен 60 м. Фактический эквивалентный пролет по всему рудному телу:

$$L_{\text{факт}} = \frac{130 \times 160}{\sqrt{130^2 + 160^2}} 101 \text{ м}$$

Так как  $L_{\text{факт}} > L^o_a$ , рудное тело делится на участки, параметры каждого из которых не превышают предельно допустимых. По простиранию максимальный размер рудного тела равен 160 м. Учитывая, что предельно-допустимый эквивалентный пролет плоской кровли равен 60 м, то целесообразно разделить рудное тело на 3 участка шириной  $160:3 = 53$  м, длинной стороной расположенной по падению.  $L_{\text{факт}}$  каждого участка  $< L^o_a$ , поэтому эти три участка при ширине 53 м устойчивы при любой их длине.

Выемочные участки между собой разделяются целиками, расположенными длинной стороной по падению. Максимальная ширина целика 5,1 м. По границам выемочных участков проводятся подготовительные выработки, например, наклонные восстающие, поэтому практикуют оставление не пятиметрового целика, а с каждой стороны восстающего целика шириной по 2,5 м.

Параметры погашения выработанного пространства выбираются с учетом построенной области влияния горных работ. Если в зону опасного влияния погашаемого рудного тела не попадают выработки или подлежащие отработке рудные тела, выработанное пространство можно погашать путем локализации изолирующими перемычками.

Если целики в рудном теле не вынуты, изолирующие перемычки рассчитываются по возможному обрушению пород кровли на участке с максимальным обнажением кровли. Если целики в рудном теле вынуты, изолирующие перемычки рассчитываются на случай возможного обрушения пород кровли на всей площади рудного тела и выполняются из бетона марки М-200 или из обрушенных пород кровли подходов выработок.

Изучение напряжений и деформаций в массиве требует проведения точных измерений на специально оборудованных геодинимических полигонах. Высокая точность определения величин сдвижений и деформаций, короткие интервалы между сериями инструментальных измерений определяют необходимость использования современного оборудования [Голик и др., 2013, 2014б; Голик, Заалишвили, 2014; Golik et al., 2015a].

Наряду с традиционными методами шахтной геофизики используются методы спутниковой геодезии. Спутниковые технологии позволяют получать информацию о деформациях земной поверхности на базах от первых метров до нескольких десятков километров. Для проведения спутниковых геодезических измерений используется парк одно- и двухчастотной аппаратуры, состоящий из GPS-приемников геодезического класса фирм «Trimble» и «Sokkia». Определение величин смещений

и деформаций массивов производится путем многократных определений координат реперов и геометрических элементов – длин и превышений специально оборудуемых наблюдательных станций. Плотность сети наблюдательных пунктов определяется размерами техногенных объектов, удалением от них, параметрами охраняемых сооружений, попадающих в область влияния горных разработок и тектоникой месторождения.

Примером такой сети служит деформационная сеть шахты «Сарановская–Рудная», мониторинг состояния которой комплексами спутниковой геодезии производится с 1996 года по настоящее время (рис. 4). Наблюдательная станция включает 150 реперов, по которым производятся спутниковые геодезические измерения.

