ISSN 2221-3198

ГЕОЛОГИЯ И ЕОФИЗИКА ЮГА РОССИИ

№ 4 / 2018



Геофизический институт Владикавказского научного центра Российской академии наук

Геология Кеофизика Юга россии

№ 4 / 2018

Владикавказ 2018

Главный редактор

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

Заместитель главного редактора

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

Редакционная коллегия

академик РАН В.А. Бабешко (ЮНЦ РАН) академик РАН А.Д. Гвишиани (ГЦ РАН) академик РАН М.Ч. Залиханов (ГУ ВГИ) академик РАН С.А. Федотов (ИФЗ РАН) член-корр. РАН Д.Р. Каплунов (ИПКОН РАН) член-корр. РАН А.В. Николаев (ИФЗ РАН) член-корр. РАН В.А. Снытко (ИИЕТ РАН) Ph. D. И.А. Береснев (Ун-т штата Айова, США) д.г.-м.н., проф. М.Г. Бергер (ГФИ ВНЦ 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. Е.А. Рогожин (ИФЗ РАН) д.ф.-м.н., проф. Ю.К. Чернов (СевКав ГТУ) д.г.-м.н. В.И. Черкашин (ИГ ДНЦ РАН) д.г.-м.н. В.А. Широкова (ИИЕТ РАН)

И.о. ответственного секретаря

М.В. Майсурадзе (ГФИ ВНЦ РАН)

Выпускающий редактор Х.О. Чотчаев (ГФИ ВНЦ РАН)

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

> Журнал издается с 2011 года. Периодичность издания -4 номера в год

Учредитель: Владикавказский научный центр РАН Адрес учредителя: 362027, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркуса 22 тел. 8 (8672) 501841 e-mail: vncran@yandex.ru http://www.vncran.ru

ISSN 2221-3198

Подписной индекс в Объединенном каталоге «Пресса России» - 29119

При перепечатке материалов ссылка на журнал обязательна.

© Геофизический институт ВНЦ РАН, 2018 © Заалишвили В.Б. (ред.), 2018

Фото на обложке – ущелье Геналдон (К.С. Харебов)

СОДЕРЖАНИЕ

Бекузарова С. А., Бурдзиева О. Г., Качмазов Д. Г., Майсурадзе М. В. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ НА ТЕРРИТОРИЯХ С ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТЬЮ И АКТИВНАЯ РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ТОКСИЧЕСКИХ ПОЧВ7
Газеев В. М., Гурбанов А. Г., Кондрашов И. А. ПАЛЕОГЕНОВАЯ БАЗАЛЬТ – ТРАХИТОВАЯ ФОРМАЦИЯ ЗАПАДНОГО КАВКАЗА: ГЕОХИМИЧЕСКАЯ СПЕЦИФИКА, ВОПРОСЫ ПЕТРОГЕНЕЗИСА, ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ТИПИЗАЦИЯ, МЕТАЛЛОГЕНИЯ
Голик В.И., Бурдзиева О.Г., Дмитрак Ю.В., Шяймартдянов Т.Э. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СБАЛАНСИРОВАННОСТИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ОСВОЕНИИ НЕДР
Давыденко Д.Б. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ РЕГИОНАЛЬНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ ПРИ ОЦЕНКЕ ПЕРСПЕКТИВ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ПЛОЩАДЕЙ45
Заалишвили В.Б., Чотчаев Х.О., Шемпелев А.Г. ПРИЗНАКИ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ И ЭЛЕМЕНТОВ СТРУКТУРНО-ВЕЩЕСТВЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ ЦЕНТРАЛЬНОГО КАВКАЗА НА ГЛУБИННОМ РАЗРЕЗЕ ГЕНАЛДОНСКОГО ПРОФИЛЯ58
Керимов И. А., Степанова И. Э., Раевский Д. Н., Щепетилов А. В. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА S-АППРОКСИМАЦИИ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ РЕЛЬЕФА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ
Ковалев В.В., Парада С.Г. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАСТВОРЕННЫХ ФОРМ МЕДИ В ВОДНОЙ ТОЛЩЕ КАСПИЙСКОГО МОРЯ92
Мамаев С. А., Ибаев Ж.Г., Гусейнова А.Ш., Курбанисмаилова А.С., Мамаев А.С. ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ БАЗ ДАННЫХ В ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ
Николаев А.В., Трофимов В.Т., Жигалин А.Д., Лавров В.С. ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ ИМПАКТНЫЕ СТРУКТУРЫ: ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ117
Парада С.Г. ВЫЯВЛЕНИЕ ПРИЗНАКОВ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ НА ОСНОВЕ ВЫДЕЛЕНИЯ ФОНОВЫХ И ЛОКАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ПЕРЕДОВОГО ХРЕБТА (СЕВЕРНЫЙ КАВКАЗ)126

Рогожин Е.А., Милюков В.К., Миронов А.П., Овсюченко А.Н., Горбатиков А.В. ХАРАКТЕРИСТИКИ СОВРЕМЕННЫХ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ В ЦЕНТРАЛЬНОМ СЕКТОРЕ БОЛЬШОГО КАВКАЗА ПО ДАННЫМ GPS-НАБЛЮДЕНИЙ И ИХ СВЯЗЬ С НОВЕЙШЕЙ ТЕКТОНИКОЙ И ГЛУЕИННЫМ СТРОЕНИЕМ ЗЕМНОЙ КОРЫ	1
Тотурбиев Б. Д., Мамаев С. А., Тотурбиева У. Д. ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ	.9
Трощенко В.В. О КОНТИНЕНТАЛЬНОСТИ УГЛЕНОСНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮГА РОССИИ15	6
Чернов Ю.К., Заалишвили В.Б., Дзеранов Б.В. МОДЕЛИ СЕЙСМИЧНОСТИ ДЛЯ ВЕРОЯТНОСТНОГО ДЕТАЛЬНОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ РСО-АЛАНИЯ16	2
Чотчаев Х.О., Колесникова А.М., Майсурадзе М.В., Шепелев В.Д. ФИЗИЧЕСКИЕ ПОЛЯ КАК ПРОИЗВОДНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ГОРНОГО МАССИВА И ТЕХНОЛОГИЯ ИХ МОНИТОРИНГА17	9
Чотчаев Х.О., Шемпелев А.Г., Трофименко С.Н., Забирченко Д.Н. СТРУКТУРНО-ВЕЩЕСТВЕННЫЕ КОМПЛЕКСЫ КАК ИНДИКАТОРЫ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ОБСТАНОВОК НА ПРИМЕРЕ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЦЕНТРАЛЬНОГО КАВКАЗА19	1
Яроцкий Г.П.	
СЕВЕРО-ЗАПАДНО-КОРЯКСКИЙ ВУЛКАНИЧЕСКИЙ ПОЯС И ЕГО РУДОНОСНЫЕ ВУЛКАНОГЕНЫ21	0

НАШИ ГОСТИ

Файзиев Ф.А., Файзиев А.Р.

БЛЕКЛЫЕ РУДЫ В СЕРЕБРЯНЫХ И СЕРЕБРОСОДЕРЖАЩИХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ТАДЖИКИСТАНА И ИХ СЕРЕБРОНОСНОСТЬ......226

4

CONTENS

Bekuzarova S. A., Burdzieva O. G., Kachmazov D. G., Maysuradze M. V. ENVIRONMENTAL PROBLEMS IN THE TERRITORIES WITH THE MINING INDUSTRY, AND ACTIVE REMEDIATION OF TOXIC SOILS
Gazeev V.M., Gurbanov A.G., Kondrashov I.A. PALEOGENIC BASALT-TRACHYTIC FORMATION OF WEST CAUCASUS: GEOCHEMICAL SPECIALIZATION, QUESTION OF PETROGENESIS, GEODYNAMIC TYPISATION, METALLOGENY
Golik V.I., Burdzieva O.G., Dmitrak Yu.V., Sheymartdyanov T.E. INTERACTION OF NATURAL AND TECHNICAL SYSTEMS FOR ENSURING BALANCE OF EARTH SURFACE WHEN DEVELOPING BOWELSIN
Davydenko D.B. USING STATISTICAL METHODS FOR ANALYSIS OF THE RESULTS OF REGIONAL SEISMIC SURVEY AT EVALUATION OF OIL AND GAS CAPACITY PROSPECTS OF AREAS
Zaalishvili V.B., Chotchaev Kh.O., Shempelev A.G. THE CHARACTERISTICS OF THE GEODYNAMIC ENVIRONMENT AND ELEMENTS OF STRUCTURAL-MATERIAL COMPLEXES OF THE CENTRAL CAUCASUS AT A DEEP INCISION HEALTHSCOPE PROFILE
Kerimov I. A., Stepanova I. E., Raevskiy D. N., Shcepetilov A. V. STUDY OF THE S-APPROXIMATION METHOD FOR DIFFERENT TYPES OF LANDFORMS
Kovalev V.V., Parada S.G. THE DISTRIBUTION OF DISSOLVED FORMS COPPER IN THE WATER COLUMN OF THE CASPIAN SEA
Mamaev S. A., Ibaev Zh. G., Guseinova A. Sh., Kurbanismailova A. S., Mamaev A. S. APPLICATION OF ELECTRONIC DATABASES IN GEOLOGICAL RESEARCH-RESEARCH
Nikolaev A.V., Trofimov V.T., Zhigalin A.D., Lavrov V.S.
NATURAL AND TECHNOGENIC IMPACT STRUCTURES: GEOLOGICAL AND ECOLOGICAL ASPECT117
Parada S.G. REVEALING INDICATIONS OF GOLDEN MINERALIZATION ON THE BASE OF ISOLATION OF THE BACKGROUNDAND LOCAL COMPONENTS OF ELECTRIC FIELDS AT THE EASTERN PART OF THE FOREMOST RIDGE (NORTH CAUCASUS)

Rogozhin E.A., Milyukov V.K., Mironov A.P., Ovsyuchenko A.N., Gorbatikov A.V.
CHARACTERISTICS OF MODERN HORIZONTAL MOVEMENTS IN THE CENTRAL SECTOR OF THE GREATER CAUCASUS ACCORDING TO GPS OBSERVATIONS DATA AND THEIR RELATIONSHIP WITH THE
NEWEST TECTONICS AND DEEP STRUCTURE OF THE CRUST
Toturbiev B. D., Mamaev S. A., Toturbieva U. D. INNOVATIVE PRODUCTION TECHNOLOGY OF NEW GENERATION BUILDING MATERIALS149
Troshchenko V.V. ON CONTINENTAL NATURE OF COAL-BEARING DEPOSITS OF RUSSIAN SOUTH
Chernov Yu.K., Zaalishvili V.B., Dzeranov B.V. SEISMICITY PATTERNS FOR A DETAILED PROBABILISTIC SEISMIC ZONING OF THE NORTH OSSETIA-ALANIA TERRITORY162
Chotchaev Kh.O., Kolesnikova A.M., Maysuradze M.V., Shepelev V.D.
PHYSICAL FIELDS AS THE DERIVATIVE OF DEFORMATION OF THE MAUNTAIN MASSIF AND TECHNOLOGY OF IT'S MONITORING179
Chotchaev Kh.O., Shempelev A.G., Trofimenko S.N., Zabirchenko D.N. STRUCTURAL-MATERIAL COMPLEXES AS INDICATORS OF GEODYNAMIC SITUATIONS ON THE EXAMPLE OF THE EASTERN PART OF THE CENTRAL CAUCASUS
Yarotsky G. P.
NORTH-WESTERN-KORYAK VOLCANIC BELT AND ITS ORE- BEARING VOLCANOGENES

OUR GUESTS

Fayziev F. A., Fayziev A. R.	
FAHL ORES FROM SILVER AND SILVER CONTAINERS OF DEPOSITS	
OF TAJIKISTAN	226

VДК 628.516:531.45:622:504.75 DOI:10.23671/VNC.2018.4.20130

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ НА ТЕРРИТОРИЯХ С ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТЬЮ И АКТИВНАЯ РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ТОКСИЧЕСКИХ ПОЧВ

© 2018 С.А. Бекузарова¹, д.с.-х.н., О.Г. Бурдзиева¹, к.г.н., Д.Г. Качмазов², к.с.-х. н., М.В. Майсурадзе¹

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

²Юго-Осетинский государственный университет им. А.А. Тибилова, Республика Южная Осетия, 100001, г. Цхинвал, ул. Московская, 8

Реабилитация территорий загрязненных солями тяжелых металлов, весьма токсических, является актуальной фундаментальной и, одновременно, важнейшей прикладной экологической задачей. При этом особую роль играют физико-механические свойства грунтов-оснований объектов подобных загрязнений. В статье рассмотрен вопрос использования травосмесей для реабилитации или рекультивации соответствующих территорий. В связи с этим, необходимо отметить, что проблема эта, в частности, в фиторемедиации почв на настоящее время изучена недостаточно. Авторы предложили некоторые варианты применения таких видов растений, которые характеризуются способностью произрастать на загрязненных землях и, при этом, аккумулировать загрязнители надземной биомассой. В случае сильного загрязнения почв тяжелыми металлами, авторами предлагается в первый год рекультивации использовать однолетние растения с большой биомассой, способные за первый год вывести из биологического круговорота до 50% загрязнителей. Изучая растения на токсических почвах, определяли их аккумулирующие способности и использовали их как фитомелиорантов. В нескольких опытах использовали растения-индикаторы: амарант, клевер, люцерну, вязель, стевию, амброзию, рыжик озимый в смеси с однолетним видом клевера и другие, которые при накоплении максимальной биомассы запахивали в почву в смеси с цеолитсодержащими глинами местного значения. Результаты опытов показали, что с помощью растений-индикаторов можно не только улучшить плодородие почв, но и значительно снизить количество тяжелых металлов, нефтепродуктов, радионуклидов, остаточные явления химических средств борьбы с сорной растительностью, болезнями и вредителями. Большое значение в снижении токсичности почв имели и органические отходы сельскохозяйственного производства: кукурузные кочерыжки, корзинки подсолнечника, отходы спиртового производства – послеспиртовая барда, а также листовой опад, заделываемые в почву с биопрепаратами. Результаты опытов показали значительное снижение токсикантов в почве при использовании органических отходов и запашке растений в качестве зеленого удобрения в смеси с цеолитсодержащими глинами и биопрепаратами.

Ключевые слова: ремедиация, фитоиндикация, растительные отходы, тяжелые металлы, токсиканты, радиация, горнодобывающая деятельность.

Реабилитация территорий загрязненных солями тяжелых металлов, весьма токсических, является актуальной фундаментальной и, одновременно, важнейшей прикладной экологической задачей. При этом особую роль играют физико-механические свойства грунтов-оснований объектов подобных загрязнений. В условиях антропогенного загрязнения большое значение придается вопросу степени исход-

ной устойчивости уже имеющихся растений к тяжелым металлам. Для проверки этого существует несколько способов, например, сравнительное измерение роста корней и метод сравнительной протоплазматики [Гукалов, 2010; Волошин, 1997; Бельченко, 2005].

Воздействие на почву неодинаково в зависимости от источника загрязнения на плотно заселенных территориях, которые обычно занимают удобные и выгодные местоположения. По этой причине очищение (восстановление) почв от избыточных масс поллютантов представляет весьма актуальную задачу. Ее практическое решение пока остается на стадии разработки. Одним из возможных путей решения этой задачи может быть фиторемедиация – очищение почвенного покрова от загрязнения посредством культивирования растений, активно поглощающих загрязняющие вещества. Фиторемедиация является высокоэффективной технологией очистки от ряда органических веществ. Растения можно использовать для очистки твёрдых, жидких и воздушных субстратов [Вельц, 2005; Заалишвили и др., 2013; Сокаев, Хубаева, 2014]. Фиторемедиация загрязнённых почв и осадочных пород уже применяется для очистки военных полигонов (от металлов, органических поллютантов), сельскохозяйственных угодий (пестициды, металлы, селен), промышленных зон (органика, металлы, мышьяк), мест деревообработки (ПХБ). Фиторемедиации могут быть подвергнуты городские сточные воды, сточные воды сельского хозяйства и промышленности, грунтовые воды [Бекузарова и др., 2015]. Для достижения максимальной эффективности очистки фиторемедиация может использоваться в сочетании с другими методами биоремедиации и небиологическими технологиями очистки. Например, наиболее загрязненные части субстрата могут удаляться путем экскавации, после чего дальнейшая очистка может проводиться с помощью растений [Заалишвили и др., 2015].

Такими растениями могут служить: кукуруза, рыжик, горчица, салат, овес, ячмень, горох, фасоль, многолетние травы и другие. Травосмеси должны быть подобраны для конкретных климатических условий данных регионов с учетом способности отдельных культур накапливать загрязняющие вещества в надземной биомассе [Ханиева и др., 2016; Жеруков и др., 2012; Бекузарова и др., 2004; Бекузарова, Ханиева, 2016]. Также они должны быть нетребовательны к почвенному плодородию (мезотрофы или олиготрофы) и способны к произрастанию в условиях сильного загрязнения. Основным критерием классификации предлагаемых травосмесей являлся способ нарушения или загрязнения земель.

Методика исследований. Наши исследования были направлены на реабилитацию загрязненных почв с помощью растений, обладающих сорбционной способностью. Это растения: амарант, зернобобовые культуры (их пожнивные остатки), бобовые травы, амброзия, стевия, кукурузные кочерыжки, корзинки подсолнечника, масличные культуры (рыжик, гвизоция, крамбе и другие).

Вместе с растениями для ремедиации почв вносили цеолитсодержащие глины местного происхождения (гор и предгорий Северного Кавказа), а также биоудобрения, обеспечивающие восстановление нарушенных земель. Опыты проводили на экспериментальных участках Горского ГАУ, Геофизического института ВНЦ РАН и Северо-Кавказского научно-исследовательского института горного и предгорного сельского хозяйства ВНЦ РАН, Северо-Осетинского государственного университета им. К.Л. Хетагурова, Комплексного научно-исследовательского института РАН им Х.И. Бербекова (г. Грозный).

В другом опыте для снижения радиоактивности почв семена бобовых трав обволакивали смесью измельченных корзинок подсолнечника и кочерыжек кукурузы, глиной аланит и мелассы в соотношении 1:1:10:1. На скошенном участке в конце вегетации, размещали слой опавших листьев древесных культур в смеси с аланитом в дозе 2-2,05 т/га [Ханиева и др., 2016; Жеруков и др., 2012].

На загрязненном радионуклидами участке (стронцием, цезием, торием), где радиация превышает 1,2 микрозиверта в час, высевали мелкосеменные многолетние бобовые травы с преимуществом клевера ползучего (*Trifolium repens L.*) – 8 кг/га, люцерну изменчивую (*Medicaqo Sativa L.*) – 6 кг/га, козлятник восточный (*Galeqa orientalis Lam*) – 6 кг/га. Общая смесь бобовых трав составила 20 кг/га. Учитывая особенности клевера ползучего распространять корневые отпрыски по территории, покрывая участок уже в первый год жизни, норму высева этого вида травы увеличили, как компонента с большей ассимиляционной поверхностью для сорбирования тяжелых металлов и радионуклидов.

Перед посевом семена бобовых трав обволакивали смесью измельченных кочерыжек и корзинок подсолнечника в равной пропорции по 5 кг/га каждого компонента. К ним добавляли 50 кг/га аланита – цеолитсодержащую глину и в качестве вяжущего – мелассу – отход крахмалопаточного производства 5 кг/га [Бекузарова и др., 2004].

На сильно засоренных участках высевали смесь рыжика озимого в смеси с клевером однолетним шабдар, как культуры с высокой аллелопатической особенностью. Гербициды на этих участках не применяли.

Почвы исследуемых участков, в основном представлены среднемощным тяжелосуглинистым выщелоченным черноземом, подстилаемым галечником с содержанием большого количества крупного песка в верхних горизонтах (8-14%). Данный тип почв обладает, как правило, большой влагоудерживающей способностью с достаточным содержанием гумуса и питательных веществ и обладает хорошими физическими свойствами. Местами на поверхность выходит галечник. Реакция почвенного раствора выщелоченных черноземов колеблется от слабокислой до близко к нейтральной (рН солевой вытяжки 5,48-6,92).

Для осуществления многочисленных исследований широко использовали цеолитсодержащие глины с содержанием макро- и микроэлементов (табл. 1).

Таблица 1.

Химические вещества	Ирлит 1	Ирлит 7 Аланит Лескенит Диалбекул		Диалбекулит	Тереклит	
Кремний (SiO ₂)	40,2	52,6	51,7	50,8	46,4	56,4
Алюминий (Al_2O_3)	16,2	28,1	16,05	1,1	18,1	19,4
Железо (Fe O)	1,06	4,27	5,5	4,6	5,2	5,5
Железо (Fe ₂ O ₃)	3,23	2,18	2,18	2,18	2,62	1,68
Фосфор (Р ₂ О)	0,4	0,5	0,38	0,26	0,28	0,64
Кальций (СаО)	15,3	3,05	32,6	28,6	37,0	2,75
Магний (MgO)	1,82	1,71	0,8	1,4	1,6	1,6
Калий (K ₂ O)	1,89	2,09	0,8	0,76	0,9	2,2
Натрий (NaO)	0,78	1,1	0,82	0,64	0,96	1,4
pH	6,9	3,0	9,3	8,6	9,1	7,1

Химический состав местных цеолитсодержащих глин, %

В небольших дозах (в пределах 0,2-1%) содержится серебро, олово, молибден, барит, кобальт, никель, ванадий, хром и германий.

По химическому составу эти глины также различаются, что позволяет сдерживать миграцию токсических веществ, содержащихся на нарушенных горными работами участках. Содержащийся в глинах кремний (около 50%) обладает высокой сорбционной способностью, поглощая токсические вещества. Природные источники сырья содержат глинистые частицы в пределах 30–40%, крупнозернистые включения в пределах 2–15%. Сочетания этих глин в сформированных гребнях позволяет не только снижать токсичность загрязненных веществ, но и скреплять их в агрегатное состояние за счет содержащихся глин, имеющих вяжущее свойство. В большинстве случаев использовали глину аланит со слабощелочной реакцией на почвах с кислой реакцией среды. Глина аланит, имея высокое содержание кальция и щелочную реакцию (pH=9,3), снижает на загрязненном участке кислотность металлов.

