

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

# **ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА ЮГА РОССИИ**

**№ 1 / 2015**

**Владикавказ 2015**

**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)

**Редакционная коллегия**

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

д.г.- м.н. Р.М. Багатаев (Дагестаннедра)

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 «Кавказгеолсъёмка»)

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)

**Ответственный секретарь**

и.о. М.В. Майсурадзе (ГФИ ВНЦ РАН)

**Выпускающий редактор**

Л.Н. Невский (ГФИ ВНЦ РАН)

Журнал издается с 2011 года.

Периодичность издания -

4 номера в год

Учредители:

**Владикавказский научный центр РАН и РСО-А**

**Дагестанский научный центр РАН**

**Кабардино-Балкарский научный центр РАН**

**Южный научный центр РАН**

**Комплексный научно исследовательский институт РАН**

**Геофизический институт ВНЦ РАН**

**ISSN 2221-3198**

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

При перепечатке материалов ссылка на журнал обязательна.

© Геофизический институт ВНЦ РАН, 2015

© Заалишвили В.Б. (ред.), 2015

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

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Заалишвили В.Б., Джгамадзе А.К., Мельков Д.А., Дзеранов Б.В., Габараев А.Ф., Габеева И.Л., Дзебоев Б.А., Кануков А.С., Шепелев В.Д.</b> УТОЧНЕНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ТЕРРИТОРИИ С ПОМОЩЬЮ МИКРОСЕЙСМ (НА ПРИМЕРЕ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ РЕСПУБЛИКИ СЕВЕРНАЯ ОСЕТИЯ-АЛАНИЯ) .....	5
<b>Керимов И.А.</b> АНАЛИТИЧЕСКОЕ ПРОДОЛЖЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ПОЛЕЙ НА ОСНОВЕ F-АППРОКСИМАЦИИ .....	21
<b>Марченко П.Е.</b> ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫЕ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ ПОДВЕРЖЕННОСТИ ГЕОСИСТЕМ ОПАСНЫМ ЭКЗОГЕННЫМ ПРОЦЕССАМ (НА ПРИМЕРЕ КАБАРДИНО-БАЛКАРСКОЙ РЕСПУБЛИКИ) .....	35
<b>Матишов Г.Г., Парада С.Г.</b> ДОБЫЧА СЛАНЦЕВОГО ГАЗА МЕТОДОМ ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, РИСКИ И УГРОЗЫ.....	42
<b>Перетокин С.А.</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНО-АЛГОРИТМИЧЕСКОГО АППАРАТА МЕТОДИКИ ОСР-97 В ЗАДАЧАХ ДЕТАЛЬНОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ .....	61
<b>Рогожин Е.А., Горбатиков А.В., Овсяченко А.Н.</b> АКТИВНЫЕ РАЗЛОМЫ И ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ ЗОНЫ КЕРЧЕНСКОГО ПРОЛИВА .....	65
<b>Троценко В.В.</b> ОСОБЕННОСТИ СЕДИМЕНТОГЕНЕЗА КАК ФАКТОР ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ ВОСТОЧНОГО ДОНБАССА И УСЛОВИЙ ИХ РАЗРАБОТКИ .....	69

## МНЕНИЕ УЧЕНОГО

<b>Николаев А.В.</b> КАЧЕСТВО И КОЛИЧЕСТВО НАУКИ.....	77
--	----

## ЮБИЛЕИ

НИКОЛАЮ ПАВЛОВИЧУ ЛАВЕРОВУ – 85! .....	85
ОЛЕГУ АЛЕКСЕЕВИЧУ БОГАТИКОВУ – 80!.....	90

## ПАМЯТИ ТОВАРИЩА

ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ УТКИН .....	93
-------------------------------	----

## CONTENTS

<b>Zaalishvili V.B., Dzhgamadze A.K., Melkov, D. A., Dzeranov B.V., Gabaraev A.F., Gabeeva I.L., Dzeboev B.A., Kanukov A.S., Shepelev V.D.</b> SPECIFICATION OF ENGINEERING-GEOLOGICAL CONDITIONS OF THE TERRITORY WITH THE HELP OF MICROSEISMS (BY THE EXAMPLE OF SETTLEMENTS OF THE REPUBLIC NORTH OSSETIA-ALANIA) .....	5
<b>Kerimov I.A.</b> ANALYTICAL CONTINUATION OF POTENTIAL FIELDS ON THE BASIS OF F-APPROXIMATIONS .....	21
<b>Marchenko P.E.</b> DIFFERENTIATED INTEGRAL ASSESSMENTS OF GEOSYSTEM LIABILITY TO EXOGENOUS PROCESSES (BY THE EXAMPLE OF KABARDINO-BALKAR REPUBLIC).....	35
<b>Matishov G.G., Parada S.G.</b> SHALE GAS PRODUCTION BY THE METHOD OF HYDRAULIC FRACTURE: THE CURRENT CONDITION, RISKS AND HAZARDS .....	42
<b>Peretokin S.A.</b> USAGE OF PROGRAM ALGORYTHMIC TOOL OF OSR-97 METHODIC IN DETAILED SEISMIC ZONING PROBLEMS.....	61
<b>Rogozhin E.A., Gorbatikov A.V., Ovsyuchenko A.N.</b> ACTIVE FAULTS AND THE STRUCTURE OF KERCH STRAIT ZONE .....	65
<b>Troschenko V.V.</b> FEATURES OF SEDIMENTOGENESIS AS FORMATION FACTOR OF COAL-BED STRUCTURE OF EASTERN DONBASS AND THEIR DEVELOPMENT CONDITIONS .....	69

## OPINION OF SCIENTIST

<b>Nikolaev A.V.</b> QUALITY AND A QUANTITY OF THE SCIENCE .....	77
---	----

## JUBILEES

NIKOLAY PAVLOVICH LAVEROV IS 85 YEAR OLD!.....	85
OLEG ALEKSEEVICH BOGATIKOV IS 80 YEAR OLD!.....	90

## DEDICATED TO THE COLLEAGUE'S MEMORY

VLADIMIR IVANOVICH UTKIN .....	93
--------------------------------	----

УДК 624.131

## УТОЧНЕНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ТЕРРИТОРИИ С ПОМОЩЬЮ МИКРОСЕЙСМ (НА ПРИМЕРЕ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ РЕСПУБЛИКИ СЕВЕРНАЯ ОСЕТИЯ-АЛАНИЯ)

© 2015 Заалишвили В.Б., д.ф.-м.н., проф., Джгмадзе А.К., Мельков Д.А.,  
к.т.н., Дзеранов Б.В., к.г.-м.н., Габараев А.Ф., Габеева И.Л., Дзэбоев Б.А.,  
Кануков А.С., Шепелев В.Д.

Геофизический институт ВНЦ РАН, Россия, 362002,  
г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а

Карты инженерно-геологического районирования являются основой для проведения работ по сейсмическому микрорайонированию (СМР). Результаты инженерных изысканий позволяют формировать карты инженерно-геологического районирования. В последние годы, целенаправленные детальные изыскания для целей СМР рутинных урбанизированных территорий из-за отсутствия необходимого финансирования, как правило, не проводятся. Большой частью для решения проблемы используются результаты прошлых изысканий для различного рода проектируемых зданий и сооружений, разнесенные по времени. В работе предлагается использовать способ регистрации микросейсм, позволяющий достаточно надежно дифференцировать участки с различными грунтовыми условиями. При необходимости разрезы уточняются сейсморазведочными методами.

В результате проведения исследований современными геофизическими методами подобным образом были уточнены карты инженерно-геологического районирования гг. Владикавказ, Беслан, Ардон и Алагир.

**Ключевые слова:** инженерно-геологическое районирование, категории грунтов, скорости сейсмических волн, микросейсм.

ГФИ ВНЦ РАН, начиная с 2009 года, активно проводит работы по составлению карт инженерно-геологического районирования населенных пунктов Республики Северная Осетия-Алания, как основы сейсмического микрорайонирования. Уже составлены карты территорий гг. Владикавказ, Беслан, Ардон, Алагир, Дигора.

Проведенные исследования являются одним из разделов (этапов) «Работы по обследованию и паспортизации территорий, разработке стратегий реализации дополнительных мероприятий по повышению защищенности объектов массовой застройки». Проведен анализ большого количества освещающих эту проблему печатных и фондовых материалов и имеющихся в них физико-механических анализов.

В соответствии с принципами крупномасштабного инженерно-геологического картирования, материалы исследований, составляющие инженерно-геологическую основу карты сейсмического микрорайонирования, были представлены в виде набора карт, содержащих информацию, необходимую и достаточную для выделения однородных в инженерно-сейсмогеологическом отношении территориальных единиц.

В состав инженерно-геологических исследований вошли: сбор и обобщение материалов прошлых лет, комплексная инженерно-геологическая съемка соответ-

ствующего масштаба, включающая инженерно-геологическое рекогносцировочное обследование территории, а также камеральные и картосоставительские работы.

В результате работ по сбору и систематизации материалов исследований прошлых лет был составлен комплект инженерно-геологических разрезов и карт, отражающих различные аспекты строения районированных территорий.

Поскольку вся информация, собранная и далее обработанная, послужившая основой для построения карт инженерно-геологического районирования, в свое время не предназначалась для нашей конечной цели – сейсмического микрорайонирования территорий, полнота материалов, характеризующих горных пород при проходке горных выработок различных назначений, не всегда отвечала современным требованиям для создания карт сейсмического микрорайонирования территорий.

На рис. 1-4 приводятся карты инженерно-геологического микрорайонирования гг. Владикавказ, Беслан, Ардон и Алагир, созданные по результатам обработки фондовых материалов.

В процессе работы было выявлено отсутствие детальности в данных для построения карты инженерно-геологического районирования. В частности, содержание песчано-глинистого заполнителя было указано только для ряда скважин. С 2009-го по 2013 год ГФИ ВНИЦ РАН проводились работы по уточнению инженерно-геологических условий территорий указанных городов республики современными геофизическими методами: сейсморазведки методом преломленных волн и спектральных  $H/V$ -отношений по записям микросейсм.

Из существующих инструментальных способов, позволяющих в кратчайшие сроки обследовать значительную площадь территории, таким является способ микросейсм.

Согласно РСН 65-87 способ микросейсм считается вспомогательным. Действительно, амплитудный уровень микросейсмических колебаний в значительной степени определяется близостью к источникам колебаний и временем записи.

Анализ вариация максимальных амплитуд микросейсм на сейсмических станциях сети «Владикавказ» показывает суточные колебания уровня сейсмических шумов: наибольшие амплитуды наблюдаются в полдень, минимальные в период с полуночи до шести часов утра. Особенно четко отмечается на вертикальной компоненте снижение уровня микросейсм в выходные дни.

В то же время способ, основанный на записи микросейсм и построении спектральных  $H/V$  отношений, в настоящее время используется во многих работах для определения собственных частот колебаний грунтовой толщи.

Суть метода заключается в записи вертикальных и горизонтальных компонент микросейсм. Спектральное отношение горизонтальной к вертикальной компоненте ( $H/V$ ) позволяет определить собственную частоту колебаний грунтовой толщи (Заалишвили, 1997, 2000), [Заалишвили, 2009; Nakamura, 1989; Duval et al., 1998;]. Предполагается, что микросейсм создаются поверхностными источниками, которые возбуждают в основном волны Рэлея. В горизонтальной структуре поляризация этих волн полностью зависит от частоты и максимальна для резонансной частоты толщи [Duval et al., 1994].

В процессе выполнения работы по сейсмическому микрорайонированию на территории г. Владикавказа были выполнены записи микросейсмических колебаний в различных участках города. Регистрация микросейсм производилась тремя мобильными сейсмическими станциями включающими регистраторы сейсмиче-

ских сигналов (РСС) «Дельта-Геон-02М», сейсмоприемники СК-1П и блоки питания БП-9/12) (рис. 5). Сейсмоприемники ориентировались по сторонам света: X-компонента была направлена на север, а Y-компонента – на восток.

Перед проведением полевых исследований на общем основании проверялась идентичность работы аппаратуры.

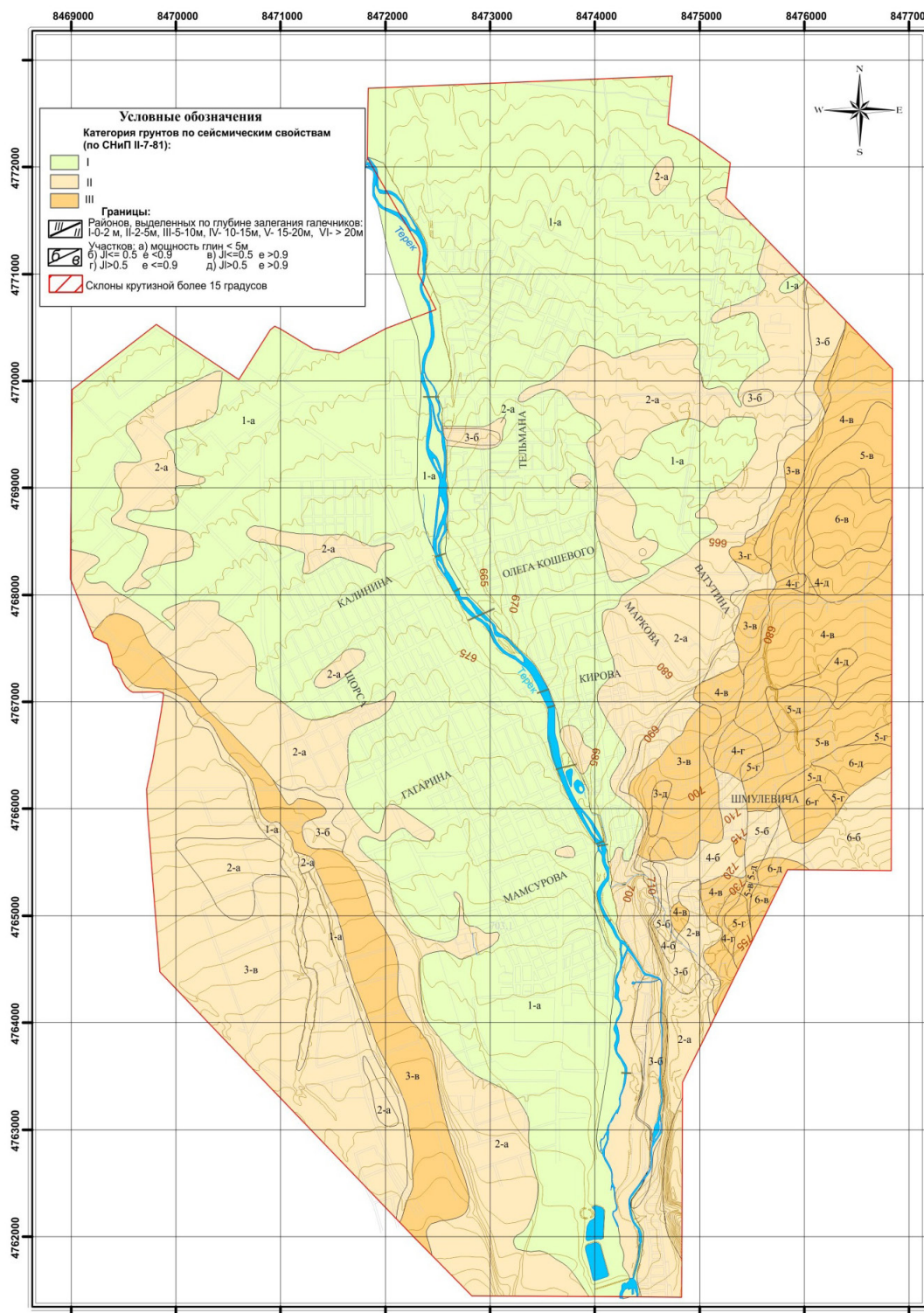


Рис. 1. Карта инженерно-геологического районирования г. Владикавказа

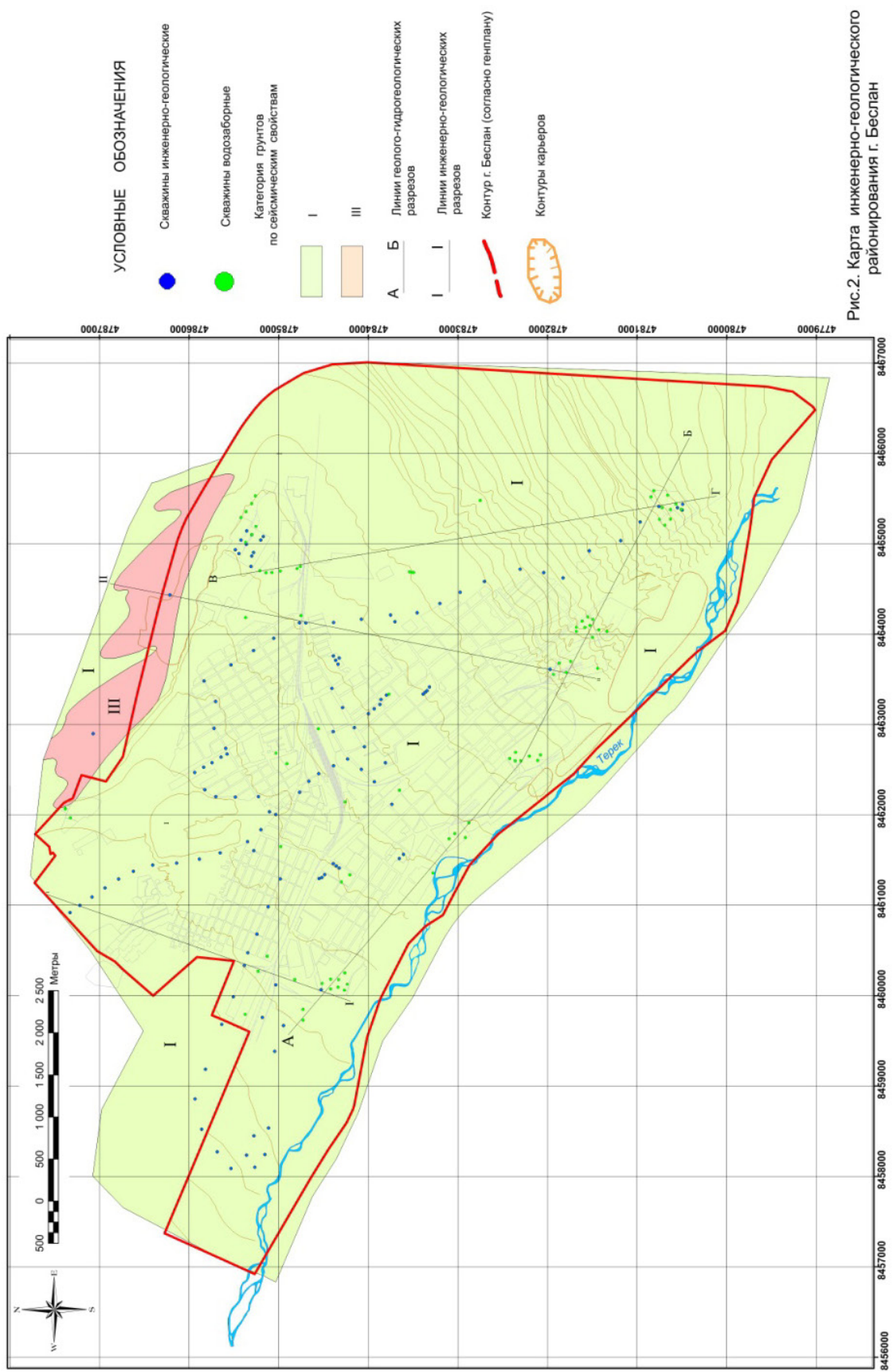


Рис.2. Карта инженерно-геологического районирования г. Beslan



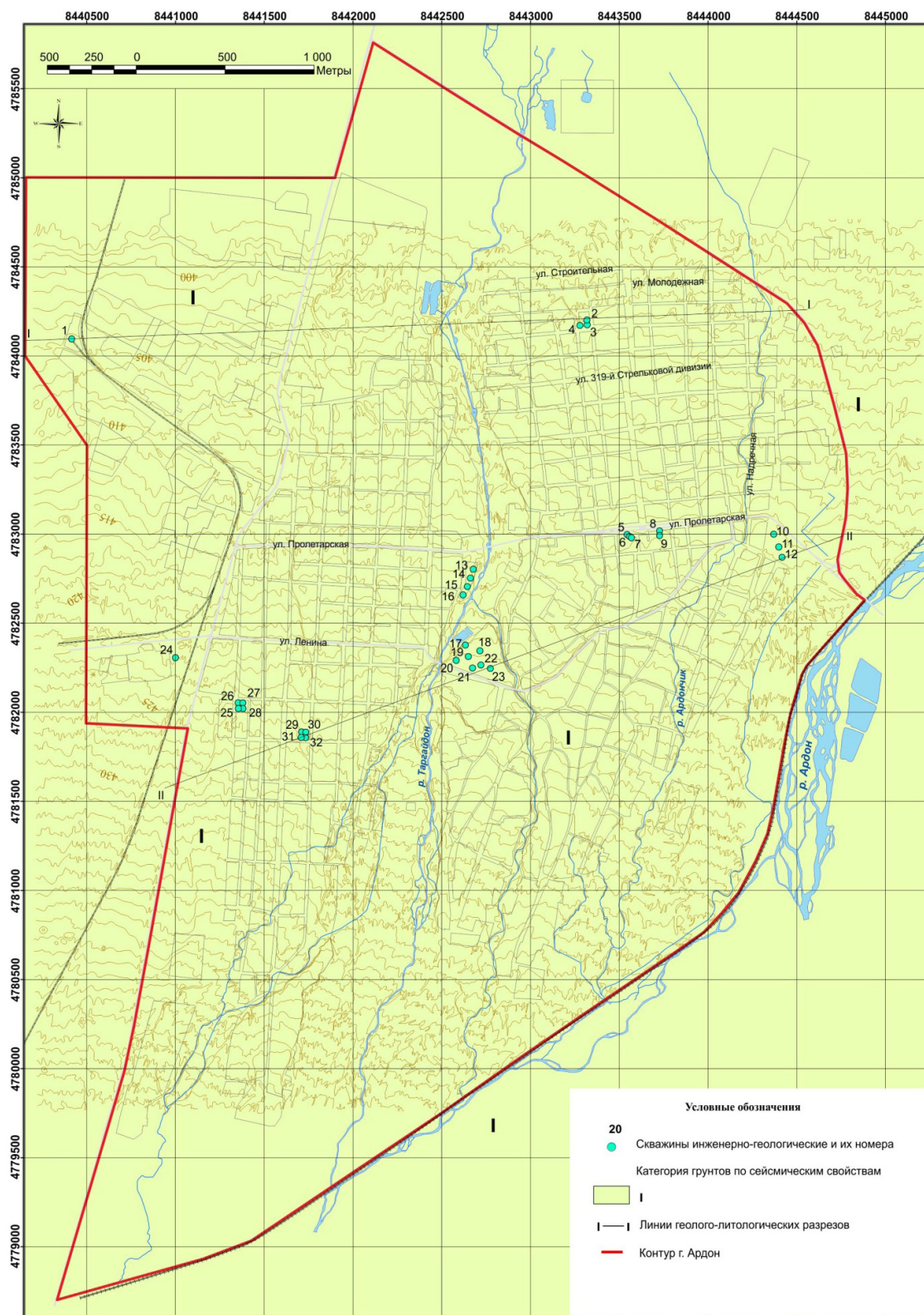


Рис. 3. Карта инженерно-геологического районирования г. Ардон

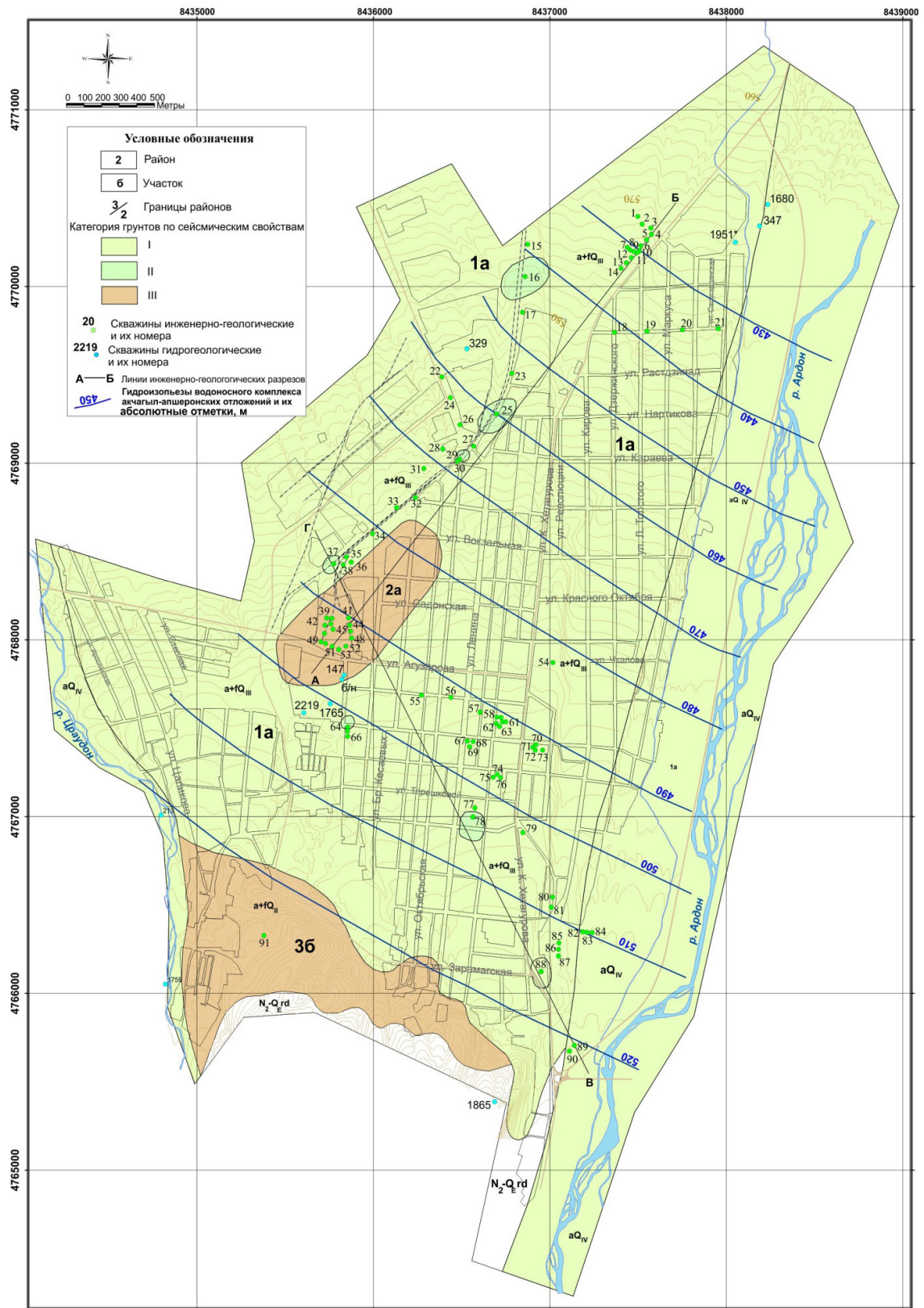


Рис. 4. Карта инженерно-геологического районирования г. Алагир

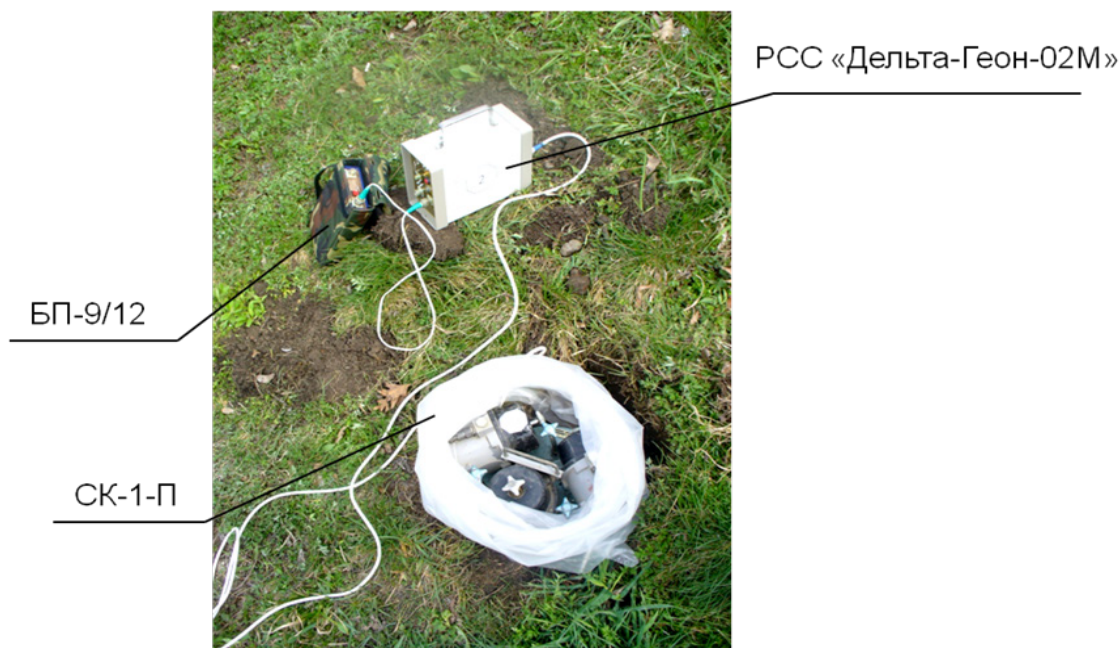


Рис. 5. Регистрация микросейсм (приборы).

Синхронизация времени РСС осуществлялась с помощью блока управления и синхронизации (БУС), имеющего встроенный модуль GPS. Временные поправки за период регистрации не превышали 1-2 мс. Использовался запуск безусловной записи.

Параметры записи были определены в соответствии с [Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio..., 2004]. При выборе продолжительности записи предложено чтобы было, по крайней мере, 10 циклов колебаний для минимальной регистрируемой частоты:  $f_0 > 10/I_w$ . Рекомендуется, чтобы полное число циклов  $n_c = I_w * n_w * f_0$  было больше 200.

Учитывая, что сейсмоприемник СК-1-П работает с частоты 0,8 Гц, можно рассчитывать фиксировать пики на частоте 1 Гц и выше, поэтому продолжительность записи должна составлять не менее 10 минут. В ряде случаев продолжительность была увеличена в связи с большим количеством помех вызванных движением транспорта. Частота дискретизации была установлена равной 125 Гц.

Примеры полученных спектральных H/V отношений приведены на рис. 6. X-компонента обозначена сплошной линией, Y-компонента – пунктиром.

По результатам моделирования и последующего расчета с помощью сильных землетрясений были также построены кривые усиления колебаний верхней толщей разреза по отношению к подстилающей толще плотных галечников (для верхней части разреза). Выделенные преобладающие частоты колебаний сравнивались с результатами выделения преобладающих частот колебаний по записям микросейсм на исследуемых участках с использованием методики спектральных H/V-отношений.

Соотношение между инструментальными и расчетными значениями резонансных частот приведено на рис. 7а. В общем, наблюдается соответствие значений частот, соотношение можно интерполировать соотношением:

$$f_{расч} = 0,89 f_{инстр}$$

с величиной  $R^2=0,60$

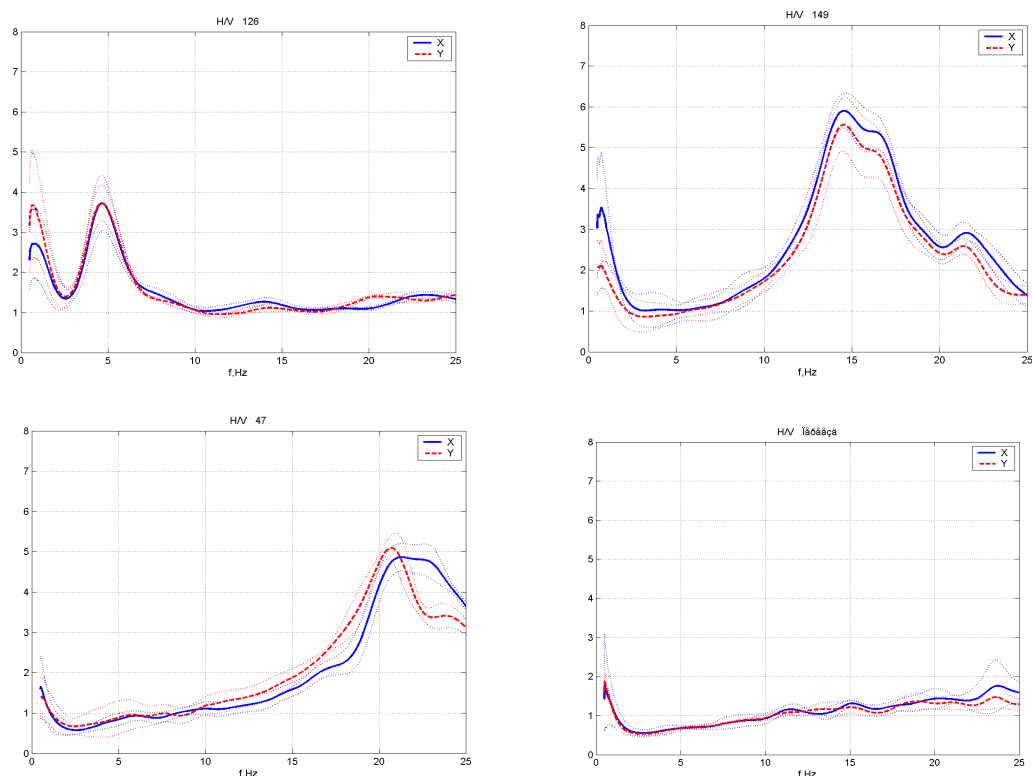


Рис. 6. Типичные формы спектральных  $H/V$  отношений на участках с различными инженерно-геологическими условиями.

Несмотря на некоторые наблюдаемые различия можно выделить достаточно общие закономерности. Для участков сложенных толщей глинистых грунтов текучей консистенции наблюдается максимальное усиление амплитуд колебаний и снижение частот в диапазоне 1,7-6 Гц. На участке, сложенном глинистыми грунтами полутвердой консистенции усиление колебаний, в целом, меньше в два раза и резонансные частоты составят 6-7 Гц. Для верхнего слоя галечников с заполнителем  $>30\%$  спектральные амплитуды несколько меньше, основной спектральный пик на частоте 10-12 Гц; для галечников с заполнителем  $< 30\%$  спектральный пик соответствует 19 Гц и выше.

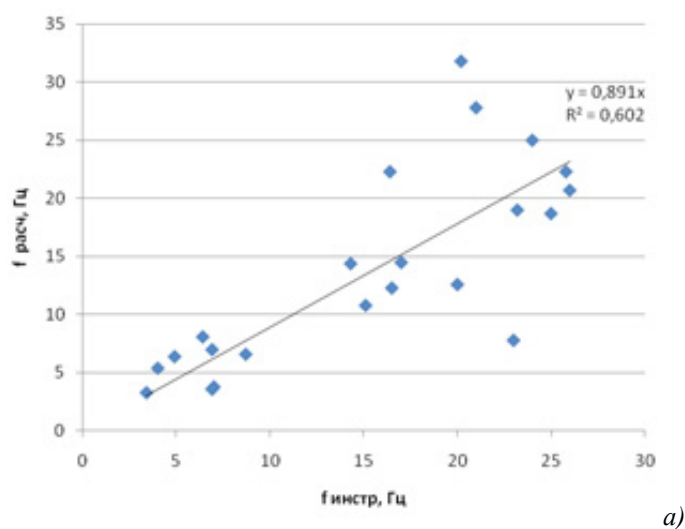
Значительное количество участков, расположенных в различных частях мира было исследовано группой европейских ученых в рамках проекта SESAME (Coordinator – Pierre-Yves Bard) [Guidelines for the implementation of the  $H/V$  spectral ratio..., 2004].

На рис. 7б показано соотношение между преобладающими частотами и амплитудами спектральных  $H/V$  отношений, полученных по записям микросейсм и соответствующие частоты и амплитуды спектральных отношений, полученных по записям землетрясений по отношению к эталонному участку. Хорошо видно соответствие преобладающих частот, выделенных с помощью спектральных  $H/V$  отношений и по записям землетрясений.