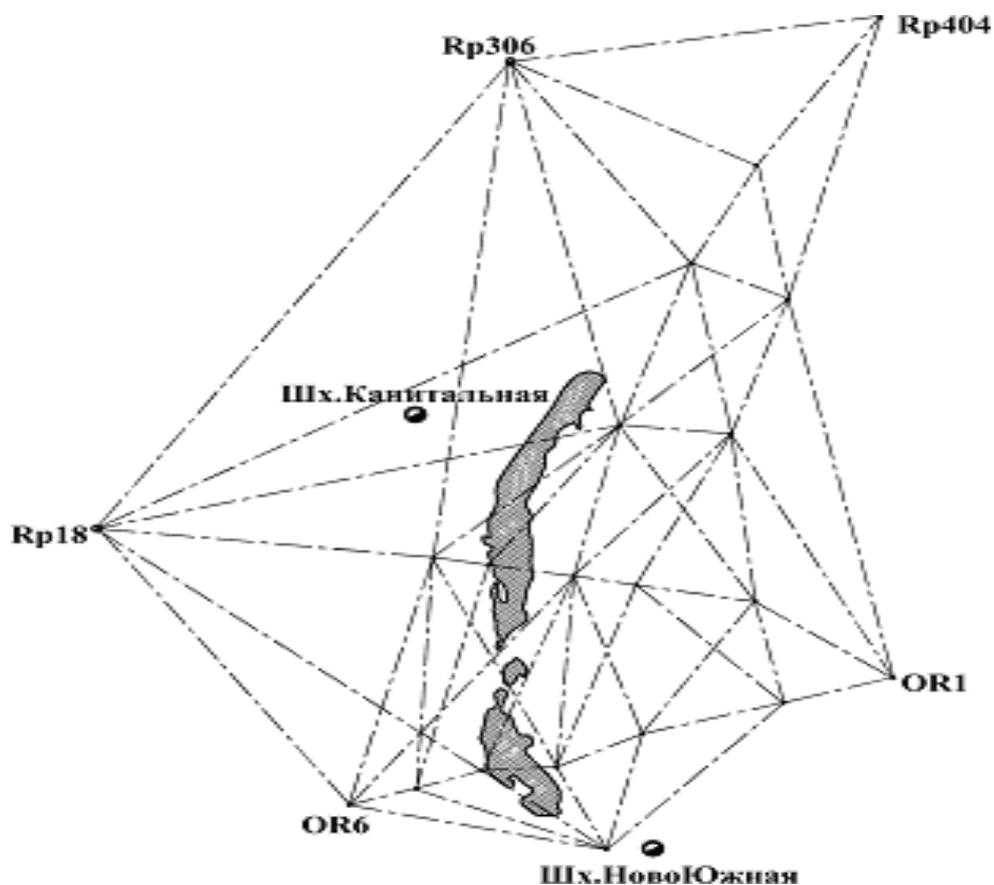


Рис. 4. Схема деформационной сети шахты «Сарановская–Рудная»

При исследовании геодинамических процессов с применением GPS–технологий используют разовое переопределение исходных координат пунктов ГГС и опорных геодезических сетей и измерение величин смещений и деформаций в мониторинговом режиме.

Данные о напряженно-деформированном состоянии массива горных пород и закономерностях его изменения во времени дают новые знания о природе естественных деформационных процессов в верхней части земной коры, и влиянии техногенной деятельности на трансформацию напряженного состояния массива.

Исследуется не только ближняя зона техногенного воздействия – мульда сдвигения пород, но и дальняя зона влияния горных разработок, простирающаяся до не-

скольких десятков километров. Измерения, проводимые с использованием современных технологий, обеспечивают высокую эффективность при решении задач геомеханики, благодаря чему стал возможным мониторинг деформаций и напряжений, происходящих в земной коре при подземной разработке месторождений.

Исследования геодинамических процессов, проистекающих в верхней части земной коры и имеющих как естественную, так и техногенную природу, становятся все более актуальными. Интерес к исследованиям современных движений и деформаций обусловлен тем, что безопасное ведение работ в массиве горных пород возможно только при получении точных представлений о происходящих в недрах Земли процессах. Эти процессы имеют как естественную, так и техногенную природу, причем техногенный фактор в масштабах негативных изменений геодинамической обстановки превалирует. Если естественные геодинамические процессы проявляются в виде медленных трендовых подвижек по границам структурных блоков на фоне короткопериодных знакопеременных колебаний массива, то техногенные геодинамические процессы вызваны масштабной деятельностью человека [Голик, Полухин, 2013; Комащенко и др., 2016].

### Выводы

1. Разработка месторождений, сложенных маломощными пологими и наклонными рудными телами отличается развитием повышенных напряжений и деформаций.
2. Возможность применения метода погашения пустот изоляцией в качестве альтернативы обрушению пород требует теоретического обоснования.
3. Условия устойчивости изолируемых выработок могут быть найдены, исходя из гипотез использования остаточной несущей способности дискретных пород, учитывающих влияние нарушенности пород на параметры сводов естественного равновесия.
4. Устойчивость очистных выработок определяется устойчивостью их эквивалентных пролетов.
5. Безопасная эксплуатация месторождений обеспечивается совокупным использованием арсенала технических средств и методов от инженерно-геологических условий разработки до обеспечения сохранности земной поверхности после погашения выработанного пространства.

### Литература

1. Воробьев А. Е., Голик В. И., Лобанов Д. П. Приоритетные пути развития горнодобывающего и перерабатывающего комплекса Северо-Кавказского региона. – Владикавказ: Рухс, 1998. – 321 с.
2. Голик В. И. Подземная разработка месторождений. Учебное пособие. – М.: Инфра – М. – 2014а. – 115 с.
3. Голик В. И. Природоохранные технологии разработки рудных месторождений. Учебное пособие. – М.: Инфра-М. – 2014б. – 190 с.
4. Голик В. И., Бурдзиева О. Г. Моделирование напряженности скальных массивов при подземной добыче руд методом фотоупругости. Геология и геофизика Юга России. – 2016. – №1. – С. 38–47.
5. Голик В. И., Заалишвили В. Б. Геофизические методы исследования сейсмичности природных и техногенных массивов. – Владикавказ, ЦГИ, 2014. – С. 1–274.