Кукурузные кочерыжки – отход крахмало-паточного производства (в 1 тонне зерновой кукурузы содержится 200 кг стержней) имеют высокую растворимость, сорбционную способность, нейтральную реакцию среды (pH=6,9-7,1), отсутствие смол, воска, полное отсутствие тяжелых металлов и комплекс микроэлементов. Все эти показатели характеризуют кукурузные кочерыжки как идеальные органические носители. Растворяясь в послеспиртовой барде, они обогащают ее комплексом питательных веществ для развития микрофлоры почвы и одновременно размягчаясь, что не требует их предварительного измельчения.

Кукурузные кочерыжки содержат 41,7% целлюлозы, 37,2% хемицеллюлозы, 8% лигнина, 0,08% жира, 1,75% протеина, БЭВ 61,7%. При измельчении содержание протеина в кочерыжках повышается до 4,34-1%, БЭВ 65,1% [Заалишвили и др., 2015; Ханиева и др., 2016].

Содержащийся в аланите кальций обеспечивает снижение кислотности барды, нейтрализуя накладываемый аланитовый субстрат. Влажная среда барды и кочерыжек снижают количество пылевых частиц на загрязненных участках [Ханиева и др., 2016; Жеруков и др., 2012].

Меласса – отход сахарного производства – содержит 20–25% воды, преимущественно амидов; 58–60% углеводов, главным образом сахара и 7–10% золы. В данном объекте как связывающие смеси кукурузных кочерыжек, корзинок подсолнечника, аланита используется в количестве 5 кг/га.

На участке, зараженном радионуклидами (Sr, Cs и Th) площадью около 1 га в районе горнодобывающей промышленности (с. Фиагдон, РСО-Алания) готовили семена к посеву из расчета клевер ползучий – 8 кг/га, люцерна изменчивая – 6 кг/ га, козлятник восточный – 6 кг/га. Измельчали кукурузные кочерыжки и корзинки подсолнечника по 5 кг/га каждого. К ним добавляли 50 кг/га аланита и 5 кг/га мелассы. Все ингредиенты смешивали и обволакивали семена в дражираторе, после чего высевали обычной зерновой сеялкой.

В фазу начала бутонизации зеленую массу в год посева скашивали и утилизировали в специально приготовленные траншеи для захоронения.

В конце вегетации – осенью загрязненный участок покрывали слоем листового опада древесных культур, собранного с лесопарковых участков в количестве 1-2 тонны на гектар, который смешивали 2-2,5 тоннами аланита [Бекузарова, Ханиева, 2016].

На загрязненном радионуклидами участке площадью 0,5 га весной высевали вязель пестрый в количестве 15 кг/га. В конце вегетации массу скашивали, сгребали, вывозили и утилизировали в специальных траншеях глубиной 60-70 см. Перед уходом в зиму (конец октября) на поверхность участка наносили измельченную глину аланит местного происхождения в дозе 4-5 т/га, разбрасывая равномерно на загрязненной территории слоем 4-5 см.

На следующий год в фазе бутонизации (1 укос) биомассу вязеля скашивали сенокосилкой, утилизировали. Перед уходом в зиму скошенный травостой вязеля покрывали слоем 2-3 см аланита из расчета 2-3 т/га.

Результаты исследований. Обогащенный участок органическими веществами значительно снижает токсичность и восстанавливает плодородный слой, пригодный для возделывания сельскохозяйственных культур. Причем, восстановление загрязненных участков осуществляли на основе утилизированных отходов барды и кукурузных кочерыжек, смешивая их с местными природными цеолитсодержащими глинами. За счет добавления в аланитовый субстрат кукурузных кочерыжек улучшается аэрация участка и его фильтрация. Результаты опыта сведены в таблицу 2.

Таблица 2.

D	Содержание тяжелых металлов в почве, мгк/л.							
Варианты опыта	Pb	Zn	Cu	Cd	Fe	P _h		
Контроль (без улучшения)	12,9	136,0	78,0	0,64	28,0	4,2		
Нанесения слоя аланита	8,6	8,0	39,0	0,52	22,0	5,4		
Кочерыжки кукурузные + спир- товая барда	5,6	39,0	21,0	0,34	16,0	5,9		
Формирование гребней + слой аланита	2,1	14,0	13,6	0,22	9,6	6,2		
Глина аланит + кукурузные коче- рыжки + спиртовая барда +посев многолетних трав	0,2	8,0	9,2	0,01	4,5	6,8		

Снижение содержания тяжелых металлов

Следовательно, природные цеолитсодержащие глины, смешанные с кукурузными кочерыжками, измельченными в послеспиртовой барде, позволяют реабилитировать нарушенные горными работами земли, снизить количество тяжелых металлов и кислотность почв (Ph) без особенных затрат, с одновременной утилизацией продуктов растениеводства и спиртовой промышленности.

Амброзия полыннолистная, карантинный сорняк американского происхождения имеет широкое распространение в России (Дальний Восток, Сибирь, центральные и южные регионы европейской части страны и др.). Основная занятая амброзией территория приходится на Северный Кавказ, Ростовскую и Волгоградскую области и Приморский край. Вдоль железнодорожных и автомобильных дорог амброзия заносится и до северных регионов России (Коми, Карелии, Мурманской области). Растение неприхотливо, встречается массово и почти повсеместно, в различных экологических условиях, не избегая техногенно загрязненных территорий.

Вегетационный период длительный и составляет 150–170 дней. Фаза цветения продолжается более 60 дней, что позволяет осуществлять сбор надземной массы в период максимального накопления тяжелых металлов. По их содержанию, в этой фазе легко выявить растения, обладающие высокой сорбционной способностью.

Сравнение сорбционных способностей различных растений в одинаковых фазах развития, но в разных экологических условиях позволяет выявить виды и культуры с максимальными биоиндикационными возможностями. Для количественного определения способности амброзии к накоплению тяжелых металлов в надземной массе, в сравнении с другими культурами, обладающими аналогичными сорбционными свойствами (клевером, люцерной, эспарцетом), проводились эксперименты на территории металлургического завода у автотрассы и в сельскохозяйственных угодьях. Из проведенных экспериментов выяснено, что амброзия обладает максимальной аккумулирующей способностью накапливать тяжелые металлы. Учитывая особенность сосудистых растений концентрировать тяжелые металлы в начале вегетации в минимальном количестве, с постепенным возрастанием их содержания к фазе цветения биоиндикационную оценку нескольких видов растений проводили в разные фазы развития (стеблевания, бутонизации, цветения).

Для снижения токсичности почвы (от внесения гербицидов) в междурядья кукурузы высевали растения амаранта, которые в период вегетации подкармливали смесью биопрепаратов Байкал ЭМ-1 и Байкал ЭМ-5, после чего, обрабатывая междурядья, заделывали зеленую массу амаранта в почву (табл. 3).

Таблица 3.

Варианты опыта	Содержание азота	Содержание тяжелых металлов					
	Ν	Ni	Pb	Cu	Zn		
Контроль (без гербицидов и био-препарата)	172,0	15,8	32,0	4,2	28,0		
Внесение гербицидов	121,0	22,6	36,4	6,9	39,6		
Обработка посевов гербицидами и подсев амаранта в междурядье	180,0	13,2	26,2	3,8	25,5		
Обработка посевов кукурузы и внесение биопрепаратов	198,0	8,2	21,6	2,8	28,2		
Посев амаранта в междурядья + внесение биопрепаратов + заделка зеленой массы амаранта в качестве сидератов	224	6,4	19,1	2,0	12,4		
Предельно допустимая концентра- ция (ПДК)		32,0	6,8	35,0	46		

Ремедиация почв с помощью амаранта в смеси с биопрепаратом Байкал ЭМ-1

Из приведенных данных следует, что в предлагаемом варианте за счет заделки растений амаранта (*Amaranthus caudatus*) в почву с биопрепаратами, увеличивается количество биологического азота, снижается содержание тяжелых металлов до предельно допустимых концентраций и ниже.

Способ позволяет снизить токсичность почвы и повысить плодородие почвы. Результаты опытов сведены в таблицу 4, в микрозивертах в час в среднем по 3-м элементам (стронций, цезий, торий).

Таблица 4.

Вариант опыта	В начале бу- тонизации	После ска- шивания и утилизации	В конце ве- гетации 1-го года	На второй год жизни	% снижения радиации
До посева трав (кон- троль)	1,82	1,66	1,42	1,28	-
Посев многолетних трав	1,64	1,48	1,36	1,16	9,1
Посев многолетних бобо- вых трав + обволакивание семян	1,46	1,32	1,26	1,14	11,0
Посев многолетних бобо- вых трав + обволакивание семян + аланит	0,92	0,84	0,78	0,72	43,8
Утилизация зеленой мас- сы в начале бутонизации	0,78	0,64	0,62	0,58	54,7
Расположение органиче- ских отходов листьев + аланит	0,66	0,58	0,52	0,48	62,5

Ремедиация почв, загрязненных радиоактивными элементами

Приведенные данные свидетельствуют, что за один год можно снизить уровень радиации до предельно допустимой концентрации (0,48 мкЗв/час), после всех агроприёмов уровень радиации снижается на 62,5%.

Следовательно, предлагаемый агроприём позволяет снизить уровень радиации за счет утилизированных отходов растительности и цеолитсодержащей глины аланит в год посева.

Ремедиация загрязненных почв может осуществляться и с помощью посева растений вязеля пестрого – бобового компонента [Бекузарова, Ханиева, 2016].

Способ осуществляется следующим образом. Вязель пестрый в отличие от известной вики и других бобовых, высеваемых на радионуклидных загрязненных почвах, имеет корнеотпрысковую систему, и размножается как семенами, так и вегетативно (корнеотпрысками), покрывая весь участок отросшими стеблями и тем самым сохраняя почву от испарения с одновременным уничтожением сорной растительности. Высокая облиственность растений (более 60% от общей надземной массы) и множество корневых ответвлений позволяют ассимилировать значительное количество радиоактивных веществ из почвы и воздуха. В год посева количество сорбированных радионуклидов составляет около 30%.

Скошенную массу в конце вегетации удаляли с участка и утилизировали, после чего его покрывают слоем местной цеолитсодержащей глины аланит, содержащей более 30% кальция, а также микроэлементы, железо, магний, кремний, алюминий и другие. Реакция среды аланита (pH) составляет 9,3. Кроме сорбции участок обогащается питательными веществами глины аланит и биологическим азотом растений вязеля. Высеваемые растения вязеля, покрываемые аланитом, повышают свою зимостойкость за счет внесенных на поверхность глин, после их укоса. На следующий год (2-ой год жизни) растения вязеля развивают мощную надземную массу до 50 т/ га, ассимилируя до 50% нуклеотидов, находящихся в почве. В фазу максимального развития (фаза бутонизации) массу скашивали, не допуская фазы цветения, так как вязель насекомоопыляемая культура и может с помощью энтомофауны переносить зараженную пыльцу радионуклидами на другие участки (в частности, пчелы могут перенести часть радиоактивных веществ в мед). Скошенную массу, вновь утилизировали, и в конце вегетации, перед уходом в зиму, участок покрывали слоем аланита в пределах 4-5 см. В первый год жизни растений содержание радионуклидов Sr^{90} сокращается за счет сорбционной способности культуры вязеля и покрытия ее слоем цеолитсодержащей глины от 0,72 до предельно допустимых концентраций 0,42 мкЗв/час, на второй год с 0,61 до 0,38 мкЗв/ч и на третий год от 0,42 до 0,24 мкЗв/час. У цезия (Cs¹³⁷) отмечены снижения радиации от 0,84 до 0,72 мкЗв/час, в первый год, а во втором году – до предельно допустимых концентраций (табл. 5).

Таблица 5.

	Содержание в мкЗв/час							
Варианты опыта	Ст	ронций S	r ⁹⁰	Цезий Cs ¹³⁷				
	1 год	2 год	3-год	1 год	2 год	3-год		
Вязель пестрый (без аланита)	0,72	0,61	0,42	0,84	0,78	0,62		
Вязель пестрый. 1 укос+аланит	0,66	0,56	0,36	0,72	0,62	0,50		
Вязель пестрый. 2 укос +аланит (на вто- рой год жизни)	-	0,46	0,32	-	0,59	0,46		
Вязель пестрый +аланит после 2 укосов (2-го года жизни)	-	0,38	0,24	-	0,45	0,32		
Процент снижения от показателя без аланита	8,4	38,0	42,8	21,0	42,4	48,4		

Фиторемедиация радиоактивных земель

Заключение

Предлагаемый способ позволяет снизить уровень радиации за счет утилизированных отходов растительности и цеолитсодержащей глины аланит в год посева.

Используя на токсических почвах растения-аккумуляторы, такие как амарант, бобовые травы и другие можно значительно снизить токсичность почв и восстановить их плодородие.

Применяя растительные отходы кукурузные кочерыжки, корзинки подсолнечника и спиртовой промышленности в смеси с цеолитсодержащими глинами, можно значительно снизить зараженные участки почв, кислотность и, таким образом, восстановить плодородие загрязненных почв.

Литература

1. Бекузарова С.А., Бзиков М.А., Джанаев Х.Г., Цагараева Э.А., Кудзаева И.Л. Изобретение «Способ повышения плодородия почв» // Патент №2229782. Опубликован 10.06.2004. МПК Ф01В79/02. А01С21/00.

2. Бекузарова С.А., Боме Н.А., Боме А.А., Лушенко Г.В., Цомартова Ф.Т., Плиев И.Г. Изобретение «Способ оценки загрязненных земель» // Патент №2552057. Опубликован 10.06.2015.МПК G01N33/24, A01G7/00.

3. Бекузарова С.А., Ханиева Ф.М. Изобретение «Способ дезактивации почв, загрязненных радиоактивными нуклидами» // Патент №2574693. Опубликован 10.02.2016. МПК Ф01В79/02, В09С1/00,G21F9/34.

4. Белюченко И.С. Экология Кубани. – Краснодар. – 2005. – Ч. 2. – 470 с.

14

5. Вельц Н.Ю. Изобретение «Способ оценки загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами». // Патент №2257597. Опубликован 27.07.2005. МПК G01V9/00,G01N33/48.

6. Волошин Е.И. Транслокация кадмия и свинца в почве и растениях // Химия в сельском хозяйстве. – 1997. – №2. – С. 34-35.

7. Гукалов В.Н. Тяжелые металлы в системе агроландшафтов. - Краснодар: Издательство Куб.ГАУ, 2010. – 345 с.

8. Жеруков Б.Х, Ханиева И.М., Бекузарова С.А., Ханиев М.Х., Магомедов К.Г Изобретение» Способ снижения токсичности почвы при возделывании кукурузы» // Патент №2444879. Опубликован 20.03.2012. МПК А01 В 79/02, А01G7/00, А01C21/00.

9. Заалишвили В.Б., Бекузарова С.А. Козаева О.П. Изобретение» Способ оценки загрязнения окружающей среды». // Патент № 2485477. Опубликован 20.06.2013. МПК G01N33/48.

10. Заалишвили В.Б., Алборов И.Д., Бекузарова С.А., Сидаков А.Г. Изобретение» Способ реабилитации нарушенных земель» // Патент №2567900. Опубликовано 10.11.2015. МПК В09С1/00, А01В79/02, С05G 3/04.

11. Сокаев К.Е. Хубаева Г.П. Экология окружающей природной среды города Владикавказа и его пригорода. – Владикавказ: Олимп, 2014. – 207 с.

12. Ханиева И.М., Бекузарова С.А., Ханиев М.Х., Лазаров Т.К., Бозиев А.Л. Изобретение «Способ снижения радиоактивности почв» // Патент №258027. Опубликован 20.06.2016. МПК В09С1/00.

ENVIRONMENTAL PROBLEMS IN THE TERRITORIES WITH THE MINING INDUSTRY, AND ACTIVE REMEDIATION OF TOXIC SOILS

© 2018 S.A. Bekuzarova¹, Sc. Doctor (Agr.), O.G. Burdzieva¹, Sc. Candidate (Geogr.), D.G. Kachmazov², Sc. Candidate (Agr.), M.V. Maysuradze¹

¹Geophysical institute VSC RAS, Russia, 362002, RNO-Alania, Vladikavkaz, Markov Str., 93 a, e-mail: cgi_ras@mail.ru;

²South Ossetian State Universyti named after A.A. Tibilov, Republic South Ossetia, 100001, Tskhinval, Moskovskaya, 8.

Rehabilitation of territories contaminated with salts of heavy metals, very toxic, is an urgent fundamental and, at the same time, the most important applied environmental task. A special role is played by the physical and mechanical properties of soils- bases of objects of such pollution. The article deals with the use of grass mixtures for rehabilitation or recultivation of the respective territories. In this regard, it should be noted that this problem, in particular, in soil phytoremediation is currently insufficiently studied. The authors proposed some variants of the use of plant species, which are characterized by the ability to grow on contaminated land and, at the same time, accumulate pollutants above-ground biomass. In the case of heavy metal contamination of soils, the authors propose to use annual plants with large biomass in the first year of reclamation, capable of removing up to 50% of pollutants from the biological cycle. Studying plants on toxic soils, determined their accumulating capacity and used them as phytomeliorants. In several experiments, indicator plants were used; amaranth, clover, alfalfa, vyazel, stevia, ambrosia, winter ginger mixed with an annual clover species and others, which, when accumulating maximum biomass, were plowed into the soil in a mixture with zeolite-containing clays of local importance. The results of the experiments showed that with the help of indicator plants it is possible not only to improve soil fertility, but also to significantly reduce the amount of heavy metals, petroleum products, radionuclides, residual effects of chemical means of weed control, diseases and pests. Of great importance in reducing the toxicity of soils were organic waste of agricultural production: corn stalks, sunflower baskets, waste alcohol production-post-alcohol bard, as well as leaf litter, embedded in the soil with biological products. The results of the experiments showed a significant reduction of toxicants in the soil when using organic waste and plowing plants as a green fertilizer in a mixture with zeolite-containing clays and biopreparations.

Keyword: remediation, phytoindication, plant waste, heavy metals, toxicants, radiation, mining activities.

References

1. Bekuzarova S.A., Bzikov M.A., Dzhanaev H.G., Cagaraeva Je.A., Kudzaeva I.L. Izobretenie «Sposob povyshenija plodorodija pochv» [Invention "A method for improving soil fertility"]. Patent No.2229782. Opublikovan 10.06.2004. MPK F01V79/02. A01S21/00. (in Russian)

2. Bekuzarova S.A., Bome N.A., Bome A.A., Lushenko G.V., Comartova F.T., Pli-ev I.G. Izobretenie «Sposob ocenki zagrjaznennyh zemel'» [Invention "A method of evaluating contaminated land"]. Patent No.2552057. Opublikovan 10.06.2015.MPK G01N33/24, A01G7/00. (in Russian)

3. Bekuzarova S.A., Hanieva F.M. Izobretenie «Sposob dezaktivacii pochv, zagrjaznennyh radioaktivnymi nuklidami» [Invention "Method of decontamination of soil contaminated with radioactive nuclides"]. Patent No.2574693. Opublikovan 10.02.2016. MPK F01V79/02, V09S1/00,G21F9/34. (in Russian)

4. Beljuchenko I.S. Jekologija Kubani [Ecology of Kuban]. Krasnodar. 2005. Part. 2. 470 p. (in Russian)

5. Vel'c N.Ju. Izobretenie «Sposob ocenki zagrjaznenija okruzhajushhej sredy tjazhelymi metallami». [Invention "A method of estimating contamination of the environment with heavy metals"]. Patent No.2257597. Opublikovan 27.07.2005. MPK G01V9/00,G01N33/48. (in Russian)

6. Voloshin E.I. Translokacija kadmija i svinca v pochve i rastenijah [Translocation of cadmium and lead in soil and plants]. Himija v sel'skom hozjajstve. 1997. No.2. Pp. 34-35. (in Russian)

7. Gukalov V.N. Tjazhelye metally v sisteme agrolandshaftov [Heavy metals in the agrolandscape system]. Krasnodar, Iz-datel'stvo Kub.GAU, 2010. 345 p. (in Russian)

8. Zherukov B.H, Hanieva I.M., Bekuzarova S.A., Haniev M.H., Magomedov K.G Izobretenie «Sposob snizhenija toksichnosti pochvy pri vozdelyvanii kukuruzy» [Invention "A method for reducing the toxicity of soil in the cultivation of maize"]. Patent No.2444879. Opublikovan 20.03.2012. MPK A01 V 79/02, A01G7/00, A01S21/00. (in Russian)

9. Zaalishvili V.B., Bekuzarova S.A. Kozaeva O.P. Izobretenie «Sposob ocen-ki zagrjaznenija okruzhajushhej sredy» [Invention "A method of evaluating environmental pollution"]. Patent No. 2485477. Opublikovan 20.06.2013. MPK G01N33/48. (in Russian)

10. Zaalishvili V.B., Alborov I.D., Bekuzarova S.A., Sidakov A.G. Izobrete-nie «Sposob reabilitacii narushennyh zemel'» [Invention "The method of rehabilitation of disturbed land"]. Patent No.2567900. Opublikovano 10.11.2015. MPK V09S1/00, A01V79/02, S05G 3/04. (in Russian)

11. Sokaev K.E. Hubaeva G.P. Jekologija okruzhajushhej prirodnoj sredy goroda Vladikavkaza i ego prigoroda [Ecology of the environment of Vladikavkaz city and its suburbs]. Vladikavkaz, Olimp, 2014. 207 p. (in Russian)

12. Hanieva I.M., Bekuzarova S.A., Haniev M.H., Lazarov T.K., Boziev A.L. Izobretenie «Sposob snizhenija radioaktivnosti pochv» [Invention "A method of reducing soils radioactivity"]. Patent No.258027. Opublikovan 20.06.2016. MPK V09S1/00. (in Russian)

VДК 552.323.5 DOI:10.23671/VNC.2018.4.20131

ПАЛЕОГЕНОВАЯ БАЗАЛЬТ-ТРАХИТОВАЯ ФОРМАЦИЯ ЗАПАДНОГО КАВКАЗА: ГЕОХИМИЧЕСКАЯ СПЕЦИФИКА, ВОПРОСЫ ПЕТРОГЕНЕЗИСА, ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ТИПИЗАЦИЯ, МЕТАЛЛОГЕНИЯ

© 2018 В.М. Газеев^{1, 2}, к.г.-м.н., А.Г. Гурбанов^{1, 2}, к.г.-м.н., И.А. Кондрашов¹

¹ФГБУН Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Россия, 119017, г. Москва, Старомонетный пер., 35;

²ФГБУН Федеральный научный центр «Владикавказский научный центр РАН», Россия, 362027, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркуса, 22, e-mail: gazeev@igem.ru.