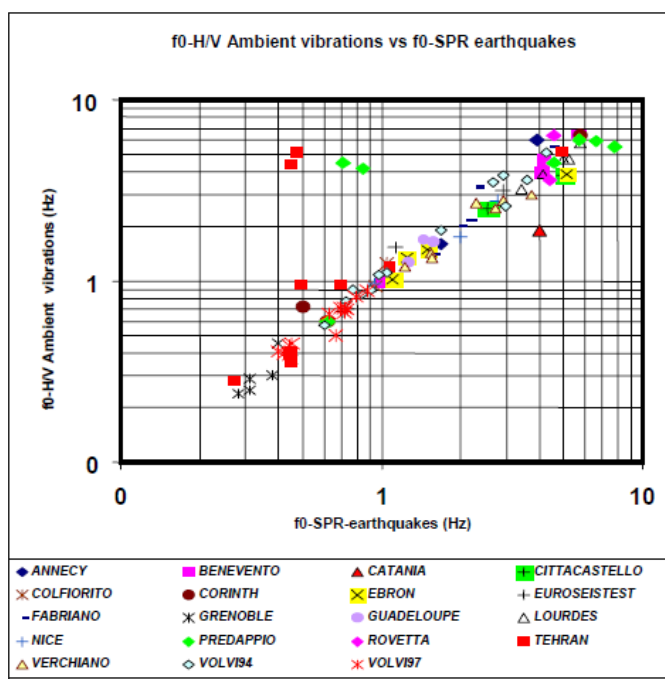
Соответствие спектральных характеристик участков, полученных различными методами, позволило вполне обоснованно использовать записи микросейсм для детализации результатов инструментального метода и уточнения границ карты инженерно-геологического районирования

Само понятие «средних грунтовых условий» содержит в себе статистический смысл, заключающийся в выборе наиболее распространенных или типичных грунтов на исследуемой территории, т.е. имеющих большую площадь распространения. Необходимо отметить, что рассматривается не только территория, на которой непосредственно проводятся работы, но и более обширная область. Поэтому, хотя исследуемая площадь и есть выборка из общей совокупности, отражающая общий характер распределения исследуемых параметров на более обширной территории, соответствие «большой площади распространения» будет выполняться не всегда.

При достаточно большом числе измерений и равномерности распределения точек наблюдения возникает возможность провести статистическую обработку данных по признаку преобладающих частот. Распределение можно предполагать близким к нормальному. На рис. 8 приведена гистограмма распределения преобладающих частот колебаний, на которой можно выделить несколько максимумов (обозначены стрелками).



a)



б)

Рис. 7. Соотношение между инструментальными и расчетными значениями резонансных частот

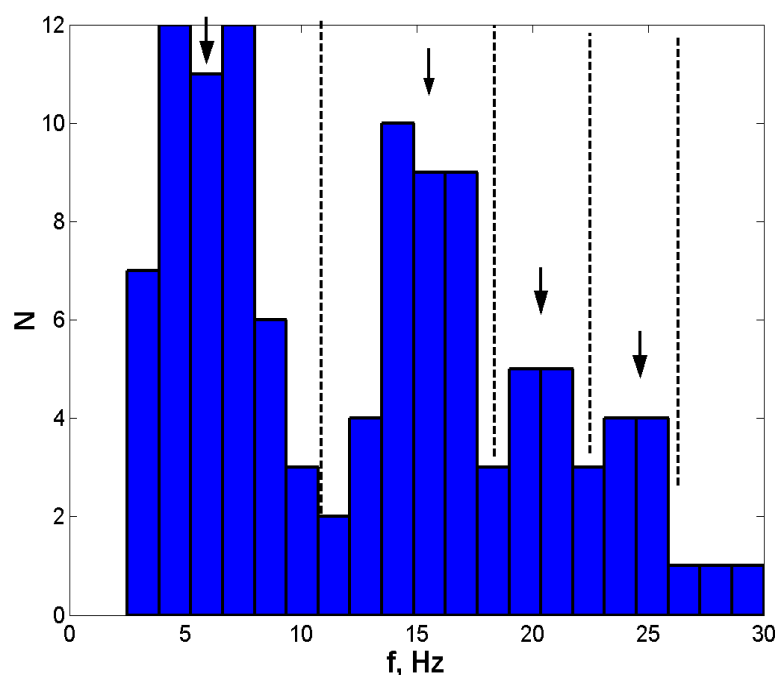


Рис. 8. Гистограмма распределения преобладающих частот колебаний

Будем считать эти значения средними (математическими ожиданиями) каждой категории, границы между которыми определим по минимумам гистограммы (обозначены пунктиром). Выбранные значения классификации частот приведены в таблице. Была произведена интерполяция полученных данных, по результатам которой также было выделено граничное значение 5,8 Гц, позволившее дифференцировать область распространения просадочных грунтов, расположенных в правобережной части города, на карте инженерно-геологического районирования обозначены штриховкой (рис. 9).

При достаточно большом числе измерений и равномерности распределения точек наблюдения возникает возможность провести статистическую обработку данных по признаку преобладающих частот. При этом распределение предполагается близким к нормальному. На основании полученных результатов выделяются участки, для которых требуется уточнение грунтовых условий сейсморазведочными методами.

Работы были проведены методом КМПВ. Основным источником возбуждения продольных волн при регистрации вертикальной составляющей служил падающий с высоты 3,5-4,0 м груз весом 400 кг, при регистрации горизонтальной составляющей многократно (до 10-ти) записывались колебания среды при возбуждении упругих поперечных волн горизонтальными ударами о стенку копуша кувалдой весом 8 кг или тампером. При надежных корреляциях первых вступлений головной волны, скорости в грунтах определяются по полевым сейсмограммам довольно уверенно. Основной объем обработки и интерпретации сейсмограмм осуществлён на базе компьютерных программ Radex Pro Plus версии 3.75. Для идентификации продольных и поперечных волн использовалось явление фазовой инверсии и другие признаки [Заалишвили, 2009].

По результатам этих работ были внесены изменения на картах инженерно-геологического районирования (рис. 6-9).

Таблица 1

**Дифференциация преобладающих частот колебаний**

Тип грунтовых условий (по результатам сопоставления с картой инженерно-геологического районирования)	Средние значения	граничные значения
глинистые грунты текучей консистенции	5,9 Гц	11,0 Гц
глинистые грунты п/тв. консистенции (непросадочные), галечники с песчано-глинистым заполнителем >30%	15,7 Гц	18,6 Гц
галечники с песчано-глинистым заполнителем <30%	20,2 Гц	22,8 Гц
валунно-галечники	24,4 Гц	

На территории города Владикавказ по многим участкам, как на правом, а также левом берегу грунты II категории были переведены в III категорию (рис.1., 6.).

На территории города Беслан изначально почти вся территория города представлялась грунтами I категории (рис. 2.), а после уточнения микросейсмическими методами исследований, в южной части города на правом берегу р. Терек была выделена полоса с грунтами II категории (рис. 2, 7).

На территории города Ардон, если вся территория города первоначально представлялась грунтами I категории (рис. 3), то после проведения наземных геофизических исследований (КМПВ) была выделена зона сложенная грунтами II категории (рис. 3, 8).

Основная территория города Алагир по данным обработки фондовых материалов была представлена, как грунты первой категории, однако после обработки новых данных геофизических исследований пойменные валунно-галечниковые отложения рек Ардон и Црау остались в I, а остальная территория города перешла во II категорию (рис.4, 9).

Таким образом, в результате проведения исследований современными геофизическими методами были уточнены результаты прошлых изысканий и созданы надежные карты инженерно-геологического районирования гг. Владикавказ, Беслан, Алагир, Ардон. Указанные карты включают характеристики геологического строения, гидрогеологических и геоморфологических (поверхностный и подземный рельефы) условий, литологии, тектоники, распространения различных типов грунтов на рассматриваемой территории; выделены участки, характеризующие различную глубину залегания галечников или мощности глинистого и суглинистого перекрывающего поверхностного покрова на галечниках, и, наконец, количества заполнителя в галечниках, являющегося основным параметром, определяющим категорию сейсмичности для крупнообломочных грунтов по СНиП-II-7-81\* [Строительные Нормы..., 2000].

Необходимо отметить, что в отдельных случаях совершенно неожиданно для исследователей в условиях скудости материалов прошлых изысканий были выделены зоны с резко отличающимися физико-механическими свойствами. При этом появилась возможность при наличии одной или двух опорных выработок (скважин)

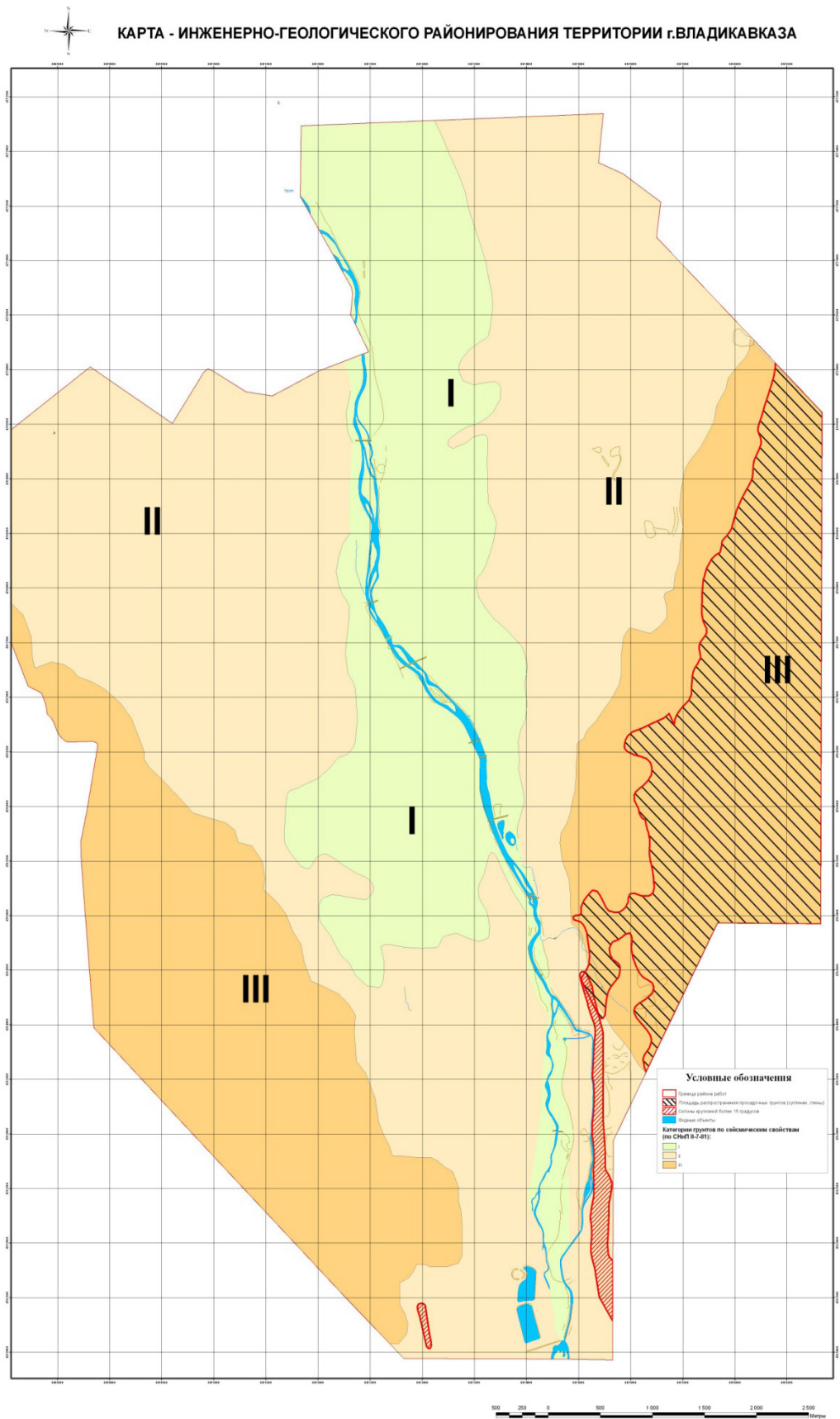


Рис. 6. Уточненная карта инженерно-геологического районирования территории г. Владикавказ



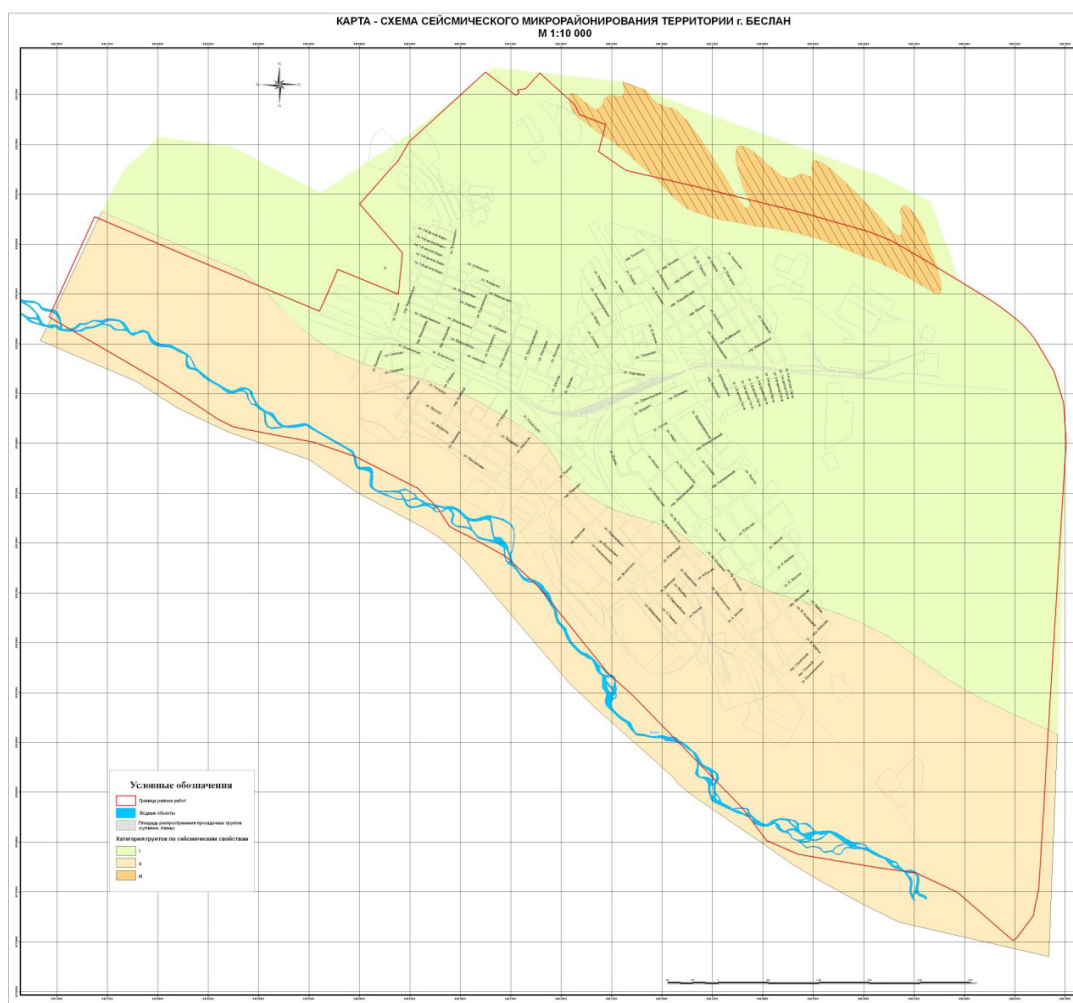


Рис. 7. Уточненная карта инженерно-геологического районирования территории г. Беслан

детально и вполне надежно дифференцировать грунтовые условия исследуемой территории.

Это позволило значительно поднять ожидаемую точность и достоверность результирующих данных. При этом возможности геофизических методов, характеризующихся площадью и объемом получаемых данных, изменяют саму последовательность этапов осмысления и распознавания подземного мира грунтовой толщи, уровень повторяемости или воспроизводство полевых работ.

## Выводы

Разработана методика уточнения карт инженерно геологического районирования, заключающаяся в проведении инструментальных исследований в два этапа.

На первом этапе проводится исследование территории с помощью микросейсм, строится карта преобладающих частот колебаний, выполняется выделение различных грунтовых комплексов по признаку преобладающих частот и производится сопоставление полученных данных с уточняемой картой инженерно-геологического районирования.

На втором этапе выделяются районы, границы которых не совпадают с данными карты инженерно-геологического районирования и производится уточнение

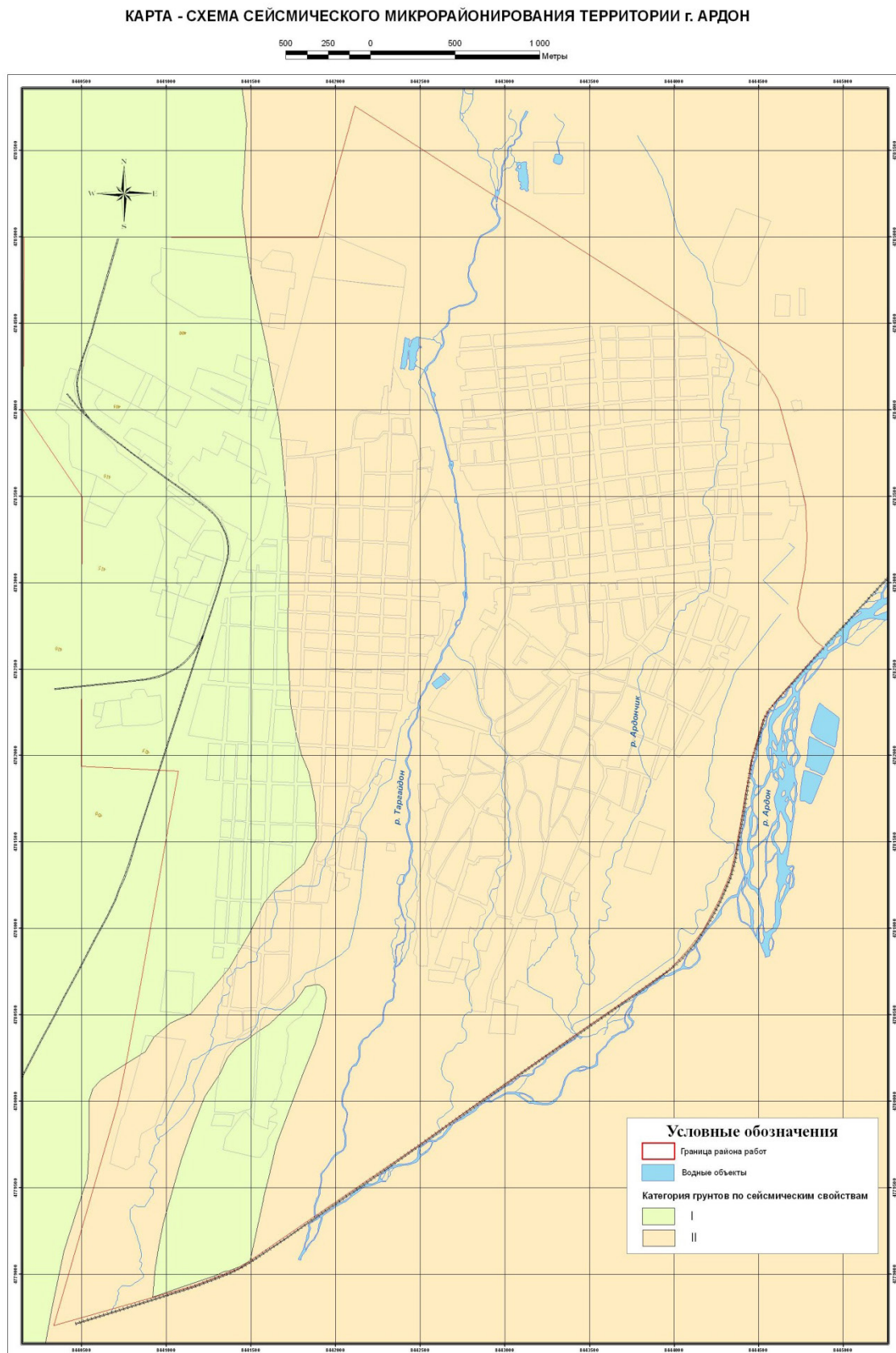


Рис. 8. Уточненная карта инженерно-геологического районирования территории г. Ардон

КАРТА - СХЕМА СЕЙСМИЧЕСКОГО МИКРОРАЙОНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ г. АЛАГИР

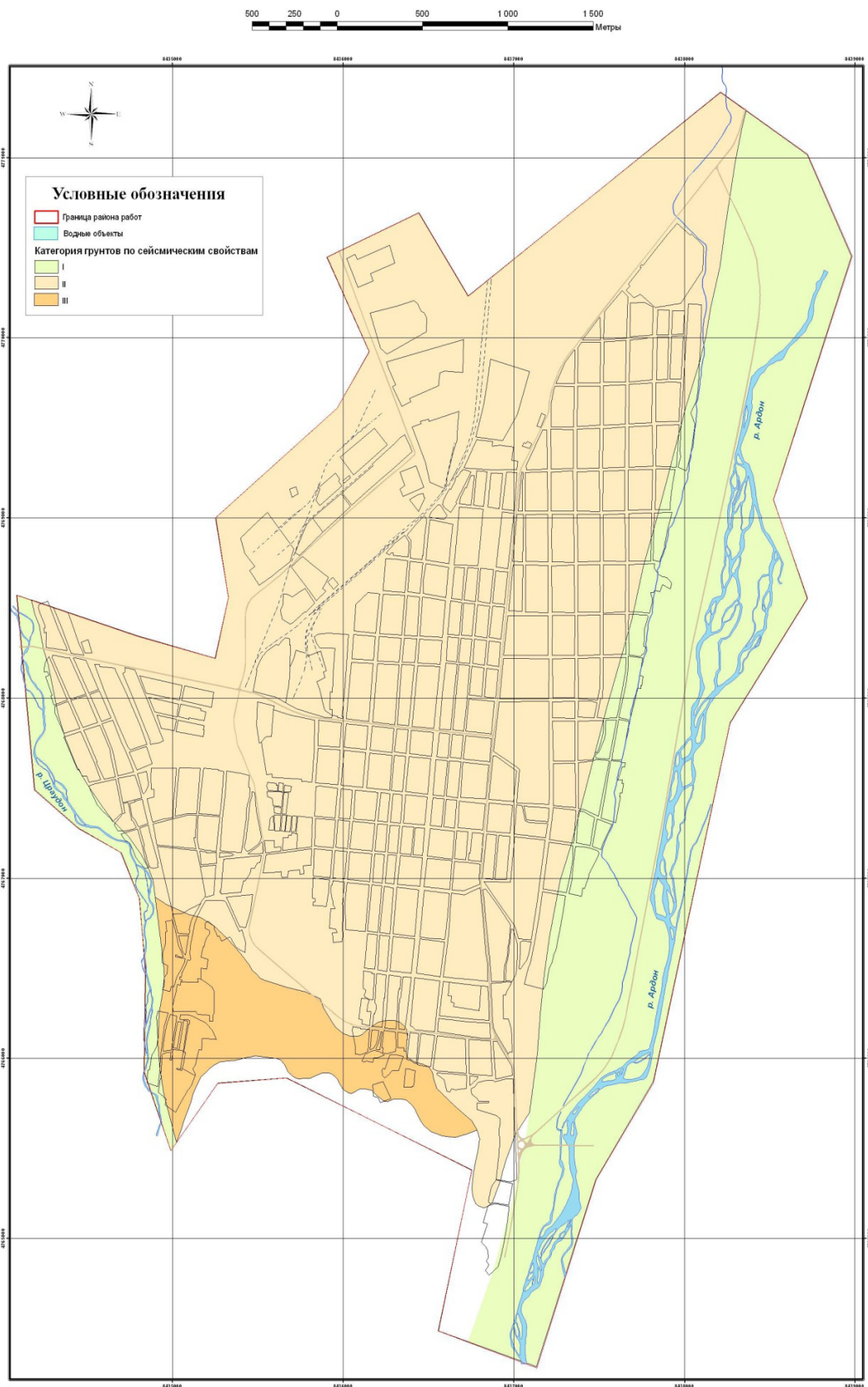


Рис. 9. Уточненная карта инженерно-геологического районирования территории г. Алагир

грунтовых условий на данных и опорных участках, на которых грунтовые условия подтверждаются с данными о геологическом строении.

Предложенный способ позволяет более обоснованно и эффективно проводить трудозатратные полевые изыскания, путем более точного их планирования на основе данных предварительно проведенного микросейсмического исследования обширной территории, характеризующегося высокой оперативностью и малой себестоимостью проведения работ.

### Литература

1. Заалишвили В.Б. Сейсмическое микрорайонирование территорий городов, населенных пунктов и больших строительных площадок. М.: Наука, 2009. – 350 с.
2. Строительные Нормы и Правила СНиП II-7-81\*. Строительство в сейсмических районах. 2000.
3. Duval A.M., Bard P.Y., Meneroud J.P., Vidal S. Proc.10-th European Conf. on Earthquake Eng. Vienna (abstract). 1994. Vol. 2.
4. Duval A.M., Mèneroud J.P., Vidal S., Singer A. Relation between Curves obtained from microtremor and site effects observed after Caracas 1967 earthquake // 11th European Conf. on Earthquake eng. Balkema. Rotterdam, 1998.
5. Nakamura Y, A Method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. QR of RTRI, Volume 30, No. 1, 1989.

## SPECIFICATION OF ENGINEERING-GEOLOGICAL CONDITIONS OF THE TERRITORY WITH THE HELP OF MICROSEISMS (BY THE EXAMPLE OF SETTLEMENTS OF THE REPUBLIC NORTH OSSETIA-ALANIA)

© 2015 V.B. Zaalishvili, Sc.Doctor (Phys.-Math.), prof., A.K. Dzhgamadze, D.A. Melkov, Sc.Candidate (Tech.), B.V. Dzeranov, Sc.Candidate (Geol.-Min.), A.F. Gabaraev, I.L. Gabeeva, B.A. Dzeboev, A.S. Kanukov, V.D. Shepelev.

Geophysical institute of VSC RAS, Russia, 362002, Vladikavkaz, Markov street, 93a

The maps of engineering-geological zonation are the basis for realization of seismic microzonation works (SMZ). The results of engineering investigations allow composing maps of engineering-geological zonation. As a rule, purposeful detail investigations for SMZ of routine urbanized territories are not carried out in recent years because of the absence of necessary financing. For the most part the results of the previous investigations for different kinds of designed buildings and constructions which are spread out in time are used for the problem solving. Microseisms recording technique which allows differentiating areas with different soil conditions quite reliably is offered for usage in the paper. Sections can be detailed with the help of seismic exploration methods if required.

The maps of engineering-geological zonation of the cities Vladikavkaz, Beslan, Ardon and Alagir were detailed in a similar way as a result of investigations on the basis of modern geophysical methods.

**Key words:** engineering-geological zonation, classes of soils, seismic wave velocities, microseisms.

УДК 550.83

## АНАЛИТИЧЕСКОЕ ПРОДОЛЖЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ПОЛЕЙ НА ОСНОВЕ F-АППРОКСИМАЦИИ

© 2015 И.А. Керимов, д.ф.-м.н., проф.

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

В статье рассмотрен метод аналитического продолжения потенциальных полей на основе F-аппроксимации. Разработанный автором метод позволяет выполнять аналитическое продолжение поля в верхнее и нижнее полупространство. Компьютерные технологии позволяют выполнять трансформации для данных заданных как для регулярной, так и для нерегулярной сети. Метод апробирован на модельных и фактических гравиметрических данных.

**Ключевые слова:** аппроксимация, аналитическое продолжение, 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; Страхов, 1999; Страхов и др., 2000].

Наблюдаемые гравитационные аномалии Буге являются суммарными аномалиями, представляющими совокупность аномалий, обусловленных структурно-тектоническими особенностями осадочного чехла земной коры, строением кристаллического фундамента, глубинным строением Земли и верхней мантии и другими геологическими факторами.

Любая трансформация гравитационных аномалий выполняется на основе априорных предпосылок (диапазон глубин, в котором заключены источники аномалий, либо минимальные и максимальные значения градиента поля и др.). При трансформациях полагают, что порядок интенсивности и размеры аномалий силы тяжести соответствуют порядку геологических структур. Для более полного разделения гравитационных аномалий от различных геологических объектов привлекают дополнительную геологическую информацию.

При разделении аномальных полей используют трансформации, основанные:

а) на уменьшении амплитуды аномалий части источников (пересчет в верхнее пространство);

б) на усилении амплитуды аномалий части источников (аналитическое продолжение в нижнее полупространство и др.);

в) на локализации аномалий от отдельных тел (аналитическое продолжение в нижнее полупространство, пересчет в высшие производные потенциала).

К числу важнейших трансформаций гравитационных полей и наиболее широко употребляющимся относятся аналитическое продолжение в верхнее и нижнее полупространство, а также вычисление горизонтальных и вертикальных производных.

Трансформации наблюдаемого поля необходимы с целью решения трех задач – обнаружение объекта поиска, т. е. обнаружение аномалии этого объекта, затем локализация объекта в измеренном поле и, наконец, его детальное описание.

Разработка методов трансформации потенциальных полей имеет значительную историю, начиная с конца 20-х годов прошлого века [Гравиразведка, 1990; Страхов, 1999; Страхов и др., 2000]. Пятидесятые и шестидесятые годы прошлого века характерны тем, что в мире начаты планомерные гравиметрические и магнитометрические съемки на огромных территориях. Полученный огромный объем измерений элементов гравитационного и магнитного полей надо было не только обработать и представить в числовом и графическом виде, но также преобразовать с целью фильтрации наблюдений, пересчитать одни элементы поля в другие и т. д.

В этот период были разработаны палеточные методы для вычисления сглаженного поля, пересчета его на высоту и вычисления вертикального градиента (Б. А. Андреев, 1947; К. Е. Веселов, 1958; М. У. Сагитов, 1960; Ступак, Г. Я. Голиздра, 1963; К. Ф. Тяпкин, Г. Я. Голиздра, 1963) и первые компьютерные методы трансформации по значениям элементов поля в узлах квадратной или прямоугольной сетки.

В 60-е годы в отечественной литературе появились исследования о построении наилучших вычислительных схем для трансформации потенциальных полей, заданных на квадратной или прямоугольной сети (В. Н. Страхов 1963, 1966). О. К. Литвиненко с сотрудниками (1967) начала компьютерную реализацию трансформаций трехмерных полей. Характерной особенностью исследований отечественных геофизиков в области трансформаций было то, что с самого начала значительное внимание уделено преобразованию масс в связи с трансформацией полей. Начало положено работой А. Н. Тихонова и Ю. Д. Буланже (1945), а затем продолжено в ряде других исследований (К. Ф. Тяпкин, Г. Я. Голиздра, 1963 и др.).

Отметим также, что отличительная особенность направления исследований отечественных геофизиков в области трансформаций состояла в том, что большое внимание уделялось проблеме аналитического продолжения потенциальных полей. Сначала изучено аналитически, а затем реализовано численно продолжение полей в верхнее полупространство (Андреев, 1947; Литвиненко и др., 1967; Страхов, 1963, 1966). Были начаты серьезные исследования по проблеме продолжения поля в нижнее полупространство, в сторону возмущающих масс (Андреев, 1947; Воскобойников, Начапкин, 1969; Голиздра, 1963, 1966; Литвиненко и др., 1970; Малкин, 1930; Маловичко, 1956; Цирульский, 1963). Изучено также распределение особых точек продолженного поля внутри масс и изучены методы их локализации (Андреев, 1947; Воскобойников, Начапкин, 1969; Голиздра, 1963, 1966; Литвиненко и др., 1970; Трошков, 1978; Трошков, Грознова, 1980 и др.). Задача продолжения полей в нижнее полупространство некорректная и ее реализация потребовала больших усилий со стороны отечественных исследователей (Мудрецова, 1982; Страхов, 1963; Тихонов и др., 1968; Трошков, 1978; Трошков, Грознова, 1980 и др.). Серьезные исследования по проблеме продолжения полей выполнены и зарубежными исследователями (Baranov, 1975; Bullard, Cooper, 1948; Henderson, 1960; Huestis, Parker, 1979 и др.).

Частным случаем продолжения является проблема приведения измерений потенциальных полей к единому уровню. Самые разные аналитические подходы использованы отечественными и зарубежными исследователями для решения этой задачи (Алексидзе, Санадзе, 1968; Аронов, 1976; Бережная, Телепин, 1976; Страхов, 1966, 1992; Ступак, Голиздра, 1963; Цирульский, 1968 и др.). Задача получила исчерпывающее решение и для ее реализации составлены многочисленные компьютерные программы.

Большой проблемой в трансформации полей явилось то, что долгие годы отсутствовал единый математический подход, пригодный для устойчивого и точного нахождения трансформаций. В настоящее время такой подход найден ([Страхов, 1992]; Dampney, 1969; Emilia, 1973 и др.). Он заключается в том, что наблюдаемое поле сначала достаточно точно аппроксимируется совокупностью полей элементарных моделей – материальная точка, линия, пластинка и т. д. Если такая аппроксимация истокообразными функциями выполнена, то трансформации находятся затем решением прямой задачи для найденных элементарных моделей ([Страхов, 1992]; Dampney, 1969; Emilia, 1973). Указанный выше подход в численном нахождении трансформаций потенциальных полей является универсальным. При хорошо развитом алгоритме аппроксимации таким путем можно реализовать не только корректные, но и некорректные трансформации, например, нахождение производных. За рубежом методы трансформации продолжают активно развиваться (Wybraniec, 1999; Wybraniec et al., 1998).

Следует отметить, что большинство процедур трансформаций (аналитическое продолжение в сторону возмущающих масс, пересчет в высшие производные потенциала), обладающих наибольшей разрешающей способностью, являются неустойчивыми.

В настоящее время существует большое количество методов трансформации потенциальных полей, достаточно широко опубликованных в геофизической литературе. Недостатком большинства существующих методов является их неадекватность реальной геофизической практике (не учет нерегулярности и разновысотности гравиметрических сетей и другие идеализации).

Недостатки существующих методов были устранены при использовании аппроксимационного подхода к спектральному анализу, основанном на методе линейных интегральных представлений В.Н. Страхова [Керимов, 2003, 2011а; Страхов, 1999; Страхов, Керимов, 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, 2003, 2009а, б, 2011а, б; Страхов и др., 2009]. 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, 2009а, б, 2011а; Страхов и др., 2009]. Метод F-аппроксимации позволяет также принципиально по-новому решать ряд вопросов трансформаций потенциальных полей.

В данной статье рассмотрены алгоритмы и компьютерные технологии нахождения линейных трансформаций потенциальных полей, а именно нахождение 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, 2003, 2009а, б, 2011а, б; Страхов и др., 2009] было получено выражение для первой вертикальной производной гравитационного потенциала:

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

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  $h$  ( $h < H$ ):

$$V_z(\xi_{1,l}, \xi_{2,l}, h) = \frac{3}{2\pi} \sum_{k=1}^N \lambda_k \frac{(2(z_{k,l} + h)^2 - 3\rho_{k,l}^2) \cdot (z + h)}{(z_{k,l} + h)^2 + \rho_{k,l}^2)^{3.5}} \quad (4)$$

$$V_{zz}(\xi_{1,l}, \xi_{2,l}, h) = \frac{15}{\pi} \sum_{k=1}^N \lambda_k \frac{8(z_{k,l} + h)^4 - 24\rho_{k,l}^2(z_{k,l} + h)^2 + 3\rho_{k,l}^4}{((z_{k,l} + h)^2 + \rho_{k,l}^2)^{4.5}} \quad (5)$$

$$V_{xz}(\xi_{1,l}, \xi_{2,l}, h) = \frac{15}{\pi} \sum_{k=1}^N \lambda_k \frac{(x_{1,k} - \xi_{1,l})(3\rho_{k,l}^2 - 4(z_{k,l} + h)^3)}{((z_{k,l} + h)^2 + \rho_{k,l}^2)^{4.5}}, \quad (6)$$

$$V_{yz}(\xi_{1,l}, \xi_{2,l}, h) = \frac{15}{\pi} \sum_{k=1}^N \lambda_k \frac{(x_{2,k} - \xi_{2,l})(3\rho_{k,l}^2 - 4(z_{k,l} + h)^3)}{(z_{k,l}^2 + \rho_{k,l}^2)^{4.5}}, \quad (7)$$

$$V_{sz}(\xi_{1,l}, \xi_{2,l}, h) = \frac{15}{\pi} \sum_{k=1}^N \lambda_k \frac{(3\rho_{k,l}^2 - 4(z_{k,l} + h)^3)p_{k,l}}{(z_{k,l}^2 + \rho_{k,l}^2)^{4.5}}, \quad (8)$$

$$V_{zzz}(\xi_{1,l}, \xi_{2,l}, h) = \frac{75}{\pi} \sum_{k=1}^N \lambda_k \frac{z_{k,l}(8(z_{k,l} + h)^4 - 40\rho_{k,l}^2(z_{k,l} + h)^2 + 15\rho_{k,l}^4)}{((z_{k,l} + h)^2 + \rho_{k,l}^2)^{5.5}}. \quad (9)$$

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; Страхов и др., 2009]. Результаты расчетов приведены в таблицах № 1-3.