6. Голик В. И., Исмаилов Т. Т. Охрана бетонных объектов от взрывного сейсмического воздействия при подземном строительстве. Технологии бетонов. – 2016. – №5–6 (118–119). – С. 40–44.

7. Голик В. И., Комащенко В. И. Природоохранные технологии управления состоянием массива на геомеханической основе. Монография. – М.: КДУ, 2010. – 555 с.

8. Голик В. И., Полухин О. Н. Природоохранные геотехнологии в горном деле. Белгород: ИД «Белгород» НИУ «БелГУ», 2013. – 282 с.

9. Голик В. И., Заалишвили В. Б., Бурдзиева О. Г. Геофизический мониторинг подземной разработки месторождений. ГИАБ. – М.: Горная книга, 2014а. – №2. – С. 90–96.

10. Голик В. И., Заалишвили В. Б., Бурдзиева О. Г. Геофизический мониторинг геотехнологических процессов. ГИАБ. – 2013. – №12. – С. 17–23.

11. Голик В. И., Заалишвили В. Б., Габараев О. З. Геофизическое обеспечение технологий выщелачивания урана. Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014б. – №7. – С. 112–121.

12. Голик В. И., Комащенко В. И., Леонов И. В. Горное дело и окружающая среда. Монография. – М.: Академический Проект; Культура, 2011. – 209 с.

13. Голик В. И., Комащенко В. И., Моргун В. С., Ляшенко В. И. Повышение полноты использования недр с учетом напряжений при комбинированной разработке месторождений. Гірничий вісник: науково-технічний збірник. – Вип. 100. – Кривий Ріг: ДВНЗ «КНУ», 2015. – С. 68–74.

14. Комащенко В. И., Васильев П. В., Масленников С. А. Технологиям подземной разработки месторождений КМА надежную сырьевую основу. Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2016. – №2. – С. 101–114.

15. Ляшенко В. И., Голик В. И. Геомеханический мониторинг горного массива при подземной разработке месторождений сложной структуры // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2005. – №2. – С. 68–71.

16. Ляшенко В. И., Голик В. И., Штеле В. И. Создание и внедрение мало затратных ресурсосберегающих методов, средств и технологий на горных предприятиях. – М.: ЦНИИ экономики и информации, 1995. – 95 с.

17. Ляшенко В. И., Савельев Ю. Я., Ткаченко А. А. Научно-технические основы сейсмобезопасной технологии подземной разработки урановых месторождений // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2006. – №6. – С. 107–111.

18. Golik V., Burdzieva O., Komashchenko V., Morkun V. Modelling of rock massifs tension at underground ore mining. *Metallurgical and Mining Industry*, 2015a. – №8. – Pp. 540–543.

19. Golik V., Komashchenko V., Morkun V. Geomechanical terms of use of the mill tailings for preparation. *Metallurgical and Mining Industry*, 2015b. – №4. – Pp. 321–324.

20. Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Gvozdkova T. The theory and practice of rock massifs control in the ore mining. *Metallurgical and Mining Industry*, 2016. – №1. – Pp. 209–212.

## **GEOPHYSICAL MONITORING OF THE CONDITION OF THE MASSIF IN CASE OF DEVELOPMENT OF FLAT AND INCLINED ORE BODIES**

**© 2016 V. I. Golik<sup>1,2</sup>, Sc. Doctor (Tech.), prof., O. G. Burdzyeva<sup>1</sup>,  
Sc. Cand. (Geogr.)**

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

<sup>2</sup>North-Caucasian Mining & Metallurgical Institute (State Technological University),  
Russia, 362021, Vladikavkaz, Nikolayev street, 44

The geomechanical development features of ore mineral deposits that are composed of thin and gentle sloping ore bodies are described. The concepts for ore-hosting array management in deposit development with complex structure, developed tectonics and intense fracturing are systematized. The results of analytical studies of the tectonics effect on the stability of mine workings are presented. The methodic for calculation of the safe array control parameters is offered. The security parameters for industrial facilities outcrops are defined. The recommendations on the use of technology with filling of voids are given.

**Keywords:** The deposit, block, tectonics, array, working, technology, geophysical monitoring, failure, isolation.

**ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА  
ЮГА РОССИИ  
(№3. 2016 г.)**

Подписано в печать 19.10.2016 г. Формат 60×84 1/8.

Усл. печ. лист 21,4. Гарнитура «Times».

Бумага офсетная. Печать цифровая. Тираж 100 экз. Заказ № \_\_\_\_.

**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