В юго-западной части Большого Кавказа в среднем течении р. Мзымты встречаются палеогеновые субщелочные породы основного и среднего составов. Проведено петрографическое и геохимическое изучение пород и приведены результаты их анализов методами *RFA, ICP-MS*. Установлено обогащение пород *LILe, REE, HFSE*, концентрации которых сопоставимы с *OIB*. Выявлена геохимическая редкометалльно– редкоземельная специализация пород БТФ, а их металлогеническая специализация – ртутная и титановая. Показано, что исходные расплавы возникли при 2-3% плавлении шпинелевого перидотита. Предполагается, что причиной появления частичных выплавок в верхней мантии являлись тектонические процессы, затронувшие территорию юго-западной окраины Скифской плиты, и синхронные с процессами рифтообразования, развивавшимися в эоцене в Черноморском регионе и Аджаро-Триалетском прогибе.

Ключевые слова: петрография; геохимия; геодинамическая типизация; металлогения, рифтообразование, палеогеновая базальт-трахитовая формация Западного Кавказа.

Введение

В юго-западной части Большого Кавказа, в структурно-формационных зонах Южного склона и Главного хребта известны магматические породы палеогенового возраста [Афанасьев, Борсук, 1959; Борсук и др., 1976]. К ним отнесены субщелочные габброиды (эссекситы, кринаниты), риолитовые и трахитовые порфиры, выделенные в базальт-трахитовую формацию (БТФ) [Афанасьев, Гурбанов, 1974]. В сопредельных регионах Малого Кавказа (МК), в Аджаро-Триалетском (АТП), Севано-Акеринском (САП), Талышском (ТП) прогибах палеогеновый вулканизм проявился необычайно широко и разнообразно. Например, палеоценовые дациты и пирокласты известны на юго-востоке АТП. В эоцене в АТП и САП, синхронно с фазами складчатости, происходило внедрение пород габбро-плагиогранитной формации, сопровождавшееся извержением андезибазальтов, кислых лав и пирокластов. В позднем эоцене вулканизм в САП представлен продуктами известковощелочной андезитовой формацией, а в АТП и ТП – это калиевые и лейцитовые базальты, анальцимовые трахиты и сиениты, относимые к субщелочной слабо дифференцированной базальтовой формации. В раннем олигоцене вулканизм прекращается [Дзоценидзе, 1970]. Кратко история палеогенового вулканизма в региональном геотектоническом плане обобщена в [Хаин, Балуховский, 1993] и представлена следующим образом. Наступившая на Кавказе в позднем сеноне разрядка напряжений сменилась в эоцене мощной вспышкой андезитового вулканизма, охватившего обширные пространства – весь Малый Кавказ, Анатолию, Иран до Загросского шва. Происхождение этого вулканизма, очевидно, только частично может быть прямо связано с завершением субдукции океанической коры вдоль Загросской сутуры, а его северные проявления, скорее всего, обязаны рифтообразованию в отдаленном тылу этой субдукции, подобно тому, как это произошло в Андах и Северо-Американских Кордильерах и характеризуется повышенной щелочностью этого вулканизма и комагматичных ему плутонов монцонит-сиенитового (Зангезур – Карадаг) и даже нефелиносиенитового (Памбак) составов. В настоящей публикации представлены результаты геохимического изучения пород (рис. 1) базальт–трахитовой формации палеогенового возраста, встречающихся в юго-западной части Большого Кавказа.



Рис. 1. Фрагмент геологической карты с магматическими телами палеогенового возраста. (ФГУГП «Кавказгеолсъемка», лист К-37-V, 2001 г. Авторы: В.А. Лаврищев, Н.И. Пруцкий, В.М. Семенов и др.)

Фактический материал и методы его исследования

Материалом для исследования послужила коллекция образцов, собранная И.А. Кондрашовым в 90-х годах ХХ века из силлов и даек палеогенового возраста распространенных в структурно-формационной зоне Южного склона БК в верховьях рек Крепостная, Беш, Арашха и на хребте Тепе-Баши. Из собранных образцов были изготовлены шлифы и проведено их петрографическое описание. Определены концентрации макро- и микроэлементов рентгено-флуоресцентным анализом (XRF); рудных, редких и редкоземельных элементов – методом спектроскопии с индукционно связанной плазмой с масс-спектрометрическим окончанием (ICP MS) на масс-спектрометре X-Series II. Аналитические работы выполнены в ФГБУН ИГЕМ РАН с использованием методик и условий анализов, принятых в ЦКП «ИГЕМ – Аналитика». Точность анализа контролировалась путем измерения российских и международных стандартных образцов. Нами дополнительно использовались результаты анализов пород БТФ из публикаций [Афанасьев, Борсук, 1959; Афанасьев, Гурбанов, 1974; Гурбанов, 1977]. На основе результатов аналитических исследований построены классификационные, петрогенетические диаграммы и графики для расшифровки условий образования пород рассматриваемой формации.

Краткая петрографическая характеристика пород

Среди изученных пород БТФ наиболее распространенными разновидностями являются эссекситы и трахиты, залегающие в виде даек, силлов и мелких штоков. В данной публикации мы сохранили наименования пород использовавшиеся ранее [Афанасьев, Борсук, 1959; Афанасьев, Гурбанов, 1974]. Эссекситы – масссивные среднезернистые породы, черного цвета с зеленоватым оттенком. Микроструктура габбро-диабазовая, диабаз-офитовая, местами порфировидная. Состоят породы из плагиоклаза, анортоклаза, моноклинного пироксена, роговой обманки, рудного минерала и примеси поздних, вторичных, рудных и акцессорных минералов: кварца, биотита, хлорита, карбоната, ильменита, титаномагнетита, пирита, сфена, рутила, апатита, циркона. Плагиоклаз (олигоклаз-андезин). Его кристаллы размером до 1,0×3,0 мм, содержат включения апатита, рудного минерала и карбоната *in situ*. Анортоклаз встречается в виде пятнистых выделений с микроклиновой решеткой, нарастающих на плагиоклаз, обычно вблизи с интерстиционными промежутками. Полевые шпаты заметно пелитизированы и серицитизированы. Авгит присутствует в виде ксеноморфных и субизометричных кристаллов размером до 2,0 мм. В некоторых случаях у его кристаллов отмечается слабо розоватый оттенок (титан-авгит). Иногда авгит заметно корродируется остаточным раствор-расплавом, накапливавшимся в межзерновых промежутках и замещается амфиболом. Авгит содержит включения рудного минерала.

Интерстиции выполнены минеральным агрегатом, состоящим из тонкочешуйчатой хлоритовой массы и сфена. В других случаях в интерстициях отмечаются: цеолит, карбонат, рудный минерал, сфен, реже калиевый полевой шпат, биотит и кварц. Рудные минералы, количество которых приближается к 5–8%, представлены ильменитом, титаномагнетитом и пиритом. Ильменит по периферии кристаллов обрастает титаноморфитом. **Трахиты** – массивные мелко-, среднезернистые породы серого и зеленовато-серого цвета. Микроструктура гипидиоморфнозернистая. Состоят они, преимущественно, из полевых шпатов - анортоклаза и олигоклаза. Оли-



Рис. 2а. Эссексит. Структура диабазоофитовая. (Диагональ снимка 2,9 мм)



Рис. 26. Трахит. Структура гипидиоморфнозернистая. (Д 2,9 мм)



Рис. 2в. Эссексит. Амфиболовая каемка на авгите. (Д 1,5мм)



Рис. 2г. Трахит. Кварц, сфен и эпидот в промежутках между кристаллами анортоклаза. (Д 1,5мм)

Рис. 2. Микрофотографии пород

гоклаз наблюдается в виде серицитизированных кристаллов размером до 2,0×5,0 мм, иногда с включениями карбоната *in situ*. Анортоклаз образует кристаллы и наблюдается в виде каемок на олигоклазе. В промежутках между полевыми щпатами, присутствуют: авгит, роговая обманка, эпидот, кварц, биотит, сфен. Некоторые интерстиции выполнены минеральным агрегатом, состоящим из тонкочешуйчатой хлоритовой массы и сфена. Рудные и акцессорные минералы: ильменит, титаномагнетит, апатит.

Петрохимические и геохимические характеристики пород

На классификационной диаграмме вулканических пород (Na₂O+K₂O) – SiO₂ (рис. 3а) фигуративные точки составов исследованных пород БТФ группируются в поле умеренно щелочных пород (от трахибазальтов до трахитов). На AFM (рис. 3б) диаграмме точки составов сгруппированы вдоль границы раздела толеитовой и известково-щелочной серий, указывая на Боуэновский тип магматической дифференциации с последовательным накоплением щелочей в конечных дифференциатах.



Условные обозначения: 1 – составы пород по результатам РФА табл. №1; 2 – по литературным источникам [Афанасьев, Борсук, 1959; Афанасьев, Гурбанов, 1974; Гурбанов, 1977]

На вариационных диаграммах SiO_2 – петрогенные элементы (рис. 4) точки составов пород образуют четкие тренды, указывающие на прямую корреляцию Al_2O_3 , Na_2O , K_2O и обратную корреляцию TiO_2 , FeOt, CaO, MgO с содержанием SiO_2 . В связи с незначительным количеством собственного материала нами на рисунках 3 и 4 вынесены составы пород БТФ из публикаций [Афанасьев, Борсук, 1959; Афанасьев, Гурбанов, 1974]. В целом, это высокотитанистые, умеренно-глиноземистые, низко-магнезиальные (Mg# = 0,13 - 0,39), в большинстве своем, умеренно- и реже высококалиевые образования. Тип щелочности по Na_2O/K_2O отношению в эссекситах натриевый (>4), в трахитах – калиево-натриевый (1–4) (табл. 1).

По положению фигуративных точек на петрогенетических диаграммах породы диагностируются как внутриплитные базальты и их производные (Zr/Y - Zr, рис. 5а), внутриплитные толеиты ($Zr/4 - Nb \times 2 - Y$, рис. 5б), и базальты континентов (La/10-Y/15-Nb/8, рис. 5в).

На диаграмме (Nb/Y – Zr/Y, рис. 5г) где показаны: (DEP) – деплетированный компонент, (EN) – обогашенный компонент, (REC) – рециклированный компонент слеба, (РМ) – примитивная и (ДМ) – деплетированная мантия, вносящие вклад в образование базальтов [Туркина, 2014], точки составов пород БТФ группируются вблизи с точкой (EN) в поле островных дуг и активных континентальных окраин (ІАВ, АСМВ). На диаграмме концентраций редкоземельных элементов (рис. 5е), нормированых по хондриту [San, McDonough, 1989], спектры эссекситов и трахитов различаются. У эссекситов спектр *REE* имеет вид полого наклонной линии, без европиевой аномалии, La^{H}/Sm^{H} отношение находится в пределах 1,5 - 2,1; Gd^{H}/Sm^{H} $Yb^{\mu} = 1, 4-2, 0. La^{\mu}/Yb^{\mu}$ отношение, как показатель степени фракционирования REE, изменяется от 2,2 до 4,3. Известно, что низкая степень плавления без гранатового лерцолита приводит к обогащению LREE, с плоским участком графика в диапазоне *MREE-HREE* [Мартынов, 2010]. $\sum REE$ варьирует в пределах от 147 до 298 г/т, а \sum *REE* /*n* – 223 г/т. У трахитов на графике присутствует отчетливый *Eu* минимум. Эта аномалия является индикатором, как активности кислорода, так и присутствия плагиоклаза в системе. В базитовых магмах она преимущественно связана с процессами плагиоклазового фракционирования. Величина количественного дефицита европия характеризуется коэффициентом Eu/Eu^* , где $Eu^* = (Sm_n + Gd_n)/2$. В трахитах

Таблица № 1.

Результаты рентгено-флуоресцентного анализа (*XRF*) пород палеогеновой базальт–трахитовой формации Западного Кавказа (оксиды в мас. %; элементы в г /т)

№ обр	К-104/90	К-112/90	К-118/90	K-121/90	К-128/90	К-146/90	К-147/90	К-151/90	К-154/90	К-158/90
SiO ₂	50,02	48,82	55,13	60,51	54,45	48,19	45,10	47,27	64,20	51,49
TiO ₂	3,45	2,31	1,88	0,56	2,77	4,54	4,39	3,20	0,65	3,13
Al_2O_3	13,29	14,69	14,65	17,68	15,04	12,63	11,88	12,69	13,77	13,86
Fe ₂ O ₃	14,63	12,90	11,05	4,92	9,49	14,27	16,09	15,46	6,79	13,45
MnO	0,387	0,230	0,274	0,090	0,085	0,260	0,285	0,233	0,159	0,350
MgO	3,60	4,22	1,78	0,58	3,59	4,21	4,57	4,90	0,55	3,12
CaO	4,72	8,57	4,44	2,26	2,97	8,07	9,35	8,89	3,26	4,73
Na ₂ O	4,59	4,11	5,56	5,06	5,23	4,40	3,79	3,94	6,33	5,83
K ₂ O	1,68	0,82	2,49	6,46	0,43	1,02	0,76	0,66	2,85	0,81
P_2O_5	0,96	0,46	0,55	0,07	1,14	0,56	1,74	0,43	0,11	0,90
S	< 0.02	0,11	0,15	< 0.02	1,12	0,09	0,10	0,11	< 0.02	0,06
nnn	2,40	2,71	1,92	1,42	4,51	1,64	1,83	2,03	1,00	2,09
Сумма	99,73	99,95	99,87	99,61	100,8	99,88	99,89	99,81	99,67	99,82
Cr	<10	29	89	<10	39	<10	<10	17	<10	<10
V	141	265	41	22	311	306	235	385	17	195
Со	17	27	10	<10	30	34	32	44	<10	12
Ni	<10	14	30	<10	31	<10	<10	36	<10	<10
Си	27	56	21	<10	17	27	23	95	<10	30
Zn	156	147	149	118	40	118	118	111	148	149
Pb	<10	21	15	15	<10	<10	<10	<10	18	15
Rb	35	16	51	114	15	23	19	20	53	20
Sr	256	76	336	106	300	243	386	380	123	210
Ba	346	72	445	352	165	242	185	147	314	154
Nb	14	10	16	19	16	12	10	9	24	15
Zr	491	221	447	1697	357	207	228	200	1246	469
Y	120	50	97	112	92	64	92	58	133	109
Na_2O/K_2O	2,73	6,10	2,23	0,78	12,16	4,31	4,98	5,96	2,22	7,19
Al^l	0,72	0,75	1,14	3,21	1,14	0,68	0,54	0,62	1,87	0,83
Mg#	0,32	0,39	0,24	0,18	0,42	0,36	0,36	0,38	0,13	0,31
Zr / Nb	35	22,1	27,9	89,3	22,3	17,2	22,8	22,2	51,9	31,2

Примечание: К-104/90, К-112/90, К-118/90, К-121/90 – р. Крепостная; К-128/90 – р. Беш; К-146/90, К-147/90, К-151/90, К-154/90, К-158/90 – р. Арашха.



Рис. 4. Диаграммы концентраций петрогенных компонентов (в масс. %). Условные обозначения приведены на рис. 3.



Рис. 5ж. Концентрации несовместимых элементов нормированные к N-MORB. Состав OIB (базальты океанических островов - производные обогащенной мантии) по [San, McDonough, 1989].



Таблица №2.

Элемен-	Номера проб									
ты	K-104/90	K-112/90	K-118/90	K-128/90	K-146/90	K-147/90	K-151/90	K-154/90	K-158/90	K-121/90
Li	28,1	26,6	10,8	67,1	16,8	15,1	24,4	24,9	20,2	3,5
Be	3,42	1,58	2,48	2,47	1,36	1,36	1,56	6,48	2,30	6,28
Sc	29,61	41,08	21,71	33,23	41,28	34,32	48,61	11,15	30,15	9,483
Ti	18500	14060	11070	16250	26310	23570	19870	3890	19040	3173
V	153,4	343,9	28,42	277,4	341,3	327,7	556,1	17,01	214,7	21,24
Cr	4,22	29,16	98,02	39,13	4,72	4,91	29,78	5,18	4,74	4,58
Mn	2855	1794	2058	633	2036	2123	1928	1181	2718	554,1
Со	19,9	33,96	9,54	27,64	31,14	32,33	41,07	3,16	22,27	2,814
Ni	3,1	15,28	51,17	28,47	2,97	2,28	32,47	1,85	3,03	3,14
Cu	26,14	53,71	22,3	18,36	33,72	25,92	94,66	6,81	31,56	8,01
Zn	151,1	152,2	155,5	40,11	130,2	139,3	130,8	140,1	152,8	282
Rb	31,98	12,24	44,63	10,9	18,98	13,81	16,76	29,21	16,42	76,68
Sr	222,3	63,73	290,5	310,8	227,3	349,4	377,5	87,67	199,6	83,2
Y	83,18	37,49	72,17	61,94	52,99	71,3	45,88	101,9	81,04	79,35
Zr	258,3	218,2	398,4	286,7	237,4	245,9	223,8	703	383,3	860,9
Nb	28,46	12,57	26,88	18,05	15,19	14,92	11,13	30,97	23,81	25,36
Мо	2,71	1,61	4,02	2,81	1,11	1,01	0,96	1,87	2,05	0,51
Ag	0,76	0,57	0,84	0,76	0,57	0,58	0,61	1,57	0,91	2,69
Cd	0,50	0,41	0,44	0,20	0,24	0,25	0,28	0,59	0,35	0,90
Sn	0,93	4,00	0,19	0,24	0,53	0,31	0,15	0,89	0,34	11,07
Sb	0,82	0,46	1,65	1,21	0,14	0,21	0,19	0,31	0,18	0,17
Cs	0,84	0,15	0,88	0,62	0,18	0,86	0,41	0,38	0,49	0,44
Ba	357,8	80,48	421,1	150	192,3	176,8	147,8	250,6	167,3	289,5
La	41,61	23,31	34,61	58,91	21,66	32,33	19,46	59,45	40,87	40,38
Се	99,68	54,62	85,84	118,6	55,54	83,29	47,67	129,5	98,6	93,52
Pr	14,31	7,44	11,99	15,15	8,144	12,16	6,959	16,61	13,71	12,27
Nd	62,71	31,68	53,21	63,36	37,27	57,53	31,08	64,66	60,65	46,43
Sm	15,15	7,01	12,26	13,02	9,07	13,95	7,69	13,98	14,14	10,5
Eu	4,48	2,27	4,00	6,62	3,05	4,15	2,56	2,69	3,88	1,62
Gd	15,95	7,64	13,3	14,07	10,2	15,24	8,81	15,13	15,83	10,99
Tb	2,91	1,30	2,30	2,08	1,73	2,44	1,49	2,76	2,49	2,08
Dy	16,1	7,29	13,45	11,28	10,26	13,63	8,53	17,26	14,99	13,49
Но	3,69	1,59	2,92	2,30	2,17	2,83	1,86	4,05	3,22	3,13
Er	9,77	4,43	8,48	6,29	5,88	7,72	5,20	12,46	9,03	10,03
Tm	1,63	0,68	1,26	0,87	0,86	1,05	0,74	1,91	1,30	1,64
Yb	8,81	3,87	8,21	5,37	5,34	6,25	4,77	13,15	8,32	11,69
Lu	1,58	0,67	1,31	0,81	0,82	0,95	0,74	2,02	1,26	1,88
Hf	6,91	5,18	9,46	6,58	5,61	5,88	5,52	16,45	9,21	29,1
Ta	2,33	0,97	1,63	1,21	1,05	1,02	0,74	1,92	1,57	1,90
W	1,91	2,26	1,47	1,35	1,77	0,6	0,67	0,94	0,83	0,94
Tl	0,72	0,19	0,32	0,14	0,15	0,11	0,11	0,20	0,14	0,43
Pb	4,30	18,39	9,40	2,57	2,83	2,18	3,03	16,16	6,78	6,09
Bi	0,29	0,07	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,05	0,01	0,01
Th	6,54	3,70	5,49	6,26	2,40	3,55	2,72	13,28	5,86	20,17
U	1,76	1,02	1,52	1,76	0,74	0,9	0,78	3,26	1,63	4,48
$\sum REE$	298,4	153,8	253,1	318,7	172,0	253,5	147,5	355,6	288,3	259,6
Nb /Ta	12,2	12,9	16,4	14,9	14,4	14,6	15	16,1	15,1	13,3
Zr / Hf	37,3	42,1	42,1	43,5	42,3	41,8	40,5	42,6	41,6	29,5

Результаты ICP-MS анализа пород палеогеновой базальт–трахитовой формации Западного Кавказа (содержания элементов в г /т)

Eu/Eu* находится в пределах 0,46 – 0,56; $La^{\mu}/Sm^{\mu} = 2,4-2,9$; $Gd^{\mu}/Yb^{\mu} = 0,7-2,1$; $La^{\mu}/Sm^{\mu} = 2,4-2,9$; $Sd^{\mu}/Yb^{\mu} = 0,7-2,1$; $La^{\mu}/Sm^{\mu} = 2,4-2,9$; $Sd^{\mu}/Yb^{\mu} = 0,7-2,1$; $La^{\mu}/Sm^{\mu} = 0,7-2,1$; La $Yb^{\mu} = 2, 4 - 7, 8; \Sigma REE = 259-318$ г/т; $\Sigma REE/n = 311$ г/т. Концентрации несовместимых элементов, нормированые к N-MORB [San, McDonough, 1989], в большинстве исследованных образцов имеют близкие профили. Отмечается обогащение пород LILe, REE, HFSE, концентрации которых близки с эталоном OIB, но превышают его в области MREE-HREE. На фоне профиля OIB в эссекситах заметны слабый трог по Nb, Ta, негативная аномалия Sr и положительные аномалии K, P. В трахитах установлены негативные аномалии Sr, P, Ti, и положительные аномалии Zr, Hf, K, Rb, U, *Th* (рис. 5ж). Известно, что петрогеохимические типы пород, сформировавшихся в разных геодинамических обстановках, закономерно различаются по концентрациям петрогенных (Ti, Al, Mg, K, P) и малых (Li, Nb, Ta, Zr, Rb, Sr, Ba) элементов. Также известно, что геохимическая специализация геологического тела любого ранга - это повышенные, по сравнению с эталоном, содержания химических элементов. Для уточнения геодинамической позиции пород и их геохимической специализации были составлены ранжированные ряды кларков концентрации с Кк>1,5. При их расчете использованы усредненные содержания элементов в основных и средних по составам породах (табл. 2), и эталоны главных типов горных пород [Гусев, Кудрявцев и др. 1999]. Для *REE* рассчитаны средние значения Кк.