Для оценки относительной точности аппроксимации использовалась следующая мера:

$$\gamma_k = \frac{\|f_{уст} - f_{выч}^{(k)}\|_E}{\|f_{уст}\|_E}, \quad (10)$$

где

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

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

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

$$\sigma_k = \frac{\|f_{выч}^{(k)} - f_{уст}\|_E}{\sqrt{N}} \quad (11)$$

Таблица 1

Модельный пример № 1

Уровень пересчета	Кконтр=6000		Кконтр=4628	
	$\gamma$	$\sigma$ , мГал	$\gamma$	$\sigma$ , мГал
2.5	0.09517	0.600	0.03176	0.198
2.0	0.07295	0.470	0.02227	0.142
1.5	0.04752	0.314	0.01309	0.086
1.0	0.01859	0.126	0.00485	0.033
0.5	0.02013	0.140	0.00618	0.043
0.0	0.06302	0.450	0.01439	0.102
-0.5	0.11960	0.880	0.02369	0.173
-1.0	0.19891	1.508	0.03642	0.274
-1.5	0.32234	2.525	0.06055	0.472
-2.0	0.53859	4.370	0.11583	0.935
-2.5	0.95865	8.085	0.24673	2.072

На рис. 1-10 приведены карты аналитического продолжения аномального гравитационного поля на различные уровни и соответствующие карты разностных полей. Результаты аналитического продолжения гравитационного поля для Сереговской площади приведены на рис. 11.

Таблица 2

## Модельный пример № 2

Уровень пересчета	Кконтр=6000		Кконтр=4628	
	$\gamma$	$\sigma$ , мГал	$\gamma$	$\sigma$ , мГал
2.5	0.08977	0.566	0.02977	0.185
2.0	0.06808	0.439	0.02048	0.131
1.5	0.04354	0.288	0.01147	0.075
1.0	0.01590	0.108	0.00312	0.021
0.5	0.01863	0.130	0.00596	0.041
0.0	0.05706	0.408	0.01375	0.097
-0.5	0.10536	0.775	0.02158	0.158
-1.0	0.17131	1.299	0.03121	0.235
-1.5	0.27711	2.170	0.05010	0.390
-2.0	0.48298	3.918	0.09949	0.803
-2.5	0.94158	7.941	0.22762	1.912

Таблица 3

## Модельный пример № 3

Уровень пересчета	Кконтр=6000		Кконтр=4724	
	$\gamma$	$\sigma$ , мГал	$\gamma$	$\sigma$ , мГал
4.0	0.15207	0.580	0.09161	0.346
3.5	0.13719	0.547	0.07844	0.311
3.0	0.12109	0.506	0.06514	0.270
2.5	0.10346	0.453	0.05178	0.226
2.0	0.08387	0.386	0.03851	0.176
1.5	0.06182	0.299	0.02552	0.123
1.0	0.03664	0.187	0.01309	0.067
0.5	0.00802	0.043	0.00212	0.011
0.0	0.02737	0.157	0.00977	0.056
-0.5	0.07035	0.429	0.02182	0.133
-1.0	0.14445	0.944	0.05092	0.333

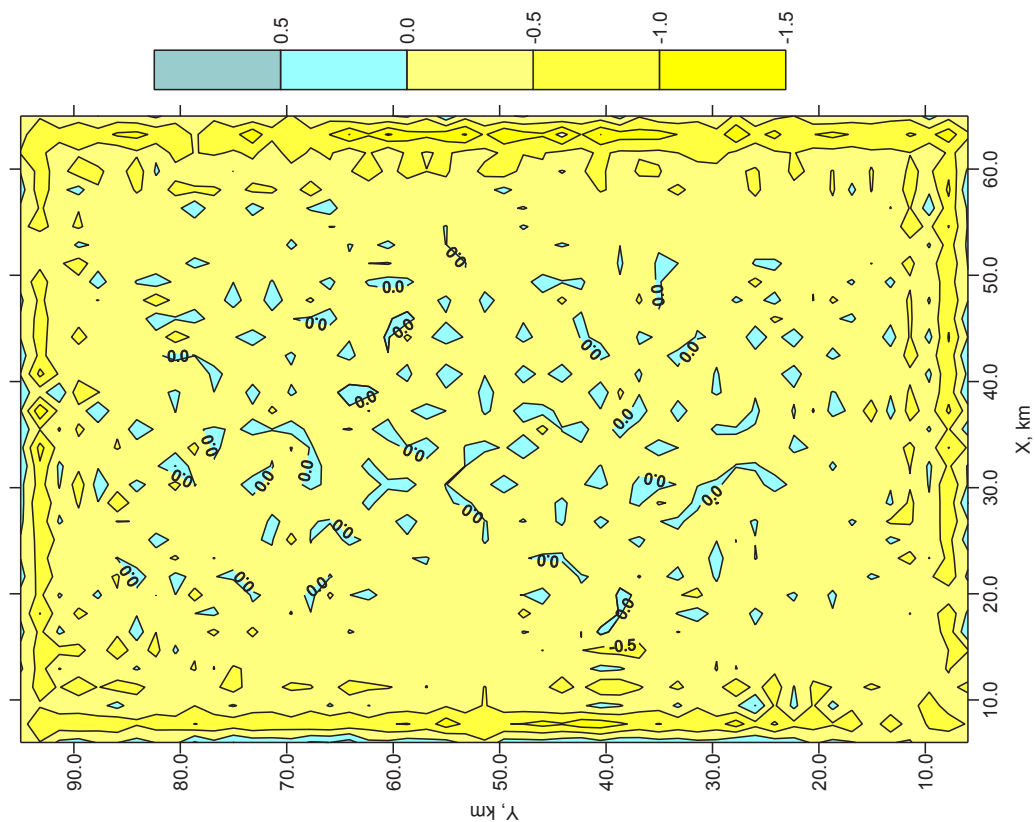


Рис. 2. Модельный участок №1  
Карта разностных аномалий  $Wz$  ( $H = -1,5$  km)

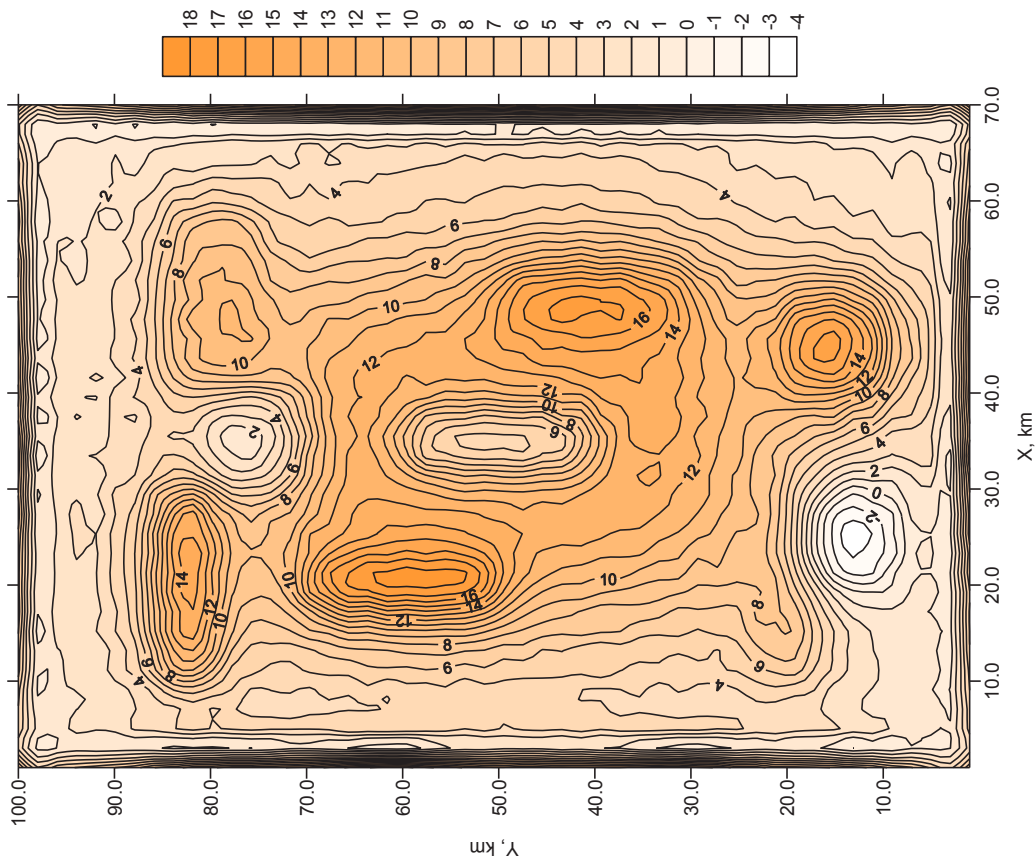


Рис. 1. Модельный участок №1  
Карта  $Wz$  ( $H = -1,5$  km ) по результатам Г-аппроксимации

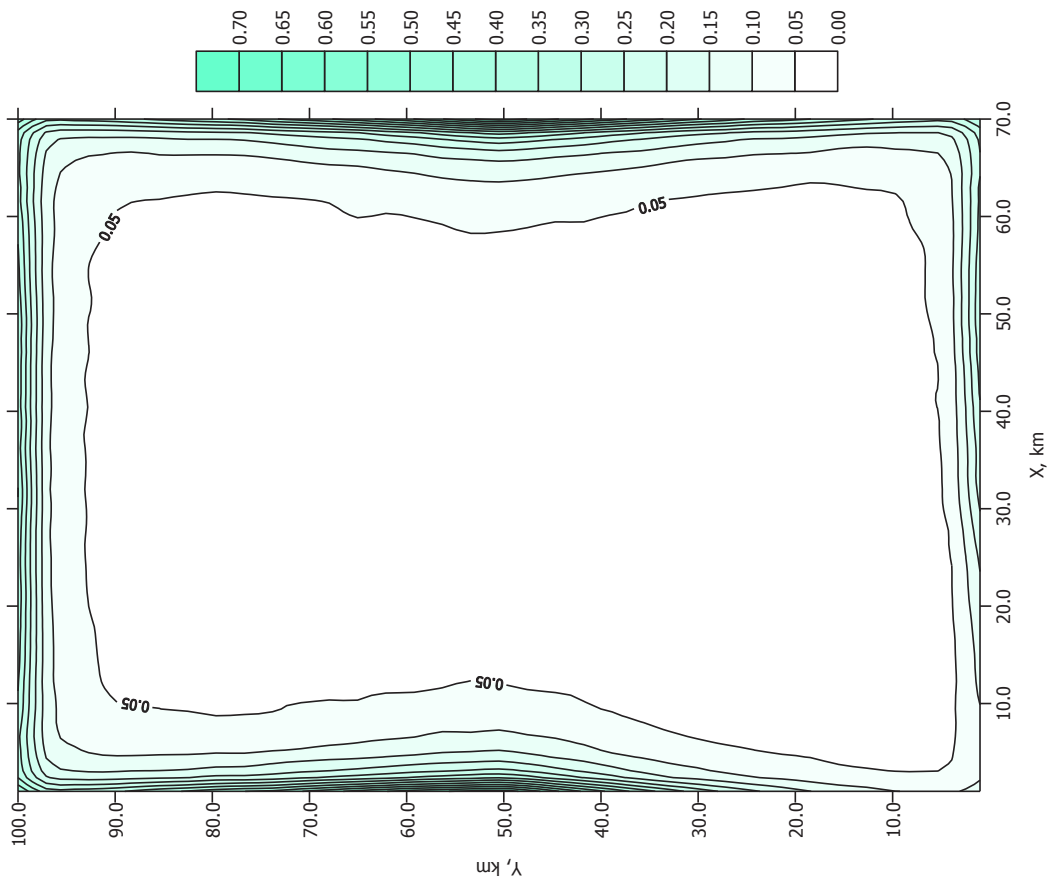


Рис. 4. Модельный участок №2  
Карта разностных аномалий  $Wz$  ( $H = +1,5$  km)

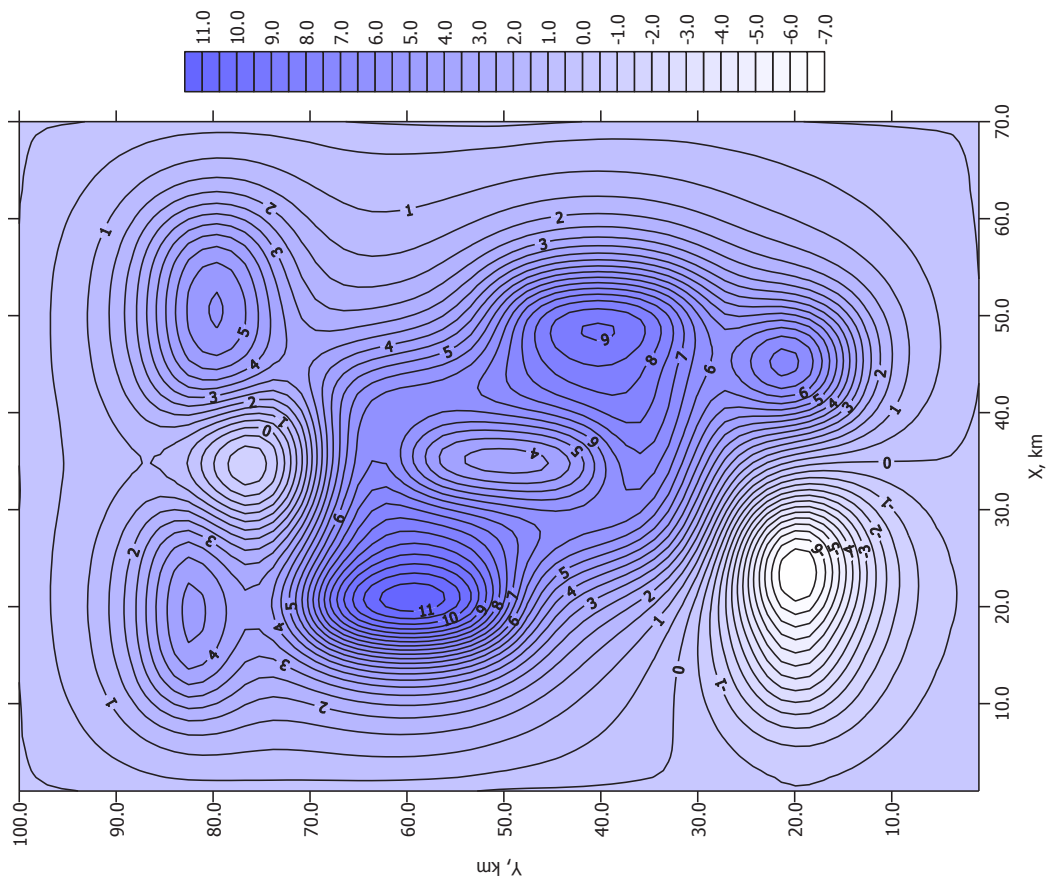


Рис. 3. Модельный участок №2  
Карта  $Wz$  ( $H = +1,5$  km ) по результатам F-аппроксимации

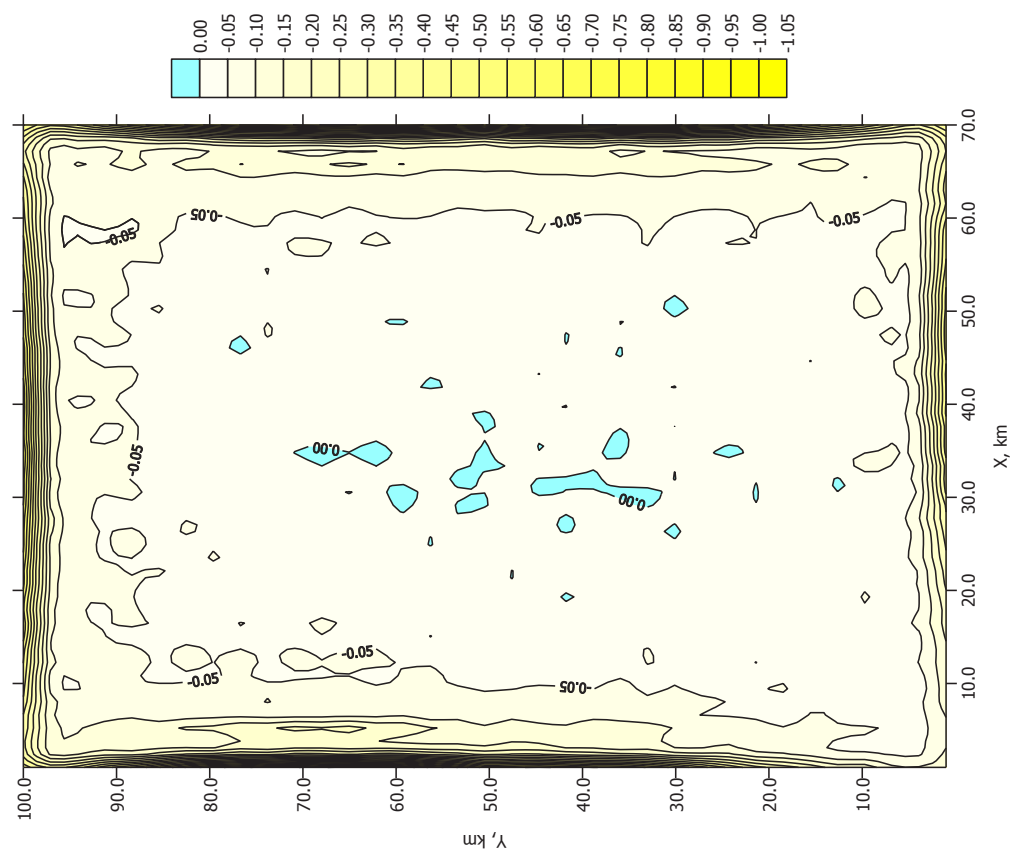


Рис. 6. Модельный участок №2  
Карта разностных аномалий  $W_z$  ( $H=0$  km)

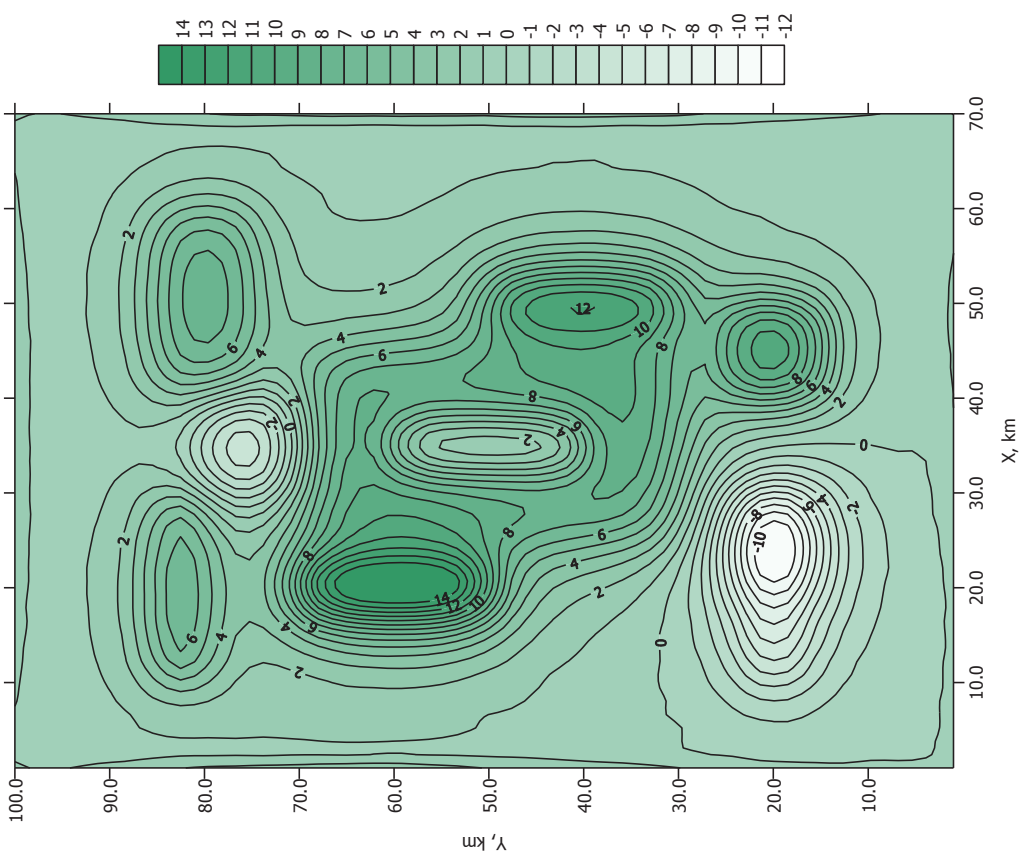


Рис. 5. Модельный участок № 2  
Карта  $W_z$  ( $H=0$  km ) по результатам F-аппроксимации

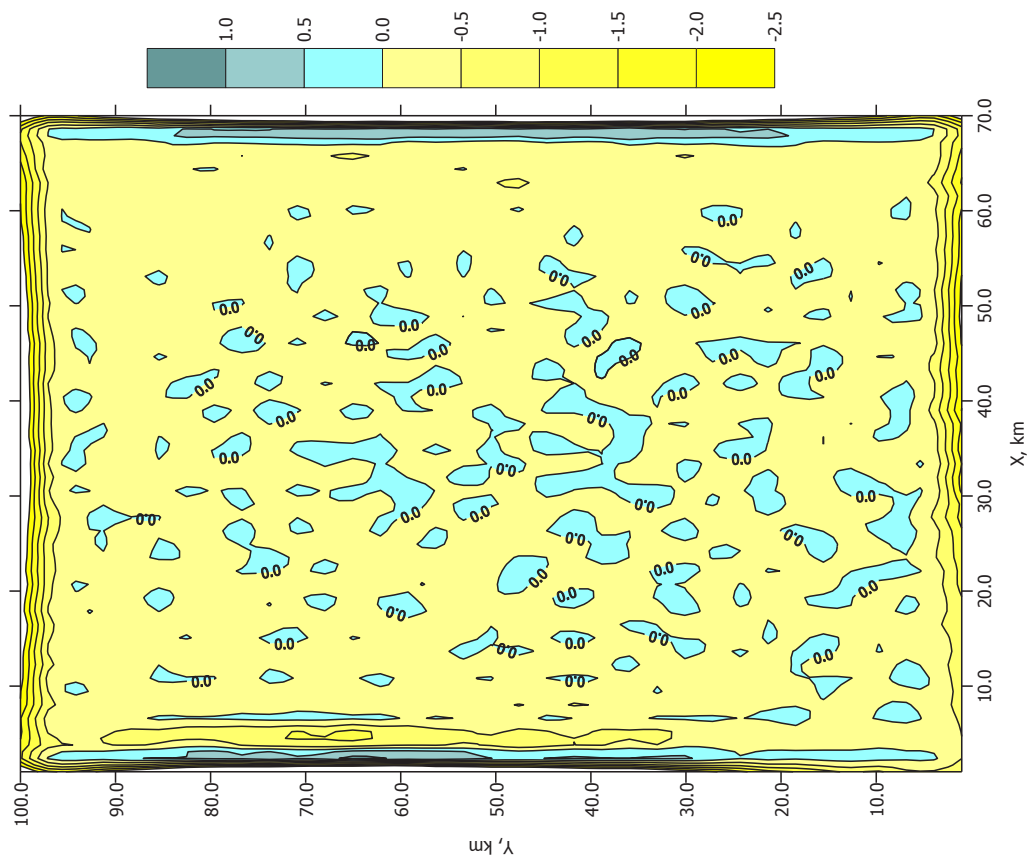


Рис. 8. Модельный участок №2  
Карта разностных аномалий  $Wz$  ( $H = -1,5$  km)

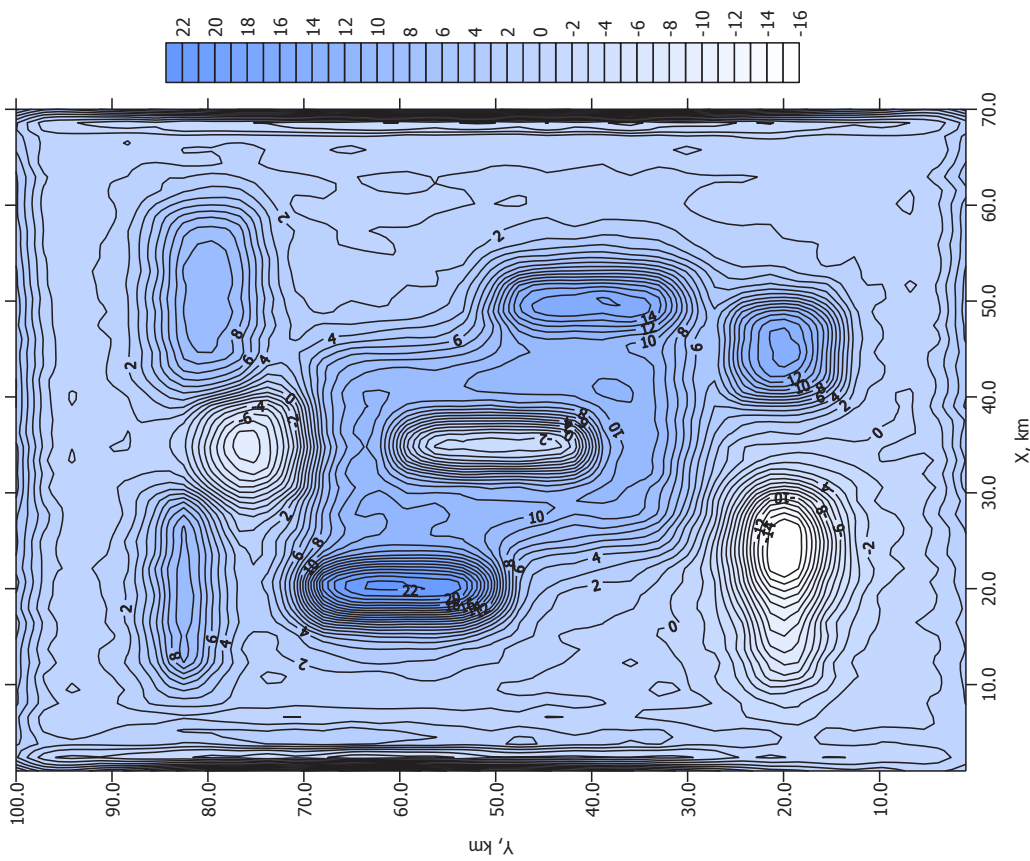


Рис. 7. Модельный участок №2  
Карта  $Wz$  ( $H = -1,5$  km ) по результатам F-аппроксимации

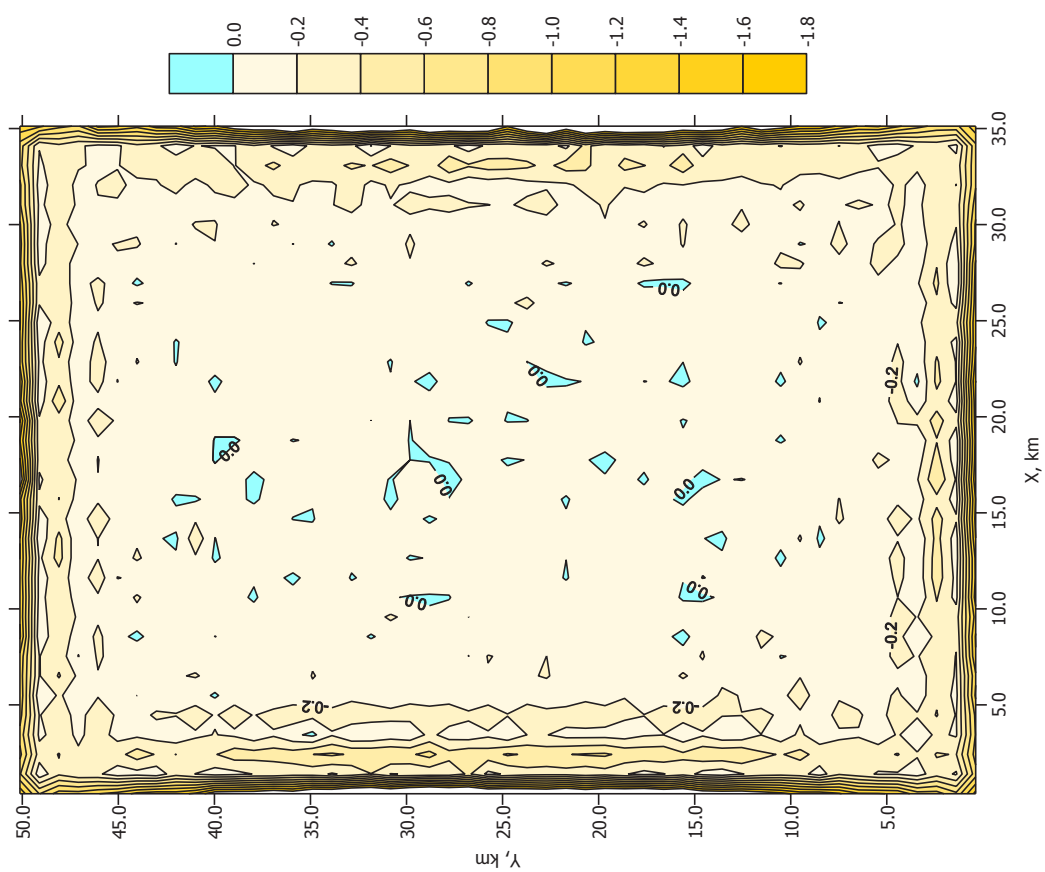


Рис. 10. Модельный участок №3  
Карта разностных аномалий  $W_z$  ( $H = -0,5$  km)

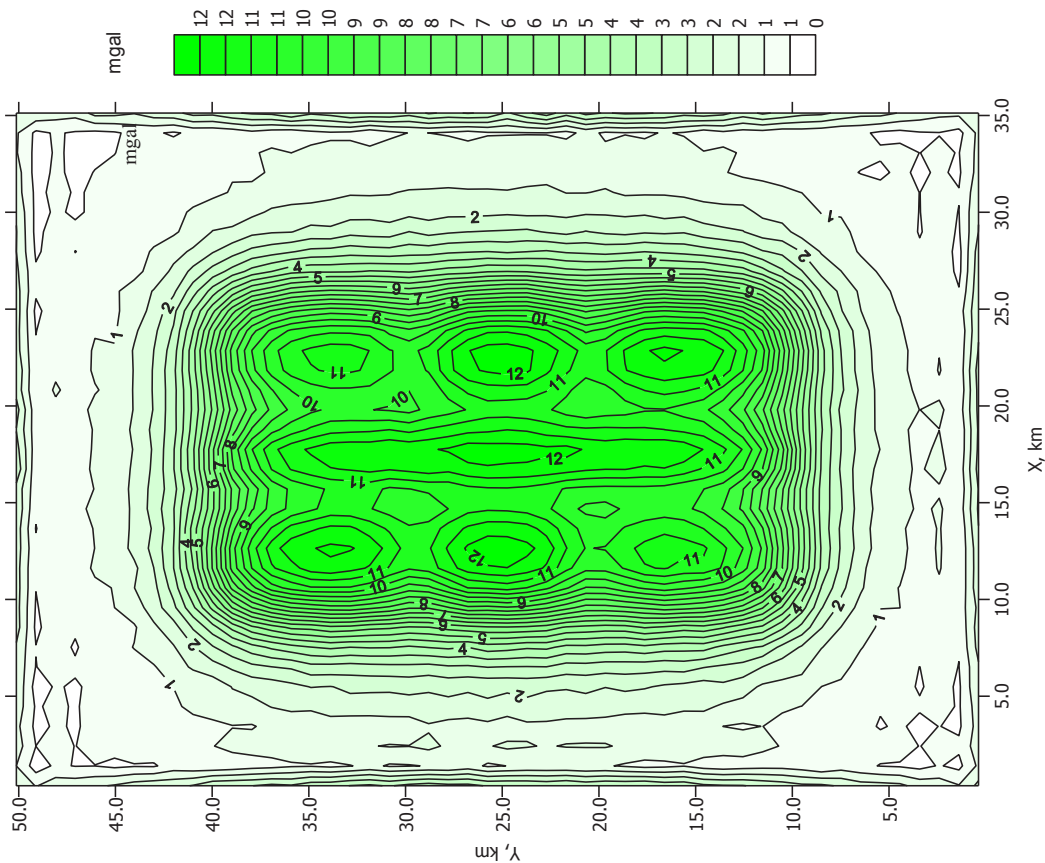


Рис. 9. Модельный участок №3  
Карта  $W_z$  ( $H = -0,5$  km) по результатам F-аппроксимации

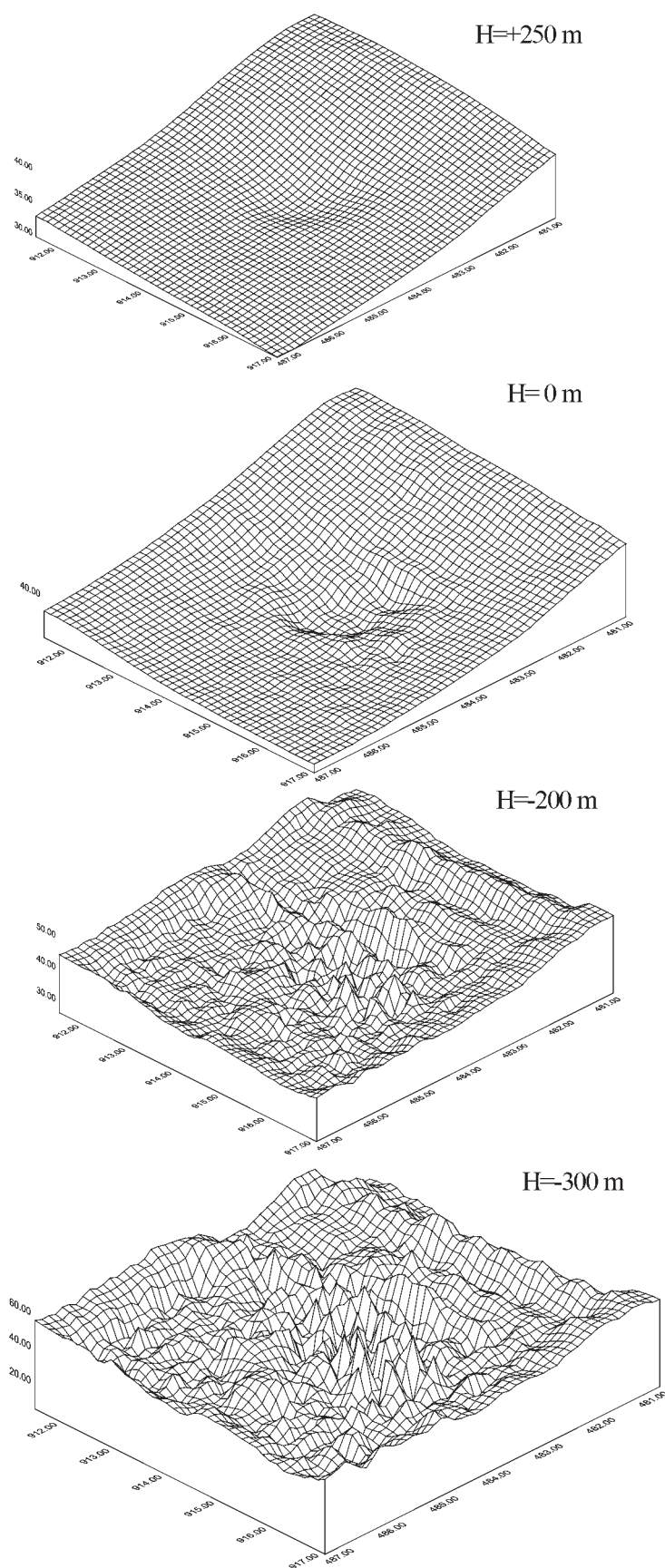


Рис.11. Сереговская площадь.

Аналитическое продолжение гравитационного поля.



## Выводы

Анализ расчетов аналитического продолжения гравитационного поля, выполненных по модельным участкам позволяет сделать следующие выводы.

1. F-аппроксимация является эффективным способом аналитического продолжения гравитационного поля в верхнее и нижнее полупространства.

2. Точность аналитического продолжения гравитационного поля зависит от степени выхода последнего на нормальное поле. Как видно из таблиц 1-3, точность продолжения на модельном участке №2 больше, чем на участке №1, в свою очередь точность на участке №3 больше, чем на участке №2. Как отмечалось выше эти участки отличаются степенью выхода в нормальное поле.

3. Периферийные участки (около 5% от всей площади вносят максимальный вклад в погрешность). Погрешность аналитического продолжения без учета точек периферийной зоны значительно ниже погрешности аналитического продолжения по всем точкам.

## 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. Метод F-аппроксимации при решении задач гравиметрии и магнитометрии. М.: Физматлит, 2011а. 264 с.

5. Керимов И.А. Теория и компьютерные технологии аналитических аппроксимаций аномальных потенциальных полей // Геология и геофизика Юга России, 2011б. №2. С. 50-63.

6. Керимов И.А. F-аппроксимации рельефа земной поверхности // Физика Земли, 2009б. №8. С. 101-112.