Ниже приведены ранжированные ряды кларков концентрации элементов с Кк>1,5 для эссекситов и трахитов. Так. для эссекситов характерны следующие величины Кк – $Ag_{6,6}Be_{4,8}REE_{2,6}Nb_{2,5}Hf_{2,5}Y_{2,2}Th_{2,2}Ti_{1,8}U_{1,8}Cd_{1,8}Zr_{1,7}Zn_{1.6}$, а для трахитов – $Ag_{86,4}Hf_{5,1}Zr_{4,8}Sb_{4,2}Cd_{4,0}REE_{3,2}Be_{3,1}Nb_{2,8}Mo_{2,3}Y_{2,2}Zn_{2,1}Ta_{1,6}Ti_{1,5}$

Сравнение Кк индикаторных элементов с геохимическими породными эталонами для 12 геодинамических обстановок, приведенных в работе [Гусев и др. 1999] показало, что в геохимическом плане изученные породы близки к магматическим породам тыловых рифтов активных континентальных окраин. Геохимическая специализация, в целом, редкометально – редкоземельная.

В шлих-протолочках из пород БТФ установлены рудные минералы: ильменит, титаномагнетит, молибденит, пирит, арсенопирит и киноварь. С измененными (альбитизированными) разностями пород БТФ ассоциирует рудопроявление киновари [Афанасьев, Борсук, 1959]. На карте полезных ископаемых, составленной ФГУГП «Кавказгеолсъемка», лист К-37-V, 2001 г., отражена пространственная ассоциация геохимических аномалий и рудопроявлений киновари с телами пород БТФ. В истоках р. Псоу известно титановое рудопроявление Аибга, ассоциирующие с крупными телами палеогеновых эссекситов и кринанитов, а вниз по долине р. Псоу от этих тел прослежена аллювиальная россыпь ильменита и титаномагнетита. Эту россыпь геолог ФГУГП «Кавказгеолсъемка» Тузиков Р.П. проследил на несколько километров в прибрежной части моря от устья р. Псоу и за пос. Леселидзе. Следовательно, можно считать, что металлогеническая специализация пород формации ртутная и титановая.

Обсуждение результатов аналитических исследований

Изученные породы БТФ, развитые в юго-западной части Большого Кавказа, связаны с тектоно-магматической эволюцией Черноморского региона, в котором в эоцене, как в Закавказье, так и в Понтидах, доминировала обстановка растяжения. Бассейн проходил фазу погружения, сопровождавшуюся крупномасштабным про-

явлением базальтового, щелочно-базальтового и андезитового вулканизма [Никишин и др., 2005]. С другой стороны, эти породы можно рассматривать как периферические магматические объекты АТП. В 80-х годах XX и в начале XXI веков грузинские геологи Ш.А. Адамия, И.П. Гамкрелидзе, Г.С. Закариадзе, М.Б. Лордкипанидзе в своих работах обосновали рифтогенное происхождение Аджаро-Триалетского трога, который активно развивался в течении палеогена [Абрамович, 1991; Adamia et al., 2011].

Особенности химического состава, такие как обогащение LILe, LREE, и отрицательная *Nb* аномалия, выявленные в породах БТФ, могут являться индикаторами: 1 плавления мантии в области подвергшейся влиянию более раннего субдукционного магматизма или мантийного метасоматизма; 2 – непосредственного выплавления в субдукционных обстановках; 3 – коровой контаминации [Цибуляев, Савко, 2017; Школьник и др. 2009]. Для определения магматических источников изученных пород был использован параметр $\Delta Nb = log(Nb/Y) + 1,74 - 1,92 \times log(Zr/Y)$. Значения $\Delta Nb > 0$ соответствуют базальтам с плюмовой компонентой, а с $\Delta Nb < 0$ – отвечают базальтам, возникшим при частичном плавлении деплетированной верхней мантии. Использование параметра *ДNb* для выявления плюмовой компоненты имеет ряд ограничений, связанных с отклонением этой величины в сторону отрицательных значений. Первое ограничение связано со случаями взаимодействия плюма с континентальной литосферой и его контаминацией коровым материалом. Второе ограничение касается степени частичного плавления верхней мантии. Малые степени плавления гранатового лерцолита (<1-2%) и высокие (30-60%) степени плавления плюмового источника сильно влияют на величины отношения Nb/Y и Zr/Y в генерируемых расплавах, что также отражается на параметре ΔNb , показывающем отрицательные значения. Наиболее информативной группой пород для выявления плюмовой компоненты являются вулканиты, генерировавшиеся при умеренных степенях частичного плавления (2-3% – 15–20%) [Цибуляев, Савко, 2017]. На модели равновесного плавления гранатового (Ol55Opx25Cpx10Grt10) и шпинелевого (Ol55Opx25Cpx15Sp15) перидотита (Sm/Yb – La/Sm, рис. 5д) точки составов изучаемых пород группируются вдоль тренда плавления шпинелевого перидотита в диапазоне значений частичных выплавок 2-3 %. Расчетные величины ΔNb : для эссекситов варьируют от + 0,03 до – 0,39; для трахитов – от –0,94 до –1,28. По-видимому, эссекситы являются производными расплавов образованных при частичном плавлении пород верхней мантии, однако о деплетированности, либо о наличии плюмовой составляющей говорить сложно. По величине отношения инертных элементов Zr и Nb: в эссекситах (Zr/Nb = 17-35) они близки к островодужным толеитам (Zr/Nb ~20-36) [Цибуляев, Савко, 2017]. Однако, не высокие значения отношений Ba/Th = 14-80; U/Th = 0.15-0.3; Cs/Th = 0.02-0.24говорят о малой вероятности того, что на расплав оказывал влияние флюид субдукционного происхождения. Расположение фигуративных точек составов пород БТФ вблизи с точкой (EN) – обогашенный компонент на диаграмме (Nb/Y - Zr/Y), рис. 5г), близость составов исследованных пород с составом эталона OIB (рис. 5е, 5ж) свидетельствуют, по нашему мнению, о наличии здесь более ранних явлений мантийного метасоматизма. Единые тренды фигуративных точек от эссекситов к трахитам на диаграммах (рис. 4) позволяют предполагать существование единой исходной магмы. При этом, отсутствие разновидностей пород с повышенной магнезиальностью, может указывать на то, что родоначальной магмой для пород БТФ был уже достаточно эволюционированный расплав. Высокие содержания немобильного в водном

флюиде *Th* (*Th* = 2,4–20,2 г/т, среднее 7,0 г/т), с большой вероятностью указывают на контаминацию расплава нижнекоровым материалом. Значительное обеднение пород *Mg, Ca, Fe, Ti, Sr, P, Eu* позволяет предполагать, что образование трахитов происходило в верхнекоровой магматической камере в процессе фракционирования ильменита, титаномагнетита, апатита, плагиоклаза и возможно моноклинного пироксена.

В идеальной схеме рифтогенного магматизма подъем мантийного диапира или восходящее конвективное перемещение мантийных масс вызывает прогрессивное увеличение полноты плавления субстрата и уменьшение глубины генерации магмы. Нечто подобное наблюдается и в том случае, когда исходным импульсом рифтогенеза оказывается тектонический стресс, вызывающий разрыв литосферной плиты и декомпрессионное плавление мантийного вещества. Эволюция рифтогенного магматизма может оборваться на любой стадии. Это объясняется тем, что подъем расплавов к земной поверхности возможен лишь в условиях достаточной проницаемости земной коры, что в свою очередь зависит от характера распределения тектонического стресса. Смена режима растяжения на относительное сжатие приводит к коллапсу магмогенерирующей системы [Абрамович, 1991]. Полученные геохимические данные, как нам представляется, указывают на причинно-следственную связь возникновения пород БТФ с тектоническими процессами, проявившимися на территории юго-западной окраины Скифской плиты. Последние были отголоском более интенсивных событий происходивших в Черноморском регионе и Аджаро-Триолетском прогибе в эоцене.

Заключение

Палеогеновые магматические породы БТФ, распространенные в юго-западной части территории Большого Кавказа, являются внутриплитными образованиями, с повышенными содержаниями *LILe, REE, HFSE,* концентрации которых сопоставимы с эталоном *OIB*, но превышают его в области *MREE-HREE*. Они являются производными расплава образовавшегося при частичном (до 2-3%) плавлении, повидимому, метасоматизированного шпинелевого перидотита. Появление частичных выплавок в верхней мантии было связано с тектоническими процессами, затронувшими территорию юго-западной окраины Скифской плиты, синхронными с процессами рифтообразования развивавшимися в эоцене в Черноморском регионе и Аджаро-Триалетском прогибе. В геохимическом плане изученные породы близки к магматическим породам тыловых рифтов активных континентальных окраин. Металлогеническая специализация пород БТФ ртутная и титановая.

Работа поддержана Госзаданием ИГЕМ РАН «Петрология и минерагения магматизма внутриплитных и посторогенных обстановок: роль литосферных и астеносферных источников в формировании расплавов» и подготовлена при поддержке гостемы НИР КНИО ВНЦ РАН № 0196-2015-0001 и темы НИОКТР КНИО ВНЦ РАН: АААА-А17-117060910044-5.

Литература

1. Абрамович И.И. Петрохимические исследования при геодинамических реконструкциях. Методические рекомендации // Л-д: ВСЕГЕИ, 1991. – 90 с. 2. Афанасьев Г.Д., Борсук А.М. Новые данные о послеюрском магматизме Северо-Западного Кавказа // Изв. АН СССР. Сер. геол. – 1959. – №2. – С. 24–42.

3. Афанасьев Г.Д., Гурбанов А.Г. Мезо-кайнозойский интрузивный магматизм осевой части зоны Главного Кавказского хребта на примере Кардывачского магматического узла (Северо-Западный Кавказ) // Изв. АН СССР. Сер. геол. – 1974. – №1. – С. 19–44.

4. Борсук А.М., Гурбанов А.Г., Тронева Н.В. Базитовые формации поздних этапов эволюции подвижной области (на примере мезо-кайнозоя Большого Кавказа) // Очерки геологической петрологии. – М.: Наука, 1976. – С. 61–72.

5. Гурбанов А.Г. Мезо-кайнозойские магматические формации осевой части зоны Главного Кавказского хребта // Магматические формации Кавказа и юга Восточно-Европейской платформы. – М.: Наука, 1977. – С. 148–183.

6. Гусев Г.С., Кудрявцев Ю.К., Гущин А.В. и др. Геохимическая и металлогеническая специализация структурно-вещественных комплексов // С.–Пб.: ВСЕГЕИ, 1999. – 514 с.

7. Дзоценидзе Г.С. О некоторых общих особенностях мезо-кайнозойского магматизма Карпат, Балкан, Крыма и Кавказа. // Проблемы металлогении и магматизма Кавказа. – М.: Наука, 1970. – С. 24–47.

8. Никишин А.М., Фокин П.Л., Тихомиров Е.Ю. и др. 400 миллионов лет геологической истории южной части Восточной Европы. – М.: ГЕОКАРТ. ГЕОС, 2005. – 351 с.

9. Мартынов И.А. Основы магматической геохимии. – Владивосток: Дальнаука, 2010. – 215 с.

10. Туркина О.М. Лекции по геохимии магматического и метаморфического процессов. – Новосибирск: РИЦ НГУ, 2014. – 118 с.

11. Хаин В.Е., Балуховский А.Н. Историческая геотектоника (мезозой, кайнозой). – М.: «АВИАР», 1993. – 430 с.

12. Цыбуляев С.В., Савко К.А. Геохимическая типизация палеопротерозойских вулканитов бимодальной серии Курбакинской свиты Курского блока Восточной Сарматии // Вестник ВГУ. Серия: Геология. – 2017. – №1. – С. 61–75.

13. Школьник С.И., Резницкий Л.З., Беличенко В.Г., Бараш И.Г. Геохимия, вопросы петрогенезиса и геодинамическая типизация метавулканитов Тункинского террейна (Байкало – Хубсугульский регион) // Геология и геофизика. – 2009. – Т. 50, №9. – С. 1013–1024.

14. Adamia Sh., Zakariadze G., Chkhotua T. et al. Geology of the Caucasus: A Review // Turkish Journal of Earth Sciences (Turkish J. Earth Sci.). – 2011. – Vol. 20. – Pp. 489–544.

15. Sun S.S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts // Geol. Spec. Publ. – 1989. – №42. – Pp. 313–345.

PALEOGENIC BASALT-TRACHYTIC FORMATION OF WEST CAUCASUS: GEOCHEMICAL SPECIALIZATION, QUESTION OF PETROGENESIS, GEODYNAMIC TYPISATION, METALLOGENY

© 2018 V.M. Gazeev^{1, 2}, Sc. Candidate (Geol.-Min.), A.G. Gurbanov^{1, 2}, Sc. Candidate (Geol.-Min.), I.A. Kondrashov¹

¹Institute of geology of ore deposits, petrography, mineralogy and geochemistry RAS, Russia, 119017, Moscow, Staromonetry Lane, 35;

²Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Russia, 362027, RNO-Alania, Vladikavkaz, Markusa Str., 22, e-mail: gurbanov@igem.ru

In the south-western parts of Geater Caucasus in the middle cource of river Mzimta the Paleogenic subalkaline rocks of basic and medial composition are occur. Petrographical and geochemical investigation have been carrying out and results of its analysis by RFA, ICP-MS methods was done. Enrichment of rocks by LILe, REE, HFSE, concentration of which are comparison with OIB have been identify. Rare-metal and rare-earth geochemical specialization of BTF rock is identified and its mercury and titanium metallogenic specialization. It is shown, that primary melts are appears in 2-3% melting of spinel peridotite. It is suggested that the reason of initiation of the partial melting in the upper mantle was a tectonic processes, which are touched on area of southwestern margin of Scythian plate, synchronous with processes of rifting which are developing in Eocene in Black Sea area and in Adjaro-Trialeti depression.

Keywords: petrography, geochemistry, geodynamic typisation, metallogeny, rifting, paleogenic basalt-trachytic formation of West Caucasus.

References

1. Abramovich I.I. Petrohimicheskie issledovanija pri geodinamicheskih rekonstrukcijah. Metodicheskie rekomendacii [Petrochemical studies in geodynamic reconstructions. Guidelines]. Leningrad, VSEGEI, 1991. 90 p. (in Russian)

2. Afanas'ev G.D., Borsuk A.M. Novye dannye o poslejurskom magmatizme Severo-Zapadnogo Kavkaza [New data on the post-Jurassic magmatism of the North-Western Caucasus]. Izv. AN SSSR. Ser. geol. 1959. No.2. Pp. 24–42. (in Russian)

3. Afanas'ev G.D., Gurbanov A.G. Mezo-kajnozojskij intruzivnyj magmatizm osevoj chasti zony Glavnogo Kavkazskogo hrebta na primere Kardyvachskogo magmaticheskogo uzla (Severo-Zapadnyj Kavkaz) [Meso-Cenozoic intrusive magmatism of the axial part of the zone of the Main Caucasus Range on the example of the Kardyvach magmatic node (North-West Caucasus)]. Izv. AN SSSR. Ser. geol. 1974. No.1. Pp. 19–44. (in Russian)

4. Borsuk A.M., Gurbanov A.G., Troneva N.V. Bazitovye formacii pozdnih jetapov jevoljucii podvizhnoj oblasti (na primere mezo-kajnozoja Bol'shogo Kavkaza) [Basic formations of the late stages of the evolution of the mobile region (on the example of the Meso-Cenozoic Greater Caucasus)]. Ocherki geologicheskoj petrologii. M. Nauka, 1976, Pp. 61–72. (in Russian)

5. Gurbanov A.G. Mezo-kajnozojskie magmaticheskie formacii osevoj chasti zony Glavnogo Kavkazskogo hrebta [Meso-Cenozoic igneous formations of the axial part of the zone of the Main Caucasus Range]. Magmaticheskie formacii Kavkaza i juga Vostochno-Evropejskoj platformy. M. Nauka, 1977. Pp. 148–183. (in Russian)

6. Gusev G.S., Kudrjavcev Ju.K., Gushhin A.V. i dr. Geohimicheskaja i metallogenicheskaja specializacija strukturno-veshhestvennyh kompleksov [Geochemical and metallogenic specialization of structurally-material complexes]. S.–Pb. VSEGEI, 1999. 514 p. (in Russian)

7. Dzocenidze G.S. O nekotoryh obshhih osobennostjah mezo-kajnozojskogo magmatizma Karpat, Balkan, Kryma i Kavkaza [On some general features of the Meso-Cenozoic magmatism of the Carpathians, the Balkans, the Crimea and the Caucasus]. Problemy metallogenii i magmatizma Kavkaza. M. Nauka, 1970. Pp. 24–47. (in Russian)

8. Nikishin A.M., Fokin P.L., Tihomirov E.Ju. i dr. 400 millionov let geologicheskoj istorii juzhnoj chasti Vostochnoj Evropy [400 million years of geological history of the southern part of Eastern Europe]. M. GEOKART. GEOS, 2005. 351 p. (in Russian)

9. Martynov I.A. Osnovy magmaticheskoj geohimii [Fundamentals of magmatic geochemistry]. Vladivostok, Dal'nauka, 2010. 215 p. (in Russian)

10. Turkina O.M. Lekcii po geohimii magmaticheskogo i metamorficheskogo processov [Lectures on the geochemistry of magmatic and metamorphic processes]. Novosibirsk, RIC NGU, 2014. 118 p. (in Russian)

11. Hain V.E., Baluhovskij A.N. Istoricheskaja geotektonika (mezozoj, kajnozoj) [Historical geotectonics (Mesozoic, Cenozoic)]. M. «AVIAR», 1993. 430 p. (in Russian)

12. Cybuljaev S.V., Savko K.A. Geohimicheskaja tipizacija paleoproterozojskih vulkanitov bimodal'noj serii Kurbakinskoj svity Kurskogo bloka Vostochnoj Sarmatii [Geochemical typification of Paleoproterozoic volcanites of the bimodal series of the Kurbakinskaya suite of the Kursk bloc of Eastern Sarmatia]. Vestnik VGU. Serija: Geologija. 2017. No.1. Pp. 61–75. (in Russian)

13. Shkol'nik S.I., Reznickij L.Z., Belichenko V.G., Barash I.G. Geohimija, voprosy petrogenezisa i geodinamicheskaja tipizacija metavulkanitov Tunkinskogo terrejna (Bajkalo – Hubsugul'skij region) [Geochemistry, issues of petrogenesis and geodynamic typification of metavolcanites of the Tunkinsky terrain (Baikal - Hubsugul region)]. Geologija i geofizika. 2009. Vol. 50, No.9. Pp. 1013–1024. (in Russian)

14. Adamia Sh., Zakariadze G., Chkhotua T. et al. Geology of the Caucasus: A Review // Turkish Journal of Earth Sciences (Turkish J. Earth Sci.). – 2011. – Vol. 20. – Pp. 489–544.

15. Sun S.S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts // Geol. Spec. Publ. – 1989. – №42. – Pp. 313–345.

УДК 504.55.054: 622 (470.6) DOI:10.23671/VNC.2018.4.20132

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СБАЛАНСИРОВАННОСТИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ОСВОЕНИИ НЕДР

© 2018 В.И. Голик¹, д. т.н., проф., О.Г. Бурдзиева¹, к. г. н., Ю.В. Дмитрак², д. т.н., проф., Т.Э. Шяймартдянов²

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

²ФГБОУ ВО Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), Россия, 362021, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44

Статья посвящена проблемам охраны экосистем окружающей среды при разработке месторождений Садонской группы. Дана схема мониторинга состояния массива при техногенном вмешательстве. Приведены схемы моделирования вариантов управления напряжениями. Сформулированы условия обеспечения геомеханической сбалансированности массивов и земной поверхности в районе освоения недр. Дана типизация способов управления геомеханикой массивов при погашении техногенных пустот. Показано, что взаимодействие природных и технических систем, обеспечивающих геомеханическую сбалансированность массивов и земной поверхности в районе освоения недр с возможностью мониторинга состояния массива пород в течение неопределенно долгого периода времени, основано на оптимизации параметров полей напряжений в пределах разрабатываемых месторождений полезных ископаемых.

Ключевые слова: месторождение, Садон, мониторинг, массив, геомеханика, освоение недр, природные и технические системы.