7. 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.

8. Страхов В.Н. Три парадигмы в теории и практике интерпретации потенциальных полей (анализ прошлого и прогноз будущего). М.: ОИФЗ РАН, 1999. 78 с.

9. Страхов В.Н., Голиздра Г.Я., Старостенко В.И. Развитие теории и практики интерпретации потенциальных полей в XX веке // Физика Земли. 2000. №9. С. 41-64.

10. Страхов В.Н., Керимов И.А. Аппроксимационные конструкции спектрального анализа (F-аппроксимация) гравиметрических данных // Физика Земли, 2001. №12. С. 3-20.

11. 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.

## **ANALYTICAL CONTINUATION OF POTENTIAL FIELDS ON THE BASIS OF F-APPROXIMATIONS**

**© 2015 I.A. Kerimov, Sc.Doctor (Phys.-Math.), prof.**

The Institute of physics of the Earth named after O. Schmidt of RAS, 123995, Moscow,  
B. Gruzinskaya street, 10/1, e-mail: kerimov@ifz.ru

The method of analytical continuation of potential fields on the basis of F-approximation is considered in the article. The method developed by the author allows carrying out analytical continuation of field to the upper and the lower half-space. Computer technologies allow making transformations for data prescribed both for regular and for irregular network. The method is tested on model and actual gravimetric data.

**Key words:** approximation, analytical continuation, gravity field, transformation.

УДК 502.5+504.4

## ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫЕ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ ПОДВЕРЖЕННОСТИ ГЕОСИСТЕМ ОПАСНЫМ ЭКЗОГЕННЫМ ПРОЦЕССАМ (НА ПРИМЕРЕ КАБАРДИНО- БАЛКАРСКОЙ РЕСПУБЛИКИ)

© 2015 П.Е. Марченко, д.т.н.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук Центр географических исследований, 360002, КБР, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2, e-mail: kbncran@mail.ru

Приведены дифференцированные интегральные оценки подверженности геосистем совокупности опасных природных процессов при фиксированных параметрах геотаксонов, как основных элементов структурирования геосистем. В основу оценки положена развиваемая автором методология, опирающаяся на геоинформационные модели и методы.

**Ключевые слова:** опасный природный процесс, геотаксон, интегральная оценка потенциальной (фактической) природной опасности геосистемы с учетом сезонности.

Настоящее исследование посвящено развитию авторской методологии исследования подверженности геосистем совокупности опасных природных процессов (ОПП), в том числе экзогенного генезиса, в основе которой лежат геоинформационные модели и методы [Анисимов и др., 2012; Балкаров, Марченко, 2000; Марченко, 2006а, б, 2008а, б, в, 2009, 2010а, б, 2011; Марченко и др., 2014]. Приведены результаты реализации различных ее аспектов для детального анализа подверженности опасным экзогенным процессам (ОЭП) территории Кабардино-Балкарской Республики, как определенного методологического полигона, обладающего уникальными свойствами с точки зрения, как потенциальной возможности, так и фактически имеющимися место проявлениями, нередко экстремального характера, значительной части из перечня ОЭП, воздействию которых подвержена территория России.

Основным элементом структурирования геосистем для дальнейшего представления информации об ОЭП и ее анализа с точки зрения подверженности геосистем отдельным ОЭП или их совокупности в рамках методологии является геотаксон, определение и свойства которого нами достаточно детально описаны ранее [Марченко, 2008а, 2009, 2010б, 2011]. При реализации методологии геотаксоны, совокупностью которых представляется исследуемая территория, равны по площади и имеют квадратную форму [Анисимов и др., 2012; Марченко, 2008в, 2009, 2010а, б, 2014а, б, в; Марченко и др., 2014]. Интегральный показатель природной опасности геотаксона (ИППОГт) определяется посредством обработки информации по ячейкам, на которые разбивается каждый геотаксон (размеры ячеек и их количество по всем анализируемым геотаксонам, а также число узлов в ячейках одинаково). Обязательным условием корректности вычислений ИППОГт является также равномерность распределения расчетных узлов (ячеек) по геотаксону [Анисимов и др., 2012; Марченко, 2009, 2011, 2014а и др.]. Как показал ряд наших теоретических

исследований [Анисимов и др., 2012; Марченко, 2009, 2010б, 2014а] наиболее оптимальным можно считать количество узлов в гетаксоне равное 16, 25. Дальнейшее их увеличение приводит к неоправданным временным и другим затратам на вычисления без существенных изменений в конечных результатах (значениях ИППОГт).

Как достаточно детально обосновано нами ранее [Анисимов и др., 2012; Балкаров, Марченко, 2000; Марченко, 2006а, б, 2008а, б, в, 2009, 2010а, б, 2011, 2014а, б; Марченко и др., 2014], мы считаем, что наиболее объективными показателями степени опасности природного процесса с точки зрения последствий его воздействия непосредственно на человека, природные или различные хозяйственные объекты являются силовые (энергетические) показатели, одним из которых может являться величина суммарного давления на объект. При этом определенному значению суммарного давления и результатам его воздействия на хозяйственные и природные объекты ставится во взаимно-однозначное соответствие определенное значение опасности в баллах (более детально эта взаимосвязь рассмотрена в [Марченко, 2014в]).

Ниже в таблице 1 приведена скорректированная, по отношению к разработанной нами ранее [Анисимов и др., 2012], шкала критических значений суммарного давления ОЭП и соответствующих баллов при разрушении природных и хозяйственных объектов, учитывающая перечень и особенностей проявления ОЭП с точки зрения характеристик опасности, на территории Кабардино-Балкарской Республики.

Таблица 1.

**Шкала критических значений суммарного давления ОПП и соответствующих баллов при разрушении (уничтожении) хозяйственных и природных объектов.**

№ п/п	Балл	Суммарное давление ОПП, Р, 10 <sup>5</sup> Па	Примеры хозяйственных и природных объектов в зоне поражения ОПП
1.	1	0,05	Разрушение стекол, оконных рам, дверей; изгородей; слом ветвей деревьев.
2.	2	0,5	Разрушение деревянных зданий, слом молодых деревьев.
3.	3	1,0	Разрушение: бескаркасных кирпичных зданий с покрытием из ж/б элементов, малоэтажных и многоэтажных (три этажа и более); резервуаров для хранения нефте- и химпродуктов.
4.	4	1,5	Разрушение зданий каркасного типа с легким заполнением; зданий со стальными и ж/б каркасами; кирпичных зданий с покрытием из ж/б элементов; зданий тяговых подстанций, фидерных, трансформаторных; воздушных ЛЭП; деревянных низководных мостов; водонапорных башен; антенных устройств; слом стволов деревьев.
5.	5	3,0	Разрушение зданий из сборного ж/б; складов-навесов из ж/б элементов; воздушных высоковольтных ЛЭП; трубопроводов на металлических и ж/б эстакадах; кабельных подземных линий связи; слом старого леса.
6.	6	5,0	Разрушение мостов из металла и железобетона пролетом до 50 м; зданий ГЭС из монолитного ж/б; стальных и ж/б подземных резервуаров для нефте- и химпродуктов.

Расчет значений (ИППОГТ) осуществляется посредством определения нормы вектора, элементами которого являются показатели опасности расчетных узлов геотаксонов, с применением следующих формул [Марченко, 2014б]:

$$D_n = \frac{1}{M} \left( \sum_{i=1}^m \beta_i^n \right)^{1/n}, \quad (1)$$

где  $\beta_i$  – значение опасности в узле  $i$  в баллах, взаимно-однозначно связанное с соответствующими значениями шкалы суммарных давлений из таблицы 1,  $m$  – количество узлов, подвергающихся воздействию ОЭП;  $M$  – общее количество расчетных узлов геотаксона;  $n=2$  (евклидова норма).

Учёт одновременного воздействия на  $i$ -й узел  $N$  ОЭП осуществляется применением формулы:

$$\beta_i = \sum_{j=1}^N \beta_{i,j}. \quad (2)$$

Ниже приведены в картографической виде результаты определения ИППОГТ для варианта представления всей территории КБР 161 геотаксоном.

Результаты расчетов интегральных показателей потенциальной природной опасности экзогенного характера разделены на пять численно-цветовых градаций, отражающих особенности (оценки опасности для конкретных ОЭП, число ОЭП различного генезиса, воздействующих на один и тот же узел геотаксона) проявления опасных экзогенных процессов в исследуемых случаях. Учитывались как потенциально возможные проявления ОЭП (или их совокупности) с определёнными характеристиками, так и фактически имевшие место проявления ОЭП. Указанные данные были получены в результате комплексного анализа территории КБР с точки зрения подверженности ОЭП, включая авторские экспертные оценки.

При этом:

1. Проведена инвентаризация опасных природных экзогенных процессов (снежные лавины, сели, оползни, паводки), воздействующих на геотаксоны, составляющих территорию КБР. Перечень именно этих опасных природных экзогенных процессов обусловлен их наиболее опасными для населения и хозяйственных объектов реализациями (фактическими и потенциально возможными) на территории КБР.

2. Созданы базы данных о реализациях ОЭП на площади каждого из геотаксонов (с привязкой к узлам) на всю глубину по времени, где существуют фактические данные (или потенциальная возможность реализации), с указанием характеристик ОЭП (фактически имевших место и потенциально возможных).

Учитывая специфику перечня анализируемых ОЭП и более реальную возможность проявления синергетических эффектов все-таки в летний (весенне-летне-осенний) период, мы впервые в практике подобных работ по оценке подверженности конкретных территориальных систем совокупности опасных природных процессов дополнительно к интегральным оценкам опасности за весь год, провели их дифференциацию по сезонам (летний и зимний).

Отметим некоторую условность разделения сезонов на лето и зиму при определении сезонных интегральных показателей опасности, так как в реальности возможны реализации, например, снежных лавин (зимняя сезонная опасность на рис. 3) на протяжении периода осень-зима-весна, в то же время реализации, например, селей, паводков и оползней возможны в период весна-лето-осень.

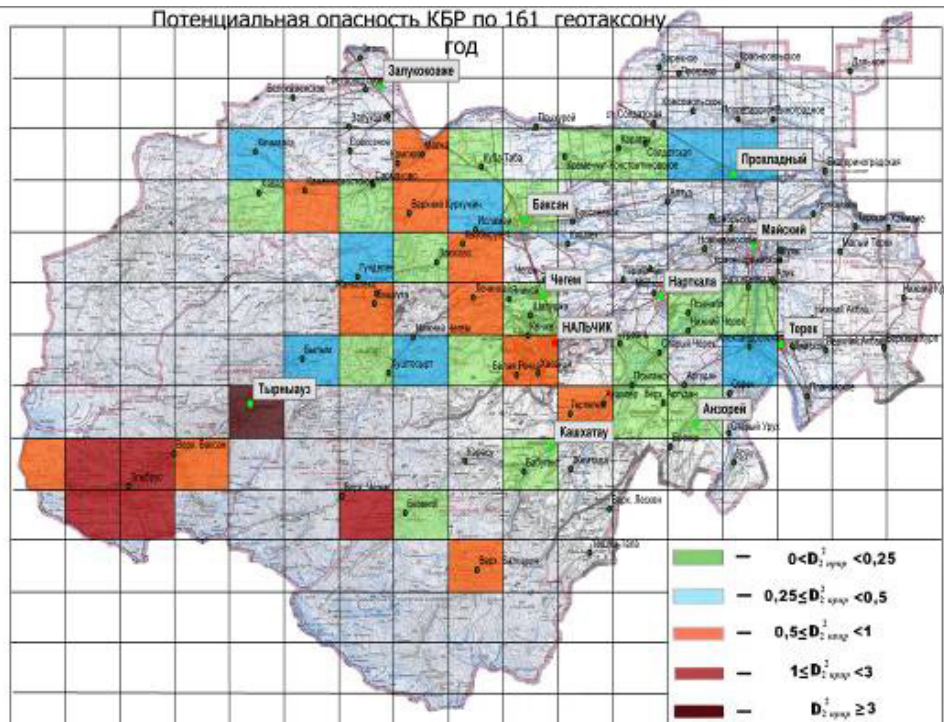


Рис. 1. Интегральные показатели потенциальной природной опасности геотаксонов, составляющих территорию Кабардино-Балкарской Республики (сели, паводки, оползни, снежные лавины). Основой для расчетов являлись: выражения (1-2), балльные оценки опасности по данным таблицы 1. В данных результатах особенности сезонного проявления ОЭП не учитывались. Размеры геотаксонов 10x10 км.

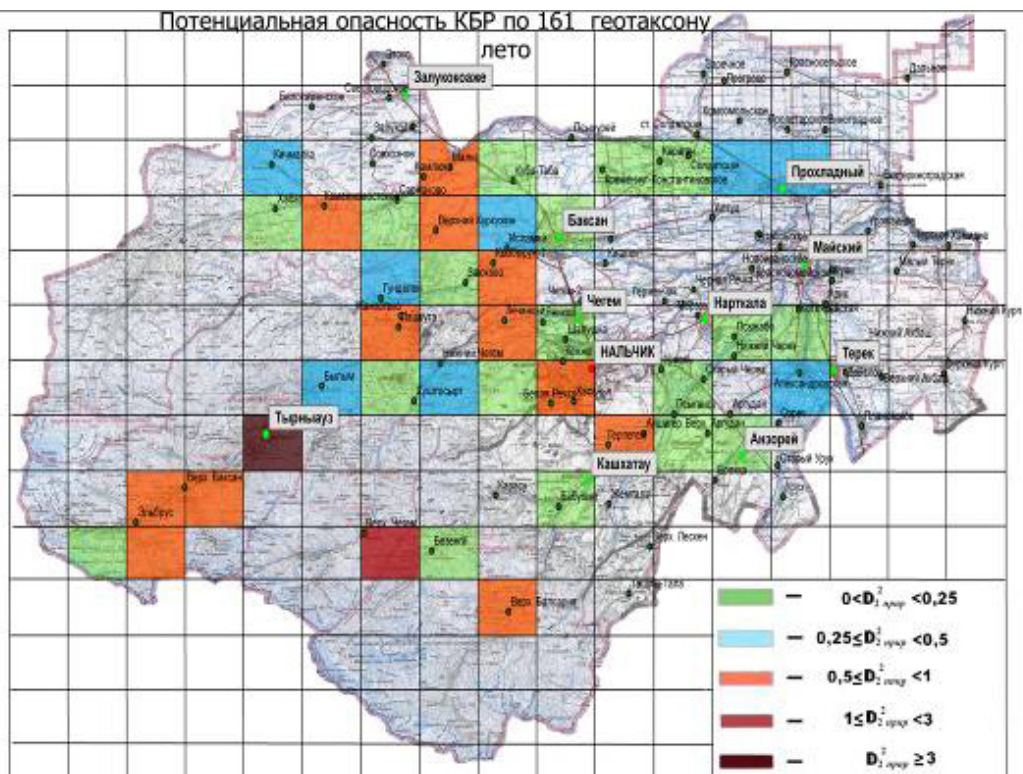
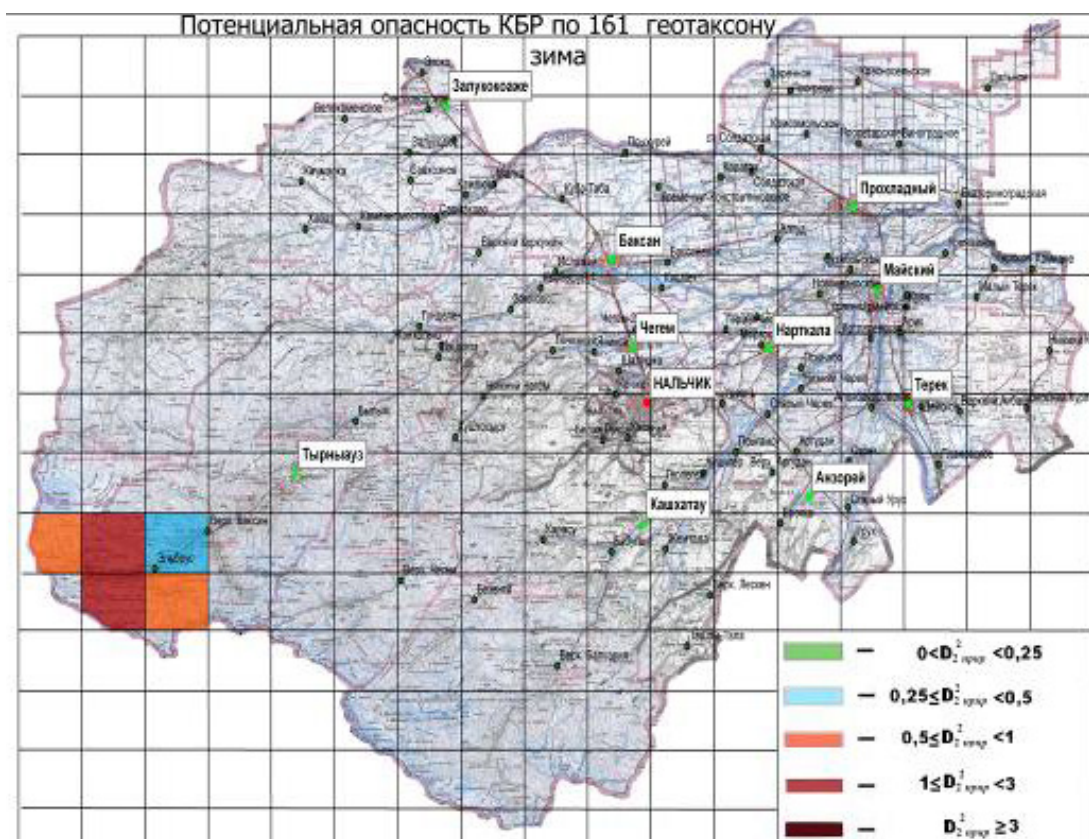


Рис. 2. Сезонные (лето) интегральные показатели потенциальной природной опасности геотаксонов, составляющих территорию Кабардино-Балкарской Республики. Основой для расчетов являлись: выражение (1-2), балльные оценки опасности по данным таблицы 1. Учитывались следующие ОЭП: сели, паводки, оползни. Размеры геотаксонов 10x10 км.



*Рис. 3. Сезонные (зима) интегральные показатели потенциальной природной опасности геотаксонов, составляющих территорию Кабардино-Балкарской Республики. Учитывались снежные лавины. Основой для расчетов являлись: выражение (1-2), балльные оценки опасности по данным таблицы 1. Размеры геотаксонов 10x10 км.*

Предлагаемое выделение сезонной опасности в отдельную категорию обусловлено, в том числе, и тем, что синергетическое проявление таких ОЭП, как, например, снежные лавины и сели, вряд ли можно считать высоковероятным, также как и синергетическое проявление снежных лавин и оползней с паводками. Однако, ситуация с синергетическим проявлением селей и паводков; селей, оползней и паводков; оползней и паводков вполне реализуема на территории КБР с достаточно высокой вероятностью.

Хотя детальный анализ представленных материалов не является предметом рассмотрения данной работы, приведем некоторые комментарии. Первые градации на рис. 1-3, как правило, соответствует воздействию одного ОЭП на один из 16 узлов геотаксона при минимальных балльных значениях опасности (1 балл). Максимальные значения ИППОГт (пятая градация) обусловлены воздействием на геотаксон 2-х и более ОЭП, наличием синергетического эффекта одновременного воздействия нескольких ОЭП на один узел геотаксона и высокими балльными значениями опасности (от 2-3 до 6).

Таким образом, впервые в практике подобных исследований представлены дифференцированные численные значения интегральных показателей природной опасности территориальных систем (геотаксоны, несомненно, таковыми являются), учитывающие не только синергетические эффекты на основе адекватных физике процесса воздействия ОЭП на объекты природы и хозяйства параметры, но и факторы сезонности их проявления.

## Литература

1. Анисимов Д. А., Кюль Е. В., Марченко П. Е. Методическое и информационное обеспечение оценки подверженности геосистем опасным экзогенным процессам // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2012. №6. С.55-63.
2. Балкаров Б. Б., Марченко П. Е. Некоторые вопросы моделирования природно-антропогенной опасности территорий // Материалы Всероссийской научной конференции «Математическое моделирование в научных исследованиях». Ч. II. Ставрополь. 2000. С. 22-25.
3. Марченко П. Е. Некоторые результаты математического моделирования в задаче определения интегрального показателя природно-техногенной опасности территории // Материалы II Всероссийской конференции «Проблемы информатизации регионального управления». Нальчик. 2006а. С. 134-139.
4. Марченко П. Е. Об определении интегрального показателя природно-техногенной опасности территории: основные положения, некоторые результаты численного моделирования // В сборнике «Системные исследования современного состояния и пути развития Юга России». Тез. докладов Международной научной конференции. Ростов-на-Дону. 2006б. С. 161-162.
5. Марченко П. Е. Основные концептуальные положения интегрального оценивания территорий по степени их подверженности опасным природно-техногенным процессам // Проблемы управления рисками в техносфере. 2008а. Т.7. №3. С.24-31.
6. Марченко П. Е. О научно-методических основах ранжирования территорий, подверженных воздействию опасным природно-техногенным процессам // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2008б. №3. С. 23-29.
7. Марченко П. Е. Построение интегральных оценок природно-техногенной опасности территорий // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2008 в. №4. С. 91-98.
8. Марченко П. Е. Методологические основы определения интегральных показателей природно-техногенной опасности территорий и их сравнения по степени подверженности опасным процессам. Нальчик: Изд-во КБНЦ РАН. 2009. 242с.
9. Марченко П. Е. Анализ подверженности территориальных систем воздействию опасных природно-техногенных процессов на основе геоинформационных моделей и методов (на примере Кабардино-Балкарской Республики) // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2010а. №3. С.159-168.
10. Марченко П. Е. Геоинформационные модели и методы интегральной оценки природно-техногенной опасности территориальных систем/ Автореф. диссерт. доктора техн. наук. Санкт-Петербург. 2010б. 44с.
11. Марченко П. Е. Геоинформационные аспекты интегральной оценки подверженности территориальных систем геодинамическим процессам // Геологи и геофизика Юга России. 2011. №1. С.59-69.
12. Марченко П. Е., Кюль Е. В., Анисимов Д. А. Оценка подверженности геосистем опасным природным процессам: методологическое и информационное обеспечение; интегральные показатели опасности геосистем Кабардино-Балкарской Республики. Нальчик: Изд-во КБНЦ РАН. 2014. 152с.
13. Марченко П. Е. Некоторые методические вопросы численной оценки подверженности геосистем опасным природно-техногенным процессам // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2014а. №5. С.62-69.



14. Марченко П.Е. Вопросы детализации интегральных оценок природной опасности геосистем (на примере Кабардино-Балкарской Республики) // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2014б. №6. С.86-92.

15. Марченко П.Е. О влиянии характеристик опасных природных процессов на интегральную оценку степени опасности геосистем // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2014 в. №4. С.35-44.

## **DIFFERENTIATED INTEGRAL ASSESSMENTS OF GEOSYSTEM LIABILITY TO EXOGENOUS PROCESSES (BY THE EXAMPLE OF KABARDINO-BALKAR REPUBLIC)**

**© 2015 Marchenko P.E., Sc. Doctor (Tech.)**

Federal state budgetary institution of science Kabardino-Balkars scientific center of the Russian Academy of Sciences Center of geographical investigations, 360002, Nalchik, Balkarov street, 2, e-mail: kbncran@mail.ru

Differentiated integral assessments of geosystem liability to a combination of hazardous natural processes under fixed parameters of geotaxons as the main elements of geosystems structuring are given in the article. Developed by the author methodology based on geoinformation models and methods is taken as a basis of the assessment.

**Keywords:** hazardous natural process, geotaxon, integral assessment of potential (actual) natural geosystem hazard with taking into account seasonal factor.

УДК 622.32

## ДОБЫЧА СЛАНЦЕВОГО ГАЗА МЕТОДОМ ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, РИСКИ И УГРОЗЫ

© 2015 Г.Г. Матишов<sup>1</sup>, академик, С.Г. Парада<sup>2</sup>, д.г.-м.н.

<sup>1</sup>ФГБУН Южный научный центр РАН, 344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41, e-mail: matishov\_ssc-ras@ssc-ras.ru; <sup>2</sup>ФГБУН Институт аридных зон ЮНЦ РАН, 344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41, e-mail: segripa@rambler.ru

Охарактеризовано современное состояние добычи сланцевого газа на основе технологии множественного гидроразрыва пласта в США. Показано, что именно в объединении технологии бурения горизонтальных скважин из вертикального ствола с использованием поворотных управляемых систем и технологии множественного гидроразрыва пласта заключается прорыв в освоении сланцевого газа и сланцевой нефти. Применение таких сложных технологий повышает себестоимость добычи, и значит, что сланцевый газ всегда будет дороже традиционного. Отмечается, что технологический прорыв в сфере добычи сланцевого газа способствовал тому, что США, импортировавшие газ до недавнего времени, теперь, обогнав Россию, являются крупнейшим его производителем в мире. На основе анализа опыта геологоразведочных работ в странах Европейского союза показано отсутствие значимых перспектив добычи сланцевого газа в этих странах, а также в Украине. Рассмотрено негативное влияние множественных гидроразрывов пласта на окружающую среду. При этом разделены химическое загрязнение, и геодинамическое воздействие. Сделано предположение, что распространение масштабов добычи сланцевого газа и нефти несет экологические риски и угрозы глобального масштаба.

Ключевые слова: сланцевый газ, гидроразрыв пласта, горизонтальное бурение, химическое загрязнение, геодинамическое воздействие, техногенные землетрясения

### Введение

В 1976 году Моргантауновский центр энергетических исследований США (лаборатория государственного Бюро горного дела) начал Восточный проект сланцевого газа. Задачей проекта было изучить возможности извлечения газа из сланцев и других нетрадиционных источников с целью ослабления нефтяной зависимости страны. В проекте приняли участие такие гиганты американской науки, как национальные лаборатории в Лос-Аламосе, Ливерморе, Лоуренсовская и Сандийская лаборатории, а также многие университеты и частные компании.

Министерство энергетики США, совместно с другими федеральными агентствами, как на уровне штатов, так и на уровне всей страны, в течение тридцати лет щедро финансировало отработку технологии. Именно с ее помощью в 1977 году в Колорадо впервые был произведен массовый гидроразрыв пласта для извлечения газа. Помимо прямых инвестиций в размере 100 млн. долларов в 1970-1980-х годах, министерство методически способствовало развитию технологий, которые обеспечили сегодняшний уровень производства сланцевого газа. Основными направлениями финансирования при этом были сама по себе технология горизонтального бурения, совершенствование буровой техники, использование многозонального гидроразрыва пласта (ГРП) и реагентов на водной основе, снижающих поверхностное натяжение, а также создание методик для построения трехмерных карт на основании микросейсмических данных.

В 1986 году впервые и опять же за государственный счет был произведен успешный множественный гидроразрыв пласта. Даже сами американские энергетики отмечают, что без официальной поддержки правительства и вложений бюджетных средств этой технологии не было бы вообще, и не было бы сейчас на рынке США газа из сланцев. А чтобы активизировать работу по разработке сланцевых месторождений, были розданы десятки тысяч акров федеральных земель, введены налоговые льготы для фирм и компаний-разработчиков. Так, в соответствии со Статьей 29 Закона США о налогообложении сверхприбыли сырой нефти «Нетрадиционные виды топлива» производители газа из нетрадиционных источников с 1980 по 2002 г. получали льготы в размере около 18 долл./тыс. м<sup>3</sup> [Мельникова, 2012]. За этот период добыча нетрадиционного газа выросла в четыре раза.

Все это сделало добычу сланцевого газа в США привлекательным бизнесом. Сегодня добычей сланцевого газа занимается настолько много компаний, что даже в Америке никто не может назвать их точное количество. Они добывают газ из сланцев на значительной части территории США (рис. 1). Согласно опубликованному в июне 2012 г. периодическому обзору DOE «Natural gas Year-in-Review», добыча сланцевого газа в США в 2011 г., составила 214,1 млрд. м<sup>3</sup>. Лидерами являются плей Haynesville (65 млрд. м<sup>3</sup>), Barnett (48,9 млрд. м<sup>3</sup>) и Marcellus (35,4 млрд. м<sup>3</sup>). По сравнению с 2010 г. (145 млрд. м<sup>3</sup>), общий прирост за год составил 47,6%. В дальнейшем прогнозируется некоторое уменьшение прироста.

### **Что такое сланцевый газ?**

Сланцевый газ – это собирательное название группы нетрадиционных ресурсов углеводородов (УВ). Согласно [Якуцени и др., 2009] это газы и нефть в плотных формациях и низко проницаемых коллекторах. К ним относятся ресурсы газа и нефти в глинистых сланцах, аргиллитах и в плотных песчаниках. Они, как и газы угленосных отложений, привлекают в последние десятилетия наибольшее внимание.

Углеводороды (нефть и газ) образуются из морских осадков, обогащенных органическими веществами, при постепенном погружении в недра земной коры, где на них воздействуют повышенные температура и давление. В зависимости от возраста, температуры и глубины залегания эта органика или полностью превратится в газ, или сохранит какие-то промежуточные формы – нефть, газовый конденсат или так называемый жирный газ, содержащий не только метан, но этан, пропан и бутан. В процессе образования все они выдавливаются в соседние, более проницаемые пористые породы (коллекторы) и мигрируют в области с наименьшими температурами и давлениями, где при благоприятных условиях накапливаются в так называемых ловушках, формируя традиционные месторождения с легко извлекаемыми запасами углеводородного сырья. На некотором этапе преобразований минеральные частицы, слагающие осадок, цементируются, поры перестают сообщаться между собой и, не успевшие покинуть их углеводороды остаются закупоренными в осадочной породе (рис. 2), которая представляет собой уже не рыхлый осадок, а плотный сланец или песчаник (низко проницаемый коллектор).

Газ и другие УВ в таких породах плохо подвижны или неподвижны совсем в условиях недр. Поэтому эти ресурсы УВ, в отличие от традиционных, нуждаются в специальных способах извлечения из пластов. А это существенно повышает их себестоимость и значит, что сланцевый газ всегда будет дороже традиционно-

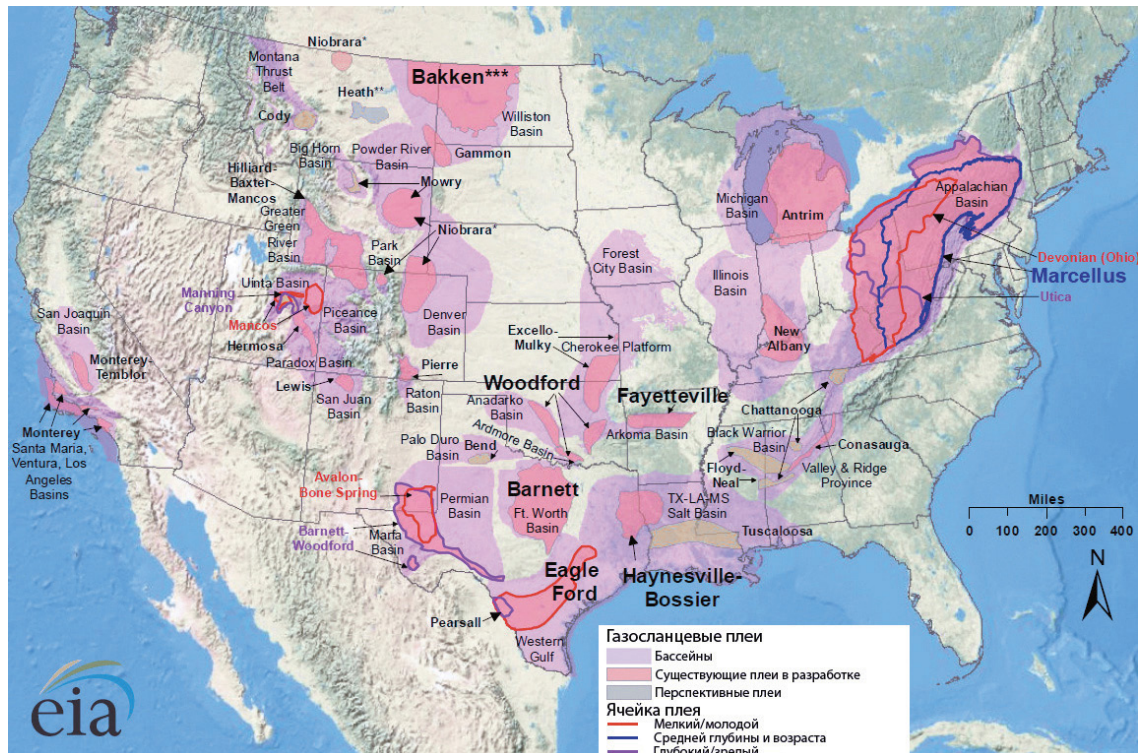


Рис. 1. Газсланцевые плечи США. Источник: Управление энергетической информации США (EIA), 2011, по [Мельникова, 2012]

го. Так, по расчетам Прайм Марк средняя себестоимость добываемого сланцевого газа компаниями США составляет около 170 долларов США за 1000 м<sup>3</sup>, в то время, как себестоимость добываемого ОАО «Газпром» газа составляет около 50 долларов США за 1000 м<sup>3</sup>.

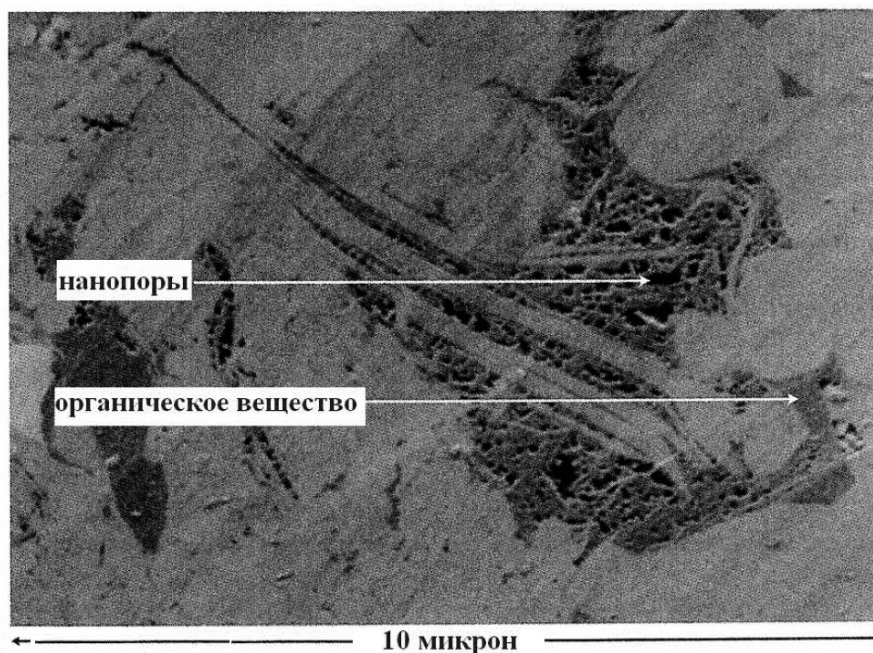


Рис. 2. Закупоренные в нанопорах углеводороды. Микрофотография шифа газоносного сланца формации Barnett, США (по [Высоцкий, 2011])

## **Объединение технологий горизонтального бурения из вертикальных скважин и гидроразрыва пласта – суть «сланцевой революции»**

Для извлечения газа из сланцев необходимо искусственно «раскрыть» поры и обеспечить пути миграции углеводородов для их сбора в определенном месте. Это возможно путем дробления породы и создания в ней густой сети трещин. При этом, образующиеся трещины должны длительное время оставаться свободными для миграции газа. Все это позволяет осуществить технология ГРП. Теоретическая база такой технологии была разработана в 1953 г. академиком С.А. Христиановичем совместно с Ю.П. Желтовым в Институте нефти АН СССР. Она применялась (и до сих пор применяется) для увеличения нефтеотдачи пластов на истощенных месторождениях и для дегазации угольных пластов с целью предотвращения взрыва метана в шахтах. Суть ГРП – накачивание под давлением в скважину жидкости, которая нарушает целостность геологических слоев. Происходит раздробление плотных горных пород, массовое образование в них трещин, высвобождение УВ из пор и их отток в буровую скважину. Закачиваемый вместе с водой песок (пропант) заполняет трещины и не дает им сомкнуться.

В отличие от традиционных месторождений газоносные и нефтеносные сланцы в областях их развития распространены повсеместно на большой территории. Однако толщины таких слоев исчисляется всего лишь первыми метрами или первыми десятками метров. Поэтому стандартной вертикальной скважиной будет обрабатываться лишь незначительная часть пласта. Другое дело горизонтальная скважина, которая может быть пробурена вдоль пласта. Изменение направления скважины достигается с помощью специальных отклонителей, которые крепятся за забойным двигателем и управляются с поверхности. При бурении горизонтальной скважины, как правило, существует система навигации. Оператор на поверхности в каждый момент времени может сказать, как у него идет ствол скважины, куда он отклоняется. Эта технология достаточно хорошо отработана. Длина горизонтальной части ствола скважины обычно достигает 1200 м. (Максимальная длина горизонтальной части скважины была достигнута на Сахалине и составила 12 км. Речь шла о разработке традиционного месторождения на шельфе, при этом рассматривались два варианта: бурить с платформы в Охотском море или начать бурение на суше, а потом искривить скважину и уйти на 12 км в сторону моря. Последнее решение было признано оптимальным и успешно осуществлено).