Введение

Горное предприятие, эксплуатирующее месторождение подземным способом, в ходе извлечения из недр минеральных масс оказывает мощное воздействие на прилегающий к нему участок литосферы. Проблема оценки результатов этого воздействия становится все более актуальной, учитывая активизацию процессов общения подземных объектов с экосистемами окружающей среды в течение неопределенно долгого периода времени даже после прекращения добычных горных работ [Голик и др., 2016; Дмитрак, Камнев, 2016; Ханева, Голик, 2015; Бурдзиева, 2010].

Локализация скальных месторождений в зоне активного сейсмического воздействия обостряет геодинамические процессы при эксплуатации месторождений, потому что их породы характеризуются повышенными значениями геодинамических параметров: хрупкостью, коэффициентом удароопасности и тектонической нарушенностью. Поэтому технологические решения по организации горного производства должны обеспечивать возможность мониторинга состояния массива пород на всех этапах разработки месторождения. При прогнозировании механизма и последствий взаимодействия природных и технических систем в горных регионах приоритетным считается геомеханическое направление, поскольку оно более полно учитывает особенности возникновения и трансформации напряжений.

Особенности решения задач горной геомеханики при разработке месторождений полезных ископаемых заключаются в том, что состояние и свойства массива являются исходными, что определяет необходимость изучения слагающих их природных систем и принятия к производству в качестве данных.

Природные и техногенные объекты всегда находится в поле усиливающих друг друга природных и техногенных напряжений. Горные объекты реагируют на поля на своих частотах, поэтому геомеханические явления в регионе нередко становятся первопричинами негативных событий в экосистемах окружающей среды.

Наведенные геомеханические процессы соседствуют с естественными геодинамическими процессами. Следствием этих процессов является нарушение первоначального равновесия в верхней части земной коры горными работами [Комащенко, 2016; Заалишвили и др., 2014; Геомеханические..., 2017; Golik et al., 2015].

Нарушение стабильности литосферы активизирует природные явления на земной поверхности: оползни, обвалы, просадка грунтов, создает условия для формирования селей и снежных лавин; способствует увеличению поверхностного стока и т.д.

Группа Садонских месторождений в зоне повышенной активности Большого Кавказа располагает 5 млн м³ незаполненных пустот. Такой объем не может не реагировать на изменения геодинамической и сейсмической ситуации в регионе. Динамические процессы в ее недрах могут быть причиной катастрофических процессов, например, схода ледника Колка в Кармадонском ущелье.

Сила горного удара на Кировском руднике в 1989 г., достигала 6 баллов. Горно-тектонический удар в 1995 г. на Верхнекамском калийном месторождении разрушил междукамерные целики и спровоцировал оседание земной поверхности на глубину 5 м с обрушением более 3 млн м³ пород на площади 600′500 м.

Основным фактором техногенного воздействия на породные массивы является взрывание зарядов взрывчатых веществ при отделении руд от массивов. При разработке рудных залежей значение придается взаимосвязанным вопросам дробления пород взрывом и распределения энергии взрыва в массиве.

Значительное место отводится моделированию поведения горных пород в напряженном состоянии с использованием различных моделей среды. Однако идеализация естественных условий ограничивает пригодность полученных решений для практического использования.

Для объективной оценки устойчивости массивов необходим учет сейсмического действия массовых взрывов. В основе прогнозирования сейсмической опасности промышленных взрывов находится сравнение фактически возникающих при взрыве сейсмических колебаний с допустимой скоростью смещения.

Важнейшей динамической характеристикой рудовмещающих пород, определяющей показатели взрывной отбойки, является скорость распространения в них возбужденных взрывом продольных волн. Для большинства горных пород она изменяется от 1000 до 9000 м/с. Не менее важным параметром является прочность пород, которая с увеличением глубины горных работ, пусть и не закономерно, но изменяется.

Месторождения руд локализуются в залежах сложного строения с развитой тектоникой и интенсивной трещиноватостью (коэффициент структурного ослабления – 0,1-0,4). Эффективность их разработки зависит от учета сейсмического действия взрыва.

Наиболее эффективным методом управления параметрами сейсмических волн является изменение параметров поля напряжений путем регулирования граничных условий. Изменяя акустическую жесткость среды, примыкающей к разрушаемой, регулируют параметры отраженной и преломленной волн, или параметры вторичного поля напряжений.

Сейсмическое действие взрыва на сооружения оценивают по допустимой скорости колебаний, при которой сохранность сооружений гарантирована, а локальные деформации не превышают прогнозируемые. При возбуждении в массиве пород скорости колебаний выше допустимой величины сохранность зданий или сооружений не гарантируется.

Влияние возникающих в ходе природно-техногенных систем на безопасность жизнедеятельности общества усиливается с изменением географии работ и масштабов вмешательства.

Модели взаимодействия природных и технических систем, обеспечивающих геомеханическую сбалансированность массивов и земной поверхности в районе разработки месторождений полезных ископаемых в течение неопределенно долгого периода времени являются непременным условием при проектировании технологий [Ляшенко, Голик, 2004; Заалишвили, 2014; Голик и др., 2015; Bucher et al., 2013].

Объект и результаты исследования

Целью многих исследований разных времен является судьба включающего группу Садонских месторождений участка Центрального Кавказа. Модель взаимодействия природных и техногенных напряжений при освоении запасов традиционными для истории Садона и диверсифицируемыми технологиями может быть создана, как результат моделирования вариантов технологий управления геомеханикой массивов и земной поверхности в регионе с учетом фактора времени [Голик и др., 2004; Заалишвили и др., 2005, 2013; Бурдзиева, 2011].

Взаимодействие природных и технических систем, обеспечивающих геомеханическую сбалансированность массивов и земной поверхности в районе освоения недр с возможностью мониторинга состояния массива пород в течение неопределенно долгого периода времени, основано на оптимизации параметров полей напряжений в пределах разрабатываемых месторождений полезных ископаемых.

Средством регулирования напряжений является заполнение выработанного пространства породами, глиной, песком, закладочными смесями и хвостами подземного выщелачивания руд.

Принятие решений по управлению состоянием массива основывается на результатах комплексных исследований, осуществляемых, как в стадии проектирования, так и на всех этапах существования месторождения, а иногда и после ликвидации (рис. 1).


Рис. 1. Схема к концепции мониторинга состояния массива

Величина напряжений в естественных и искусственных массивах регулируется путем комбинирования технологий управления состоянием рудовмещающего массива с совмещением технологий различного типа (рис. 2).



Рис. 2. Схема к комбинированию способов управления геомеханикой массивов: 1 – закладкой твердеющими смесями; 2 – кольматированными хвостами выщелачивания; 3 – зона разгрузки напряжений

Создаваемые выемкой камер первой очереди пустоты заполняются твердеющими смесями повышенной прочности, которые разгружают от напряжений камеры второй очереди, что дает возможность применить для их погашения менее прочные смеси, оставленные на месте хвосты выщелачивания и даже изолировать

Геомеханическая сбалансированность массивов и земной поверхности в районе освоения недр зависит от соотношения объемов техногенных пустот и материала их заполнения:

$$K_1 = \frac{V_{3a\pi}}{V_{\pi}},$$

где $V_{\pi}-$ объем технологических пустот, м³; $V_{_{3a\pi}}-$ объем заполненных материалами пустот, м³.

Степень геомеханической опасности комбинаций технологий с закладкой твердеющими смесями и хвостами подземного выщелачивания (рис. 3):

$$K_2 = \frac{V_{_{3\,a\kappa}} + V_{_{\Pi\,B}}}{V_{_{\Pi}}},$$

где $V_{\rm IIB}$ – объем заполненных хвостами подземного выщелачивания пустот.



Рис. 3. Комбинация технологий с твердеющей закладкой и хвостами выщелачивания: 1 – хвосты выщелачивания; 2 – твердеющие смеси

Степень опасности комбинаций закладки твердеющими смесями, хвостами выщелачивания и оставлением пустот изолированными (незаполненными) (рис. 4):

$$K_3 = \frac{V_{_{3\,a\kappa}} + V_{_{\mu}}}{V_{_{\mu}}}$$

где V_п – объем изолированных пустот.



Рис. 4. Комбинация технологий с твердеющей закладкой, хвостами выщелачивания и изоляцией: 1 – хвосты выщелачивания; 2 – твердеющие смеси; 3 – незаполненные изолированные пустоты

Оптимальными по экономическому и экологическому критериям являются комбинированные технологии, при которых большая часть руды перерабатывается на месте залегания, а хвосты выщелачивания участвуют в управлении массивом, имитируя твердеющую смесь (рис. 5).



Рис. 5. Комбинированная разработка месторождения: 1 – богатые руды; 2 – бедные руды; 3 – куча выщелачивания; 4 – рудо-контрольная станция; 5 – обогатительная фабрика; 6 – закладочный комплекс; 7 – цех приготовления растворов реагентов

Схема выбора комбинированного управления геодинамикой массива при комбинированной разработке представлена на рисунке 6.



Рис. 6. Алгоритм выбора технологии разработки месторождения

Проектные параметры разработки месторождения: пролет выработки бесконечной длины, высота свода естественного равновесия и характеристика породных блоков связаны зависимостью, в основе которой лежат прочностные свойства структурных блоков, слагающих трехшарнирную арку над выработкой:

$$\left(\frac{2R_{cxc}k_od_1h_{c\theta}}{\gamma g(2H-h_{c\theta})}\right)^2 = k_y k_p h_{c\theta}^2 \left(\frac{l}{2}\right)^2 + \left(\frac{l}{2}\right)^4,$$

где d_1 – горизонтальный размер структурного породного блока, м; R_{cm} – прочность пород при одноосном сжатии, Па; k_o – коэффициент структурного ослабления пород; h_{cb} – высота свода естественного равновесия, м; γ – плотность пород, кг/ м³; g – ускорение свободного падения; H – глубина расположения выработки, м; 1 – пролет выработки бесконечной длины, м; k_y – коэффициент усадки твердеющих смесей; k_p – коэффициент ослабления руды в процессе воздействия растворами реагентов.

Особенность комбинированного управления напряженностью массива заключается в совокупном использовании свойств природного рудовмещающего массива и измененных обработкой природных и привнесенных извне материалов: пород, глин, песка и хвостов подземного выщелачивания.

Комбинированное управление геомеханикой массивов чаще всего реализуется при добыче разносортных руд, например, после выемки богатых руд с обрушением под гибким перекрытием бедные руды выщелачивают в блоках (рис. 7).



Рис. 7. Комбинация подземного выщелачивания с обрушением под гибким перекрытием

Геомеханическая сбалансированность массива обеспечивается разделением массивов на разгруженные от высоких напряжений участки.

Способы управления напряжениями классифицируют по принципу состояния выработанного пространства на время окончания погашения (табл. 1).

Взаимодействие природных и технических систем, обеспечивающих геомеханическую сбалансированность массивов и земной поверхности в районе освоения недр с возможностью мониторинга состояния массива пород в течение неопределенно долгого периода времени, обеспечивается регламентацией режимов добычи и переработки руд в рамках различающихся условиями участков месторождения [Голик и др., 2016б; Яковлев и др., 2016; Протосеня, Куранов, 2015].

Таблица 1.

Классы	Группы	Функции
С изоляцией	Перемычками	Ограждение гипотетически склонных
пустот		к обрушению выработок от остально-
	Породными	го рудного поля
С обрушением	Принудительное обрушение с	Разгрузка массива с переводом пород
пород	отбойкой взрыванием зарядов	в разрыхленное состояние
	Управляемое самообрушение	
	с площадной подработкой	
С закладкой	Твердеющими смесями	Заполнение пустот с созданием под-
пустот	Сыпучими материалами	пора стенкам выработок
Комбинирован-	Сочетание способов управ-	Оптимизация управления напряжени-
ные	ления	ЯМИ

	~		U		
Пипизания	я способов	УППАВЛЕНИЯ	геомехяникои	мяссивов	погашением
т ппп энцпэ	I CHOCOOD	ympubulum	I COMUMATING I	maccinou	noramenten

Механизм взаимодействия природных и технических систем, обеспечивающих геомеханическую сбалансированность массивов и земной поверхности в районе освоения недр с возможностью мониторинга состояния массива пород в течение неопределенно долгого периода времени, основан на регулировании параметров полей напряжений в пределах разрабатываемых различными технологиямиучастков месторождений [Юн и др., 2015; Hills, 2012; Xu N. W. et al., 2010].

Литература

1. Бурдзиева О.Г. Динамика изменения природной среды горного региона под влиянием горнодобывающей деятельности // Проблемы региональной экологии. – 2010. – № 5. – С. 17-27.

2. Бурдзиева О.Г. Механизм влияния горного производства на окружающую среду и направления выхода из эколого-технологического кризиса / О.Г. Бурдзиева, А.Н. Петин // Проблемы региональной экологии. – 2011. – № 4. – С. 224-230.

3. Геомеханические и аэрогазодинамические последствия подработки территорий горных отводов шахт Восточного Донбасса / Н.М. Качурин, Г.В. Стась, Т.В. Корчагина, М.В. Змеев // Известия Тульского государственного университета. Сер. Науки о Земле. Вып. 1. – 2017. – С. 170-182.

4. Голик В. И., Якименко А. Д., Цидаев Т. С. Садонские месторождения: история и проблемы разработки // Горный журнал. – 2004. – № 10. – С. 025-028.

5. Голик В.И., Комащенко В.И., Качурин Н.М. Концепция комбинирования технологий разработки рудных месторождений // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2015. – №4. – С. 76-88.

6. Голик В.И., Комащенко В.И., Качурин Н.М. К проблеме подземной разработки рудных месторождений центрального федерального округа // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2016а. – №4. – С. 127-139.

7. Голик В.И., Комащенко В.И., Шкуратский Д.Н. Оптимизация состава твердеющих смесей по геомеханическим условиям при подземной разработке рудных месторождений // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2016б. – № 3. – С. 164-176. 8. Дмитрак Ю.В., Камнев Е.Н. АО «Ведущий проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт промышленной технологии» – Путь длиной в 65 лет // Горный журнал. – 2016. – № 3. – С. 6-12.

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

10. Заалишвили З.В., Мельков Д.А., Короткая Н.А., Дзеранов Б.В. Рейтинговая оценка грунтовых условий территории // Сейсмическая опасность и управление сейсмическим риском на Кавказе. I Кавказская международная школа-семинар молодых ученых. Центр геофизических исследований ВНЦ РАН и РСО-А. – 2005. – С. 153-160.

11. Заалишвили В.Б., Бурдзиева О.Г., Закс Т.В., Кануков А.С. Информационный мониторинг распределённых физических полей в пределах урбанизированной территории // Геология и геофизика Юга России. – 2013. – № 4. – С. 8-16.

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

13. Комащенко В.И. Разработка взрывной технологии, снижающей вредное воздействие на окружающую среду // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2016. – № 1. – С. 34-43.

14. Ляшенко В.И., Голик В.И. Средства геомеханического мониторинга породного массива при подземной разработке рудных месторождений // Горный журнал. – 2004. – № 5. – С. 47-50.

15. Протосеня А.Г., Куранов А.Д. Методика прогнозирования напряженно-деформированного состояния горного массива при комбинированной разработке Коашвинского месторождения // Горный журнал. – 2015. – № 1. – С. 67-71.

16. Хашева З.М., Голик В.И. К экономической оценке опасности природных и техногенных катастроф // Научный вестник Южного института менеджмента. – 2015. – № 2. – С. 11-15.

17. Юн А.Б., Рыльникова М.В., Терентьева И.В. О перспективах и стратегии освоения Жезказганского месторождения // Горный журнал. – 2015. – № 5. – С. 44-49.

18. Яковлев Д.В., Цирель С.В., Мулев С.Н. Закономерности развития и методика оперативной оценки техногенной сейсмической активности на горных предприятиях и в горнодобывающих регионах // ФТПРПИ. – 2016. – № 2. – С. 34-47.

19. Bucher R., Cala M., Zimmermann A., Balg C., Roth A. Large scale field tests of hightensile steel wire mesh in combination with dynamic rock bolts subjected to rock burst loading // 7-th Int. Symp. on Ground Support in Mining and Underground construction. Australia. – Perth. – 2013. – Pp. 56-65.

20. Golik V.I., Stradanchenko S.G., Maslennikov S.A. Experimental study of non-waste recycling tailings ferruginous quartzite // International Journal of Applied Engineering Research. – 2015. – Vol. 10. No. 15. – Pp. 35410-35416.

21. Hills P.B. Managing seismicity at the Tasmania Mine // Mining Technology. – 2012. –Vol. 121. No. 4. – Pp. 204-217.

22. Xu N.W., Tang C.A., Sha C., Liang Z.Z., Yang J.Y., Zou Y.Y. Microseismic monitoring system establishment and its engineering applications to left bank slope of Jinping I Hydropower Station // Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering. – 2010. – Vol. 29. – Pp. 915-925.

INTERACTION OF NATURAL AND TECHNICAL SYSTEMS FOR ENSURING BALANCE OF EARTH SURFACE WHEN DEVELOPING BOWELSIN

© 2018 V.I. Golik¹, Sc. Doctor (Tech.), Prof., O.G. Burdzieva¹, Sc. Candidate (Geogr.), Yu.V. Dmitrak², Sc. Doctor (Tech.), Prof., T.E. Sheymartdyanov²

¹Geophysical institute VSC RAS, Russia, 362002, RNO-Alania, Vladikavkaz, Markov Str., 93 a, e-mail: cgi_ras@mail. ru;

²North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Russia, 362201, RNO-Alania, Vladikavkaz, Nikolaev str., 44

The article is devoted to the problems of environmental ecosystem protection during the development of deposits of the Sadon group. The scheme of monitoring the state of the array with man-made intervention is given. Circuits for modeling voltage management options are given. The conditions for ensuring the geomechanical balance of the massifs and the earth's surface in the area of the subsoil development are formulated. The typification of methods for controlling the geomechanical systems that ensure geomechanical balance of arrays and the earth's surface in the area of subsoil development are formulated. The typification of methods for controlling the geomechanical systems that ensure geomechanical balance of arrays and the earth's surface in the area of subsoil development with the ability to monitor the state of an array of rocks for an indefinitely long period of time is based on optimization of the parameters of stress fields within the developed mineral deposits.

Keywords: field, Sadon, monitoring, array, geomechanics, subsoil development, natural and technical systems.

References

1. Burdzieva O.G. Dinamika izmeneniya prirodnoj sredy gornogo regiona pod vliyaniem gornodobyvayushchej deyatel'nosti [Dynamics of changes in the natural environment of a mountain region under the influence of mining]. Problemy regional'noj ekologii. 2010. No. 5. Pp. 17-27. (in Russian)

2. Burdzieva O. G. Mehanizm vliyaniya gornogo proizvodstva na okruzhayushchuyu sredu i napravleniya vyhoda iz ekologo-tehnologicheskogo krizisa [The mechanism of the impact of mining on the environment and ways out of the environmental and technological crisis]. O. G. Burdzieva, A. N. Petin // Problemy regional'noj ekologii. 2011. No. 4. Pp. 224-230. (in Russian)

3. Geomehanicheskie i aerogazodinamicheskie posledstviya podrabotki territorij gornyh otvodov shaht Vostochnogo Donbassa [Geomechanical and aerogazodinamicheskie consequences of undermining the territories of mountain taps in Eastern Donbass mines] N.M. Kachurin, G.V. Stas', T.V. Korchagina, M.V. Zmeev // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Nauki o Zemle. Issue 1. 2017. Pp. 170-182. (in Russian)

4. Golik V.I., YAkimenko A. D., Cidaev T.S. Sadonskie mestorozhdeniya: istoriya i problemy razrabotki [Sadon deposits: history and development problems]. Gornyj zhurnal. 2004. No. 10. Pp. 025-028. (in Russian)

5. Golik V.I., Komashchenko V.I., Kachurin N.M. Koncepciya kombinirovaniya tehnologij razrabotki rudnyh mestorozhdenij [The concept of combining technologies

for the development of ore deposits]. Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle. 2015. No. 4. Pp. 76-88. (in Russian)

6. Golik V.I., Komashchenko V.I., Kachurin N.M. K probleme podzemnoj razrabotki rudnyh mestorozhdenij central'nogo federal'nogo okruga [To the problem of underground mining of ore deposits of the central federal district]. Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle. 2016a. No. 4. Pp. 127-139. (in Russian)

7. Golik V.I., Komashchenko V.I., SHkuratskij D.N. Optimizaciya sostava tverdeyushchih smesej po geomehanicheskim usloviyam pri podzemnoj razrabotke rudnyh mestorozhdenij [Optimization of the composition of hardening mixtures for geomechanical conditions in underground mining of ore deposits]. Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle. 2016b. No. 3. Pp. 164-176. (in Russian)

8. Dmitrak Yu. V., Kamnev E. N. AO «Vedushchij proektno-izyskatel'skij i nauchnoissledovatel'skij institut promyshlennoj tehnologii» – Put' dlinoj v 65 let [JSC "Leading design – survey and research institute of industrial technology" – Path length of 65 years]. Gornyj zhurnal. 2016. No. 3. Pp. 6-12. (in Russian)

9. Zaalishvili V.B. Nekotorye problemy prakticheskoj realizacii sejsmicheskogo mikrorajonirovaniya. Faktory, formiruyushchie intensivnost' zemletryaseniya [Some problems of practical implementation of seismic microzonation. Factors shaping earthquake intensity]. Geologiya i geofizika YUga Rossii. 2014. No. 3. Pp. 3-39. (in Russian)

10. Zaalishvili Z. V., Mel'kov D. A., Korotkaya N.A., Dzeranov B. V. Rejtingovaya ocenka gruntovyh uslovij territorii [Rating assessment of the soil conditions of the territory]. Sejsmicheskaya opasnost' i upravlenie sejsmicheskim riskom na Kavkaze. I Kavkazskaya mezhdunarodnaya shkola-seminar molodyh uchenyh. Centr geofizicheskih issledovanij VNC RAN i RSO-A. 2005. Pp. 153-160. (in Russian)