Именно в объединении технологии бурения горизонтальных скважин из вертикального ствола с использованием поворотных управляемых систем и технологии ГРП заключается прорыв в освоении сланцевого газа и сланцевой нефти. Такое объединение впервые осуществил основатель компании Chesapeake Дж. Митчелл (США), которого по праву считают отцом сланцевой революции.

Горизонтальные скважины должны пролегать сугубо в толще сланцевого пласта на достаточном расстоянии от его границ, в противном случае газ и буровой раствор мигрируют через трещины и другие отверстия в верхний слой осадочных пород и могут загрязнять подземные воды и выходить на поверхность. Для точного позиционирования скважины созданы методики построения трехмерных карт на основе микросейсмических данных. Уже сейчас осуществляется экспериментальное применение сейсмики 4D на фоне широкого применения 2D- и 3D-сейсмики и микросейсмики, а также технология geosteering с горизонтальным бурением в

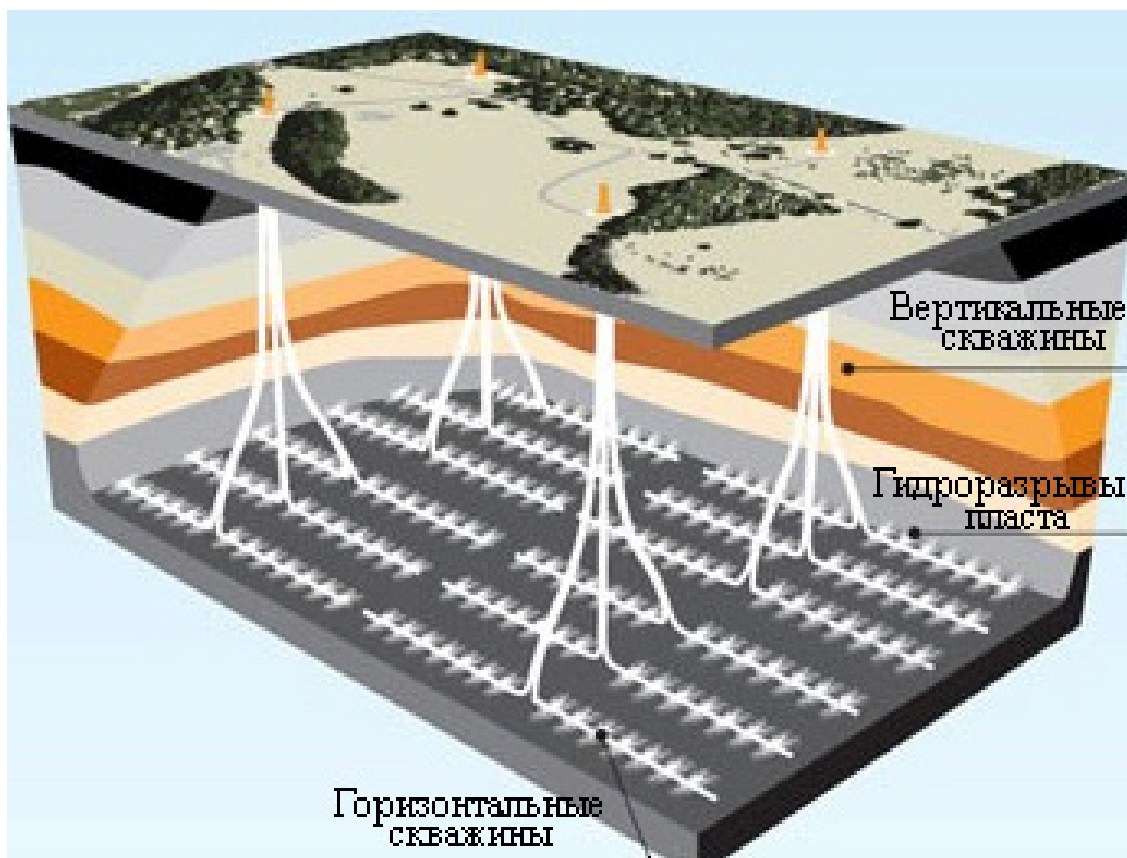


Рис. 3. Блок-схема отработки газоносного сланцевого пласта (multi-stage fracture stimulation).

режиме реального времени, когда оператор «видит» оптимальное направление бурения в маломощном слое сланца и место для гидроразрыва.

Гидроразрыв пласта проводится при давлениях от 500 до 1500 атмосфер, что приводит к образованию многочисленных трещин. Пропант (природный песок или искусственный материал) не дает сомкнуться трещинам и по ним газ поступает в горизонтальный и вертикальный ствол эксплуатационной скважины. Глубина отработки составляет обычно до 2500 м., но может быть и больше. Длина горизонтальной части обычно 1200 м. Всего на одной горизонтальной скважине можно осуществлять до 12 и более гидроразрывов. Закачиваемая в скважину жидкость для гидроразрыва представляет собой смесь воды, пропанта и различных химических веществ. На один цикл гидроразрыва требуется от 7 до 26 тыс. тонн воды, до 200 тонн песка и от 80 до 300 тонн различных химреагентов.

Развитие технологий привело к кустовому бурению с несколькими горизонтальными стволами из каждой вертикальной скважины (рис. 3), что существенно снизило нагрузку на поверхность при сохранении высоких объемов добычи. Таким образом, осуществляется сплошная отработка газоносного сланцевого пласта на огромных территориях.

### Экономические аспекты добычи сланцевого газа

Себестоимость добычи сланцевого газа по-прежнему остается одним из самых сомнительных вопросов. Она широко варьирует у различных компаний и зависит

от многих факторов (рис. 4). Капитальные затраты в первую очередь определяются затратами на сооружение скважин, средняя стоимость которых составляет от 2,5 до 9,2 млн. долларов. Также в высокой степени капитальные затраты зависят от объема газа, извлекаемого из скважины. Лучшие скважины в США имеют коэффициент извлечения от 150 до 300 млн. м<sup>3</sup>, но чаще этот показатель колеблется от 0,1 до 30,0 млн. м<sup>3</sup> [Мельникова, 2012].

Газоносные сланцы США залегают относительно неглубоко и достаточно равномерно распределены по территории страны. Это позволяет вести добычу газа в непосредственной близости к потребителю. Расстояния поставок газа в среднем не превышают 200 км, что сводит расходы на транспортировку газа к минимуму. В итоге это оказывается также одним из ключевых условий жизнеспособности сланцевой газодобычи в США.

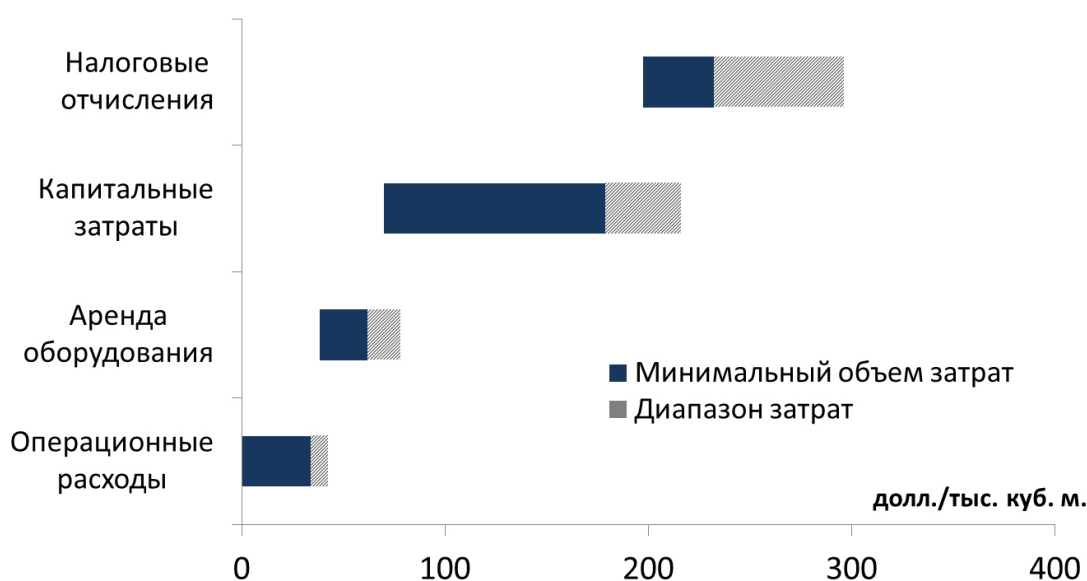


Рис. 4. Полный цикл затрат на добычу сланцевого газа в США на примере компании Southwestern (по [Мельникова, 2013])

Таким образом, для разработки эффективной технологии горизонтального бурения с гидроразрывом пласта США понадобилось более 20 лет экспериментов. За это время было разработано почти миллион скважин методом гидравлического разрыва пласта. Достигнутый при этом технологический прорыв в сфере добычи сланцевого газа способствовал тому, что США, импортировавшие газ до недавнего времени, теперь, обогнав Россию, являются крупнейшим производителем газа в мире.

Развитие газосланцевой добычи привело в 2012 г. к перепроизводству газа в США и падению цен. Некоторые газодобывающие компании оказались в очень тяжелом положении, но в выигрыше оказались потребители газа и вся экономика США в целом. Угольная генерация замещается газовой, за счет дешевого газа развивается химическая промышленность, сокращается импорт и увеличивается экспорт газа, заполнены подземные хранилища, строятся масштабные планы по развитию экспорта СПГ.

Следует признать, что, несмотря на весьма небольшой срок добычи, сланцевый газ уже изменил как внутренний рынок США, так и роль этой страны в мировой

энергетике. В связи с успехами США многие страны пересматривают свою энергетическую политику. Так, к промышленной добыче сланцевого газа на своей территории уже приступили Австралия и Аргентина, активно идут поисковые работы с получением первых продуктивных результатов в Китае, где предполагается начать промышленную добычу сланцевого газа уже в 2015 г. Европа, также активно включилась в поиски сланцевого газа на своей территории.

### Европа в поисках сланцевого газа

На рис. 5 приведена схема потребления газа странами Европейского союза. Импорт из России составляет более 25%. Отпускная цена колеблется от 250 до 400 долл./1000 м<sup>3</sup>. При таких обстоятельствах представляется естественным стремление европейских государств повторить успех США и стать энергетически независимыми за счет собственных ресурсов сланцевого газа. Тем более, что представители США всячески пытаются убедить европейские правительства в этом. Они утверждают, что запасов нетрадиционного газа в Европе не меньше чем в США, а значит, добыча будет экономически выгодна, а развитие сланцевозаговой отрасли позволит если не полностью избавить Европу от российской зависимости, то вынудить ее существенно снизить цену на природный газ. Интерес американских компаний понятен. Только они обладают соответствующими технологиями, оборудованием и наибольшим опытом разработки сланцевых месторождений. Поэтому именно им достанутся европейские контракты. Кроме того, играет роль и внешнеполитический фактор. Америку не устраивает, что ее партнер по НАТО, находится в энергетической зависимости от России, которая пытается проводить свою самостоятельную политику в глобальном масштабе. Также важен экологический аспект, поскольку международные эксперты оценивают риски для окружающей среды как достаточно высокие, американские компании стремятся перенести добычу в развивающиеся страны.

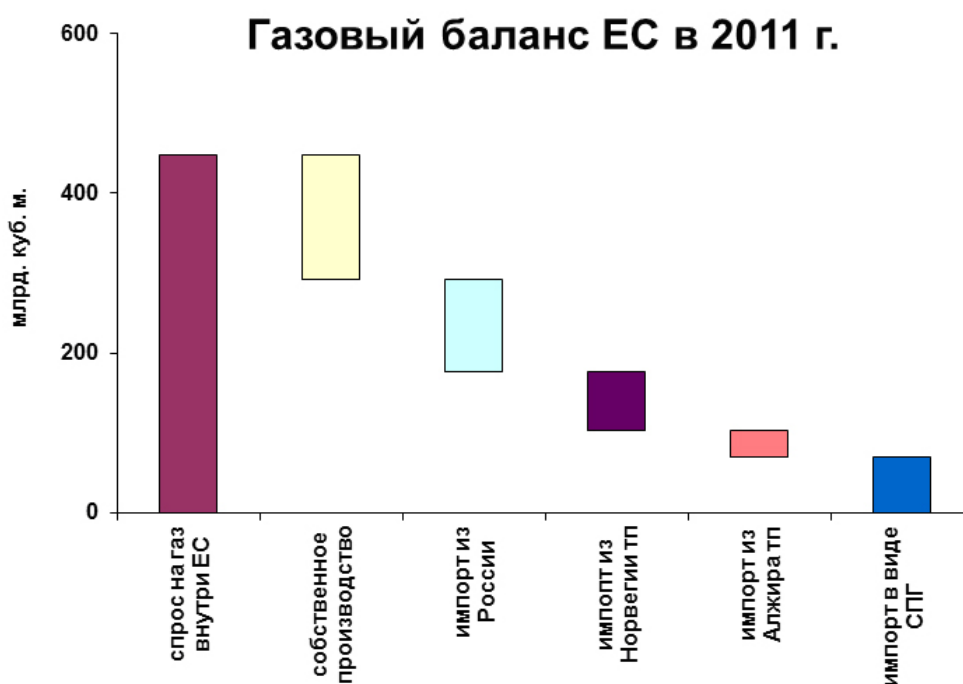


Рис. 5. Потребление газа странами ЕС на 2011 год



Действительно, первоначально предполагались значительные ресурсы нетрадиционного газа на территории европейских государств, которые связывают с крупнейшими бассейнами Польши, Франции, Северной Германии, южной части Северного моря, Украины. Энергетическое информационное агентство (EIA) в 2011 г. предполагало наличие на территории Европы 16,04 трлн. м<sup>3</sup> технически извлекаемых ресурсов сланцевого газа (табл. 1).

Следует иметь в виду, что при оценке ресурсов сланцевого газа из-за недостаточной изученности цифры разных источников отличаются между собой и к тому же меняются со временем.

Наибольшее внимание инвесторов привлекли польские силурийские сланцы, с которыми связывались основные надежды на развитие сланцевой газодобычи в Европе. С 2007 по 2011 гг. польским и иностранным компаниям было выдано 109 лицензий на поисково-разведочные работы на сланцевый газ. Так, в 2010 г. компания ConocoPhillips приступила к разведке сланцевого газа глубокого залегания, одновременно такие работы начали ExxonMobil и Marathon, Talisman Energy, Chevron. Всего на территории Польши пробурено более 40 скважин.

Первые экономические расчеты дали отрезвляющий результат – нижняя граница безубыточности здесь превышает 350 долл. за тыс. м<sup>3</sup>. Кроме того, согласно полученным данным геологоразведочных работ, извлекаемые ресурсы сланцевого газа в Польше оказались почти в 10 раз меньше ранее озвученных оценок в 5,3 трлн. м<sup>3</sup> и составили в среднем около 550 млрд. м<sup>3</sup> газа. В связи с незначительностью обнаруженных ресурсов газа с 2012 г. начался исход газовых компаний из Польши. Первой ушла ExxonMobil, следом 3Legs Resources. На примере Польши подтвердилось правило, когда на этапе «разгона» нового продукта имеет место переоценка в прогнозах для привлечения внимания государств и инвесторов.

Таблица 1

**Запасы технически-извлекаемого сланцевого газа  
по странам Европы (по [Мельникова, 2012])**

Регион/страна	Объем импорта/ (экспорта) природного газа (от потребления) <sup>1</sup>	Технически извлекаемые запасы сланцевого газа, млрд. куб. м
Франция	98%	3056
Германия	84%	226
Нидерланды	(62%)	481
Норвегия	(56%)	2348
Великобритания	33%	566
Дания	(91%)	651
Швеция	100%	1160
Польша	64%	5292
Турция	98%	425
Украина	54%	1188
Литва	100%	113
Другие страны Европы <sup>2</sup>	50%	537
Всего в Европе		16043
Всего в Мире		187402

<sup>1</sup>Данные на 8.03.2011 года, Международная энергетическая статистика; <sup>2</sup> данные из годового отчета EIA 2011 года

Из других, потенциально перспективных регионов добычи сланцевого газа в Европе считают Францию, Австрию, Германию, Нидерланды и Великобританию. Однако с 2011 г Франция ввела полный мораторий на применение метода ГРП на своей территории. Ее примеру последовала Болгария и Чехия. В других европейских странах геологоразведочные работы проходят на фоне сильного противодействия экологов и общественности, что вынуждает правительства этих стран вводить различные запретительные меры. Более того, Комитет по энергетике и Комиссия по окружающей среде Европарламента приняли 19 сентября 2012 г. резолюцию о необходимости введения «жестких режимов регулирования» ГРП и разработки нетрадиционных залежей нефти и газа.

Таким образом, за минувшие годы геологоразведочные работы на сланцевый газ в Европе практически не дали сколь-нибудь обнадеживающих результатов, а тема сланцевой газодобычи получила негативную оценку общественности и экологических организаций, что в итоге уже привело к принятию запретительных мер в некоторых европейских государствах.

### **Перспективы сланцевого газа в России**

Если учесть, что сланцевый газ есть везде – где-то больше, где-то меньше, то есть он и в России. Так как он сопутствует месторождениям нефти и природного газа, то, очевидно, Россия не уступает другим странам мира.

Разведанные запасы «традиционного» природного газа в России – около 60 триллионов м<sup>3</sup>. Его себестоимость не превышает 50 долл. за 1000 м<sup>3</sup>, а часто и того меньше, например на Ямбургском месторождении – до 24 долл. за 1000 м<sup>3</sup>. С такими запасами добыча сланцевого газа со средней себестоимостью 150-250 долларов за 1000 м<sup>3</sup> нецелесообразна. Поэтому в России им никто заниматься не собирается. Более интересен для России метан угольных пластов, которого более 80 трилл. м<sup>3</sup>. По заявлениям руководства ОАО «Газпром» располагает собственными технологиями добычи нетрадиционного газа и применяет их при добыче угольного метана на Кузбассе. Однако делается это больше для предотвращения взрывов метана с целью обеспечения безопасности отработки угольных пластов.

Глава «Газпрома» А. Миллер отмечает, что добыча сланцевого газа в России для ОАО «Газпром» совсем неактуальна, а направление сланцевой нефти представляет интерес и группа намерена им активно заниматься. Это сланцы баженовской свиты в Западной Сибири, развитые на площади более 1 млн. км<sup>2</sup>. Они залегают на глубинах около 2 км, характеризуются высокой нефтенасыщенностью, но сверхнизкой проницаемостью. Подобные месторождения сланцевой нефти активно эксплуатируются в Канаде, Китае и США.

### **Перспективы сланцевого газа в Украине**

Украина много лет пытается пересмотреть газовые соглашения с Россией, считая цену завышенной, а сами контракты – кабальными. В этих условиях страна ищет альтернативные источники поставок. Руководство Украины считает, что таким источником может стать сланцевый газ. В 2010 г. Shell и Exxon Mobil получили лицензии на гидроразрыв пластов в Донецкой, Харьковской и Львовской областях Украины. Несмотря на уже имеющиеся отрицательные результаты геологоразведочных работ в Польше, 24 января 2013 г. было подписано соглашение о разделе продукции между голландско-британской Shell и украинской компанией «Надра

Юзовская» и началось бурение геологоразведочных скважин на Юзовской площади в Донбассе. На сегодняшний день осуществлена попытка бурения двух скважин. Однако сложности геологического разреза и постоянные аварии не позволили добыть скважины до проектной глубины. Боевые действия 2014 года в прилегающих районах вынудили компании прекратить бурение.

Вместе с тем, украинские геологи считают [Кривошеев и др., 2012], что первоочередной задачей национальной нефтегазовой отрасли должно быть расширение геологоразведочных работ на традиционный газ, запасы которого в Украине 1,4 трлн. м<sup>3</sup>, и освоены они не более, чем на 25% (табл. 2). Из основных нефтегазоносных областей Украины (Карпатской и Днепрово-Донецкой) наибольшим потенциалом обладает Днепрово-Донецкая. Здесь сосредоточено 59% разведанных запасов нефти. Еще более высокие показатели характерны для газа (81,5% запасов). Перспективы этой и Карпатской нефтегазоносных областей Украины остаются достаточно высокими, но до конца не выясненными.

Ресурсы сланцевого газа в Украине разными авторами, которые не приводят серьезных расчетов, оцениваются в широких пределах – от 1,2 (ЕІА) до 60 трлн. м<sup>3</sup> (устные заявления чиновников). В последнем случае, часто не ясно, о каких именно ресурсах (геологических или технически извлекаемых) идет речь. Ведь теоретическая оценка геологических ресурсов сланцевого газа и реальный подсчет его извлекаемых запасов – две разные задачи. Отсюда разницей в оценках общей продуктивности территории Украины и ее отдельных регионов. Если воспользоваться наиболее авторитетной оценкой ЕІА 1,2 трлн. м<sup>3</sup> (см. табл. 1), то запасов традиционного газа (реально подсчитанного, а не гипотетического) все равно больше (1,4 трлн. м<sup>3</sup>).

В Карпатском регионе оценка геологических запасов сланцевого газа разными исследователями также отличается очень сильно. Наиболее вменяемые из них – от 2 до 3 трлн. м<sup>3</sup>. Как и в Польше, основные перспективы здесь связываются с силурийскими сланцами. К настоящему времени уже можно учитывать опыт Польши, где в течение последних 6 лет проведены интенсивные геологоразведочные работы по тем же силурийским сланцам. Этот опыт не обнадеживает – в Польше на сегодняшний день фактически не найдено пригодных для отработки объектов, а технически извлекаемые запасы сланцевого газа по результатам ГРП сокращены почти в 10 раз, по сравнению с оценками ЕІА 2011 г. Если этот опыт перенести на Олеськую площадь Украины, то геологические запасы сланцевого газа могут составить не более 300 трлн. м<sup>3</sup>.

В Днепрово-Донецкой области наиболее перспективными считаются нижнекаменноугольные отложения, включающие потенциально газоносные сланцы нефтегазогенерирующих толщ турнейского, визейского и серпуховского ярусов. По данным [Кривошеев и др., 2012], эти толщи представлены аргиллитами с повышенными содержаниями органического углерода с суммарной мощностью до 300 м. При площади их распространенная 65000 км<sup>2</sup>, общий объем нефтегазогенерирующих толщ составляет 19500 км<sup>3</sup>. При коэффициенте аккумуляции 4%, геологические ресурсы турнейско-визейско-серпуховского комплекса отложений могли превысить 78 млрд. т. условного топлива.

В.Т. Кривошеев с соавторами [Кривошеев и др., 2012] считает, что часть этих огромных ресурсов пошла на формирование традиционных залежей нефти и газа и на дегазацию недр, как это часто происходит при метаморфизме [Парада, 2002], а другая часть могла остаться неравномерно законсервированной в низкопористых, низкопроницаемых породах, в том числе и глинистых. Подсчитанные этими гео-

Таблица 2

**Разведанные запасы газа традиционных месторождений Украины  
(по [Кривошеев и др., 2012])**

Регион	Количество месторождений		Запасы, млрд. м <sup>3</sup>
	Открыто	Разрабатывается	
Полтавская	62	32	634,4
Харьковская	41	21	402,5
Львовская	30	20	101,2
Сумская	18	15	82,6
Ивано-Франковская	20	16	31,6
Днепропетровская	13	10	21,6
Черниговская	9	5	13,0
Луганская	11	7	11,8
Волынская	1	–	7,7
Запорожская	2		6,7
Закарпатская	4	1	3,3
Херсонская	1	1	2,3
Черновицкая	5	1	1,6
Донецкая	1	–	1,2
Украина	218	129	1321,5

логами ресурсы сланцевого газа составили 8,48 трлн. м<sup>3</sup>. На прирезанной карте открытого Донбасса, включающего Юзовскую перспективную на сланцевый газ площадь (рис. 6), проекция на земную поверхность этих потенциально продуктивных на сланцевый газ толщ до глубин 3 км показана нами зеленой штриховкой.

По мнению [Кривошеев и др., 2012] для реальной оценки ресурсов газа в них необходимо серьезно учитывать опыт, полученный на американских месторождениях формации Барнет, где продуктивные сланцы содержат большое количество кварцевого алевритового материала 29-38%, глинистая часть составляет 20-30%, но не более 50%, содержание органического вещества 1-5%. Для того, чтобы сланец мог вмещать достаточное количество газа пористость его не должна быть ниже 3%, а количество органического вещества должна превышать 1%. Однако, потенциально продуктивные породы Днепровско-Донецкого региона в этом отношении практически не изучены, и оценка ресурсов сланцевого газа в Украине еще далека от действительности. Именно так следует относиться и к ресурсам собственно Юзовского месторождения, отданного украинскими властями британско-голландской компании Shell, которые по американским источникам составляют 1,2 трлн. м<sup>3</sup>, а по украинским источникам – 4 трлн. м<sup>3</sup>.

**Некоторые аспекты геологического строения Юзовской  
площади в связи с предполагаемой добычей сланцевого  
газа методом ГРП**

Если на Олеськой площади Карпатской нефтегазовой области, на основе Польского опыта хоть какая-то добыча возможна, то относительно Юзовской площади возникают сомнения относительно самого наличия там сланцевого газа. И связано это с принципиально иной геологической историей региона.

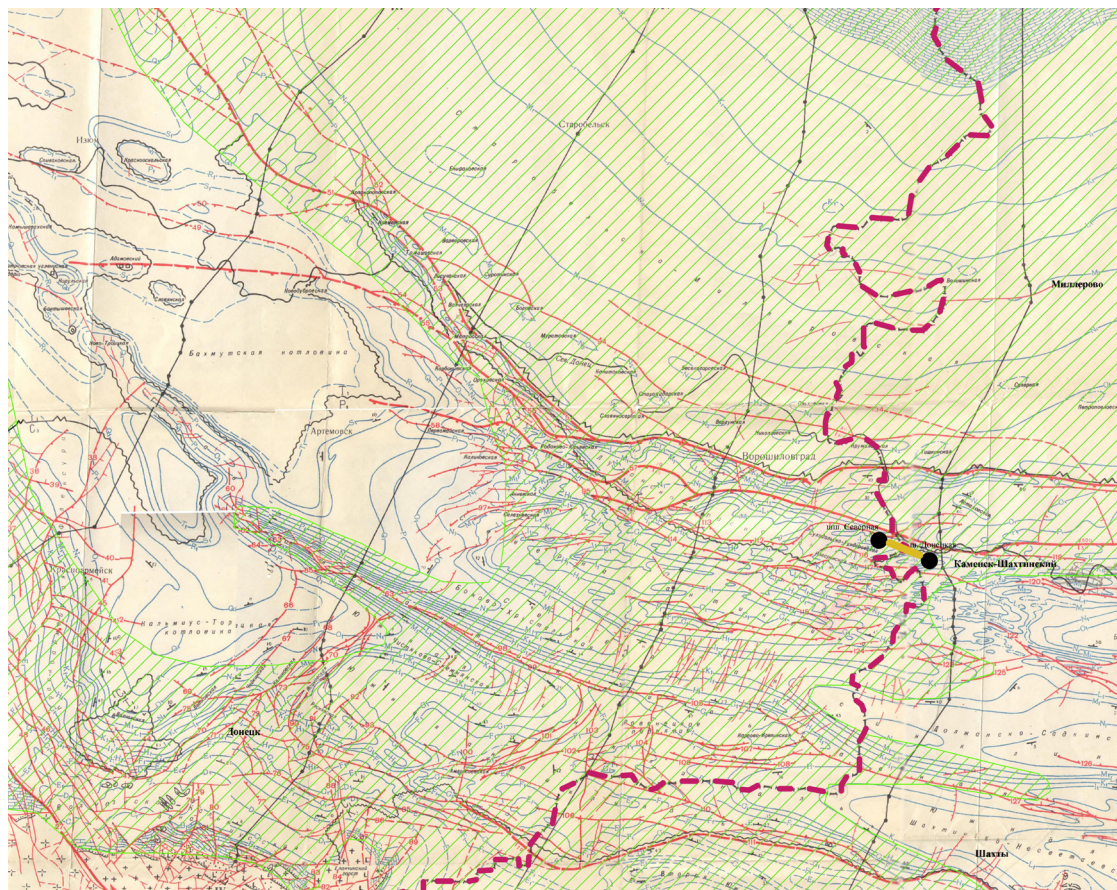


Рис. 6. Фрагмент структурной карты открытого Донбасса с отображением проекции на поверхность потенциально продуктивных на сланцевый газ комплексов до глубины 3 км (зеленая штриховка). Желтой линией показано место перетока шахтных вод с Украинской шахты Северная в Российскую шахту Донецкая и обратно.

На приведенном выше рис. 6 красными линиями показаны разломы земной коры (нарушение сплошности пластов горных пород). Они имеют различную природу, различную глубину и различную длину. Большинство из них являются наилучшими путями миграции подземных флюидов (воды, нефти, газов). На данной карте отображены наиболее крупные из них. При увеличении масштаба картирования густота разломов будет увеличиваться. Это потому, что вся территория Юзовского месторождения относится к так называемому открытому Донбассу с очень сложной историей геологического развития. Главным для целей оценки самой возможности и экологических последствий сланцевой газодобычи методом гидроразрыва пласта в Донбассе является то, что в отличие от американских газосланцевых территорий, приуроченных к чехлу древней платформы (наиболее стабильному участку земной коры), Юзовская площадь приурочена к юго-восточному окончанию Припятско-Донецкой впадины, которая представляет собой составной элемент долгоживущей внутриплатформенной рифтовой системы (наиболее активному типу участков земной коры), представленному в настоящее время открытым Донбассом. Именно неоднократные возобновления тектонических движений и магматической деятельности в пределах этой территории и привели к огромному количеству разрывных нарушений слоев, а также к повышенному образованию густых сетей кливажных и приразломных трещин в самих горных породах [Погребнов и др., 1985; Соло-

вьев, 2007; Трощенко, 2011], в том числе и в предполагаемо газоносных плотных песчаниках и непроницаемых аргиллитах. Все это позволяет сделать два важных предположения: 1 – то, что должен сделать гидроразрыв, сделано уже неоднократно тектоническими движениями, а значит потенциально газоносные пласты возможно уже дегазированы; 2 – если газ сохранился, то при его добыче методом ГРП, он и буровой раствор с опасными химическими веществами будут уходить за пределы пласта по активизированным при ГРП трещинам и разломам в неконтролируемых направлениях. Если верно первое предположение, то планируемые на Юзовской площади работы по добыче сланцевого газа бессмысленны, если второе – то чрезвычайно опасны.

Кроме того, в результате ликвидации и затопления выработанного пространства подземных горных выработок шахт Восточного Донбасса выявились некоторые ранее неизвестные особенности крупных разломов. Оказалось, что продольные надвиги в Донбассе, в отличие от существующих представлений, являются хорошими проводниками подземных вод. Это, опять-таки, связано с неоднократными периодами тектонической активизации региона, когда изначально непроницаемые сколовые разломы, возникшие в обстановке сжатия, подновляясь в новом поле растягивающих напряжений, меняли свою природу и становились проницаемыми для подземных флюидов.

Установлено, например [Мохов, 2011], что растекание загрязнённых вод из затопленной шахты Калитва по Белокалитвенскому надвигу привело к загрязнению водозабора на станции Грачи, расположенного на расстоянии более 8 км к востоку и гипсометрически выше уровня воды в затопленных выработках шахты на 50-70 м.

Другой установленный факт касается уже территории двух соседних государств. Из затопленных подземных выработок шахты Северная (г. Краснодон, Украина) в подземные горные выработки закрытой шахты Донецкая (Россия) через барьерный угольный целик по Самсоновскому надвигу перетекало до середины 2012 г около 180 м<sup>3</sup>/ч воды, которая затем стекала в горные выработки соседней шахты Западная в России (см. рис. 6). После затопления шахт Западная и Донецкая (вследствие отключения водоотлива из подземных горных выработок шахты Западная в связи с ее ликвидацией) начался переток воды из них в обратном направлении – в горные выработки шахты Северная. Максимальный объем перетока по расчетам составил около 350 м<sup>3</sup>/ч.

Таким образом, особенности геологического строения Юзовской площади, ставят под сомнение саму возможность сохранения в аргиллитовых и песчаниковых слоях углеводородов в условиях неоднократной тектонической переработки и неоднократного в геологической истории массового трещинообразования. С другой стороны, повышенная трещиноватость этих пород и огромное количество флюидопроводящих разломов, даже при наличии запасов сланцевого газа, делает весьма опасным для людей и окружающей среды его добычу методом ГРП.

### **Опасности добычи сланцевого газа методом ГРП**

Как уже отмечалось, основной опыт добычи сланцевого газа связан с США. Канада, Австралия и Аргентина находятся в начале пути, Китай и Европа пока еще проводят геологоразведочные работы. Поэтому некоторые негативные последствия газсланцевой добычи для человека и окружающей среды, как это сделано и при характеристике позитивного опыта, рассмотрим на примере США.

Добыча сланцевого газа в США столкнулась с серьезными экологическими ограничениями прежде всего ввиду большого охвата площадей и значительного и интенсивного нарушения целостности недр.

Еще вчера главной экологической проблемой сланцевого газа являлся риск загрязнения растворами для ГРП водоносных пластов. Оказалось, что при добыче сланцевого газа возможен выход трещин гидроразрыва за пределы кровли сланцевого пласта, объединение их с активизированными в результате гидроудара разломами земной коры и неконтролируемой миграцией газа и бурового раствора в подземные и поверхностные воды. Это может произойти на горизонтальном участке скважины в случае неправильного угла бурения, излишней силы гидроудара, но, в основном при недоучете степени тектонической нарушенности и других особенностей геологического строения обрабатываемого участка, так как именно горизонтальный участок скважины, в отличие от вертикального, остается не защищенным специальными стальными обсадными трубами, предотвращающими попадание газа и бурового раствора в заскважинное пространство.

Именно жидкость для гидроудара представляет угрозу подземным и поверхностным водам, так как в ее состав входят различные химические вещества в том числе и очень ядовитые для человека и окружающей среды (бензол, толуол, свинец, этиленгликоль, метанол, борная кислота и т. п.).

Другая угроза заключается в выдавливании жидкостью для ГРП (буровым раствором) сланцевого газа на поверхность, где он может заполнить какие-нибудь низины, либо попасть в источники водоснабжения. И хотя сам по себе природный газ не ядовит, но он тяжелее воздуха, и может вытеснить его собой в замкнутых пространствах, что может привести к удушью. К тому же, метан взрывоопасен.

Кроме того, метан является парниковым газом, и неконтролируемые утечки его в атмосферу могут способствовать глобальному потеплению. Так, 1 сентября 2011 года в Брюсселе опубликован отчет Агентства по охране окружающей среды США. В нем приведены неоспоримые факты, что выбросы парниковых газов при добыче сланцевого газа больше, чем у угля, нефти и обычного газа, общий объем потерь метана при добыче газа составляет 3,6-7,9%. Объемы парниковых газов, выбрасываемые в США, в связи с добычей газа из сланцев, увеличились в 3 раза за последние 5 лет.

Технология ГРП требует крупных запасов воды вблизи месторождений. Две трети использованной воды теряется в недрах, а возвращенная на поверхность использованная вода в составе растворов для ГРП не может быть очищена современными способами от ядовитых химических веществ до первоначального состояния. Более того, многие компании из-за отсутствия достаточного места, избавляются и от нее, интенсифицируя процесс испарения путем распыления.

Еще одна специфическая опасность связана с древним (в основном палеозойским и мезозойским) возрастом газоносных сланцев, отличающихся повышенной радиоактивностью. В результате гидроразрыва высокий уровень гамма-излучения может попадать в верхние слои осадочных пород и приводить к повышению радиационного фона.

И наконец, технология сплошной обработки пласта на большой площади требует бурение равномерной сети скважин, что даже при кустовом методе предполагает густую сеть буровых вышек и всей прилегающей к ним инфраструктуры, в среднем 3 на 1 км<sup>2</sup>, так что получается довольно густой «лес» буровых вышек.

При этом сама буровая площадка с обслуживающими комплексами занимает достаточно много места и хорошо видна из космоса (рис. 7). Представление о густоте буровых площадок и подъездных путей к ним можно получить по космическим снимкам разного приближения (рис. 8).



*Рис. 7. Космоснимок буровой площадки по добыче сланцевого газа в США*



*Рис. 8. Космоснимки территорий отработки сланцевого газа в США при разных приближениях*

Так что, крупная добыча сланцевого газа в США оказалась возможной только в слабозаселенных районах. Полупустынные площади, глубокая периферия штатов, окрестности небольших удаленных городков, – вот те места, где более-менее успешно работают газодобывающие компании. И даже там они сталкиваются с противодействием местных жителей.

В 2006 г. кинорежиссер Джош Фокс получил электронное письмо, в котором ему предлагалось 100000 долларов за разрешение добывать сланцевый газ на его земле. Он знал, что согласно закону, принятому конгрессом в 2005 году, экологический контроль из компаний по добыче природного газа был снят. Джош объездил всю страну в поисках правды о влиянии ГРП на экологическое состояние природы и на здоровье человека. В снятом им фильме «GazLand» показана бездеятельность чиновников, бюрократизм, взяточничество и ухудшающееся состояние природной среды: водоемы, зараженные токсичными отходами, повышенный радиационный фон, гибнет скот и дикие животные, легко воспламеняющаяся водопроводная вода (рис. 9), опасность заболевания раком, болезни легких.



Местные официальные службы штатов фиксируют до 6000 инцидентов в год, связанных с газосланцевой добычей. Ниже приводятся некоторые из них (по одному в каждом году).

2005 г. Округ Сан-Хуан, Нью-Мексико. Протечка жидкости, используемой при ГРП, вызвала массовый падеж скота, о чем было засвидетельствовано тexasской ветеринарной лабораторией.

2007 г. В ходе осуществления ГРП компанией Williams Production Gulf Coast в Техасе, также произошло попадание толуола в воду, что вызвало падеж скота.

2008 г. В Вайоминге, недалеко от сланцевой разработки, в каждом третьем источнике питьевой воды появился бензол, концентрация которого превысила гранично допустимую в 1,5 тыс. раз.



Рис. 9. Горит метан из водопроводного крана. Кадры из фильма Д. Фокса «GazLand»

В 2009 г. В Луизиане на разработке участка компанией Chesapeake Energy произошел неконтролируемый выброс метана, персонал не мог перекрыть утечку газа в течение суток, население в радиусе 3 километров было эвакуировано.

2010 г. В Вайоминге, в городке Павиллион был объявлен запрет на пользование водой, поскольку из 19 источников воды, расположенных в районе скважины для добычи сланцевого газа, 17 оказались загрязненной бензолом, фенолом и нафталином.

2011 г. Утечка раствора для ГРП полностью уничтожила растительность на площади 6 гектаров в Северной Дакоте.

2012 г. В Оклахоме при бурении скважины для добычи сланцевого газа что-то пошло не так и округ потряс мощный взрыв, вызвавший масштабный пожар.

2013 г. произошедшие в этом году землетрясения в городах Эзл и Форт-Уэрт в Техасе, Джонс в Оклахоме, Янгстаун в Огайо, Гай в Арканзасе а также на северо-востоке Огайо связывают с закачкой жидкости гидроразрыва в скважины.

2014 г. взрыв газа и пожар на скважине в штате Пенсильвания в 80 км к югу от Питсбурга.

Таким образом, перспективы крупной добычи сланцевого газа с помощью ГРП в настоящее время имеются только в слабозаселенных районах и в странах, которые согласны на снижение экологической безопасности.

Проблемы дефицита воды и многие экологические риски, которые сопровождают технологию гидроразрыва могут быть сняты при замене технологии гидроразрыва технологией аэроаэрозольного пласта. Уже сейчас в качестве пилотного проекта компания GasFrac Energy применяет экспериментальную технологию «пропанового разрыва», используя вместо воды сжиженный нефтяной газ или просто пропан или бутан. Эти газы, вместе с газом из сланцев затем полностью извлекаются из пласта, не воздействуя на окружающую среду.

Однако в последние годы на первый план выходят геодинамические риски. Снижение давления в неглубоко залегающих пластах постепенно приводит к перераспределению в них напряжений, подвижкам и даже техногенным землетрясениям. К тому же неизвестно, как скажется в будущем появление в недрах на больших площадях слабонаклоненного слоя ослабленных гидроразрывами пород по типу астеносферного слоя верхней мантии Земли.

По данным Геологической службы США (USGS), за последние четыре года было зафиксировано около 450 землетрясений силой до 3 баллов по шкале Рихтера [<http://earth-chronicles.ru>, 2014]. При этом в период наблюдений 1970-2000 гг. среднее количество подобных землетрясений было значительно меньше и составляло около 20. Значительное землетрясение силой 5,7 балла, вызванное, как показали исследования [Katie et al., 2013], разработкой сланцевых месторождений в США произошло в 2011 г. в штате Оклахома. Это стало самым сильным техногенным землетрясением.

Резкое увеличение числа сланцевых землетрясений уже стало поводом для создания специальной комиссии, представляющей несколько штатов США, в которых ведется активная разработка сланцевых месторождений [<http://earth-chronicles.ru>, 2014].

Тема техногенных землетрясений в связи с газосланцевой добычей была затронута весной 2014 г. на ежегодной конференции Сейсмологического общества США, которая прошла в г. Анкоридж, штат Аляска [<http://www.nofrackingway.us>, 2014]. Основной причиной таких землетрясений ученые считают закачивание отработанной воды в скважины для ее хранения, что приводит к повышению давления на уже существующих линиях разломов. Землетрясения могут возникать и при отсутствии в непосредственной близости сейсмоопасных геологических формаций. Так геофизики Корнельского университета, проанализировавшие различные модели пластового давления, показали: само давление отработанной воды при огромном количестве скважин может распространяться на десятки километров.

По итогам конференции в Анкоридже в журнале National Geographic была опубликована статья «Scientists Warn of Quake Risk From Fracking Operations», в которой отмечается, что, хотя сланцевые землетрясения пока еще остаются малоизученным феноменом, у экспертов есть основания полагать, что их магнитуда в дальнейшем может увеличиться.

И последнее. В январе 2013 г. Financial Times опубликовал материал, в соответствии с которым США в 2012 году не только стали одним из лидеров по производству газа, благодаря сланцам, но и одним из лидеров по его бесполезному сжиганию. По этому показателю США находятся на пятом месте после Нигерии, России, Ирана и Ирака. В статье это связывается с резким ростом производства сланцевого газа в 2010-х, что и привело к перепроизводству и падению цен. Теперь, даже просто хранить и тем более транспортировать попутный газ для нефтяных компаний нерентабельно, а девать его некуда. Приходится сжигать. То же самое происходит на сланцевых месторождениях в Техасе и Северной Дакоте (рис. 10), где бесполезное сжигание газа достигло таких масштабов, что было впервые зарегистрировано NASA из космоса с помощью спутника (рис. 10). За 2012 год количество газа, сжигаемого на сланцевых участках, увеличилось на 50%. Что касается Техаса, то за 2011 и 2012 годы там было выдано почти 2000 разрешений на сжигание газа. По подсчетам, приведенным в статье, в США впустую сгорает столько газа, что хватило бы для освещения и обогрева Чикаго и Вашингтона вместе взятых.

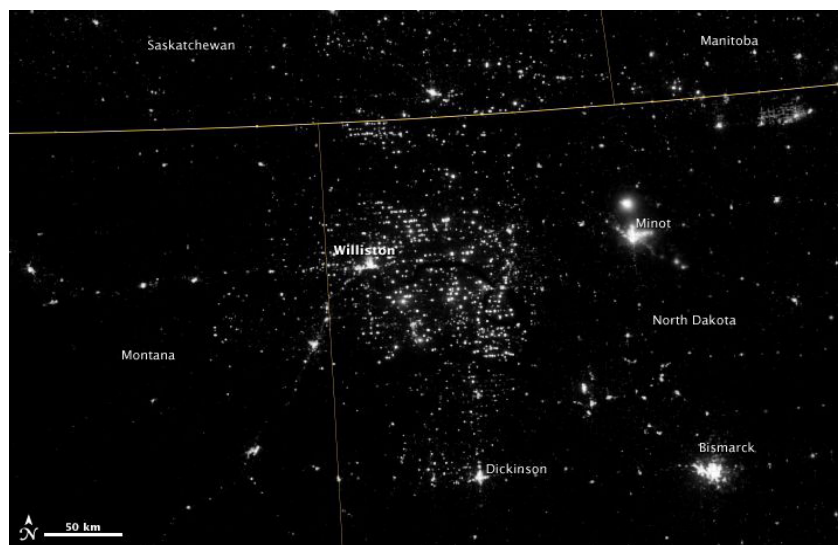


Рис. 10. Ночной космоснимок штата Северная Дакота – одного из самых малонаселенных штатов США – с яркими пятнами от горящих газовых факелов (NASA, 2012)

Таким образом, можно констатировать, что массовая добыча сланцевых газа и нефти методом гидроразрыва пласта таит в себе риски и угрозы глобального характера.

### Литература

1. Высоцкий В.И. Ресурсы сланцевого газа и прогноз их освоения // ИнфоТЭК-2011, № 1.
2. Кривошеев В. Т., Кукуруза В. Д., Иванова Е. З., Макогон В. В. Сланцевый газ – проблемы и перспективы добычи на Украине / XI-th International Conference on Geoinformatics Theoretical and Applied Aspects, 14-17 May 2012, Kiev, Ukraine
3. Мельникова С.И. Первые 5 лет «сланцевой революции»: что мы теперь знаем наверняка? Информационно-аналитический обзор. Центр изучения мировых энергетических рынков ИНЭИ РАН, Москва, 2012.
4. Мельникова С.И. Экономика и экология добычи сланцевого газа. Доклад 17 мая 2013 г. Львов, Украина. Центр изучения мировых энергетических рынков ИНЭИ РАН, Москва, 2013.
5. Мохов А. В. О растекании шахтных вод из затопленных угольных шахт в недрах / Доклады Академии наук, 2011. Т. 438, №4. С. 494-496.
6. Парада С.Г. О литогенной природе некоторых золоторудных месторождений в углеродисто-терригенных толщах // Литология и полез. ископаемые, 2002. № 3. С.275-288.
7. Погребнов Н.И., Очеретенко И. А., Трощенко В.В. Структурная геология Донецкого бассейна. М.: Недра, 1985. 149 с.
8. Соловьев В.О. Геология и нефтегазоносность Украины: Учебное и справочное пособие. Харьков: Курсор, 2007. 294 с.
9. Трощенко В.В. Малоамплитудная тектоника угольных пластов Восточного Донбасса. Характеристика и прогнозирование. Saarbrücken: LAP-Lambert Academic Publishing, 2011. 168 с.
10. Якуцени В.П., Петрова Ю.Э., Суханов А. А. Нетрадиционные ресурсы углеводородов – резерв для восполнения сырьевой базы нефти и газа России // Нефтегазовая геология. Теория и практика, 2009. №4. С. 1-20.

11. Katie M., Keranen I., Heather M., Savage Z., Geoffrey A., Abers Z., Elizabeth S. Potentially induced earthquakes in Oklahoma, USA: Links between wastewater injection and the 2011 Mw 5.7 earthquake sequence // *Geology*. T. 41. №6. 2013. P. 699-702.

12. <http://earth-chronicles.ru/news/2014-05-07-64857>

13. <http://www.nofrackingway.us/2014/05/02/the-science-of-frack-quakers/>

## **SHALE GAS PRODUCTION BY THE METHOD OF HYDRAULIC FRACTURE: THE CURRENT CONDITION, RISKS AND HAZARDS**

© 2015 G.G. Matishov<sup>1</sup>, academician, S.G. Parada<sup>2</sup>, Sc.Doctor (Geol.-Min.)

<sup>1</sup>FSBIS Southern scientific center of RAS, 344006, Rostov-on-Don, Chekhov avenue, 41, e-mail: [matishov\\_ssc-ras@ssc-ras.ru](mailto:matishov_ssc-ras@ssc-ras.ru); <sup>2</sup>FSBIS The Institute of arid zones of SSC RAS, 344006, Rostov-on-Don, Chekhov avenue, 41, e-mail: [segripa@rambler.ru](mailto:segripa@rambler.ru)

The current condition of shale gas production on basis of multiple hydraulic fractures in USA is characterized in the present article. It is shown that the breakthrough in development of shale gas and shale oil consists exactly in combination of technologies of lateral drilling from vertical well bore with the usage of revolving controlled system and technologies of multiple hydraulic fracture. Usage of such complex technologies increases the production cost and so shale gas will be more expensive than traditional gas. It is noticed that technological breakthrough in the sphere of shale gas production encourages the situation when USA importing gas up until recently, today is the biggest gas producer in the world leaved Russia behind. On the basis of analysis of geological exploration experience in the countries of European Union it is shown the absence of significant prospects of shale gas production in these countries and also in Ukraine. Negative influence of multiple hydraulic fractures on environment is considered. Herewith chemical pollution and geodynamic influence are separated. It is offered the hypothesis that expansion of shale gas and oil production scales has ecological risks and hazards in global scale.

**Key words:** shale gas, hydraulic fracture, horizontal drilling, chemical pollution, geodynamic influence, anthropogenic earthquakes.

УДК 550.343.4

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНО-АЛГОРИТМИЧЕСКОГО АППАРАТА МЕТОДИКИ ОСР-97 В ЗАДАЧАХ ДЕТАЛЬНОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ

© 2015 С.А. Перетокин, к.т.н.

СКТБ «НАУКА» КНЦ СО РАН, Россия, Красноярский край, 660049,  
г. Красноярск, пр. Мира, 53, e-mail: sktb@ksc.krasn.ru

В Российской Федерации исторически сложилась двухступенчатая схема оценки сейсмической опасности - оценка исходной сейсмичности для средних грунтов и последующая корректировка оценок с учетом реальных грунтовых условий площадки.

**Ключевые слова:** вероятностный анализ сейсмической опасности, детальное сейсмическое районирование, уточнение оценок сейсмического районирования.

В 1991-1997 гг. в ИФЗ РАН была разработана методика построения вероятностных карт общего сейсмического районирования ОСР-97 [Гусев, Шумилина, 1995; Уломов, 2012, 2013]. В настоящее время комплект карт ОСР-97 является нормативным документом, регламентирующим уровень исходной сейсмичности в привязке к средним грунтовым условиям для территории РФ. На картах сейсмической опасности ОСР-97 отражается уровень сейсмического воздействия с заданной вероятностью непревышения за необходимый период времени.

В основу методики положены модели зон возникновения очагов землетрясений (ВОЗ) и макросейсмического поля на основе представлений о протяжённом очаге. По существу, методику ОСР-97 можно представить как совокупность моделей, определяющих пространственное и временное распределение сейсмичности, правила их параметризации и программный комплекс, реализующий расчётные процедуры вероятностного анализа сейсмической опасности (ВАСО).

Надежность оценок сейсмической опасности, получаемых на основе ВАСО, определяется корректностью заложенных в расчет моделей и достоверностью их параметров. При общем сейсмическом районировании детальность моделей зон ВОЗ определяется не только изученностью территории, но и масштабом итоговых карт 1:8 000 000.

При проведении работ по оценке сейсмической опасности для конкретных объектов или построении карт и схем сейсмической опасности крупных масштабов, нормативными документами предусматривается так называемая стадия детального сейсмического районирования (ДСР). Зачастую под ДСР понимается уточнение оценок сейсмического районирования (УОСР) или более кратко - уточнение сейсмической опасности (УСО). Насколько эти понятия близки - предмет отдельной дискуссии. Тем не менее, в контексте данной статьи ДСР, УСО или УОСР принимаются близкими по смыслу.

В методике ОСР-97 заложены два типа моделируемой сейсмичности: рассеянная и структурированная. В первом случае выделяются объемы геологической

среды (домены), для которых задаются графики повторяемости землетрясений с магнитудами  $Mlh \leq 5,7$ , и равной вероятностью возникновения землетрясений в любом месте выделенного блока. Во втором - выделяются линейные зоны, соответствующие активным разломам, к которым приурочены землетрясения с  $Mlh \geq 5,8$  и их повторяемость.

Основная задача УОСР - это обоснованная детализация моделей, закладываемых далее в процедуры ВАСО. Первый шаг при детализации модели зон ВОЗ - понижение пороговой магнитуды между рассеянной и структурированной сейсмичностью. При исследованиях по УОСР этот порог понижается в соответствии с уровнем изученности региона.

Принципиальным отличием ВАСО от детерминистских методов является обязательный учет вероятного разброса значений параметров моделей. Это касается как пространственных параметров зон ВОЗ, так и характеристик модели затухания. Например, углы падения плоскостей линеаментов модели зон ВОЗ ОСР-97 задаются 45, 90 или 135 градусов, при этом площадкам очагов дополнительно задается диапазон вероятного разброса этих значений  $\pm 20$  градусов. Кроме того, задается стандартное отклонение площадки очага от оси линеамента, зависящее от максимальной возможной магнитуды на данном линеamente и магнитуды модельного землетрясения  $\sigma(M_{max}, Mlh)$ . В модели сейсмического эффекта ОСР-97 предусмотрены случайные поправки к расчетной интенсивности, позволяющие учесть вероятный разброс балльности от тех или иных случайных факторов.

То есть, для каждого параметра модели, который нельзя задать однозначно, необходимо учитывать вероятный разброс значений и тип распределения. В противном случае, возможен серьезный недоучет сейсмической опасности.

При подготовке моделей ОСР-97 величину поправок во многом определял генерализованный характер построений. При переходе к более детальным моделям на стадии УОСР величина поправок определяется степенью изученности территории и полнотой статистики по каждому конкретному параметру.

Принцип работы процедур ВАСО ОСР-97 сводится к созданию модельного каталога землетрясений за большой период времени и к расчету статистики сейсмического эффекта от модельной сейсмической истории для каждого узла опросной сетки. Программно-математическое обеспечение PRB-60, разработанное в рамках работ по созданию ОСР-97 (А.А. Гусев, В.М. Павлов, Л.С. Шумилиа), позволяет автоматизировать расчеты. В 2003 г. программный комплекс PRB-60 был модернизирован в части организации входных данных. Был разработан формат базы данных Microsoft Access (\*.mdb) в виде таблиц, объединяющих однотипные параметры. Такой формат более удобен для заполнения и анализа. Кроме того, была разработана интерфейсная часть. Расчетная часть корректировкам не подвергалась.

Возможности, заложенные в PRB-60, позволяют в задачах УОСР учесть индивидуальные особенности зон ВОЗ, которые в моделях ОСР-97 скрадываются за счет генерализованности построений. Например, в методике ОСР-97 разброс землетрясений вокруг оси линеамента определяется одной среднестатистической зависимостью  $\sigma(M_{max}, Mlh)$ . При построении детальных моделей в рамках УСО для каждой зоны ВОЗ эта зависимость может задаваться индивидуально и т.д.

В отличие от программных средств ВАСО построенных на прямом численном интегрировании соответствующих распределений вероятности (SEISRISK III и др.), программный комплекс PRB-60 более затратный в части вычислительных ре-

сурсов, но именно заложенный в него метод Монте-Карло [Shapira, 1983] позволяет учесть при моделировании любую информацию о свойствах и пространственной структуре очагов.

Важная особенность программного комплекса PRB-60 и его модификаций - это прозрачная схема расчетов на протяжении всей цепочки моделирования. В том числе это касается возможности работы с модельным каталогом. На рис. 1 показан пример модельных площадок очагов землетрясений синтезированного каталога. Разным цветом показаны площадки, соответствующие землетрясениям разных магнитуд.

Подобные возможности программного комплекса крайне важны для контроля корректности и отладки моделей зон ВОЗ.

В 2010-2012 гг. программный продукт дополнен возможностью использования индивидуальных моделей затухания для зон ВОЗ. Это позволяет учесть различия моделей затухания для разных типов тектонических подвижек.

Получаемая в результате процедур ВАСО интенсивность сейсмических сотрясений - это совокупная опасность от потенциальных землетрясений различных магнитуд, происходящих на разных расстояниях от источника. При исследованиях на стадии СМР необходимо знать наиболее вероятную магнитуду землетрясения  $M$  и расстояние источник-пункт  $R$ . Для решения этой задачи в программный продукт внедрена возможность деагрегационного анализа. В данной реализации «деагрегация» представляет собой распределение условной вероятности события с параметрами  $M$  и  $R$  при том условии, что нормативная интенсивность превышает в данном пункте. Результатом деагрегационного анализа являются таблицы распределения условной вероятности превышения расчетной интенсивности от событий синтезированного каталога с шагом по магнитуде и по гипоцентральному расстоянию.

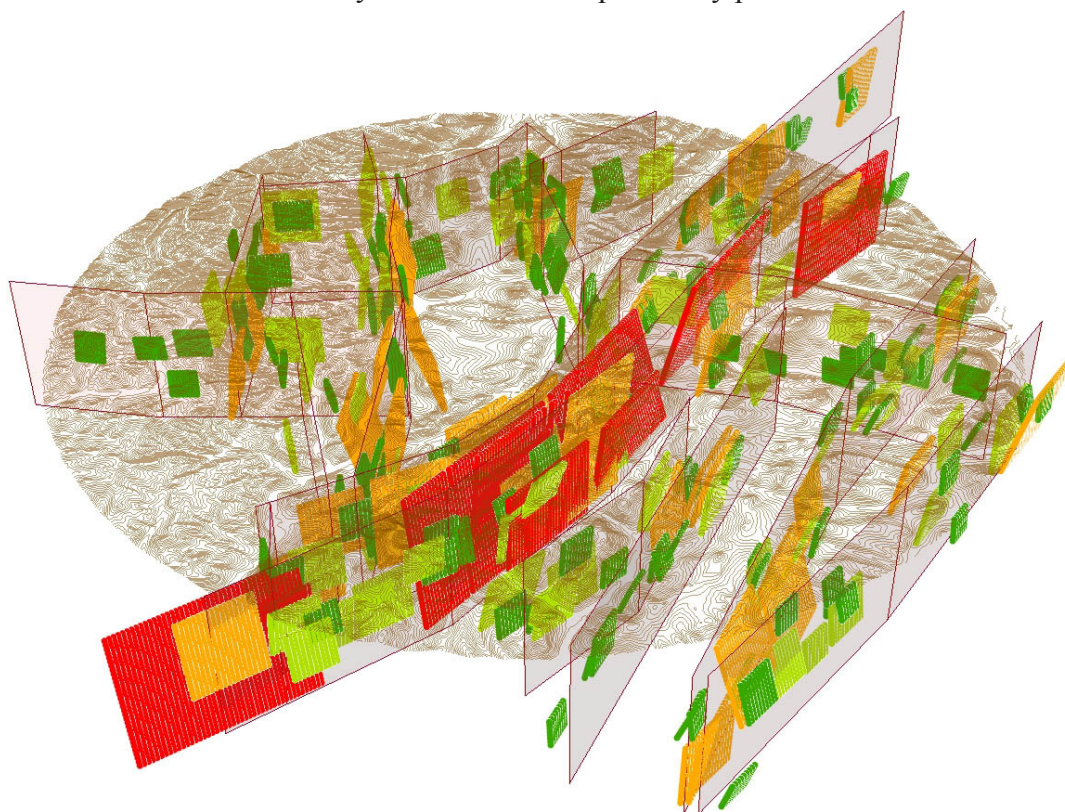


Рис. 1. Пример модельных площадок очагов землетрясений синтезированного каталога

В заключении стоит отметить, что адаптация программных средств методики ОСР-97 к задачам детального сейсмического районирования и требованиям СМР позволяет обеспечить методологическую преемственность в работах по оценке сейсмической опасности разных масштабов и выстроить единую технологическую цепочку ОСР-ДСР (УОСР)-СМР.

### Литература

1. Гусев А.А., Шумилина Л.С. Некоторые вопросы методики общего сейсмического районирования // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии (отв. ред. В.И. Уломов). Вып. 2-3. М.: ОИФЗ РАН, 1995, С. 289-300.
2. Уломов В.И. Актуализация нормативного сейсмического районирования в составе Единой информационной системы «Сейсмобезопасность России» // Вопросы инженерной сейсмологии. 2012. Т. 39, №1. С. 5–38.
3. Уломов В.И. Общее сейсмическое районирование территории Российской Федерации - ОР-2012 // Вопросы инженерной сейсмологии. 2013. Т. 4, №4. С. 5-20.
4. Shapira A. 1983. Potential earthquake risk estimations by application of a simulation process. *Tectonophys.* 1983. V.95. N1/2. P. 75-89.

## USAGE OF PROGRAM ALGORITHMIC TOOL OF OSR-97 METHODIC IN DETAILED SEISMIC ZONING PROBLEMS

© 2015 S.A. Peretokin, Sc. Candidate (Tech)

FSBI SDTB "NAUKA" KSC SD RAS, Russia, Krasnoyarsk Territory,  
660049, Krasnoyarsk, Mira avenue, 53, e-mail: sktb@ksc.krasn.ru

Historically in the Russian Federation formed two-staged assessment scheme of seismic hazard– assessment of the initial seismicity for average soils and the following correction of assessments with accounting of site real soil conditions.

**Key words:** probabilistic analysis of seismic hazard, detailed seismic zoning, rectification of seismic zoning assessments.



УДК 551.24

## АКТИВНЫЕ РАЗЛОМЫ И ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ ЗОНЫ КЕРЧЕНСКОГО ПРОЛИВА

© 2015 Е.А. Рогожин, д.г.-м.н., проф., А.В. Горбатиков, к.ф.-м.н.,  
А.Н. Овсяченко

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН,  
123995, г. Москва, ул. Б. Грузинская, д.10, стр. 1

Проведено полевое геолого-геоморфологическое изучение зон активных разломов сочленения Крымской и Кавказской подвижных систем [Рогожин и др., 2015]. Представлены морфо-кинематические характеристики основных тектонических нарушений [Трифонов и др., 2002]. К таковым относятся Южно-Азовский разлом, Вышестеблиевская флексура, разлом Керченского пролива (подводный), Правдинский разлом.

**Ключевые слова:** активные разломы, геологическая активность, микросейсмическое зондирование

Полевое изучение структуры зон разломов показало, что Южно-Азовский и Правдинский дизъюнктивы демонстрируют позднечетвертичную геологическую активность. В ходе проведенных исследований на северном (Азовском) побережье Керченского и Таманского п-овов обнаружены выходы на сушу зоны активного Южно-Азовского разлома (рис. 1, 2). В зоне разлома выявлены и детально изучены яркие признаки молодых тектонических смещений – надвиги неогеновых пород на позднеплейстоценовые суглинки. Разнообразные признаки, к которым относятся, прежде всего, сильные тектонические изменения в молодых отложениях, указывают на импульсный характер подвижек при сильных землетрясениях. Амплитуды смещений достигали первых метров. Последнее крупное смещение произошло в историческое время, в период после 2691-2926 лет назад (возраст палеопочвы на рис. 2) и до 725-802 лет назад (возраст чернозема на рис. 2).

Другой район широкого развития сейсмогенных нарушений – южное и юго-восточное побережье Керченского п-ова. В частности, здесь расположены сейсмодислокации г. Опук. Оползневые деформации по возрасту можно разделить на три генерации. Самая молодая генерация имеет возраст в первые сотни лет. Вторая – 2-2,5 тыс. лет. Возраст третьей – первые тысячи лет. Эта периодизация в общих чертах согласуется с археосейсмическими данными и результатами изучения Южно-Азовского разлома.

Все эти материалы свидетельствуют о позднеголоценовой сейсмической активности региона.

Строение зон выделенных разломов в недрах изучено с помощью геофизического метода микросейсмического зондирования (ММЗ) [Горбатиков и др., 2008]. Профилирование ММЗ (рис. 3) было выполнено по четырем линиям близмеридионального простирания. Для ряда активных на поверхности разломов получено подтверждение их проникновения в глубокие недра. Так что они обоснованно могут быть причислены к рангу глубинных разломов. В частности метод ММЗ позволил

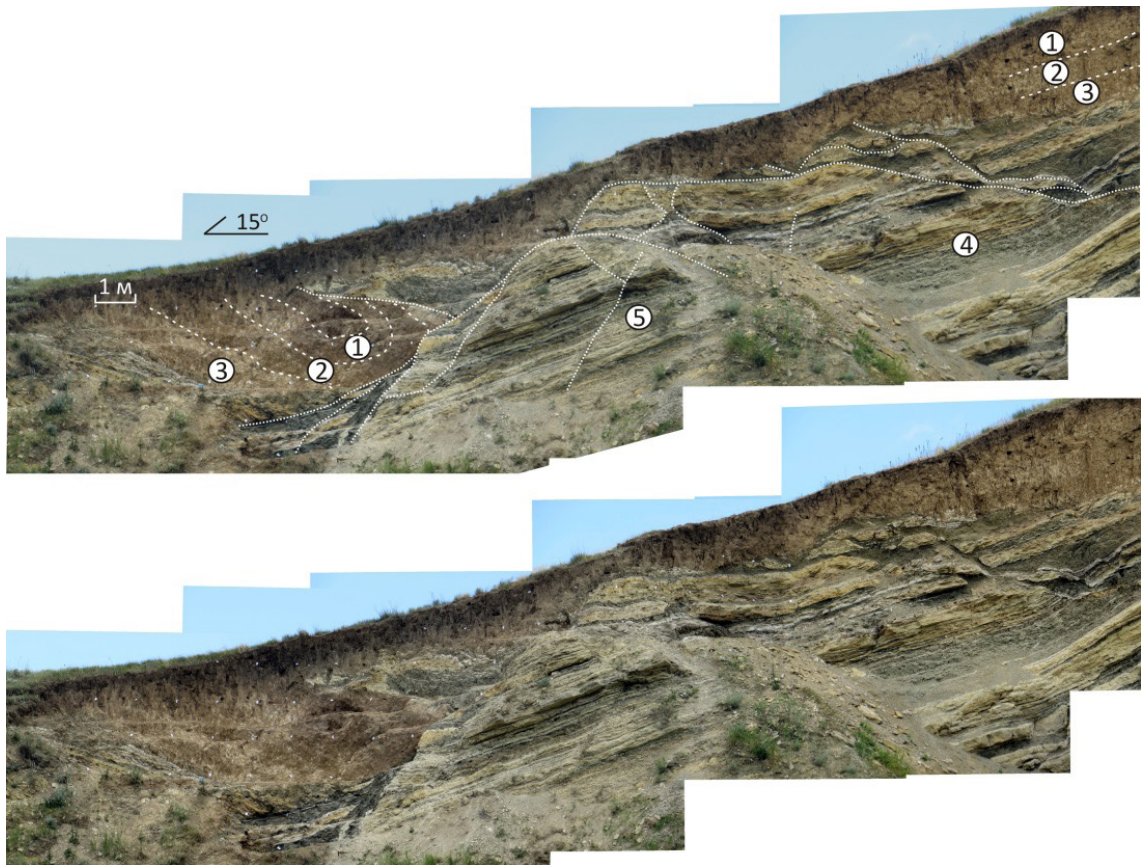


Рис. 1. Расчистка обнажения (Азовское побережье Таманского п-ова). Пунктиром показаны плоскости сместителей. Штриховыми линиями – границы слоёв в толще покровных суглинков. 1 – светло-коричневые, легкие, пористые, пылеватые суглинки; 2 – буровато-коричневые, пылеватые, тяжелые супеси; 3 – серовато-коричневые, пористые, пылеватые суглинки с многочисленными белёсыми карбонатными включениями; 4 – окремнённые породы с прослоями глин (тектонический клин); 5 – тонкое переслаивание зеленовато-серых глин и светло-серых мергелей позднемiocенового возраста.

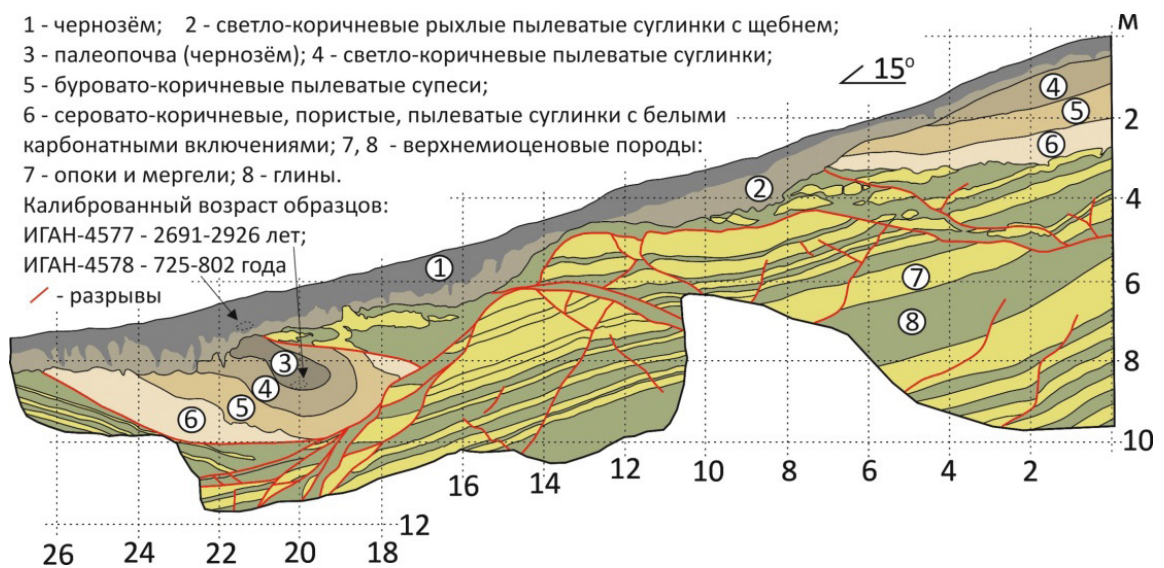


Рис. 2. Документация обнажения, показанного на рис. 1.

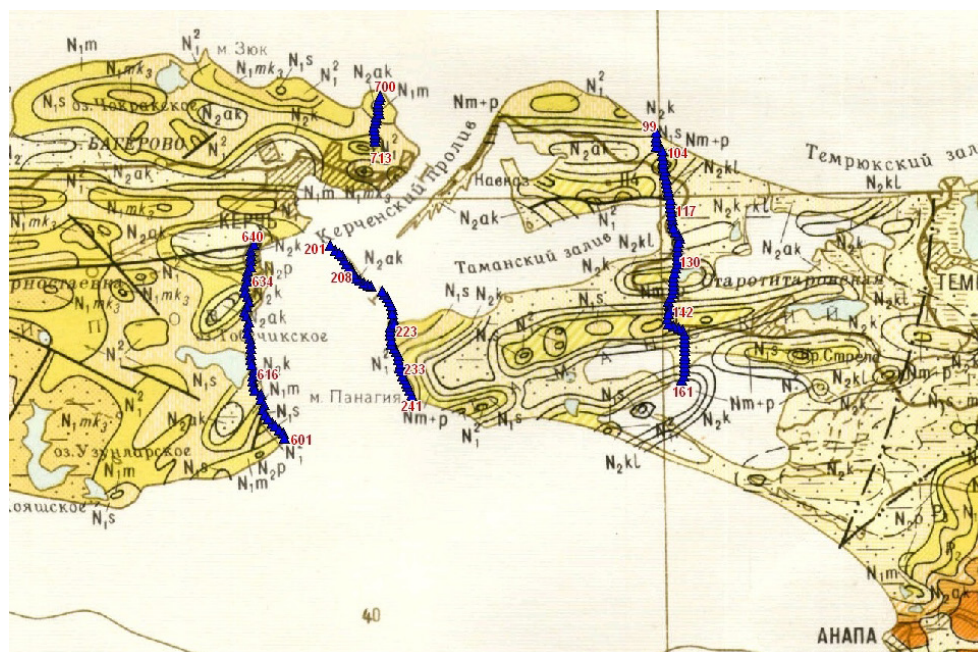


Рис. 3. Положение профилей ММЗ в районе Керченского пролива и геологическая карта. Синие треугольники – пункты расстановки сейсмостанций.

впервые подтвердить реальность существования подводного разлома Керченского пролива, который по характеру смещений крупных форм рельефа может быть охарактеризован как левый сдвиг. Это нарушение (рис. 4) в виде низкоскоростного вертикального «кармана» прослеживается от глубин, на которых заканчиваются приповерхностные некомпетентные осадки (3 км ниже уровня моря), до средних горизонтов коры (25-30 км).