11. Zaalishvili V.B., Burdzieva O.G., Zaks T.V., Kanukov A.S. Informacionnyj monitoring raspredelyonnyh fizicheskih polej v predelah urbanizirovannoj territorii [Information monitoring of distributed physical fields within an urbanized territories]. Geologiya i geofizika YUga Rossii. 2013. No. 4. Pp. 8-16. (in Russian)

12. Zaalishvili V.B., Mel'kov D. A., Dzeranov B. V., Kanukov A. S., Gabaraev A. F., SHepelev V.D. Shod kamenno-ledovoj laviny v rajone lednika Devdorak 17 maya 2014 goda po instrumental'nym dannym [The descent of the stone-ice avalanche in the area of the Devdorak glacier on May 17, 2014 according to instrumental data]. Geologiya i geofizika YUga Rossii. 2014. No. 4. Pp. 122-128. (in Russian)

13. Komashchenko V.I. Razrabotka vzryvnoj tehnologii, snizhayushchej vrednoe vozdejstvie na okruzhayushchuyu sredu [Development of explosive technology that reduces the harmful effects on the environment]. Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle. 2016. No. 1. Pp. 34-43. (in Russian)

14. Lyashenko V. I., Golik V. I. Sredstva geomehanicheskogo monitoringa porodnogo massiva pri podzemnoj razrabotke rudnyh mestorozhdenij [Means of geomechanical monitoring of the rock massif during underground mining of ore deposits]. Gornyj zhurnal. 2004. No. 5. Pp. 47-50. (in Russian)

15. Protosenya A.G., Kuranov A.D. Metodika prognozirovaniya napryazhennodeformirovannogo sostoyaniya gornogo massiva pri kombinirovannoj razrabotke Koashvinskogo mestorozhdeniya [Methods of forecasting the stress-strain state of a mountain massif under the combined development of the Koashvinskoe field]. Gornyj zhurnal. 2015. No. 1. Pp. 67-71. (in Russian) 16. Hasheva Z.M., Golik V.I. K ekonomicheskoj ocenke opasnosti prirodnyh i tehnogennyh katastrof [To the economic assessment of the hazard of natural and anthropogenic disasters]. Nauchnyj vestnik YUzhnogo instituta menedzhmenta. 2015. No. 2. Pp. 11-15. (in Russian)

17. YUn A. B., Ryl'nikova M. V., Terent'eva I. V. O perspektivah i strategii osvoeniya ZHezkazganskogo mestorozhdeniya [On the prospects and development strategies of the Zhezkazgan field]. Gornyj zhurnal. 2015. No. 5. Pp. 44-49. (in Russian)

18. YAkovlev D. V., Cirel' S. V., Mulev S. N. Zakonomernosti razvitiya i metodika operativnoj ocenki tehnogennoj sejsmicheskoj aktivnosti na gornyh predpriyatiyah i v gornodobyvayushchih regionah [Patterns of development and methods for rapid assessment of anthropogenic seismic activity at mining enterprises and in mining regions]. FTPRPI. 2016. No. 2. Pp. 34-47. (in Russian)

19. Bucher R., Cala M., Zimmermann A., Balg C., Roth A. Large scale field tests of hightensile steel wire mesh in combination with dynamic rock bolts subjected to rock burst loading // 7-th Int. Symp. on Ground Support in Mining and Underground construction. Australia. – Perth. – 2013. – Rp. 56-65.

20. Golik V.I., Stradanchenko S.G., Maslennikov S.A. Experimental study of non-waste recycling tailings ferruginous quartzite // International Journal of Applied Engineering Research. – 2015. – Vol. 10. No. 15. – Pp. 35410-35416.

21. Hills P.B. Managing seismicity at the Tasmania Mine // Mining Technology. – 2012. –Vol. 121. No. 4. – Pp. 204-217.

22. Xu N. W., Tang C.A., Sha C., Liang Z.Z., Yang J.Y., Zou Y.Y. Microseismic monitoring system establishment and its engineering applications to left bank slope of Jinping I Hydropower Station // Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering. – 2010. – Vol. 29. – Pp. 915-925.

VДК 551.31/35 + 551.7.022 DOI:10.23671/VNC.2018.4.20133

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ РЕГИОНАЛЬНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ ПРИ ОЦЕНКЕ ПЕРСПЕКТИВ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ПЛОЩАДЕЙ

© 2018 Д.Б. Давыденко, к. г.-м. н.

ФГБУН «Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук», Россия, 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Чехова, 41, e-mail: davyd@ssc-ras. ru

По материалам региональных сейсморазведочных работ последних лет составлены сводные структурные карты кровли фундамента и карбонатной толщи (отражающие горизонты I, II), а также карта изопахит карбонатной формации (южный склон Воронежской антеклизы, площадь 35000 км²). Определена тренд-компонента для кровли фундамента и построена карта изолиний, характеризующих амплитуды структурно-тектонических элементов фундамента II порядка (с использованием статистических методов). По результатам анализа мощностей карбонатной формации совместно с тектоническими элементами II порядка, намечены контуры палеовпадин шельфа для периода карбонатонакопления (в том числе и не затронутых инверсионными преобразованиями). Установлена приуроченность известных месторождений нефти и нефтепроявлений, а также рифогенных известняков (прогнозируются по данным сейсморазведки), к площадям выделенных палеовпадин. Склоны выделенных отрицательных морфоструктур рассматриваются как потенциальные зоны нефтегазонакопления.

Ключевые слова: прогнозирование нефтегазоносности, региональные сейсморазведочные исследования, математические методы в геологии.

Введение

Традиционным вариантом представления результатов региональных сейсморазведочных исследований (а так же их рассмотрения) являются разрезы (временные и глубинные) по пройденным профилям и структурные карты для основных отражающих горизонтов. Автором статьи в процессе изучении вопросов перспективности площадей Северо-Донбасского нефтегазоносного района (СД НГР) по материалам региональной сейсморазведки последнего десятилетия предпринята попытка привлечения статистических методов фильтрации данных сейсмических структурных построений для анализа закономерностей формирования карбонатной толщи каменноугольного возраста.

К настоящему времени в пределах площадей СДНГР (южный склон Воронежской антеклизы) открыто 13 месторождений углеводородов (2 из них нефтяных) и установлен целый ряд проявлений. Основная часть месторождений УВ относится к категории мелких. Однако степень развития инфраструктуры региона, а также все возрастающая потребность в наращивании запасов углеводородов привлекают внимание к этим площадям и к вопросам дальнейших поисков новых месторождений. В пределах СДНГР в качестве нефтегазоносных рассматриваются два формационно-стратиграфических комплекса. Верхний из них является газоносным. Он представлен терригенной формацией среднего и верхнего карбона (коллекторами являются песчаники). Нижний нефтегазоносный комплекс связан с отложениями карбонатной формации раннего – низов среднего карбона. Наличие многочисленных нефтяных проявлений, связанных с карбонатной толщей, обуславливает повышенное внимание к этой части разреза. Проведенные геологоразведочные работы позволили доказать промышленную нефтегазоносность региона в целом. Однако



Рис. 1. Обзорная схема расположения площади исследований

1 – контуры площади работ; 2-5 – принятая зональность нефтегазогеологического районирования региона: 2 – Северо-Донбасский нефтегазоносный район Припятско-Днепровско-Донецкой провинции, 3 – зона мелкой складчатости Донецкой складчатой системы с невыясненными перспективами, 4 – Доно-Медведицкий нефтегазоносный район Волго-Уральской провинции, 5 – бесперспективные площади Донбасса; 6 – месторождения и проявления углеводородов (а – месторождения и б – проявления нефти, в – месторождения газа); 7 – точки нефтегазопоисковых скважин; 8 – глубинные разломы (а – Северо-Донецкий, б – Каменский); 9 – профили региональной сейсморазведки 2007 и 2013 гг.

Римские цифры (тектонические элементы первого порядка): I – южный склон Воронежской антеклизы (ЮСВА), Ia – перспективные площади принадвиговой зоны ЮСВА, Iб – малоперспективные площади ЮСВА, II – восточный склон ЮСВА, III – Донецкая складчатая система (a – зона мелкой складчатости, б – зона линейной складчатости).

фонд перспективных поднятий быстро истощился, а используемые методики поисковой сейсморазведки оказались не эффективными для выявления литологических ловушек. Малые размеры залежей и неопределенность дальнейших перспектив не способствовали привлечению внимания инвесторов к этому региону. Сложности литолого-фациального строения, а также низкая эффективность сейсморазведочных работ, проводимых до начала 2000-х годов, обусловили ошибки в выборе площадей для постановки поисковых работ. Все это в целом привело к отрицательному заключению о перспективах нефтегазоносности площадей СДНГР.

В 2007 и 2013 годах с целью создания информационной базы для продолжения опоискования площадей СДНГР выполнены региональные сейсморазведочные работы (предприятие «Запприкаспийгеофизика»). В результате на востоке региона выделено более 40 новых перспективных объектов – рифогенных образований. Ранее эти площади были отнесены специалистами «Южгеологии» к малоперспективным и бесперспективным. Кроме временных и глубинных разрезов, а также перспективных объектов по результатам сейсмики для северной части площади (рис. 2, профиль 6 и севернее) представлены структурные карты кровли фундамента, кровли карбонатной толщи и верейского горизонта. При этом составители карт учитывали материалы поисковой сейсморазведки. По данным профилей 7-11 структурные карты не составлены. Анализ закономерностей площадного распространения рифогенных образований исполнителями сейсморазведки не проводился.

С целью рассмотрения этой проблемы автором статьи выполнен анализ материалов полученных по сейсморазведке, привлекая при этом методы математической статистики. В качестве исходной информации для северной части изучаемых площадей приняты структурные планы кровли фундамента, а так же карбонатной толщи. Построение структурных поверхностей по южным площадям выполнено автором с использованием глубинных разрезов (профили 7-11). Проведенные исследования позволили наметить площади распространения органогенных известняков, а также ранжировать их по степени перспективности обнаружения новых месторождений нефти и газа. В представленной статье приведены результаты анализа данных сейсморазведки и обоснование перспектив нефтегазоносности региона.

Краткая характеристика результатов геологоразведочных работ в регионе, полученных к началу 2000-х годов

Обзорная схема расположения площади исследований представлена на рисунке 1. Северо-Донбасский нефтегазоносный район приурочен к площадям южного склона Воронежской антеклизы (ЮСВА), являющейся крупной структурой Восточно-Европейской платформы. Фундамент платформы докембрийского возраста. Мощность осадочной толщи в пределах площади исследований меняется в пределах 1000-4000 м (увеличивается с севера на юг). В осадочном чехле преобладают породы палеозойского возраста (в основном каменноугольные и, в меньшей степени на юго-востоке, нижнепермские). С угловым несогласием на них залегают породы триасового (только юг принадвиговой зоны) и мел-кайнозойского возраста (повсеместно). В составе отложений палеозойского времени выделяются карбонатная (нижний карбон и низы среднего карбона) и терригенная (средний карбон – нижняя пермь) формации. Мощность карбонатной толщи достигают 1000 м. Она согласно перекрывается терригенной угленосной формацией. Кровля карбонатной толщи разновозрастная (от низов серпуховского яруса на юго-западе до нижнечеремшанского подгоризонта башкирского яруса на северо-востоке).

Южный склон Воронежской антеклизы рассматривается в целом как Первомайско-Чирская моноклиналь (углы наклона порядка 3°), в составе которой выделяют 2 широтные зоны (принадвиговую и межнадвиговую), а также 2 меридиональные структуры: Первая из этих структур названа Миллеровским поперечным поднятием. Это поднятие расположено на самом западе региона и отображается оно в структуре подошвы меловых отложений. Второй структурой субмеридиональной ориентировки является Задонский выступ (положение осевой линии последнего показано на рисунке 2). Граница между межнадвиговой и принадвиговой зонами проводится по Северо-Донецкому (Глубокинскому) надвигу (предполагается, что по падению он переходит в глубинный разлом). Межнадвиговая зона рассматривается как зона сочленения ЮСВА и Донецкой складчатой системы (рис. 1). Южной границей ее является Каменский глубинный разлом, который на верхних горизонтах переходит в надвиг. Принадвиговая зона на севере не имеет четкой границы. Так же неопределенными остаются границы Миллеровского поднятия и Задонского выступа.

Северо-Донбасский нефтегазоносный район входит в состав Днепрово-Припятской нефтегазоносной провинции. В качестве южной границы НГР принимается Каменский глубинный разлом. Вопрос о потенциальной нефтеносности более южных земель (зоны мелкой складчатости Донецкой складчатой системы) пока не решен. Северная граница НГР неопределенна и условно принимается различными исследователями в интервале абсолютных отметок фундамента от минус 2000 до минус 1000. Площади севернее этой границы рассматриваются как бесперспективные. Северо-восточнее исследуемого региона выделяются площади Волго-Уральской нефтегазоносной провинции, характеризующиеся высокими показателями ресурсов нефти и газа.

Большая часть открытых месторождений Северо-Донбасского НГР размещена в пределах западной части принадвиговой зоны. Изученность региона нефтегазопоисковыми работами, в целом, недостаточная и неравномерная (наиболее изучены юго-западные площади). После бурения на площадях месторождений нескольких поисково-разведочных скважин, как правило, принимались решения о переходе к этапу опытно-промышленной эксплуатации, хотя и сохранялось немало нерешенных вопросов о геологическом строении площади.

При прогнозировании зон развития органогенных известняков и выборе площадей для бурения специалисты, осуществлявшие здесь поиски нефти и газа (ФГУП «Южгеология»), рассматривали палеошельф периода карбонатонакопления как протяженную плоскую поверхность, ступенчатые осложнения которой связаны с крупными разломами. Принималось, что зоны рифогенеза приурочены к этим региональным уступам, обусловленным дизьюнктивами, предполагаемая ориентировка которых всего лишь на небольшой угол отличается от простирания Донецкого прогиба. Подобная ориентировка в целом соответствовала субширотной ориентировке зон нефтегазонакопления, принятых в качестве основного рабочего варианта на картах нефтегазогеологического районирования региона.

Автор представленной статьи придерживался другого мнения. Еще в конце 80-х годов он разработал и опробовал на площадях южного склона Воронежской анте-

клизы (до межнадвиговой зоны) новый методический комплекс, который позволяет прогнозировать динамику изменения амплитуд крупных морфоструктур, характеризующих рельеф палеошельфа. Разработанная технологическая цепочка в целом была названа морфоструктурно-седиментологическим анализом [Давыденко, 1991, 2008]. Проведенный в тот период комплексный анализ параметров палеорельефа с данными о литолого-фациальных характеристиках отложений в пределах выделяемых морфоструктур, позволил автору проследить эволюцию обстановок осадконакопления на палеошельфе раннекаменноугольного времени и наметить зональность литолого-фациальных комплексов. По результатам этих исследований был сделан вывод о формировании на площадях палеошельфа того периода трех крупных впадин (Первомайской, Глубокинской и Морозовской), в пределах площадей которых прогнозировалось развитие органогенных известняков, как потенциальных коллекторов углеводорода [Давыденко, 1991, 2008]. Однако специалистам «Южгеологии» подобная модель формирования зон и ареалов рифогенеза не представилась убедительной.

Постановка задач и общая характеристика используемой методики

Выше уже указывалось, что почти на всей исследуемой площади (кроме самых восточных участков) породы раннекаменноугольного возраста залегают на докембрийских образованиях фундамента платформы. Структурный план исходной современной поверхности подошвы осадочной толщи является результатом как общего погружения фундамента за весь последующий период осадконакопления (описывается поверхностью тренда), так и результатом дополнительных структурных осложнений II порядка, обусловленных подвижками отдельных фрагментов фундамента.

При этом допускается, что структуры II порядка в основном были сформированы на раннем этапе развития бассейна (соответственно в период карбонатонакопления). Угол наклона тренд-поверхности в период отложения карбонатов практически мало отличался от нулевых отметок. Поэтому вычитание значений тренда из значений современной поверхности фундамента обеспечивает как бы проецирование структур II порядка на исходный уровень. В результате выполнения указанных процедур современный структурно-тектонический план оказывается в определенной мере преобразованным к структурному плану раннего карбона. Следовательно, геологической задачей, решаемой с использованием методов математической статистики, является преобразование современной структурной поверхности подошвы карбонатной формации к тем структурным формам, которые в определенной мере отражают структурный план этапа карбонатонакопления.

Подвижки крупных фрагментов фундамента, которые происходили в период осадконакопления, обуславливали формирование крупных морфоструктурных форм поверхности палеошельфа. Наличие подобных морфоструктур оказывало существенное влияние на обстановки седиментации в осадочном бассейне анализируемого периода. Рассмотрению этих вопросов в существенной мере способствует привлечение информации о мощностях карбонатной толщи. Совместный анализ карт изопахит и карт структурных неоднородностей II порядка создает возможность объективного прогнозирования зон рифогенеза. Все математические процедуры, применяемые для обработки исходных данных и их преобразований, осуществлялись в среде ГИС Интегро (разработки ВНИИ-Геосистем). Для гашения высокочастотной составляющей в исходных данных использовалось полиноминальное (полином 4 степени) сглаживание по скользящей круговой площадке диаметром 75 км. Тренд-компонента поверхности фундамента также определялась как результат полиноминального сглаживания (полином первой степени) по скользящей круговой площадке диаметром 95 км. Все эти процедуры соответствуют классическим приемам решения задач гашения высокочастотных помех и выделения поверхности тренда [Крамбейн, Гренбилл, 1986; Тьюки, 1981].

Рассмотрение полученных результатов

Сводные карты стратоизогипс поверхностей фундамента и карбонатной толщи, представлены на рисунках 2 и 4. Упомянутые карты составлены автором статьи. При этом были использованы карты соответствующих поверхностей по результатам работ 2007 г. и глубинные разрезы по данным 2013 г.

Судя по рисунку 2 абсолютные отметки фундамента в пределах анализируемой площади изменяются от минус 500 м на севере до минус 15000 м на юге региона. Кроме стратоизогипс на карте поверхности фундамента приведены изолинии тренда. Последние характеризуют общий современный уклон южного крыла антеклизы, рассматриваемого в качестве тектонического элемента I порядка. Разность отметок современной поверхности фундамента и отметок тренд-поверхности определяет структурную поверхность тектонических элементов, осложняющих склон антеклизы. Изолинии амплитуд этой структурной поверхности элементов II порядка представлены на рисунке 3.

Информативность преобразованного структурного плана существенно выше исходной поверхности фундамента (рис. 2). В изложенной выше модели анализа результатов преобразований исходных данных предполагается, что структуры II порядка преимущественно сформированы на этапе осадконакопления. Судя по общей геологической информации это достаточно обоснованное предположение, так как основные тектонические преобразования пенепленизированной докембрийской поверхности южного склона Воронежской антеклизы произошли именно в это время. Однако в более поздние периоды направленность вертикальных подвижек блоков фундамента могла изменяться. Сопоставление выделенных структурных элементов фундамента II порядка с изопахитами карбонатной формации позволяет оценить вероятность интенсивных инверсионных подвижек.

В результате рассмотрения структурных элементов II порядка (рис. 3) в современном тектоническом плане фундамента платформы намечено 6 крупных отрицательных форм (на карте они обозначены символами А, Б, В, Г, Д, Е). Наибольшие амплитуды локального погружения соответствуют трем последним. Скорее всего, они связаны с динамикой тектонических подвижек более позднего периода (с этапом формирования Донецкого прогиба). Самой южной локальной структуре (Е) в поверхности фундамента соответствуют абсолютные отметки –9000 м и глубже. Поэтому в дальнейшем этот структурный элемент не рассматривается, так как не представляет интереса для опоискования.

Карта стратоизогипс поверхности карбонатной толщи показана на рисунке 4. Судя по приведенным здесь данным мощности карбонатной формации в пределах



Рис. 2. Карта стратоизогипс кровли фундамента по материалам региональной сейсморазведки 1 – изолинии значений абсолютных отметок кровли фундамента по материалам региональных сейсморазведочных работ; 2 – площадь поисковых сейсморазведочных работ, выполненных до 2000 г; 3 – профили региональной сейсморазведки и их номера (условные): 4 – современное положение оси Задонского выступа ЮСВА

исследуемого региона меняются от 200 м на севере до 14000 м на юге. Наиболее резкое увеличение этого параметра происходит в связи с интенсивным погружением фундамента в пределах Донецкого прогиба, превратившегося на более поздних этапах его развития в Донецкую складчатую систему.

На рисунке 5 представлены изопахиты карбонатной формации. Здесь же приведена информация о положении структур фундамента II порядка. Подобное совмещение упрощает рассмотрение анализируемых параметров в комплексе. По результатам проведенного сопоставления можно отметить следующее.

Отрицательным структурным формам преобразованной поверхности фундамента «А, В, Г, Д» с достаточно высокой степенью коррелируемости соответствуют увеличения мощности карбонатной толщи (рис. 5). Указанное позволяет рассматривать перечисленные выше отрицательные структурные элементы в качестве унаследованных структур конседиментационного типа. Поэтому с высокой степенью достоверности можно считать, что перечисленные выше структурные формы фундамента способствовали в тот период образованию на палеошельфе крупных отрицательных морфоструктурных форм. Это позволяет использовать структуры



Рис. 3. Карта изолиний амплитуд структурных элементов фундамента II порядка 1 – генерализованные стратоизогипсы кровли фундамента; 2 – изолинии тренд-компоненты кровли фундамента; 3 – изолинии амплитуд тектонических элементов фундамента II порядка; 4, 5 – см. рис. 2; 6 – глубинные разломы, выделяемые на сейсморазведочных профилях; 7 – площади отрицательных структур в кровле фундамента; 8 – глубинные разломы, выделяемые по результатам бурения (а – Северо-Донецкий, 6 – Каменский)

второго порядка подошвы карбонатной формации в комплексе с аномалиями ее толщин для некоторой реконструкции рельефа палеошельфа этапа карбонатонакопления. В пределах указанных площадей сформировавшиеся ловушки УВ претерпели минимальные изменения, что способствует более высоким перспективам обнаружения здесь новых месторождений углеводородов.

Анализ изменения толщин карбонатной формации показывает обоснованность предположения, сделанного ранее автором статьи, о рельефе палеошельфа периода карбонатонакопления как совокупности отрицательных морфоструктур различной размерности. Полученная новая информация позволяет конкретизировать границы основных палеовпадин. В пределах площадей исследуемого региона намечается возможность выделения (рис. 5) пяти подобных морфоструктур (Первомайская, Глубокинская, Морозовская, Шахтинская и небольшой фрагмент западного склона Пачелмско-Саратовского прогиба).

Самой северной из них является Первомайская. Ей соответствуют наименьшие мощности, что очевидно обусловлено небольшими скоростями погружения ложа осадочного бассейна. Увеличение толщин карбонатной формации в ее пределах



Рис. 4. Карта изогипс поверхности карбонатной толщи по материалам региональной сейсморазведки. 1, 2, 3 – см. рис. 2; 3- точки скважин: а – поисково-разведочных, б – параметрических.

наименее контрастно. Однако при других благоприятных факторах здесь вполне могли формироваться рифогенные образования.

Юго-западнее Первомайской располагается восточный фрагмент Глубокинской палеовпадины. В южной половине этой отрицательной структуры во время инверсионных преобразований Донецкого прогиба произошли деформации, обусловившие воздымание фундамента вдоль зоны сочленения антеклизы и складчатого Донбасса. Определить значимость этих постседиментационных деформаций для вопросов перспективности обнаружения новых месторождений УВ на южных площадях рассматриваемой палеовпадины сложно. С одной стороны, здесь доказан активный рифогенез (начиная с серпуховского времени и до начала формирования терригенно-угленосной формации среднего и позднего карбона) и выявлены 2 месторождения нефти. С другой – разработка обнаруженных нефтяных месторождений (Леоновское и Тишкинское) оказалась в определенной степени проблематичной, а на Крутовском нефтепроявлении проходка 5 скважин глубокого бурения так и не позволила выявить нефтяную залежь. Вовсе не исключено, что на более северных площадях Глубокинской впадины поиски нефтяных залежей промышленного типа окажутся более удачными.





Восточнее Глубокинской впадины намечены контуры наиболее крупной по площадным размерам Морозовской палеовпадины (рис. 5). Выявленные нефтепроявления на ее западном борту также связываются с органогенными известняками. Однако изучены эти площади очень слабо. Причина уменьшения толщин в ее центральной части неясна. Следует отметить, что в Тормосинской опорной скважине (расположена на восточном склоне Морозовской впадины вблизи сейсмопрофиля; рис. 5) в отложениях раннего карбона установлено наличие битуминозных карбонатно-глинистых и кремнистых пород типа доманика, а также кроме сингенетичной битуминозности отмечены и вторичные битумы [Дементьева, 1972], что обуславливает значительный интерес к этим площадям. Появление отложений типа доманика явно говорит о глубоководной обстановке седиментогенеза. Указанное вполне может быть причиной сокращения толщин карбонатной формации в центральной части Морозовской палеовпадины.

На самом востоке исследуемого региона выделены окраинные площади Пачелмско-Саратовского прогиба (это уже восточное крыло Воронежской антеклизы). В соответствии с принятыми схемами нефтегазогеологического районирования (рис. 1) граница этого прогиба проводится заметно северо-восточнее, чем получается по нашим построениям. Подобные расхождения традиционны для трансграничных территорий.

Информация о самой юго-западной Шахтинской палеовпадине практически отсутствует. Однако значительные глубины залегания кровли отложений нижнекаменноугольного возраста на этих площадях и ожидаемая значительная глинизация известняков (судя по характеру отражений) не позволяют относить ее в разряд представляющих интерес для последующего изучения.

На рисунке 5 приведены данные о нефтегазоносности региона, выявленные по результатам нефтегазопоисковых работ, в том числе и по материалам сейсморазведки 2007, 2013 гг. Большая часть признаков нефтегазонакопления (и установленных, и прогнозируемых) пространственно приурочена к выделяемым отрицательным морфоструктурам палеошельфа. Так как скорости погружения ложа бассейна осадконакопления в целом были невелики, то эти результаты полностью соответствуют общеизвестным представлениям [Лидер, 1986; Рединг и др., 1990; Уилсон, 1980] о закономерностях рифообразования (необходимым условием для активного накопления органогенных известняков в прогнозируемых зонах является ускоренное погружение этих участков шельфа).

Таким образом, площади отрицательных морфоструктур палеошельфа, выделенные по результатам проведенного анализа, рассматриваются автором в качестве зон и ареалов активного рифогенеза. Глинистая пачка, имеющая региональное развитие в подошве терригенной толщи, является надежной покрышкой для ловушек подобного типа. Поступления углеводородов в центральную часть исследуемого региона (из Донбасса) видимо, не являются значительными. В то же время, можно, ожидать увеличение их притоков на востоке (из пределов Пачелмско-Саратовского прогиба), на юго-востоке (из прогиба современного вала Карпинского) и на крайнем западе (из Днепровско-Донецкого прогиба). Поэтому, при оценке нефтегазоносности региона в разряд перспективных на обнаружение газонефтяных месторождений отнесены площади Глубокинской и Морозовской впадин. При этом более высокая степень перспективности присвоена восточным, юго-восточным и самым западным площадям. Площади Первомайской впадины отнесены к перспективными на обнаружение газовых месторождений и возможно конденсатных.

Заключение

Завершая описание выполненных исследований, отметим следующее. В процессе проведенных работ построены 4 новых карты, характеризующих структуры кровли фундамента и толщины карбонатной формации каменноугольного возраста на южном склоне Воронежской антеклизы. При проведении этих построений активно использовались методы математической статистики для гашения высокочастотных помех и выделения тренд-компоненты в структуре погружения кровли фундамента. В результате анализа полученных карт уточнены контуры Глубокинской, Морозовской и Первомайской палеовпадин. Приведено обоснование широкого развития в пределах этих отрицательных морфоструктур палеошельфа рифогенных образований, что позволяет прогнозировать перспективности этих площадей (особенно первых двух впадин) для обнаружения новых месторождений углеводородов (в основном нефтяных).

Публикация подготовлена в рамках реализации ГЗ ЮНЦ РАН на 2018 г., № гос. регистрации проекта 01201363185

Литература

1. Давыденко Д.Б. Аналитическая модель погружения Северо-Донбасского бассейна осадконакопления как функция сложного колебательного процесса // В сб.: Математические методы анализа цикличности в геологии. – М.: Всесоюз. заочн. политех. инст., 1991. – С. 74-83.

2. Давыденко Д.Б. Аналитическая модель динамики морфоструктур палеошельфа как элемент седиментологического анализа нефтегазоперспективных комплексов // Доклады академии наук. – 2008. – Том 422, № 2. – С. 210-213.

3. Дементьева Г.В. Новые данные по литологии и фациям карбона и девона юго-восточной части Русской платформы // В. сб.: Литология и палеогеография палеозойских отложений Русской платформы. – М.: Наука, 1972. – С. 209-217.

4. Крамбейн У., Грейбилл Ф. Статистические модели в геологии. – М.: Мир, 1969. – 396 с.

5. Лидер М. Р. Седиментология. – М.: Мир, 1986. – 439 с.

6. Рединг Х. Г., Коллинсон Дж. Д. и др. Обстановки осадконакопления и фации. В 2-х т. Т. 2. – М.: Мир, 1990. – 384 с.

7. Тьюки Дж. Анализ результатов наблюдений. Разведочный анализ. – М.: Мир, 1981. – 690 с.

8. Уилсон Дж. Л. Карбонатные фации в геологической истории. – М.: Недра, 1980. – 339 с.

USING STATISTICAL METHODS FOR ANALYSIS OF THE RESULTS OF REGIONAL SEISMIC SURVEY AT EVALUATION OF OIL AND GAS CAPACITY PROSPECTS OF AREAS

© 2018 D. B. Davydenko, Sc. Candidate (Geol.-Min.)

Federal Research Centre the Southern Scientific Centre of the RAS, Russia, 344006, Rostov-on-Don, Chehova Str., 41, e-mail: davyd@ssc-ras. ru

By materials of regional seismic survey of last times, there have been compiled summary structural maps of the basement and carbonate series superfaces (reflecting horizons I, II), and also the isopachous map of carbonate formation (Southern slope of the Voronezh anteclise, area of 35000 km²). The trend-component for the basement superface has been determined, the map of isolines, characterizing amplitudes of II-order structural-tectonic elements of basement (with use of statistical methods) has been constructed. By results of analysis of the carbonate formation thicknesses jointly with tectonic elements of II order, there have been outlined contours of paleosags of shelf for the period of carbonate accumulation (including also these untouched by the inversion transformations). The belonging of known oil deposits and manifestations and also of reef limestones (being forecasted by data of seismic prospecting) to the areas of singled out paleosags has been established. The slopes of the outlined negative morphostructures are regarded as potential zones of oil and gas accumulation.

Keywords: oil and gas potential forecasting, regional seismic surveys, mathematical methods in Geology.

References

1. Davydenko D.B. Analiticheskaja model' pogruzhenija Severo-Donbasskogo bassejna osadkonakoplenija kak funkcija slozhnogo kolebatel'nogo processa [Analytical model of sinking of the North-Donbas sedimentation basin as a function of complicated oscillatory process]. V sb.: Matematicheskie metody analiza ciklichnosti v geologii. M.: Vsesojuz. zaochn. politeh. inst. 1991. Pp. 74-83. (In Russian)

2. Davydenko D.B. Analiticheskaja model' dinamiki morfostruktur paleoshel'fa kak jelement sedimentologicheskogo analiza neftegazoperspektivnyh kompleksov [Analytical model of the paleoshelf morphostructures dynamics as an element of sedimentological analysis of oil-gas promising complexes]. Doklady akademii nauk. 2008. T. 422. №2. Pp. 210-213. (In Russian)

3. Dement'eva G.V. Novye dannye po litologii i facijam karbona i devona jugo-vostochnoj chasti Russkoj platformy [New data on Carboniferous and Devonian lithology and facies of the South-Eastern part of Russian platform]. V. sb.: Litologija i paleogeografija paleozojskih otlozhenij Russkoj platformy. M: Nauka. 1972. S. 209-217. (In Russian)

4. Krambejn U., Grejbill F. Statisticheskie modeli v geologii [Statistical models in geology]. M. Mir. 1969. 396 pp. (In Russian)

5. Lider M. R. Sedimentologija [Sedimentology]. M. Mir. 1986. 439 pp. (In Russian)

6. Reding H.G., Kollinson Dzh.D. i dr. Obstanovki osadkonakoplenija i facii [Conditions of sedimentation and facies]. V 2-h t. T. 2. M. Mir. 1990. 384 pp. (In Russian)

7. T'juki Dzh. Analiz rezul'tatov nabljudenij. Razvedochnyj analiz [Analysis of observation results. Prospecting analysis]. M. Mir. 1981. 690 pp. (In Russian)

8. Uilson Dzh. L. Karbonatnye facii v geologicheskoj istorii [Carbonate facies in geological history]. M. Nedra. 1980. 339 pp. (In Russian)

VДК 550.344 DOI:10.23671/VNC.2018.4.20134

ПРИЗНАКИ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ И ЭЛЕМЕНТОВ СТРУКТУРНО-ВЕЩЕСТВЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ ЦЕНТРАЛЬНОГО КАВКАЗА НА ГЛУБИННОМ РАЗРЕЗЕ ГЕНАЛДОНСКОГО ПРОФИЛЯ

© 2018 В.Б. Заалишвили, д. ф.-м. н., проф., Х.О. Чотчаев, А.Г. Шемпелев, к. г.-м. н.

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

В статье рассматривается возможность выделения наследственных признаков геодинамической обстановки и элементов структурно-вещественных комплексов, участвующих в геологическом развитии Кавказа, на глубинных геоэлектрических и сейсмологических разрезах для создания геолого-геофизической моделей земной коры вдоль региональных профилей. Современные структурно-тектонические и структурно-вещественные комплексы восточной части Центрального Кавказа интерполируются с основными структурами консолидированной коры и низов коры. Обосновывается научный и практический интерес корреляционной увязки глубинных коровых и мантийных структур с месторождениями твердых полезных ископаемых и углеводородов, роль границы Мохоровичича в локализации месторождений. Субширотная структура реликтового рубца (геосутуры), уверенно выделяемая по минимумам напряженности полного вектора магнитного поля по структурно-вещественным элементам (олистостромы, офиолиты, микститы) представляется убедительным наследственным признаком субдукции. Реликтовый рубец представляется выполненным тектонизированным терригенным материалом, содержащим разного размера глыбы и блоки вулканогенно-осадочных пород и ремобилизованные олистостромы пород офиолитового комплекса, что является формационным признаком геодинамической обстановки, фиксируемой в развитии структуры Кавказа.

Ключевые слова: Большой Кавказ, геодинамическая обстановка, структурно-вещественные комплексы, наследственные признаки, региональные геофизические профили, гравимагнитометрия, МОВЗ, МТЗ.

Геодинамические циклы развития и составные элементы структуры Большого Кавказа

В условиях сложно дислоцированного геологического разреза Большого Кавказа при глубинных исследованиях земной коры и верхов мантии представления об исторических циклах активизации той или иной геодинамической обстановки (внутриплитных, конвергентных, дивергентных, трансформных) в условиях определенного комплекса элементов геологической структуры (островные вулканические дуги, задуговые внутренние моря, типы плит и зон) способствуют правильной интерпретации геофизической модели, что и является поводом краткого экскурса в легенду геологического развития структуры Большого Кавказа.

Под геодинамической обстановкой понимается особенности динамического взаимодействия литосферных плит, участвующих в развитии Кавказа как геологи-

ческой единицы. Под структурными характеристиками понимается дислоцированность и морфологические особенности элементов комплексов, подверженных изменению под воздействием геодинамических сил, а под вещественными комплексами – формационный состав стратифицированных, метаморфических и плутонических комплексов.

Современное представление об истории геологического развития орогена Большого Кавказа сформировано на основе мозаики плит земной коры и концепции их мобильности в вязкой астеносфере благодаря конвективным течениям в верхней мантии за счет различных РТ-условий и плюмовых струй. Согласно этой концепции геодинамическая обстановка и элементы геологической структуры, имеющие отношение к Большому Кавказу, возникли еще в конце палеозоя, когда в зоне субдукции северных обрамлений океанической коры и южных окраин Русской (Восточно-Европейской) платформы (некогда подвижный пояс) образовалось горное сооружение, трансформировавшееся в результате коллапса в Скифскую платформу.

Дальнейшие спредингово-субдукционные взаимодействия океанической коры (затем и Большекавказского бассейна (или рифтогенного прогиба киммерийского времени по другой модели [Корсаков и др., 2002]) отделенного от основного океана островной вулканической дугой [Зоненшайн, Ле Пишон, 1987; Пруцкий, Лаврищев, 1989] и континентальных плит Гондваны с юга и Евразии с севера привели к образованию на западе и востоке задугового бассейна Западно-Черноморской и Южно-Каспийской впадин [Хаин, 2001], а Скифская плита была погружена в шельфе мелководного моря на юге Евразийского континента, где возникли условия для накопления карбонатных и глинисто-карбонатных осадков фораминиферовой серии.

Сокращение океана Тесис за счет сближения Африки и Евразии привели к субдукции океанической коры Большекавказского задугового бассейна под южную окраину Евразийского континента. Приближение Аравийской плиты к полосе островных дуг и дальнейшее перемещение ее на север ускорило завершение сокращения Большекавказского бассейна и последующую трансформацию морских отложений в горный рельеф.

Продолжавшаяся коллизия Евразийской и Афро-Аравийской континентальных плит привела к интенсивному горообразованию и возникновению новой зоны вулканического проявления по южной окраине Скифской плиты (Казбек, Эльбрус, Чегемская кальдера) [Муратов, Гзовский, 1948].

В сформировавшемся горном сооружении Большого Кавказа Скифская плита образует его северный склон и далее на север продолжается в виде современной Предкавказской равнины. Морские отложения Большекавказского задугового бассейна слагают южный склон мегантиклинория, а островная вулканическая дуга стала основой Закавказского массива, южная часть которой представляется Малым Кавказом.

Такова в общих чертах легенда геологического развития зоны Кавказского орогена на протяжении более чем 400 миллионов лет, основанная на концепции мобилизма литосферных плит.

Каждое из приведенных событий вносило свои коррективы в развитие коры и пространственное положение основных маркирующих границ, в литолого-стратиграфическое содержание осадочного чехла, в структурно-тектоническую схему районирования, в формирование минерагенических поясов, в возникновение зон вулканического проявления и магматизма, в сейсмическую активность, хотя каждое последующее событие могло, как накладываться, так и нивелировать предыдущие трансформации.

Научно-прикладной интерес глубинных исследований

Современный уровень научно-технического прогресса ограничивается единичными возможностями проникновения прямыми методами исследований в недра земли до глубин едва более 10 км, результаты которых лишь априори могут рассматриваться в последовательной цепи генетических связей взаимозависимых геологических процессов. Такое рассмотрение возможно либо на основе теоретических представлений геологического развития, либо опираясь на данные косвенных методов исследования, среди которых основная роль принадлежит геофизическим исследованиям.

Скрытые рудопроявления в пределах даже хорошо известных рудных провинций изучены, как правило, до глубин порядка 100 м, включая и геофизическими методами. Месторождения, залегающие ниже, остаются необнаруженными с одной стороны из-за низкой разрешающей способности на таких глубинах традиционно применяемых геофизических методов, а с другой из-за недостаточно полного понимания генезиса руд, геологических условий их образования, характерных структурно-тектонических, магматических, геоморфологических, физико-химических признаков-спутников, сопутствующих локализации месторождения того или иного типа. Между тем полиметаллические месторождения, к примеру, могут локализоваться до глубин 5 км и более.

Детально изучив отдельное месторождение, нельзя создать алгоритм поиска его аналога по его же характерным признакам (структурно-тектоническим, литологическим, геохимическим, магматическим или еще каким-то другим, присущим данному месторождению). Для создания такого алгоритма необходимо знать региональную особенность геологического развития территории и флюидоконтролирующих структур, глубинные источники флюидопоступления, геотектонику территории, закономерные признаки коррелируемости особенностей маркирующих литосферных границ и глубинных геоморфологических и тектонических структур с рудовмещающими и рудоконтролирующими структурами, критерии кристаллизации, количественные и качественные характеристики геофизических полей.

Научный интерес глубинных исследований заключается в познании общих направлений формирования и развития основных структур Большого Кавказа, в реконструкции геодинамической обстановки в коллизионной зоне, в определении морфологии кровли и подошвы консолидированной коры, создании современной глубинной модели Центрального Кавказа.

Прикладной интерес определяется возможностью установления наследственной пространственно-временной связи особенностей глубинной геодинамики и коро-мантийных структур и приповерхностных месторождений полезных ископаемых и вмещающих их структур более высоких порядков.

По результатам глубинных сейсмических исследований линейные положительные и отрицательные структуры, зоны пониженных скоростей и градиентные зоны в верхах мантии и, как правило, в рельефе поверхности Мохо соответствуют минерагеническим поясам, что может свидетельствовать о влиянии глубинных процессов на формирование месторождений и о мантийных источниках рудного вещества и углеводородов [Ермаков и др., 1994]. По данным теллурического зондирования (МТЗ) линейные субвертикальные и площадные проводящие зоны в коровых слоях соответствуют в первом случае углеродистым породам и рудной минерализации, а во втором – месторождениям углеводородов [Безрук и др., 1995]. Проводящие зоны по МТЗ и зоны пониженных скоростей ГСЗ, прослеженные на глубину, включая верхи мантии, часто совпадают с разломными зонами, которые, по всей видимости, служат подводящими каналами флюидов из мантии.

Являясь маркирующим горизонтом для сейсмических волн при глубинных сейсмических зондированиях (ГСЗ), морфологические особенности поверхности Мохо отражают основные структурно-тектонические единицы земной коры. Область, охватывающая Предкавказье, выделяется на поверхности Мохо серией положительных и отрицательных линейно вытянутых структур северо-западного простирания. На восточном сегменте орогена Прикаспийской впадине на поверхности Мохо соответствует структура выпуклой формы с перепадом глубин от 30 км в центральной части до 40 км к периферии впадины [Егоркин, Матушкин, 1969].

Подобная картина поведения границы Мохо наблюдается и в Черноморской впадине, где граница от центра погружается к окраинам с 18-22 км до 35-40 км. На основании этих исследований для Черноморского бассейна сделан важный вывод о значениях и зависимостях средних и граничных скоростей от глубины. Для «безгранитной» глубоководной части зависимость средней скорости от глубины можно представить выражением V_r =1,8+h*tag22°, для переходной зоны до глубин 17-18 км выражением V_r =3,4+h*tag7,5°, а ниже глубин 17-18 км выражением V_r =3,4+h*tag4°.

Зависимость средней скорости от глубины в шельфовой области может меняться в пределах $V_r = (2,5 \div 4,8) + h*tag4^{\circ}$. Граничные скорости при этом, как в осадочных породах, так и в «гранитном» и «базальтовом» слоях и на границе Мохо практически не зависят от глубины, что говорит о зависимости этого параметра от литологического состава пород, а не от величины статического давления [Непрочнова, 1971].

Глубинный разрез восточного фланга Центрального Кавказа уверенно дифференцируется тремя четкими границами, интерпретируемыми как границы раздела подошвы палеозойского фундамента и «гранитного» слоя, подошвы консолидированной коры и границы Мохо и переходной в астеносферу границы в верхней мантии [Краснопевцева и др., 1967].

Что касается геологии нефти и газа применительно традиционного органического происхождения, то она всегда была глубинной и, как правило, стратифицированной. Нефтегазовые структуры-ловушки приурочены к региональным структурам равнинно-платформенного типа и, оставаясь стратифицированными, очевидно, обязаны соответствующей геодинамической обстановке в определенной подвижной зоне, хотя такое предположение можно истолковать уже в пользу мантийного источника нефти.