С целью оценки скоростей молодых складчатых деформаций на Таманском п-ове были изучены Фонталовская и Тузлинская антиклинали. Скорость роста Фонталовской антиклинали оценена по величине очень выразительной деформации молодого (1,5-1 тыс. лет) террасового уровня – 1,2-1,9 мм/год. В районе мыса Тузла, где развита одноимённая антиклиналь, оценен размах складчатых

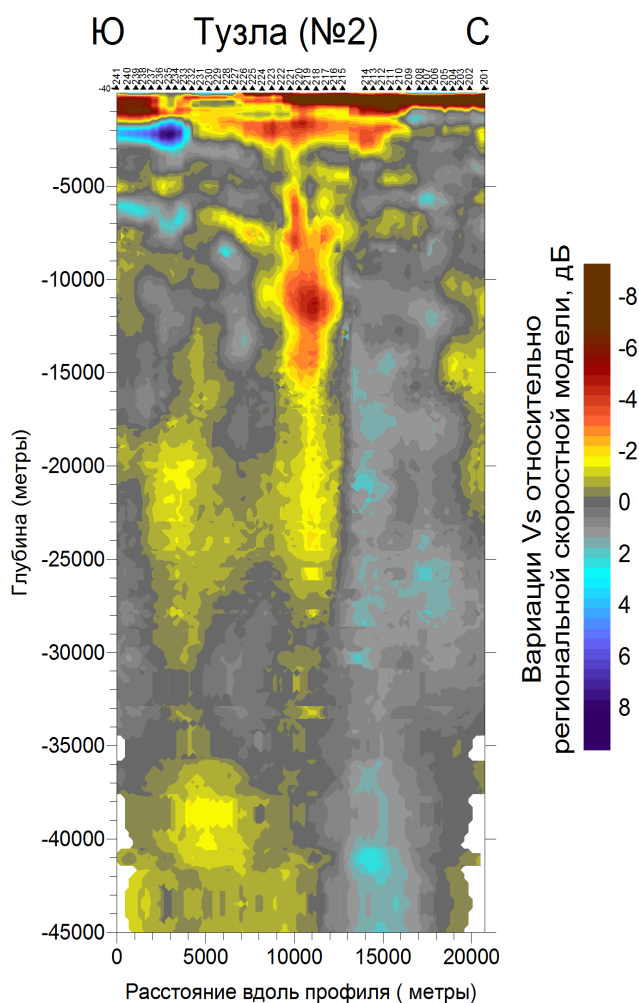


Рис. 4. Разрез ММЗ по профилю по острову и косе Тузла

деформаций за последние 95 тыс. лет; скорость роста складки составила 0,5 мм/год. В целом антиклинальные структуры имеют диапировую природу.

В пределах региона сосредоточены многочисленные грязевые вулканы, демонстрирующие современную активность [Шнюков и др., 2006]. В основном вулканические аппараты приурочены к осевым зонам антиклинальных складок и к зонам активных разломов.

В целом, выполненные геолого-геофизические исследования показали, что зона перехода от Западного Кавказа к восточному Крыму характеризуется высоким уровнем современной геологической и сейсмической активности. То есть, периклинальные замыкания складчатых систем Большого Кавказа и Южного Крыма в этом районе нельзя рассматривать как слабоактивные структуры пассивного погружения в недра.

### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 15-05-06197-а).

### Литература

1. Горбатилов А.В., Степанова М.Ю., Кораблев Г.Е. Закономерности формирования микросейсмического поля под влиянием локальных геологических неоднородностей и зондирование среды с помощью микросейсм. // Физика Земли. 2008. №7. С.66-84.
2. Рогожин Е.А., Горбатилов А.В., Овсюченко А.Н. Глубинное строение и активная тектоника зоны перехода от Западного Кавказа к Восточному Крыму. // Материалы 47 Тектонического совещания «Тектоника и геодинамика континентальной и океанической литосферы: общие и региональные аспекты. Т.2. М.: ГЕОС, 2015. С. 104-107.
3. Трифонов В.Г., Соболева О.В., Трифонов Р.В., Востриков Г.А. Современная геодинамика Альпийско-Гималайского коллизийного пояса. М.: ГЕОС, 2002. 225 с.
4. Шнюков Е.Ф., Шереметьев В.М., Маслаков Н.А., и др. Грязевые вулканы Керченско-Таманского региона. Краснодар: ГлавМедиа, 2006, 176 с.

## ACTIVE FAULTS AND THE STRUCTURE OF KERCH STRAIT ZONE

© 2015 E.A. Rogozhin, Sc. Candidate (Geol.-Min.), A.V. Gorbatikov, Sc.Doctor (Phys.-Math.), A.N. Ovsyuchenko

*Schmidt Institute of Physics of the Earth of RAS,  
123995, Moscow, B.Gruzinskaya 10/1*

Field geologic-geomorphological investigations of active faults zones of connection between Crimea and Caucasus moveable systems were carried out [Rogozhin et al., 2015]. Morphokinematic characteristics of the main tectonic disturbances are given in the article [Trifonov et al., 2002]. Such disturbances are South-Azov fault, Vyshesteblievsk flexure, Kerch strait fault (underwater), Pravdinsk fault.

**Key words:** active faults, geological activity, microseismic sounding.

УДК 551.243:552.573

## ОСОБЕННОСТИ СЕДИМЕНТОГЕНЕЗА КАК ФАКТОР ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ ВОСТОЧНОГО ДОНБАССА И УСЛОВИЙ ИХ РАЗРАБОТКИ

© 2015 В.В. Трощенко, к.г.-м.н.

ИАЗ ЮНЦ РАН, г. Ростов-на-Дону, Россия, 344006,  
пр. Чехова, 31, e-mail: vtrosh@ssc-ras.ru

Приведены результаты исследований влияния условий накопления осадков на формирование мало-амплитудной тектонической нарушенности и горно-геологические условия разработки угольных пластов.

**Ключевые слова:** седиментогенез, уголь, угольные пласты.

В настоящее время роль угля в народном хозяйстве существенно снижена, как в качестве энергетического топлива, так и минерального сырья для металлургической и других отраслей промышленности. Особенно заметно это отразилось на судьбе угольных ресурсов Восточного Донбасса, которые оказались полностью за пределами действующих кондиций: мощность пластов не менее 2 м, углы падения не выше 30 градусов. Однако утверждать, что эти изменения в нашем нестабильном мире необратимы, нельзя. Рано или поздно может наступить такой момент, когда уголь в иерархии топливных ресурсов окажется на одном уровне с нефтью и газом или даже выше, и тогда может встать вопрос о вовлечении в эксплуатацию сохранившихся угольных ресурсов, возможно, даже тех, которые до нынешнего времени считались бесперспективными. В связи с этим, целесообразно сохранить в базе знаний всё то, что может оказаться полезным опытом, чтобы не повторять заново весь путь познания в данной сфере.

Подземная добыча угля насчитывает более 200 лет. Постоянно совершенствующаяся технология угледобычи, с одной стороны, позволяет повышать производительность труда при наличии благоприятных условий разработки, с другой – усиливает зависимость производственных процессов от всякого рода природных осложнений.

Большинство причин, осложняющих процессы подземной добычи угля, связаны с особенностями физико-механических свойств угля и вмещающих пород и с условиями залегания угольных пластов, включая глубину залегания, мощность пластов, угол их падения, обводнённость, газоносность, а также наличие и характер разнообразных геологических нарушений.

Ввиду того, что большинство из значимых особенностей угольного пласта и вмещающих пород так или иначе связаны с литологическим составом и формой геологических тел, а они закладываются в основном на этапе седиментогенеза, представляется интересным проанализировать с современных позиций те ландшафтно-тектонические условия, которые обуславливают возникновение и сохранение тех или иных особенностей угленосных формаций и собственно угольных пластов.

Поскольку действовавшая до настоящего времени теория [Иванов, 1967;

Кравцов, 1982], объясняющая происхождение угольных пластов погребением и диagenетическими преобразованиями сухопутных торфяников, а формирование цикличности (ритмичности) строения угленосных формаций – волновыми движениями земной коры, фактами не поддерживается, стоит обратиться к более реалистичным представлениям [Трощенко, 2006; 2012, а; 2012, б], в соответствии с которыми вещественный, в первую очередь гранулометрический, состав осадка определяется составом твёрдого стока, а последний зависит главным образом от интенсивности размыва областей сноса.

Теоретически установлено и подтверждено многочисленными модельными экспериментами на эквивалентных и оптически активных материалах, что слоистая гетерогенная угленосная толща в процессе тектонической деформации ведёт себя как анизотропная среда, способная до определённых пределов формировать складчатые структуры (пликативные дислокации), а при превышении некоторых величин относительной деформации – реагировать с образованием разрывов (дизъюнктивных дислокаций). Начальные стадии деформации обычно характеризуются гармоничными формами образующихся структур, когда толща ведёт себя как единое тело: складчатость преимущественно концентрическая, а разрывы рассекают слоистый массив, не меняя ориентировки при переходе из слоя в слой. Однако, при достижении некоторых критических параметров деформации резкие различия деформационных свойств отдельных слоёв начинают проявляться в дисгармоничном характере образующихся структур, когда отдельные слои либо демонстрируют пластическое перетекание вещества из зон повышенного давления в менее нагруженные места, либо наоборот, образуют локальные разрывные смещения на фоне общей пластической деформации. В Донском бассейне из всех литологических разностей, слагающих угленосную толщу, наибольшую склонность к пластическим деформациям проявляют пласты угля практически всех марок, кроме наиболее метаморфизованных антрацитов. Так возникают пережимы, раздувы угольных пластов, диапиры, внутрипластовые разрывы, разного рода внедрения угля во вмещающие породы, вмещающих пород в угольный пласт и другие элементы внутрипластовой тектоники [Трощенко, 2011, а]. На распределение тектонических, а также геостатических напряжений в угленосной толще существенное влияние оказывает тот факт, что реальное сложение осадочной толщи отличается от равномерного переслаивания разнородных слоёв, и что наличие в ней различных генетически обусловленных неоднородностей приводит к существенному перераспределению деформирующих напряжений.

Анализ фактического материала по шахтам Донбасса показал, что морфология, размеры и расположение многих тектонических структур, в том числе малоамплитудных разрывных нарушений, малых складок, флексур, пережимов и вздутий пластов и т. п., а также поведение вмещающих пород в подземных выработках, в значительной мере зависят от распределения в плане и в нормальном разрезе различных литологических разностей пород и угля, а это распределение является результатом различных процессов, протекавших на стадии седиментогенеза не только в области осадконакопления, но и в областях сноса кластического материала.

Так, например, при постепенном переходе от угля к породам кровли через высокозольный уголь и углистый аргиллит (алевролит) обычно появляется «ложная кровля», иногда достигающая мощности порядка 1 м и более, за счёт пониженных прочностных свойств тонкослоистых углистых пород. При резком переходе ложная

кровля не образуется, а непосредственная кровля оказывается достаточно устойчивой. Причиной постепенного перехода от пласта к породам кровли может быть медленный темп возобновления восходящих движений области сноса после периода стагнации, в течение которого накапливался только органический материал, а размыв минерального субстрата не происходил. Резкий контакт пласта с кровлей возникает при быстром подъёме области сноса, например, в результате землетрясения. В некоторых случаях такой подъём бывает настолько интенсивным, что вместо обычных илистых осадков угольная залежь перекрывается крупнозернистым материалом – это те редкие случаи, когда кровлей угольного пласта является песчаник. Другой вариант – эвстатическое повышение уровня мирового океана, при котором устанавливается связь седиментационного бассейна с океаном и прекращается снос углеобразующей органики с заболоченной суши областей сноса [Троценко, 2006; 2012, а; 2012, б], уступая место накоплению морских осадков (известняк). Таким образом формируется тот или иной тип непосредственной и основной кровли пласта, определяющий поведение кровли в процессе очистной выемки и, соответственно, выбор адекватных схем отработки шахтного поля, средств механизации добычи и управления кровлей.

Хотя и воздымание областей сноса, и опускание ложа бассейна седиментации – процессы однонаправленные, их неравномерность и асинхронизм в сочетании с наложенными кратковременными эвстатическими процессами создаёт предпосылки для формирования элементарных седиментационных циклитов более сложных, чем классический разрез, описанный Т.А. Ягубянцем [Ягубянец, 1988] (известняк – аргиллит – песчаник (гравелит) – алевролит – аргиллит – антраколит – известняк), который возникает в результате типичного процесса прерывистого воздымания области сноса при непрерывном погружении ложа седиментационного бассейна. Мнение таких учёных как В.С. Попов, Л.Б. Рухин и др., о том, что погружение ложа бассейна осадконакопления, в отличие от воздымания областей сноса, было непрерывным, вероятно, справедливо в том смысле, что его незначительная неравномерность, если она имела место, не отражалась на составе осадка. Но если допустить, что иногда процесс погружения мог существенно задерживаться, то появляется возможность объяснить и существование в Донбассе стратиграфических интервалов широкого площадного развития аллювиальных отложений, описанных в работе [Аллювиальные..., 1954]. Вероятно, таким путём сформировались известные горизонты песчаных отложений в толще карбона, получившие собственные наименования – «софиевские песчаники» (между известняками  $H_1$  и  $H_3$ ), «табачковые» (между известняками  $K_1$  и  $K_2$ ) а также «лисьи», «боковские» и др., развитые на значительных площадях нескольких геолого-промышленных районов и залегающие обычно на размытой поверхности нижележащих отложений. В практике угледобычи роль песчаных толщ изменяется в зависимости от глубины их залегания и петрографических характеристик. На небольших и умеренных глубинах большинство песчаников ведут себя как устойчивые породы, благоприятные для проведения и поддержания капитальных и подготовительных выработок. На глубине более 600-700 м, с возрастанием геостатического давления, у наиболее прочных песчаников появляется такое необычное свойство, как склонность к выбросам, причём, в отличие от выбросов угля и газа, выбросы песчаников происходят не внезапно и спонтанно, а при проведении взрывных работ, непосредственно после отпалки. Наиболее значительные выбросы, приводящие к существенным ослож-

нениям, происходят в условиях проведения горных выработок именно в мощных слоях песчаника, где полость выброса может развиваться в совершенно нежелательном направлении, вызывая потребность в больших объёмах забутовки [Троценко, 2011, б].

Значительная роль в возникновении отклонений от канонической последовательности литологических разностей принадлежит эвстатическим изменениям уровня океана – его кратковременным понижениям или повышением с последующим возвратом к прежнему значению. Такое изменение базиса эрозии и аккумуляции изменяет одновременно условия денудации областей сноса и глубину бассейна седиментации. Так, кратковременное понижение уровня вод может привести к частичному или полному осушению седиментационного бассейна и, соответственно, к увеличению перепада высот рельефа области сноса над уровнем бассейна. При этом энергия рельефа областей сноса увеличивается и твёрдый сток обогащается грубозернистыми фракциями, а на осушенных территориях развивается сеть временных водотоков, где отлагаются русловые осадки, обычно более крупнозернистые, чем окружающий субстрат (рис. 1), чаще всего это песчано-алевритистый материал.

Если подобное явление имело место вскоре после окончания процесса формирования угольной залежи, то результатом являются вытянутые и извилистые тела замещения угольного вещества, которые Т. А. Ягубянец [Ягубянец, 1988] назвал шнуорообразными замещениями. Как правило, такие тела замещения в процессе диагенетического уплотнения пород и складкообразования ведут себя как инородные по физико-механическим свойствам объекты, и к их окрестностям бывают приурочены пережимы, вздутия угольных пластов, угольные диапиры и другие нарушения нормальной структуры пластов [Троценко, 2011, а; Ягубянец, 1988]. При этом влияние таких размывов может проявляться даже в тех случаях, когда размыв пород кровли не затронул собственно угольного пласта.



*Рис. 1. Внутриформационный размыв в алевритах угольной толщи пермского возраста. Видны слепки борозд размыва на боковой поверхности тела замещения (песчаник). Печорский бассейн, левый берег р. Воркута (фото В. В. Троценко)*



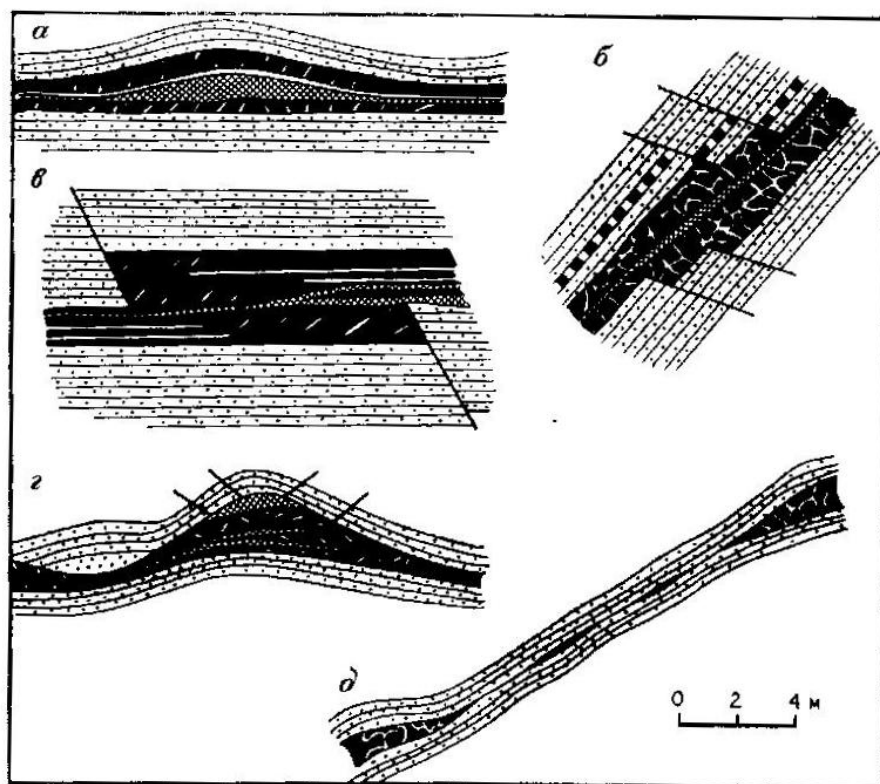


Рис. 2. Зарисовки пластовых нарушений угольных пластов Донбасса, связанные с квазипластическим перемещением угольного вещества при тектонических дислокациях [Троценко, 2006]. а – раздув пласта  $m_9$ , Шх. №3-5. Зона поперечных флексур; б – раздув угольного пласта  $m_3$ , произошедший в результате послойного сдвига после образования ступенчатого отдвига. Шх. им. Ленина. Горловская антиклиналь; в – сдвиг пласта антрацита  $k_2$  на их. №19-20 (Колпаковско-Замчаловская антиклиналь), образовавшееся в результате послойного смещения после разрывной дислокации; г – пережим и вздутие антрацитового пласта  $k_5$  на их. им. Артема, Шахтинско-Несветаевская синклиналь; д – пережим угольного пласта  $m_5$ , Шх. им. Румянцева. Горловская антиклиналь. Межслоевое проскальзывание в сочетании с образованием небольшой флексуры привело к утонению пласта угля до 0,02 м.

Тело замещения, представленное песчаником или гравелитом, обычно менее подвержено процессам уплотнения под давлением вышележащих отложений и, таким образом, служит неким концентратором сжимающих напряжений, в результате в соответствующих зонах ближайшего угольного пласта могут возникать местные пережимы и сопутствующие им вздутия угольной залежи (рис. 2). И те и другие, если мощность пласта выходит за пределы рабочего диапазона принятой забойной техники, значительно осложняют производственные процессы.

Если возврат к первоначальному уровню океана происходит в замедленном темпе, наступление моря на сушу может сопровождаться абразионным размывом ранее образовавшейся угольной залежи, и в этом случае замещение угля минеральной кластикой обычно носит площадной характер; при этом часто можно наблюдать в породах замещения гальку и обломки готового угля (рис. 3). Отсутствие связи бассейна седиментации с мировым океаном (при лимническом угленакоплении) снижает или вообще снимает зависимость результирующего разреза от эвстатических колебаний уровня океана; такие разрезы характеризуются отсутствием морских известняков в кровле угольных пластов, обычно в этих случаях отсутствуют также и стигмариевые слои (кучерявчики) в почве пласта.



*Рис. 3. Включения угольной гальки и углефицированных растительных фрагментов в песчанике тела замещения (зона размыва угольного пласта). Донецкий бассейн.*

Последние формируются, когда процесс воздымания области сноса на некоторое время прекратился, а эвстатическое понижение уровня океана привело к осушению седиментационного бассейна и зарастанию его территории наземной растительностью. Возобновление нисходящих движений на территории бассейна при условии продолжающегося застоя в области сноса и отсутствии прямой связи бассейна с океаном (отшнурованная лагуна) приводит к уничтожению выросших растений абразией с последующим накоплением органического материала для будущего угольного пласта за счёт сноса продуктов размыва сухопутных торфяников в водный бассейн. А если происходит настолько значительное повышение уровня океана, что седиментационный бассейн превращается в морской залив, то поверх кучерявчика или угольного пласта отлагается морской осадок (чаще всего известковистый ил – материал для слоя известняка). Такая последовательность отложения, когда угольный пласт или стигмариевый горизонт перекрывается типично морскими отложениями (в том числе известняком с морской фауной) вполне характерен для угольных бассейнов, считающихся паралическими (Донецкий, Аппалачский и др.), на что указывает и А.И. Кравцов [Кравцов, 1982, с. 87]. Обычно слой известняка ложится на поверхность угольного пласта либо непосредственно, с резким контактом, либо с незначительным промежуточным прослойком тонкослоистого морского аргиллита, но в любом случае без признаков размыва угольного пласта. Реже встречается налегание угольного пласта на морской известняк (такие примеры более обычны в Аппалачах). Совершенно очевидно, что такая последовательность формирования угленосных ритмов была бы невозможна в условиях «волновых движений земной коры», предполагаемых классической теорией торфоуглена-

копления, с миграцией береговой линии и зон накопления разномерных осадков. Согласно никем не отменённому фациальному закону Головкинского-Вальтера, тесное соседство в стратиграфическом разрезе углей и морских осадков, в том числе известняков, свидетельствует об их генетическом родстве. Выдержанность мощности и строения угольных пластов и слагающих их пачек, прослоев и антраколитовых слоёв однозначно характеризует уголь как нормальную водно-осадочную породу, ничем, кроме органического состава, не отличающуюся от типично морских аргиллитов, алевролитов и известняков. Многие исследователи, в том числе Н.Н. Погребнов, Г.Ф. Крашенинников, Дж. Уэллер и др., особо подчёркивали площадную выдержанность именно угольных пластов и горизонтов известняков в угленосных формациях. На территории Донбасса непосредственная кровля угольных пластов, представленная известняком, является достаточно обычным явлением, особенно в северо-западных и северных районах, где объектом разработки являются пласты свит  $C_2^5$ - $C_2^6$  (Алмазно-Марьевский, Селезнёвский, Луганский, Краснодонский, Каменско-Гундоровский). Такие кровли устойчивы, допускают значительную площадь временно незакреплённого пространства, но проявляют склонность к зависанию и бурным посадкам.

Присутствующие в толще донецкого карбона аллювиальные отложения, представленные преимущественно песчано-алевритовыми фациями, не могут быть отнесены к континентальным образованиям, несмотря на очевидное сходство с последними. Аллювиальный режим в области осадконакопления устанавливается в условиях перекомпенсации, наступающих в результате наиболее интенсивных восходящих движений в областях сноса, когда прогибание седиментационного бассейна «не справляется» с объёмами поступающего твёрдого сноса. Аллювию угленосных толщ, как и континентальным аллювиальным отложениям, свойственна значительная площадная изменчивость гранулометрического состава и мощности разномерных слоёв, формирующаяся в процессе миграции русловых потоков, образования меандр и стариц. Однако настоящие континентальные отложения в угленосных формациях отсутствуют. В отличие от последних, континентальные осадочные образования формируются не на опускающихся, а на воздымающихся блоках земной коры, которые составляют области сноса и, как правило, не сохраняются в ходе длительных периодов геологической истории. В качестве примера можно привести современные отложения антропогена, доступные для изучения в обнажениях и на небольшой глубине и представленные большей частью разрозненными малыми по площади и по мощности телами, не образующими обширных монопородных слоёв, характерных для осадочных формаций фанерозоя. Их залегание на дифференцированной поверхности современного рельефа, изменчивый вещественный состав и другие особенности затрудняют стратиграфическую увязку современных отложений даже на малых расстояниях. Те осадочные толщи, которым предстоит сохраниться после окончания четвертичного периода, формируются не на континентах, а на дне океанов и морей, да и то не всех, а только тех, которые расположены на блоках земной коры, сохраняющих нисходящее направление вертикальных движений в течение всего геологического периода.

С учётом вышеизложенного, становится очевидным, что при прогнозировании площадного распространения различных типов кровли угольных пластов по их поведению при очистных работах, а также и других пород, так или иначе влияющих на основные и вспомогательные процессы угледобычи, следует иметь в виду, что

наибольшей площадной выдержанностью обладают водно-осадочные, относительно глубоководные фациальные горизонты, к которым относятся сами угольные пласты, известняки с морской фауной, а также карбонатизированные аргиллиты и алевролиты, а наименьшей – аллювиальные образования.

### Литература

1. Аллювиальные отложения в угленосной толще среднего карбона Донбасса. Труды ин-та геол. наук АН СССР. Вып. 151. Угольная серия (№5). М.: Изд-во АН СССР, 1954. 296 с.
2. Иванов Г.А. Угленосные формации (закономерности строения, образования, изменения и генетическая классификация). Л.: Наука, 1967. 407с.
3. Кравцов А.И. Основы геологии горючих ископаемых: Учебник. М.: Высшая школа, 1982. 424 с.
4. Трощенко В.В. Модель процесса аллохтонного угленакопления как основная для паралических угольных бассейнов // Вестник ЮНЦ РАН. 2006. т.2, №3. С. 33-41
5. Трощенко В.В. Малоамплитудная тектоника угольных пластов Восточного Донбасса. Характеристика и прогнозирование. Saarbruücken: LAP-Lambert Academic Publishing, 2011, а. 168 с.
6. Трощенко В.В. К вопросу о выбросах песчаника // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2011, б. №3. С. 192-195
7. Трощенко В.В. Модель накопления первичного материала ископаемых углей и угленосных формаций // Разведка и охрана недр. 2012, а. №3. С. 30-33.
8. Трощенко В.В. Седиментологический аспект углеобразования / Гл. ред. чл.-корр. РАН Д.Г. Матишов. – Ростов-н-Д.: Изд-во ЮНЦ РАН. 2012, б. 112 с.
9. Ягубянец Т.А. Морфоструктурный анализ угольных залежей / Мин-во геол. СССР, Всесоюз. науч.-исслед. геол.-развед. ин-т угольных м-ний. – М.: Недра. 1988. 128 с.

## FEATURES OF SEDIMENTOGENESIS AS FORMATION FACTOR OF COAL-BED STRUCTURE OF EASTERN DONBASS AND THEIR DEVELOPMENT CONDITIONS

© 2015 V.V. Troschenko, Sc. Candidate (Geol.-Min.)

IAZ SSC RAS, Rostov on Don, Russia, 344006, Chekhov avenue,  
31, e-mail: vtrosh@ssc-ras.ru

There are adduced results of investigation of influence of sediments accumulation conditions on the formation of small-amplitude tectonic dislocations and mining conditions of coal seams. Key words: coal seams, coal-bearing deposits, sedimentation conditions, underground mining, mining conditions.

**Key words:** sedimentogenesis, coal, coal-bed.

---

---

## МНЕНИЕ УЧЕНОГО

---

---

УДК 001.3

### КАЧЕСТВО И КОЛИЧЕСТВО НАУКИ

© 2014 А.В. Николаев, член-корр. РАН

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН,  
123995, г. Москва, ул. Б. Грузинская, д.10, стр. 1

О «качестве» науки все больше судят по ее «количеству». Нас нацеливают на всевозможные измерения – эффективность отдельных ученых, эффективность работы лабораторий, институтов, ВУЗов, журналов, региональных отделений Российской академии наук. Кто измеряет эти характеристики? Разные фонды, комиссии, редакции журналов, «ведущие ученые» и просто ученые. Лев Толстой писал: чем только не занимаются ученые, «...они с одинаковым старанием и важностью исследуют вопрос о том, сколько Солнце весит, ... (длинное перечисление проблем). И занятиям этим нет конца, потому что начало и конец есть только у дела, а у безделья нет ни конца, ни начала» [Толстой, 1909]. Сказано крепко, обидно для ученых, но не совсем верно: бездельники встречаются не столько среди простых ученых, сколько у «измерителей науки», у «наукометристов».

**Ключевые слова:** наука, наукометрия, рецензирование.

### Советская наука

Советская власть руководила наукой. Руководство было четко организовано. Деньги государственного бюджета обеспечивали потребности науки ведомственной и академической: примерно 5% госбюджета шли на науку вообще, из них 4% – на науку академическую. Кроме того, научные учреждения выполняли отдельные темы НИР, в частности, академическая наука участвовала в научных исследования по Постановлениям ЦК КПСС и СМ СССР, а также по постановлениям Военно-промышленной Комиссии – ВПК. Темы формировались обоими способами – снизу – вверх, от институтов – к руководствам ведомств, и сверху вниз – от руководства ведомств к институтам. Общее руководство наукой осуществлялось Академией наук СССР и Госкомитетом по науке и технике. Выпускались научные журналы, сборники статей и докладов на научных конференциях разного уровня. Аттестация научных работников осуществлялась через Высшую аттестационную комиссию – ВАК. Правила работы ВАК, финансирования науки были относительно устойчивы на протяжении 50-80 годов.

В начале 20-х годов советской власти было, в общем, не до науки. Надо было восстанавливать разрушенное хозяйство, промышленность, академия наук использовала десятилетие 1920-1930 годов для восстановления после разрухи и организации новых исследований. Сохранились старые имена, появились новые – В.И. Вернадский, А.Ф. Иоффе, Н.И. Вавилов, А.А. Фридман, С.А. Христианович, А.Н. Колмогоров и другие, образовавшие сплоченное научное ядро, претерпевшие трудности восстановительного периода и последующие невзгоды.

Идеи большевизма, понятное дело, приняли далеко не все ученые и инженеры. Среди выдающихся отечественных авиаконструкторов, например, хорошо известны имена Игоря Ивановича Сикорского (который уехал в эмиграцию) и Николая Николаевича Поликарпова (остался в России).

В конце 20-х гг. разразилось первое дело вредителей, так называемые «промышленники» – Л.К. Рамзин и другие – в Москве, затем объявились вредители и в других крупных промышленных городах. Тезис Сталина, что классовая борьба становится сильнее со временем, находил все большие подтверждения. Знаковой фигурой 30-х годов и последующего времени становится агроном Т.Д. Лысенко. Его опыты по селекции растений сначала поддерживались Н.И. Вавиловым; Лысенко поддержал Сталин, надевшийся на обещанный резкий рост урожайности злаков в трудную эпоху коллективизации. Тем временем пришла новая эпоха – «врагов народа». В разряд таких врагов попали многие ученые.

Само выражение «враг народа» появилось во время Французской революции, чтобы обосновать массовый террор республиканцев. Появление этого выражения в 1930-х годах предшествовало большевистскому террору, процесс против заговоров Троцкистского центра и участников троцкистской организации, а также правых отщепенцев – Бухарина, Рыкова и других, после которого начались массовые аресты. Обнаружена «преступная деятельность отдельных учреждений Академии наук СССР», в которых гнездились «презренные предатели родины, шпионы, диверсанты, прямые агенты фашистских разведок» [Вестник АН СССР, 1937]. Волна репрессий прокатилась по стране, наука понесла тяжелые потери, по сравнению с которыми 300-летний беспредел средневековой инквизиции не идет в сравнение.

В 1948 году состоялась известная Сессия ВАСХНИЛ – Академии сельскохозяйственных наук. «Буржуазную лженауку» – генетику, кибернетику и иже с ними, разгромили окончательно. Партия и Правительство принимали в этом процессе самое активное участие. Кстати, термин «лженаука» придумал, видимо, Лев Толстой, но оживил его А.А. Жданов, активный участник научных дискуссий. Многие ученые подверглись новым репрессиям, сократилось как качество, так и количество науки.

Между тем, «буржуазная лженаука» наступала. В конце 40-х годов прошлого века народились ее новые разделы – кибернетика, информатика и теория информации. Окрепла генетика, были обнаружены и гены – носители наследственности, лысенковцам был нанесен смертельный удар, но они еще не сдавались, их еще некоторое время поддерживали марксистско-ленинские позиции советской революционной науки.

Итак, если говорить о естественных науках, то за период 1930-1950 годов они сильно деформировались и отступили назад. Причиной тому явились политические события в стране, классовая борьба и монополизация науки государством. Как следствие, утвердился демократический централизм – научное меньшинство подчинилось большинству, возглавлявшемуся молодыми выпускниками Института красной профессуры (был такой), партийцами, недоучками от науки и философами марксизма-ленинизма. В исключительных, привилегированных условиях оказались ученые-атомщики, создатели атомной бомбы, и научно-техническая интеллигенция – заключенные, работавшие в «шарашках», на них мало распространялись государственные научные запреты, догмы революционной основы науки – марксизм-ленинизм.

Не только ученые-атомщики, многие известные авиаконструкторы, тоже разрабатывали новые типы боевых машин в «шарагах» НКВД. Именно эти разработки помогли предотвратить наше полное уничтожение в Великой отечественной войне.

Если мерить существующими мерками наукометрии, то они покажут совершенно искаженную картину: в 1930-1950 годах количество научных журналов не сократилось, но их импакт-фактор значительно уменьшился, особенно если исключить публикации заведомо недоброкачественные; ссылок на советские работы в журналах зарубежных практически не было. Мало было упоминаний и о научных работах зарубежных ученых. Отношение к замалчиванию успехов зарубежной науки было снисходительным – «долгой низкопоклонство перед Западом». Таким образом, цитируемость советских научных работ западными изданиями, так же как цитируемость западных работ советскими изданиями были сильно подвержены политическим влияниям.

Изменилось и государственное отношение к науке. Если в российской и советской науке начала прошлого века, первых лет советской власти существовали понятия справедливости, чести, совести, то со временем эти этические понятия ослабли под влиянием партийных лозунгов типа «Ленинизм – мощная основа революционной науки», «Все полезно, что полезно пролетарской революции», «Советское – значит лучшее». Руководство наукой было идеологизировано, некоторые крупные направления биологии, физики, математики были объявлены лженаучными и изгнаны. Руководство страны выполняло, по сути роль комиссии по лженауке, поэтому в создании такой комиссии не было нужды.

### **Начало современной наукометрии**

Правительства зарубежных стран оказывают науке значительную поддержку, естественно, они заинтересованы в том, чтобы знать, каковы результаты этой поддержки. На помощь приходит наукометрия. Западная наука вплотную занялась наукометрией в 60-е годы прошлого века. К этому ее подтолкнула необходимость – конкурентная среда, в которой происходили исследования и конкурсный способ распределения денег и средств и через различные гранты, фонды, спонсирующие организации. В России начало перехода на новые рельсы началось в 90-е годы фондами Сороса, РФФИ, «НАТО – во имя мира», фондами ЮНЕСКО, Европейского экономического сообщества, отдельных стран и их содружеств, университетов и институтов.

В этом «забеге с общего старта» запад ощутимо вырвался вперед. Разработаны различные показатели эффективности научных исследований (гибрид качества и количества). Родились и вошли в обиход новые слова и понятия. Они основываются главным образом на «индексе цитируемости».

Новые слова, новые понятия – «Индекс цитируемости», «Импакт-фактор» и многие другие. В общем, хорошие показатели эффективности научных исследований и престижа. «Импакт-фактор» применим и к отдельным статьям, к научным работникам, к институтам, к журналам. Оба индекса тесно связаны, они зависят от многих факторов: от раздела науки, своевременности появления статьи, репутации автора, журнала, принадлежности автора к определенной группировке и т. д. и т. п. Например, индекс цитируемости может быть повышен ссылками автора на его собственные работы (автоссылки), автор может ссылаться только на своих коллег и единомышленников, может находиться в сговоре с коллегой, который на условиях взаимности ссылается на его работы. По сути, те же приемы «накрутки индексов» могут быть применены к состязанию между журналами, институтами, университетами, отечественными и отечественными-зарубежными.

«Импакт-фактор» был создан в 60-х годах для ранжирования журналов по оценке цитируемости статей в фундаментальной науке за определенный интер-

вал времени. Ясно, что импакт-фактор зависит от целого ряда обстоятельств: раздела науки, конкретного научного направления, успехов развития приборной базы, внедрения новых технологий, отдельных заметных успехов конкретной науки, когда многие, все вместе, устремляются к определенной теме – этот эффект стаи в западной литературе называется «бандваген эффект».

Для характеристики успешности отдельных ученых применяются специальные критерии цитирования, модифицированные; импакт-фактор для оценки эффективности отдельного ученого дает слишком грубую, общую оценку. Она требует уточнения, улучшения применительно к разным условиям – рейтинг публикуемых журналов, рейтинг совещания, конференции, степень нарастания числа ссылок (ясно, что их число сначала нарастает, а затем убывает), можно говорить о периоде «полураспада», и прочее, и прочее. Эти тонкости учитывает отчасти «h-индекс» Хирша, «m-индекс», «g-индекс». В азиатских странах применяются свои оценки ранжирования, более изошренные. В Японии, например, учитываются упоминания об ученых, принявших участие в обсуждении статьи, доклада, книги и т. п., этим ученым обязательно высказывается благодарность, такие упоминания входят в научный рейтинг. Может, это и по-самурайски, но не совсем по-русски. К этому уровню крохоборства мы быстро приближаемся.

В России сейчас принят индекс ПРНД (показатель результативности научной деятельности) – это система расчета баллов за научную деятельность. На первый взгляд все справедливо: учитывается количество страниц, количество соавторов, тип публикации, статус мероприятия и даже возраст ученого. За всем этим стоят формула, формальные вычисления. Это система. А если знать, как работает система – нетрудно заставить ее работать на себя.

Примеры. Единоличная монография на 100 страниц приносит автору 20 баллов ПРНД. И приглашенный доклад на международной конференции приносит автору 20 баллов ПРНД. Что сложнее? Книгу можно сделать раз в несколько лет с большими трудозатратами, а приглашенный доклад – несколько раз в год. Не может быть? Так часто не приглашают? Вовсе нет. Задача решается просто: вместе с коллегами одной из бывших союзных республик организуется международная научная конференция. Остальное – дело техники. Есть и другие примеры, но идея понятна, если есть система, то ее будут использовать с максимальной выгодой, а вовсе не для генерации новых знаний.

Особенно изошренная технология применяется для оценки всего, что связано с публикационной активностью. Вот какими характеристиками, например, измеряется сейчас в России публикационная активность научной организации (стало быть, исчисляется и импакт-фактор): – число научных публикаций работников научной организации, опубликованных в отчетном году; – в зарубежных научно-технических изданиях отчетном году; – в отечественных изданиях включенных в список ВАК; – в других базах реферативной информации за отчетный период; – цитируемость работников научной организации в указанных базах реферативной информации, число докладов, тезисов докладов представленных работниками научной организации на наиболее значимых конференциях, симпозиумах и чтениях; – представленных на остальных конференциях, симпозиумах и чтениях, в которых участвовали ученые, не являющиеся работниками данной организации; – количество опубликованных в отчетном году монографий (меньше 4 авторов, отдельно 4 и более авторов); – количество опубликованных в отчетном году учебников, научно-справочных изданий,



словарей энциклопедий и проч.; – число глав в монографиях, опубликованных в учебниках, научно-справочных изданиях и проч.; – число публикаций работников научной организации в базе Web of Science; – средний импакт-фактор публикаций в Web of Science [<http://webofscience.ru/>].

В европейских и американских изданиях часто не ссылаются на публикации на русском языке (русского можно и не знать), хотя их читают, и даже наши бывшие соотечественники этим часто грешат. Японцы очень высоко ценят свои статьи, опубликованные в европейских и американских журналах. Импакт-фактор применяется для ранжирования журналов, институтов, коллективов ученых, для самих ученых.

### Мафиозность науки

Продукция научной деятельности – книги, статьи, монографии, доклады и тезисы, патенты, на пути к признанию находятся в непрерывном движении, похожем на хаос. Но только похожем – на самом деле этим хаосом управляет наукометрия, она-то и позволяет привести хаос в порядок. Естественный путь от хаоса к порядку проходит через стадию структуризации, организации ячеек-структур, скоплений-кластеров. Мафиозность – это и есть структуризация. Эта структуризация хорошо проявлена, например, в цитированности. В свое время, лет 30 назад, я присутствовал на обсуждении этой проблемы в Институте истории науки и техники АН СССР, там я впервые услышал этот термин: «мафиозности науки». Мафиозные структуры легко вычленяются, например, по взаимным ссылкам.

Типичные мафиозные группы – «научные школы». Они находятся в определенных, не всегда простых отношениях. Члены группы в своих статьях ссылаются друг на друга, реже – на членов другой группы, очень редко – на членов конкурирующей группы. Теперь займемся статистикой: давайте сделаем такую квадратную таблицу, столбцы и строки которой – фамилии ученых, работающих в какой-то области науки, например, сейсмологии, а в клетках – взаимные литературные ссылки. Оказывается, что мафиозная группа обозначается частыми взаимными ссылками на «своих» и редкими ссылками на «чужих». Идея ясна; похожий анализ в статистике называется «анализом цепей», он широко применяется, например, в биологии, геологии, наверное, и в других науках. Диагональ этой матрицы – автоссылки. Некоторые ими злоупотребляют, ссылаются в основном на себя и засчитывают эти ссылки в свой актив. Современная наукометрия отменяет такой нечестный прием. Но можно обойти эту трудность: договориться с коллегой о взаимных ссылках, не только внутри мафиозной группы, но и с коллегой из другой группы, с одиноким ученым, даже с иностранцем, с группой иностранцев. Изучение нашей таблицы полезно и увлекательно: это и выявление «мафиозных структур», и непризнанных ученых-одиночек, и групп, связанных «конфликтом интересов», и еще многое другое.

Как говорится, «скажи мне, кто твой друг, и я скажу, кто ты», «ворон ворону глаз не выклюнет», грубо говоря, «рука руку моет...». Все, что говорится об отдельном ученом, распространяется и на группу ученых, научное учреждение, университет, журнал и т. п.

Вот мы и договорились почти до коррупции. Проблема коррупции нуждается в отдельном рассмотрении, она круто замешана на фондах, программах, деньгах, «откатах», отечественных и международных (подумайте, например, о глобальном потеплении и Киотском протоколе, об озоновой дыре, о термояде). И здесь много

интересного, к анализу ситуаций может быть привлечена похожая статистика, но это – в другой раз.

### Рецензенты

В соревновании научных коллективов, журналов, институтов и университетов одну из решающих ролей играют ученые советы, редакционные советы, аттестационные комиссии. Рецензирование в разных видах играет важную, иногда – ключевую роль в наукометрии.

Естественные науки делятся на две части – логические (математика, классическая механика, отчасти физика) и натуральные (химия, биология, география, геология, отчасти физика, астрономия и другие, имеющие дело с экспериментальными данными, измерениями). Ученые наук логических – своего рода пуритане. Их построения логически строги, повторяемы, устойчивы, подчинены принципам существования решения, часто – его единственности, сходимости, регуляризованности и т. п. (что Ландау рекомендовал решительно вычеркнуть из курсов математики для физиков). Им, как правило, чужды идеи эвристики, интуиции, отчасти общей нестрогости, различно отношение к статистике, особенно к флуктуациям, «хвостам распределений», редким событиям.

Обычно подразумевают что «рецензент всегда прав». Это не совсем так. Даже иногда – совсем не так, но об этом позже.

Говоря об авторах, мы часто забываем о рецензентах, оппонентах. Поговорим о них. В спорных случаях рецензент стоит перед проблемой: одобрить ошибочную статью или отклонить хорошую. Рецензенты-формалисты беспощадно «режут» научные работы эвристического толка – особенно, если автор строит гипотезы, основанные на смелых догадках, интуиции. Статья отвергается. Рецензент – исповедует презумпцию виновности. Вообще-то, это вполне здоровая идеология: Вы неправы, докажите, что Вы правы. Рецензент считает, что прав только он, но за его ошибку приходится дорого платить.

Известно, что основную долю научных результатов, иногда 95% работы, выполняют 5% ученых; однако, остальные 95% – это не балласт, а питательный бульон, без них эти 5% работали бы гораздо менее эффективно. «Качество науки» – это те высшие, революционные достижения, определяющие успех крупного научного направления. Часто на этом пике находится небольшая группа лидеров или всего один ученый, он-то и определяет «качество науки». Качество науки для этой группы лидеров не определяется «фактором цитируемости», h-фактором или чем-то другим, рецензенты не могут объективно оценить его и нередко отвергают работу.

Итак, мы уже поняли, что наукометрия – для «нормальной науки», – это разумные фильтры для того, чтобы не допустить к «кормушке» случайных лиц, «генераторов плохих идей», некомпетентные коллективы. Наукометрия для «науки революционной» – это тормоз, который стремится поставить непреодолимые табу всему, что грозит сегодняшней нормальной науке.

В связи с рецензированием – еще об интуиции (или провидении). Научные исследования, на переднем крае науки ведутся в условиях крайнего дефицита информации, эвристически. В таких обстоятельствах можно сравнить работу ученого с деятельностью полководца.

Вспомним Жанну д'Арк. Она возглавила войско французов против англичан в 100-летней войне, взяла Орлеан, одержала подряд 40 побед в течение 4 месяцев, не

потерпев ни одного поражения. Она видела вещие сны, следовала им, и они сбывались. Суворов выиграл более 60 сражений, не потерпел ни одного поражения, хотя действовал без помощи оппонентов. Есть множество и других примеров. Наполеон сказал: войско баранов, возглавляемое львом, всегда одержит победу над войском львов, возглавляемых бараном.

Такое нередко и в науке. Менделеев увидел во сне таблицу элементов, о которой постоянно думал. Хевисайд придумал метод решения линейных дифференциальных уравнений и, не понимая математической сути метода (она была открыта после него через 20 лет), успешно его применял.

Вообще говоря, наукометрия самым тесным образом связана с моральными принципами, которые выражены в этическом кодексе и регламентируют научную деятельность. Научная этика провозглашает принципы, которые должны непременно соблюдаться в научной деятельности. Кроме бесспорных моральных правил, как научная честность, бескорыстность, непредвзятость, «равенство людей и рас»; есть и правила не бесспорные, но глубоко укоренившиеся: «организованный скептицизм», верифицируемость результатов, необходимость рецензирования как один из важных принципов и рычагов контроля научной этики. Наукометрия обслуживает справедливость отношений внутри научного сообщества, стремится сделать их объективными, демократическими, всячески способствовать расширению границ нашего знания. Она ориентирована на «нормальную науку», но не на науку революционную. Как сказал один из наших борцов с лженаукой: «Сегодня не восемнадцатый век. Здание науки в основном построено, и никакие революции, разрушающие это здание до основания, невозможны» [Кругляков, 2009]. Комиссия по лженауке и фальсификации научных исследований РАН – это тоже рецензент, участвующий в выполнении социального заказа то ли научной общественности, «признанных ученых», то ли каких-то злодеев.

Так что сидите смиренно, занимайтесь нормальными исследованиями и не пытайтесь выйти за рамки дозволенного. И наукометрия, и Комиссия по лженауке как раз и защищают эту точку зрения.

Ученые, работающие на переднем фронте науки, ищут решение трудной проблемы в области, захватывающей творческий риск. Собственно, творческий риск – это и есть степень истинной научной новизны, преодоление рискованной ситуации с участием интуиции и чего-то еще, везения, чуда.

Какой рецензент способен понять это? Как «комиссия по лженауке» может принять революционную идею, открытие? Да просто: рецензент должен отвергнуть («этого не может быть, потому что не может быть никогда»), комиссия по лженауке должна либо обрушить свой авторитет на открывателя («ученого с большой дороги»), закрыть, или замолчать идея, открытие.

Есть и другая участь исследования – выявление ложного представления, коренная смена концепции. Исследования, призывающие к этому, ставят в тупик и оппонентов и научную общественность; такое исследование отвергается, ведь признать открыто свою неправоту могут немногие. Планк говорил, что оппонентов не переубедишь, надо ждать, когда они вымрут. Результаты исследования отвергаются, выбрасываются, забываются. Проходит еще время, она оживает снова, то ли открывается еще раз, то ли ей приходит время «снова ожить». Так давайте вернемся к отвергнутым результатам исследований к неопубликованным или забытым статьям, книгам, идеям. Недаром говорится что новое – это давно забытое старое. В конце концов, научная справедливость восторжествует.

## Заключение

Вспомним Толстого, учившего, что человечеству нужна «...такая, истинная и свободная, неподкупаемая и непродávаемая наука, которой люди учатся не для дипломов, а только для того чтобы познать истину».

Российскому человеку чужда современная наукометрия – иноземное зло. Для увлеченного исследователя не принципиальны способы достижения поставленной цели. Пусть это будет как победа на войне: «и числом и умением», то есть и количеством и качеством научных результатов. Наука – это в значительной степени творческий процесс, а истинные творцы редко получают общее признание сразу, да и не особенно его ждут, поскольку для фундаментального исследования процесс получения новых знаний и есть одна из главных целей и радостей жизни.

\* \* \* \* \*

*Об авторе. Я геофизик, всю жизнь работал в экспериментальной науке. Получил несколько научных результатов, которыми доволен. Из 100% времени я 30% потратил на организационные дела, 60% времени пребывал в «питательном бульоне», 10% времени посвятил научному созидательному творчеству. Из того нового, что я сделал, 30% находится в забвении, 40% разошлось по разным сторонам и обо мне почти забыто (т. е. внедрено), 30% составляют мой сегодняшний актив.*

## Литература

1. Вестник АН СССР, № 1, 1937.
2. Кругляков Э.П.. Современная лженаука – порождение невежества и коррупции. Сб. В защиту науки, Бюлл. № 5. М., Наука, 2009, С.37-45.
3. Толстой Л.Н.. О науке. Русские ведомости, № 258, 1909.
4. <http://webofscience.ru/>

## QUALITY AND A QUANTITY OF THE SCIENCE

© 2014 A.V. Nikolaev, Assoc. Member of RAS

Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences,  
Bolshaya Gruzinskaya str., 10-1, Moscow 123995, Russia

More and more the «quality» of science is estimated by its «quantity». We are aimed to all kind of measurements such as effectiveness of certain scientist, efficiency of work of laboratories, institutes, universities and colleges, periodicals, regional divisions of the Russian Academy of Sciences. But who measures these parameters? Different funds, committees, magazine editorial offices, «leading» and ordinary scientists is the answer. Lev Tolstoy wrote: scientists do a lot of things, «...with the same eagerness and seriousness they investigate the question about the Sun weight,... (long list of problems). And these activities don't have the end, because only work has the beginning and the end, and idleness has neither end nor beginning» [Tolstoy, 1909]. These words are strong and offensive for scientists but not quite right: idlers are among «science measures», «scientometrics» rather than among simple scientists.

**Keywords:** science, scientometrics, review.

---

## ЮБИЛЕИ

---

### НИКОЛАЮ ПАВЛОВИЧУ ЛАВЕРОВУ – 85!



Николай Павлович Лаверов – профессор, доктор геолого-минералогических наук, академик РАН, вице-президент Российской академии наук, президент Международной академии топливно-энергетического комплекса, научный руководитель Центра стратегических исследований и геополитики в области энергетики МИЭП.

#### Жизненный путь

Родился 12 января 1930 года в дер. Пожарище Коношского района Архангельской области. В 1949 году окончил с отличием Кировский горно-химический техникум (Мурманская область), получил квалификацию горного техника-геолога. Поступил в

Московский институт цветных металлов и золота им. М.И. Калинина на геолого-разведочный специальный факультет (кафедра геологии, поисков и разведки месторождений радиоактивных и редких элементов), который окончил с отличием в декабре 1954 года и получил квалификацию горного инженера-геолога. С 1955 по 1958 год – аспирант и одновременно ассистент спецкафедры «Цветметзолото». В 1958 году защитил диссертацию «Геология и генезис руд Курдайского уранового месторождения (Южный Казахстан)» на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук.

С 1958 по 1966 год – ученый секретарь, затем директор Среднеазиатской геологической станции Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии АН СССР (ИГЕМ), изучал месторождения радиоактивного сырья. В 1966 году переведен в Министерство геологии СССР, где в течение двух лет работал в должности заместителя начальника Управления научно-исследовательских организаций. С 1968 по 1972 год руководил Всесоюзным геологическим фондом СССР, в 1972-1983 годах Н.П. Лаверов – начальник Управления научно-исследовательских организаций Министерства геологии СССР. Параллельно в 1966-1983 годах Н.П. Лаверов руководил лабораторией в ИГЕМ, занимался изучением условий образования месторождений урана.

В январе 1973 года защитил докторскую диссертацию на тему «Геология и условия формирования урановых месторождений в континентальных палеовулканических областях». В 1976 году Н.П. Лавёрову присвоено ученое звание профессора.

15 марта 1979 года Н.П. Лавёров был избран членом-корреспондентом АН СССР по Отделению геологии, геофизики, геохимии (горные науки, разработка твердых полезных ископаемых).

В 1983-1987 годах Н.П. Лавёров – проректор, первый проректор Академии народного хозяйства при Совете министров СССР, где организовал и возглавил кафедру «Использование природных ресурсов и охрана окружающей среды». Под его руководством была разработана правительственная концепция послевузовского обучения и подготовки руководящих кадров высшего звена государственного управления.

Одновременно в 1983-1988 годах Н.П. Лавёров – директор Редкометального отделения ИГЕМ.

С 1987 года Н.П. Лавёров – действительный член АН Киргизской ССР, а в 1987-1988 годах – президент Академии наук Киргизской ССР.

23 декабря 1987 года Н.П. Лавёров избран действительным членом АН СССР по Отделению геологии, геофизики, геохимии и горных наук – ОГГГН (геология рудных месторождений). 20 октября 1988 года избран вице-президентом Академии наук СССР, возглавил Секцию наук о Земле Президиума АН СССР.

С декабря 1991 года – вице-президент Российской академии наук.

Избран президентом Международной академии топливно-энергетического комплекса.

В 1989-1991 годах Н.П. Лавёров – председатель Государственного комитета по науке и технике СССР, одновременно – заместитель председателя Совета министров СССР.



*В.В. Путин и Н.П. Лаверов планируют газопровод на Байкале*

С 1991 года – директор Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН (ИГЕМ РАН).

Н.П. Лавёров – член Научного совета при Совете безопасности Российской Федерации, председатель Координационного совета РАН по наукам о Земле, председатель Совета РАН по исследованиям в области обороны, председатель Межведомственной комиссии РАН по проблеме «Экологическая стойкость и сертификация техники и материалов», председатель Научного совета РАН по проблемам экологии и чрезвычайным ситуациям, председатель Межведомственного комитета по рудообразованию, председатель постоянной Комиссии по изучению Арктики.

### Научная работа

По прогнозам, методике поисков, использованию источников атомного сырья Н.П. Лавёровым опубликованы обобщающие работы: «Уран» (т. II в трехтомной монографии «Рудные месторождения СССР», 1974), «Месторождения урана и редких металлов» (1976), «Эволюция уранового рудообразования» (1978).

Н.П. Лавёров посетил все урановые месторождения в стране и почти все – за рубежом и вместе с А.О. Смилкстын и М.В. Шумилиным опубликовал монографию «Зарубежные месторождения урана» (1983).

Выполнение многолетних комплексных исследований завершилось изданием в конце 1990-х годов в открытой печати монографии «Подземное выщелачивание полиэлементных руд» (1998). Этот труд, подготовленный коллективом авторов под руководством Н.П. Лавёрова, открыл перспективы широкого освоения минеральных ресурсов с помощью новых, экологически безопасных технологий.

Развивая идеи эволюции рудообразующих процессов в истории Земли, он на 27-й сессии Международного геологического конгресса (1984, Москва) предложил концепцию многоактного формирования крупных урановых провинций, в которых, обычно, проявлены полихромные и полигенные концентрации урана. На этой основе сформулированы ведущие критерии прогноза и перспективные направления поисков месторождений радиоактивного сырья. Предложил новую генетическую систематику месторождений урана, обосновал закономерную смену одних промышленных типов месторождений другими в истории Земли. Проведенные исследования отражены в целом ряде основополагающих монографий: «Основы прогноза урановорудных провинций и районов» (1986), «Условия образования крупных полихромных месторождений урана (на примере Северной Австралии)» (1988), «Нетрадиционные источники минерального сырья» (1988), «Справочник геолога по поискам и разведке урана» (1989), «Геология, поиски и разведка месторождений урана» (1990).

Н.П. Лавёров – один из лидеров экологического движения в СССР и России, последовательно отстаивает приоритет экологической безопасности при организации крупномасштабных современных производств. Он – инициатор и научный руководитель работ по программе «Глобальные изменения природной среды и климата».

На основе геохимических исследований, касающихся поведения природных радиоэлементов в различных геологических условиях, Н.П. Лавёровым организованы исследования условий миграции техногенных радионуклидов. Эти работы ведутся в рамках государственных научно-технических программ, направленных на реабилитацию загрязненных радионуклидами территорий, обращение с радиоак-

тивными отходами, отработанным ядерным топливом, размещение особо опасных отходов в подземных хранилищах и захоронениях.

Под его руководством создана серия специализированных карт, в том числе первая в мире «Ландшафтно-геохимическая радиологическая карта России и стран СНГ» и «Карта благоприятных геологических формаций и структур на территории России».

Н.П. Лавёров – лидер научной школы «Радиогеология, изотопная геохронология и радиогеоэкология», у истоков создания которой стояли академики В.И. Вернадский, А.Е. Ферсман, Д.И. Щербаков.

В последние годы Н.П. Лавёров активно занимается проблемами анализа ресурсного потенциала топливно-энергетического комплекса России, научного обоснования стратегических направлений его развития в переходных условиях, поиска экономических решений, направленных на повышение эффективности разведки и освоения новых источников углеводородов.

### **Педагогическая деятельность**

Много внимания Н.П. Лавёров уделяет подготовке научных кадров. Среди его учеников и последователей много кандидатов и докторов наук.

Он опубликовал более 500 научных статей, обзоров, научно-методических и учебных разработок для вузов. Автор и соавтор 20 монографий, редактор многих книг и сборников. Ряд монографий и статей переведен на английский, немецкий, испанский и китайский языки.

Н.П. Лавёров – член пяти зарубежных академий, многих научных обществ, почетный доктор ряда университетов России и других стран.

### **Награды**

Научные достижения и общественная деятельность Н.П. Лавёрова отмечены высокими правительственными наградами, почетными званиями, премиями. Николай Павлович Лавёров – полный кавалер ордена «За заслуги перед Отечеством» (1999, 2005, 2008), награжден орденом «Знак Почета» (1971), двумя орденами Трудового Красного Знамени (1981, 1986), медалью «За доблестный труд». «Заслуженный геолог РСФСР» (1980). Имеет награды зарубежных стран. В ноябре 1997 года удостоен Демидовской премии за вклад в создание сырьевой базы радиоактивных элементов России и стран СНГ, открытие и освоение новых нетрадиционных источников минерального сырья. В 2003 году награжден Золотой медалью имени В.И. Вернадского за выдающиеся работы в области наук о Земле, Премией Правительства РФ в области науки и техники, Серебряной медалью Международной ассоциации академий наук «За содействие развитию науки». Лауреат премии «Триумф» за значительный вклад в развитие отечественной и мировой науки в области «Наук о Земле». В 2006 году награжден Большой золотой медалью РАН имени М.В. Ломоносова за выдающийся вклад в решение минерально-сырьевых проблем России, в том числе, за создание научных основ освоения урановых месторождений. Лауреат международной премии «Глобальная энергия» за 2009 год.

### **Н.П. Лаверов и Северная Осетия**

Здесь «за кадром» осталась огромная научно-организационная работа, проведенная в Северной Осетии. Отметим, что именно Н.П. Лаверов в 2000 г. поддержал



просьбу А.С. Дзасохова, тогдашнего руководителя Республики, об организации Владикавказского научного центра РАН и Правительства РСО-Алания. Другими словами, благодаря его поддержке республиканские научные структуры вошли в Российскую академию наук и, без всякого сомнения, внесли значительный вклад в развитие фундаментальных и прикладных исследований в гуманитарных, медицинских, вычислительных науках и науках о Земле на Северном Кавказе.

Еще маленький пример. Именно активная поддержка Николая Павловича позволила сохранить наш Геофизический институт в 2002 году, когда его закрывали. И позже, именно Николай Павлович помог нам аппаратурой для исследования ледника Колка и др. Он, несмотря на занятость, всегда находил время для беседы и поддержки нас, молодых директоров академических институтов. Николай Павлович, можно даже сказать, всегда по-отечески опекал нас.

Редколлегия журнала горячо и сердечно поздравляет Николая Павловича Лаврова со славным юбилеем!

Пусть дорогой Николай Павлович каждый новый день приносит Вам радость новых открытий и просто хорошее настроение!

От имени редколлегии журнала «Геология и геофизика Юга России» и коллектива Геофизического института Владикавказского научного центра Российской академии наук

Главный редактор журнала,  
директор Института, д.ф.-м.н.,  
профессор



В.Б. Заалишвили

## ОЛЕГУ АЛЕКСЕЕВИЧУ БОГАТИКОВУ – 80!



15 декабря 2014 г. известному ученому, академику РАН, доктору геолого-минералогических наук, главному научному сотруднику Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук Олегу Алексеевичу Богатикову исполняется 80 лет!

В настоящее время О. А. Богатиков является Советником Президиума РАН. Олег Алексеевич – заместитель председателя Комиссии президиума РАН по формированию перечня программ фундаментальных исследований РАН, член Президиума ВАК и Президиума бюро ОНЗ РАН, председатель секции геологии, геофизики, геохимии и горных наук ОНЗ РАН, председатель Межведомственного петрографического комитета РАН, Совета по Научным школам и грантам Президента РФ по науке Минобрнауки РФ, Ученого Совета ИГЕМ РАН, Петрографической секции Ученого Совета ИГЕМ РАН, главный редактор журнала «Петрология».

О. А. Богатиков входит в состав редколлегий журналов «Доклады РАН» и «Геохимия», а также в редколлегии Большой Российской энциклопедии и Большой энциклопедии.

Олег Алексеевич является научным руководителем лаборатории петрографии ИГЕМ РАН, членом Совета при Президенте РФ по науке, технологиям и образованию, экспертного Совета по выборам академиков и членов-корреспондентов секции ОНЗ РАН, Совета по биологии раннего докембрия Отделения биологических наук РАН.

В 1957 году О. А. Богатиков окончил Московский геологоразведочный институт. С 1957 года работает в Институте геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской Академии наук, пройдя путь от старшего лаборанта до главного научного сотрудника – заведующего лабораторией петрографии имени академика А. Н. Заварицкого. Член-корреспондент РАН с 23.12.1987 – Отделение геологии, геофизики, геохимии и горных наук (петрология). Он – академик РАН с 07.12.1991 – Секция наук о Земле (геология твердых полезных ископаемых). С 2003 г. работал членом Президиума Российской академии наук, ныне советник РАН.

В 1965-1966 годах Олег Алексеевич работал в Республике Конго (Браззавиль), помогая молодой Республике восстанавливать алмазную и золотодобывающую промышленность.

Академик О. А. Богатиков – крупный специалист в области петрографии рудоносных магматических пород, в том числе магматических пород Мирового океана, а также алмазности кимберлитов и лампроитов севера европейской части России. О. А. Богатиков одним из первых в России разработал представление о взаимосвязи магматических процессов с геодинамикой. В рамках этого направления изучались глубинные процессы, возникающие в результате эволюции Земли как планеты и обуславливающие движение масс вещества, энергии внутри Земли и в ее верхних твердых оболочках.

Он автор более 600 научных работ, в том числе 32 монографий.

Базируясь на традициях отечественной школы магматической петрологии, О. А. Богатиков развивает новую ветвь наук о Земле: эволюционную магматическую петрологию. Им создано целостное учение об эволюции магматизма, метаморфизма и рудообразования в истории Земли. Он инициатор, автор и главный редактор семитомного энциклопедического издания «Магматические горные породы». Академик О. А. Богатиков одним из первых начал изучение лунного грунта, доставленного на Землю космическими кораблями, свидетельством чему является зарегистрированное еще в 1979 году открытие свойств неокисляемости ультрадисперсных форм простых веществ на поверхности Луны.

Академик О. А. Богатиков посвящает много времени научно-организационной деятельности. Он работал академиком-секретарем Отделения наук о Земле РАН, заместителем председателя Высшей Аттестационной Комиссии Минобрнауки РФ, членом Президиума РАН, председателем Межведомственного Петрографического Комитета, председателем Секции геологии, геофизики, геохимии и горных наук Отделения наук о Земле, членом Совета по грантам Президента РФ и научным школам при Минобрнауки РФ, членом Президиума Высшей Аттестационной Комиссии Минобрнауки РФ и других общественных организаций. Он – главный редактор журнала «Петрология» и член редколлегии журналов «Геохимия» и «Доклады Российской Академии Наук», член редколлегии Большой Российской Энциклопедии в 30 томах и Российской Энциклопедии в 60 томах. Является одним из авторов учебника для ВУЗов – «Петрография».

Олег Алексеевич – зав. кафедры геодинамики Кабардино-Балкарского государственного университета. Он соруководитель Программы №8 ОНЗ РАН. Член Научного Совета Программы Президиума РАН №4.

Научные заслуги академика О. А. Богатикова отмечены премией им. А. Е. Ферсмана РАН (1985 г.), Международными грамотами и премиями. Олег Алексеевич является лауреатом Государственной премии Российской Федерации за цикл работ о связи магматизма и геодинамики. (1997 г.), премии Правительства РФ (2000 г.), научной Демидовской премии (2003 г.), лауреатом премии «Триумф» (2009). Награжден памятной медалью имени академика П. Л. Капицы за научное открытие (1995 г.). Богатикову О. А. присуждены две Главные премии Международной академической издательской компании «Наука – Интерпериодика» за лучшие публикации в издаваемых ею журналах».

Олег Алексеевич Богатиков в бытность свою академиком-секретарем ОНЗ РАН сыграл в 2002 году особую роль в сохранении нашего Центра геофизических исследований, как научного учреждения. Он поверил в нас, одобрил наше видение развития геолого-геофизических исследований на Юге России. За прошедшее вре-

мя мы многого добились, и хотя еще многое предстоит сделать, главные результаты нашей работы согласно заключению бюро ОНЗ РАН по нашему докладу от 26 марта 2013 года, в целом, положительны.

Редакционная коллегия журнала «Геология и геофизика Юга России» от имени ученых Юга России поздравляет дорогого Олега Алексеевича Богатикова с 80-летием и желает здоровья и новых успехов в научной деятельности!

Гл. редактор  
д.ф.-м.н., проф. почетный  
работник науки и техники РФ



В.Б. Заалишвили

---

## ПАМЯТИ ТОВАРИЩА

---

### ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ УТКИН



Ушел из жизни выдающийся российский геофизик, член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор **Владимир Иванович Уткин**.

Владимир Иванович родился в 1935 г. Окончив в 1958 г. Уральский политехнический институт им. С.М. Кирова по специальности «Экспериментальная физика» начал работать в лаборатории ядерной геофизики Института геофизики Уральского отделения РАН, став учеником основателя Института и уральской школы ядерной геофизики Юрия Петровича Булашевича.

Владимир Иванович исследовал закономерности формирования поля рассеянных гамма-квантов в средах малого и среднего атомных номеров и на малых расстояниях от источника и дал новое объяснение плотностному эффекту инверсии рассеянного гамма-излучения. На базе этих исследований впервые в мировой практике геофизических исследований скважин В.И. Уткиным был разработан метод и аппаратура селективного гамма-гамма каротажа для исследования угольных месторождений, позволяющий производить детальную оценку тонкой структуры угольных пластов; определять зольность угля в естественном залегании. Этот метод нашел широкое применение практически на всех крупных угольных бассейнах СНГ при разведке угольных пластов (Кузбасс, Донбасс, Печора, Караганда, Урал, Дальний Восток, Восточная Сибирь). Аппаратура селективного гамма-гамма каротажа была удостоена золотых медалей ВДНХ и в течение ряда лет серийно выпускалась предприятиями бывшего СССР. Практически было создано новое направление исследований угольных месторождений. Итогом этих работ были кандидатская (1966 г.) и докторская (1979 г.) диссертации.

Немало сил было вложено Владимиром Ивановичем в создание станции космических лучей на базе геофизической обсерватории «Арти», успешно проработавшей с 1972 по 1990 гг. и давшей уникальные научные результаты. В 1976 году В.И. Уткин организовал и возглавил отдел геофизического приборостроения. Многие его идеи были реализованы в геофизических приборах значительно позже, с появлением микропроцессорной техники. В эти годы в отделе в соответствии с программой «Интеркосмос» была создана система сбора и переработки геофизической информации («ССПИ») с использованием автономных геофизических станций и спутникового канала связи. В.И. Уткин был одним из руководителей международ-

ного эксперимента «Север-78», при котором эта система прошла успешные испытания.

В 1986 г. В.И. Уткин возглавил лабораторию ядерной геофизики. Будучи человеком широких научных интересов, он не только поддержал традиционные направления исследований, связанные с развитием методов разведки полезных ископаемых, но инициировал ряд принципиально новых исследований, в числе которых:

- изучение распределения кларковых концентраций естественных радиоактивных элементов в околорудных и метасоматически измененных породах, позволяющее более надежно выделять зоны повышенного содержания золота в коренных месторождениях;
- комплексные исследования пространственного распределения поля радиогенных газов и плотности теплового потока на Урале и прилегающих территориях. Это направление оказалось чрезвычайно плодотворным: были уточнены границы уральской отрицательной аномалии теплового потока; выделены зоны вероятных сейсмогенных событий; разработан метод палеоклиматической интерпретации геотермических данных;
- геоэкологические исследования переноса и перераспределения радиоактивных загрязнений в районах АЭС, радиационных аварий и промышленных подземных ядерных взрывов. В результате этих исследований было доказано определяющее влияние геолого-геофизических факторов на процесс переотложения радиоактивного загрязнения. Открылась возможность прогнозировать возникновение экологически опасных зон в пределах гидрогеологических систем Урала;
- исследование динамики выделения радона из массива горных пород при изменении их напряженного состояния позволило обнаружить ранее не известное явление нелинейной пространственной зональности его выделения в зависимости от расстояния до эпицентра будущего сейсмического события. Это явление положено в основу принципиально нового метода прогноза горных ударов в глубоких шахтах и тектонических землетрясений.

В.И. Уткин – автор более 300 научных работ, 6 монографий, 60 изобретений. За свои научные достижения Владимир Иванович был награжден Орденом Трудового Красного Знамени, а в 2003 г. был избран членом-корреспондентом РАН.

Владимир Иванович руководил рядом крупных международных научных проектов, среди которых был проект МНТЦ «Изучение изменений геодинамической обстановки на северном Тянь-Шане с целью прогноза тектонических землетрясений». При его непосредственном участии были выполнены работы по поиску колчеданных месторождений на Среднем Урале с использованием аэроварианта метода заряда, а в 2006 года начались и продолжают до настоящего времени исследования геодинамической обстановки на Южно-Курильском полигоне. С 1980 по 1991 гг. Владимир Иванович возглавлял Научный Совет по выставкам достижений УрО РАН. При его участии были организованы крупные экспозиции работ ученых Уральского Отделения на Лейпцигской и Пловдивской ярмарках, специализированные выставки в Польше, Китае, Германии. Эта работа способствовала установлению научных связей зарубежных и российских ученых. С 1999 по 2004 гг. В.И. Уткин был директором Института геофизики УрО РАН. По его инициативе с 2001 г.

проводятся Научные чтения памяти Ю.П. Булашевича, Уральская молодежная научная школа по геофизике, выпускается специализированный журнал Уральский геофизический вестник.

С Владимиром Ивановичем мы познакомились более 11 лет назад в 2004 году на собрании Отделения наук о Земле. Наше знакомство незаметно переросло в приятные отношения и потом дружбу. Умение шутить (а с юмором у него все было порядке), его тяга к новому обращали внимание. Но, самое главное, он был профессионалом высокого класса, а стремление работать было неотразимо. Беседы наши по скайпу, как правило, завершались его словами: «Марина зовет кушать. Надо бежать». Так и представлялось, что вот бежит академик сломя голову. Позже узнал от него же, что бежать он тогда уже не мог.

Высококачественные работы В.И. Уткина мы с удовольствием публиковали в нашем журнале. Помню, как он гордился, что его работы активно читают за рубежом. Мы даже вместе подавали заявку на наш республиканский конкурс. Но эксперты, тему выделив, все же поддержку не проявили.

Мы, позже, в одной конкретной ситуации почувствовали его надежную поддержку, он хорошо понимал важность работы на русском Кавказе. Помним еще очень много хорошего и теплого.

Не верится, что его с нами нет. Писал ему почти месяц, а ответа все не было. Ломали голову о причинах. Находясь в отдалении, мы не сразу узнали о печальном известии.

Передаем от нас его близким, и, в первую очередь, супруге наши слова глубокого соболезнования!

На экране монитора прямо сейчас неожиданно высветилось: «Сегодня день рождения В.И. Уткина, поздравьте его».

К сожалению, поздравить его мы уже не можем, но вот помнить Владимира Ивановича в общих трудах с его коллегами и учениками из его любимого Института сможем. И это, несомненно, будет эпитафией славного жизненного пути и самым дорогим памятником Владимиру Ивановичу Уткину. Человеку и Ученому.

От имени редколлегии журнала «Геология и геофизика Юга России» и коллектива Геофизического института Владикавказского научного центра Российской академии наук

Главный редактор журнала,  
директор Института, д.ф.-м.н.,  
профессор

В.Б. Заалишвили

Владикавказ,  
26 февраля 2015 года

**ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА  
ЮГА РОССИИ  
(№1. 2015г.)**

Подписано в печать 3.02.2015 г. Формат 60×84 1/8.

Усл. печ. лист 10,9. Гарнитура «Times».

Бумага офсетная. Печать цифровая. Тираж 100 экз.

**Издание зарегистрировано в Министерстве РФ по делам печати, телерадиовещания и средств  
массовых коммуникаций. Свидетельство ПИ № ФС77-44273 от 17 марта 2011 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.