Если рассматривать мантийную природу нефти, а с ней следует уже считаться, то наравне с глубинными тектоническими нарушениями, уходящими в мантию, соединительными каналами традиционных структур-ловушек нефти с верхами мантии могут служит континентальные рифты (авлакогены), которые не получили развития и были залечены осадочными породами большой мощности.

Рассмотрение структур-ловушек рудных и углеводородных полезных ископаемых в качестве производных единой цепи геологического развития дает возможность расширить комплекс основных признаков локализации месторождений, которые позволяют разработать алгоритм их выделения, что, безусловно, представляет огромный прикладной интерес к проводимым фундаментальным глубинным исследованиям.

Глубинные геофизические исследования Центрального Кавказа

В рамках «Федеральной целевой программы (ФЦП) развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации» для получения обоснованных глобальных моделей геотектоники, нефтегазоносности и металлогении и для решения задач детального сейсмического районирования Предкавказье и Российская территория орогена Большого Кавказа покрыты сетью региональных профилей глубинных геофизических исследований.

Анализ результатов этих работ акцентированна на выделении наследственных проявлений геодинамических процессов и элементов структурно-вещественных комплексов на разрезах региональных глубинных геофизических профилей.

Результаты исследований представляют особый интерес в двух аспектах: перспектив выделения глубинных нефтегазоносных структур в консолидированном фундаменте Предкавказья, возможно со временем, и прогнозирования мантийных источников миграции углеводородсодержащих флюидов; установление закономерностей пространственного распределения основных литолого-стратиграфических и структурно-тектонических элементов Скифской плиты в пределах глыбовоскладчатой мобильной зоны северного склона Большого Кавказа как следствия геодинамических процессов в зоне коллизии литосферных плит и положения и морфологии основных внутрикоровых маркирующих границ, границы Мохо. Второй аспект является предметом многопланового поэтапного анализа глубинных разрезов структуры Большого Кавказа, одним из которых является Геналдонский профиль, рассматриваемый в данной статье.

Схема тектонического районирования и линия Геналдонского профиля приведены на рисунке 1.

Основной комплекс геофизических методов исследований: обменных волн землетрясений (МОВЗ), теллурического зондирования (МТЗ), гравимагниторазведки.

Геналдонский профиль отработан в два этапа. В 2003 г. в Осетинском секторе Центрального Кавказа на уровне меридиана г. Владикавказа от северного склона г. Казбек на протяжении 55 км до р. Камбилеевка по широте г. Беслана в связи со сходом ледника Колка. Исследованиями на этом отрезке профиля предполагалось получить ответ на вулканический характер воздействия вулкана Казбек на ледник Колка, в очередной раз, сошедшего со своего ложа с катастрофическими последствиями.

Продолжение исследований Геналдонского профиля на север до населенного пункта Левокумское выполнено в 2013 г. в рамках программы получения обоснованных глобальных моделей геотектоники, нефтегазоносности и металлогении вдоль региональных профилей.

Разрез на южном фланге профиля (рис. 2, 4) представляет Складчато-глыбовое поднятие Большого Кавказа и Осетинскую впадину (III-1.9.4), составляющую структуру, заложенного в краевой части Скифской платформы, Терско-Каспийского передового прогиба. Преимущественно, среднеюрский комплекс пород Северного крыла Складчато-глыбового поднятия Большого Кавказа отмечается незначительными локальными отрицательными гравитационными аномалиями. Без четких границ в физических полях Северное крыло переходит в зону Главного хребта, характеризующуюся относительно положительными значениями поля силы тяжести. Гравитационные максимумы здесь определяются приповерхностным слоем с избыточной плотностью 0,15 г/см³, верхняя и нижняя границы которого находятся на глубинах 0,5 и 4,5 км.

Это может соответствовать толще глубоководных нижнеюрских осадков с продуктами основного магматизма (дайки, интрузии, силлы Казбекского диабазового пояса), залегающей на кристаллическом фундаменте.

Складчато-глыбовое поднятие включает три структурно-вещественных комплекса – зоны Главного хребта (III-6.9), Северной моноклинали (III-3) и Скалистого хребта (III-3.4). Основными структурно-вещественными комплексами Главного хребта, пересеченными Геналдонским профилем, являются зона Киммерийской складчатости, узкая полоса Шаухох-Дарьяльского поднятия и Мамисон-Казбекский реликтовый рубец, ограниченные с юга Адайком-Казбекским разломом, с севера пологим поддвигом, проходящим в основании эскарпа Скалистого хребта.

Зона Киммерийской складчатости ограничивается с юга Цариит-Цатадонским и Белореченским разломами, отделяющими ее от Шаухох-Дарьяльского поднятия. Литология по составу основания юрской толщи в зоне Киммерийской складчатости представлена алевролитами и песчаниками, выделяемыми в морскую терригенную формацию среднего лейаса.

Шаухох-Дарьяльское (III-6.7) поднятие расположено в юго-восточной части Горной Осетии, где занимает гребень и склоны Бокового хребта. Состоит из сравнительно крупных Шаухохского и Дарьяльского массивов, разделенных Чачским покровом. Шаухохский массив располагается в междуречье р. р. Фиагдон – Гизельдон. Ограничен массив с севера юго-западной частью Джимара-Годтанадагского разлома и Цариит-Цатадонским взбросом. Южная граница его представлена Сырхубарзондским взбросом, ограничивающим с севера, как и Главный надвиг на западе, Мамисон-Казбекский реликтовый рубец. Ядерная часть блока сложена отложениями позднекарбоновой сероцветной молассы, а также позднекарбоновой-раннепермской туффито-песчаной и поздне-пермской карбонатной метаморфизованной формаций, которые перекрываются образованиями раннего лейаса метапесчаников, кварцитов, узловатых и пятнистых сланцев, а также отложениями среднелейасовой аспидной формации. Перечисленные породы секутся многочисленными дайками среднеюрской габбро-диабазовой формации казбекского комплекса. Фундамент массива, представленный отложениями палеозоя, обнажается в тектонических клиновидных блоках и в ядре Геналдонской антиклинали (III-6.8).

Мамисон-Казбекский реликтовый рубец или геосутура представляется выполненной тектонизированным терригенным материалом, содержащим разного размера глыбы и блоки вулканогенно-осадочных пород и ремобилизованные олистостромы пород офиолитового комплекса. При этом, в той или иной степени серпентинизированные пикриты, нигде не встречающиеся без андезито-базальтовой или диабазовой оболочки, хорошо укладываются в схему процесса диапиризма, прошедшего на первой стадии тектонической мобилизации офиолитов. Незначительная роль в строении Мамисон-Казбекской зоны принадлежит субинтрузивным образованиям плиоценовой диоритовой формации.



Зона Северной моноклинали охватывает Пастбищный и Скалистый хребты. Его основным тектоническим элементом является разрывная тектоника, интенсивность которой заметно наращивается с севера на юг, т. е. вниз по стратиграфическому разрезу, достигая максимума у южной границы зоны – у поддвига Скалистого хребта.

Северная моноклиналь ограничивает с юга Осетинскую впадину, представляющую собой глубокий прогиб, переходящий на юге в северное крыло Кавказского антиклинория. Формирование прогиба относится к верхнесарматскому периоду установления режима устойчивого прогибания. Выполнена впадина мощной толщей континентальных образований неогенового и четвертичного периодов [Стеклов, 1963], образующих верхнюю молассу, в основании которой располагаются конгломераты и галечники Лысогорской свиты. На конгломератах лысогорской свиты располагаются туфогенно-конгломератовые отложения свиты рухсдзуар. Эти породы выполняют значительную площадь котловины. Мощность их достигает 1450 м. Завершается разрез верхней молассы четвертичными плейстоцен-голоценовыми аллювиальными и флювиогляциальными образованиями мощностью от 0 до 750 м. Общая мощность его осадочного чехла в центральной части составляет (без подсолевого комплекса) порядка 9 км.

Складчато-глыбовое поднятие Большого Кавказа и Осетинскую впадину разделяет зона разлома, расположенная в интервале между 17-м и 28-м километрами профиля. Она характеризуется резкими смещениями осей электропроводимости и границ обмена PS-волн, повышенными градиентами гравитационного поля. Зона глубинного разлома, мощность которой достигает 10км, является региональным Предкавказским разломом и характеризует собой зону сопряжения Альпийской складчатой области и Скифской платформы. Зона в значительной части перекрыта комплексом моноклинали Скалистого хребта, представляющим граничную структуру между орогеном Большого Кавказа и Терско-Каспийским прогибом. Количественные расчёты для гравитационной ступени, наблюдаемой на 28-29 км профиля, дают северное падение плоскости раздела под углами 65-70° при эффективной плотности порядка -0,1 г/см³. Аномалия отражает флексурный перегиб Владикавказского разлома в молодых отложениях [Шемпелев, 2007]. На глубинах 5-10 км разреза зона разлома выделяется на 26-27-м км профиля максимальными градиентами поля электрических сопротивлений и расфазировкой волновых форм. Нарушения Предкавказского разлома фиксируются и западнее в пределах 17-23-го км профиля (между пунктами расположения станций МОВЗ №№3-5), которые продолжаются в мантию.

Под Осетинской впадиной, сложенной палеоген-четвертичными образованиями на глубинах 6-13 км выделяется низкоомный слой со значениями электрических сопротивлений ниже 10 Омм. Учитывая наличие в его пределах локальных аномалий со значениями сопротивлений менее 1-го Омм, отложения могут быть представлены чередованием ангидридов, галитов и гипсов (гандалбосская свита).

Поверхность предполагаемых подсолевых отложений, характеризующихся электрическими сопротивлениями более 100 Омм, находится на глубинах 12-13 км. Выдержанная по простиранию карбонатно-сульфатно-соленосная толща может свидетельствовать о существовании палеопрогиба. Данные геофизических исследований подчёркивают его грабенообразный характер. Так, субвертикальная южная граница палеопрогиба располагается на 25-27-м км Геналдонского профиля, то есть несколько южнее Владикавказского флексурного перегиба. Установлено, что





67





вдоль южного борта Осетинской впадины в раннетитонское время получили широкое развитие рифогенные постройки, которые впоследствии были доломитизированы [Вобликов и др., 2006]. На разрезе они выделяются по повышенным значениям электрических сопротивлений к югу от хорошо проводящей соленосной толщи в интервале 18-25 км профиля. Сейсмическими работами рифогенные образования относятся к перспективным структурам на нефтегазоносность.

Осетинская впадина с севера ограничивается Сунженской и Терской антиклинальными неотектоническими структурами, разделенными Алханчуртской синклиналью, представляющими собой зону инъекционной складчатости, обусловленную активной деятельностью глубинных мантийных разломов, приводящей к высокой тектонической расслоенности верхних горизонтов осадочного чехла.

Корреляционная картина обмена волн в комплексе с данными теллурических наблюдений позволяют выделить глубинные структуры и границы раздела, интерпретируемые как рифовые и две границы консолидированной коры (K₁ и K₂) за счет предположительно удвоения мощности условно базальтового слоя. В качестве маркирующей границы выделена граница Мохо. Кристаллический фундамент отмечается на глубинах порядка 5-ти км.

Модель глубинного строения по всей линии профиля построена преимущественно по данным МОВЗ и на основе подбора плотностного разреза (рис. 3,4). Данные МТЗ использованы для Южного фрагмента профиля.

Гравитационное поле на всем протяжении профиля отрицательное (от –25 до –50 мГал). В области складчато-глыбового поднятия восточной части Центрального Кавказа поле силы тяжести спокойное, практически не дифференцируемое (–25 – –30 мГал), в общих чертах имеет широтную ориентировку. При переходе в зону Предкавказских прогибов рисунок изоаномал гравитационного поля приобретает северо-западную ориентировку, что, вероятнее всего, связано с областью сочленения Чернолесско-Кабардинского и Терско-Каспийского краевых прогибов. Значения поля в этой области уменьшаются до –40 – –50 мГал. Граница складчато-глыбового поднятия Центрального Кавказа с зоной Предкавказских краевых прогибов и поднятий сопровождается высоким градиентом силы тяжести строго широтного направления, отождествляемым с зоной глубинного Владикавказского разлома. Менее контрастными градиентами отмечаются контакт Предкавказских краевых прогибов и поднятий с Терско-Сунженской антиклинальной зоной.

Магнитное поле слабоположительное, и лишь на южном отрезке высокогорной части профиля имеет отрицательные значения (до –20 нТл). Смена знака магнитного поля происходит при переходе из зоны киммерийской складчатости в Шаухох-Дарьяльское поднятие и в зону Мамисон-Казбекской сутуры. Отрицательное магнитное поле увязывается с близповерхностным залеганием домезозойского фундамента, что согласуется с общим отрицательным полем, характерным для складчато-глыбового поднятия Главного хребта на всем его протяжении. Также как и в гравитационном поле, в области сочленения горного сооружения с системой Предкавказских прогибов происходит переориентировка поля с широтного на северо-западное направление.

По сейсмическим данным прослеживаются две практически непрерывные границы обмена волн. Верхняя граница отождествляется с кровлей (кристаллического) фундамента. В области Северо-Кавказской складчато-блоковой системы данная граница располагается в общем виде конформно поверхности домезозойского фундамента и зарегистрирована на глубинах 8-10 км. В пределах Скифской плиты Предкавказья положение сейсмической границы фундамента не согласуется с положением подошвы мезозойских отложений. Здесь по подошве мезозоя выделяется положительная структура Прикумско-Нефтекумского сводового поднятия, подошва которого плавно поднимается с юга на север с глубины –8 до глубины –3 км, тогда как по кровле кристаллического фундамента отчетливо прослеживаются грабено- и горстообразные структуры соответственно Ногайской ступени и Прикумской системы поднятий.

Нижняя граница обмена волн в качестве маркирующей принята за границу Мохо. В складчато-блоковой системе граница Мохо погружается в южном направлении с области Терско-Сунженской системы поднятий под складчатые зоны поднятия Центрального Кавказа с отметки -45 до отметки -55 км. В пределах Скифской плиты Предкавказья граница Мохо располагается практически горизонтально на отметках -44 - -45 км. Скачок в положении границы Мохо происходит на северном склоне Моздокского кристаллического выступа. Общая мощность земной коры в южной части Геналдонского профиля возрастает до 49-ти км. Корреляционная картина обмена волн в комплексе с данными теллурических наблюдений позволяют выделить глубинные структуры и границы раздела, интерпретируемые как рифовые и две границы консолидированной коры (K₁ и K₂) за счет предположительно удвоения мощности условно базальтового слоя. В качестве маркирующей границы выделена граница Мохо. Кристаллический фундамент отмечается на глубинах порядка 5-ти км.

Заключение

Одним из основных признаков геодинамической обстановки зоны субдукции является «удвоение» мощности базальтового слоя, что имеет место, исходя из двух выделенных границ К₁ и К₂, которые разделяют вероятно гранитный и базальтовый слои собственно континентальной коры и базальтовые слои континентального и океанического. Увеличение суммарной мощности коры в направлении к складчатоглыбовому сооружению за счет базальтовой составляющей подтверждает субдукционный характер коллизии литосферных плит.

Субширотная структура Мамисон-Казбекского реликтового рубца (геосутуры), уверенно выделяемого по минимумам напряженности полного вектора магнитного поля и прослеженная на протяжении 550 км, по стуктурно-вещественным элементам (олистостромы, офиолиты, микститы) представляется убедительным наследственным признаком субдукции. Мамисон-Казбекский реликтовый рубец или геосутура представляется выполненной тектонизированным терригенным материалом, содержащим разного размера глыбы и блоки вулканогенно-осадочных пород и ремобилизованные олистостромы пород офиолитового комплекса.

Активизация продвижения Аравийской плиты вглубь Евразиатского континента приводит к интенсивному сокращению площади Кавказа в меридиональном направлении за счет скучивания материала. Последнее проявляется поднятием «возрожденных» гор, в которых горные хребты являются телами надвигов, имеющих сложную внутреннюю структуру и характеризующихся сочетанием многоэтапных деформаций (Боковой, Скалистый, Пастбищный, Лесистый хребты). Движения здесь происходили в форме поддвигов с юга на север. Яркими иллюстрациями это-
го являются Боковой хребет, под который по «Главному надвигу» поддвигаются структурные образования реликтового рубца, и Скалистый хребет, под который по поддвигу «Скалистого хребта» пододвигаются все южнее расположенные более древние породы и образованные ими структуры. Формирование «возрожденных» гор сопровождается интенсивной вулканической деятельностью четвертичных вулканитов (Казбекско-Кабарджинская группа). Продолжается накопление материала верхней молассы, выполняющей Владикавказскую котловину (свита рухсдзуар и четвертичные аллювиально-флювиогляциальные отложения).

Литература

1. Безрук И.А., Борисова В.П., Чернявский Г.А. Возможности минерагенического прогноза и прогноза сейсмоопасных зон по данным глубинной электроразведки // Геофизика. – 1995. – № 3. – С. 51-54.

2. Вобликов Б. Г., Мельников Е. А., Шаипов А. А. Об условиях формирования карбонатно-сульфатно-галогенных толщ верхней юры Терско-Каспийского прогиба // Сборник научных трудов СевКав. ТГУ. Серия «Естественно научная». №2. – 2006. – С. 172.

3. Егоркин А.В., Матушкин Б.А. Строение земной коры на Кавказе и в Западной части Средней Азии по данным геофизических исследований // Известия Академии наук СССР, серия геологическая. № 5. – М.: Наука, 1969. – С. 5-15.

4. Ермаков Б.В., Ерхов В.А., Ивановская Л.В., Краснопевцева Г.В., Михальцев А.В., Попова О.Г., Семов В.Н., Щукин Ю.К. Результаты исследования земной коры и верхней мантии в решении задач прогноза минерагении Северной Евразии // Геофизика. – 1994. – № 5. – С. 51-54.

5. Зоненшайн Л.П., Ле Пишон К. Глубоководные впадины Черного и Каспийского моря – остатки мезозойских тыловых бассейнов. – М. – 1987. – С. 74-93.

6. Корсаков С. Г., Семенуха И. Н., Горбова С. М. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации м-ба 1:200000. Издание второе. Серия Кавказская, лист L-37-XXXIV. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2002. – С. 182.

7. Краснопевцева Г.В., Матушкин Б.А., Попов Е.А. Геофизические исследования на региональном профиле Волгоград – Нахичевань // Известия Академии наук СССР, серия геологическая. № 12. – М.: Наука, 1967. – С. 43-52.

8. Муратов М. В., Гзовский М. В. Основные этапы развития Эльбруса как вулкана // Труды МГРИ. – 1948. – Т. 23. – С. 75-82.

9. Непрочнова А.Ф. О распределении скоростей сейсмических волн в земной коре Черноморской впадине // Известия Академии наук СССР, серия геологическая. № 6. – М.: Наука, 1971. – С. 27-35.

10. Пруцкий Н.И., Лаврищев В.А. Северо-Западный Кавказ в мезозое // В кн. Геодинамика Кавказа. – М.: Наука, 1989. – С. 92-98.

11. Стеклов А. А. Наземные моллюски неогена Предкавказья и их стратиграфическое значение. – М.: МГУ, 1963. – С. 22.

12. Хаин В.Е. Тектоника континентов и океанов. – М.: Научный мир, 2001. – С. 577-580.

13. Шемпелев А. Г. Результаты глубинных геофизических исследований вдоль Геналдонского профиля // Труды Международной научно-практической конференции. – Владикавказ. – 2007. – С. 457-463.

THE CHARACTERISTICS OF THE GEODYNAMIC ENVIRONMENT AND ELEMENTS OF STRUCTURAL-MATERIAL COMPLEXES OF THE CENTRAL CAUCASUS AT A DEEP INCISION HEALTHSCOPE PROFILE

© 2018 V.B. Zaalishvili, Sc. Doctor (Phys.-Math.), Prof., Kh.O. Chotchaev, A.G. Shempelev, Sc. Candidate (Geol.-Min.)

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

The article deals with the possibility of identifying hereditary features of the geodynamic situation and elements of structural and material complexes involved in the geological development of the Caucasus, in deep geoelectric and seismological sections to create geological and geophysical models of the earth's crust along the regional profiles. Modern structural-tectonic and structural-material complexes of the Eastern part of the Central Caucasus are interpolated with the main structures of the consolidated crust and the lower crust. The scientific and practical interest of correlation linking of deep crustal and mantle structures with deposits of solid minerals and hydrocarbons, the role of the boundary of Mokhorovichych in the localization of deposits is substantiated. Latitudinal structure of the relic scar (geostructure), confidently allocated to the minimum of the tension of magnetic field full vector on structural-material elements (olistostromes, ophiolites, mixtite) persuasive inherited character of subduction. Relict scar is represented by tectonized terrigenous material containing different size blocks and blocks of volcanogenic-sedimentary rocks and remobilized olistostromes of rocks of the ophiolite complex, which is a formative sign of geodynamic situation, recorded in the development of the structure of the Caucasus.

Keywords: greater Caucasus, geodynamic setting, structural-material complexes, hereditary characteristics, regional geophysical profiles, gravimagnetism, Method of Exchange Waves of Earthquakes, Technology of Magnetotelluric Soundings.

References

1. Bezruk I.A., Borisova V.P., Chernjavskij G.A. Vozmozhnosti mineragenicheskogo prognoza i prognoza sejsmoopasnyh zon po dannym glubinnoj jelektrorazvedki [Possibilities of mineragenic prognosis and prognosis of seismic zones according to the deep electrical prospecting data]. Geofizika. 1995. No. 3. Pp. 51-54. (in Russian)

2. Voblikov B. G., Mel'nikov E. A., Shaipov A.A. Ob uslovijah formirovanija karbonatnosul'fatno-galogennyh tolshh verhnej jury Tersko-Kaspijskogo progiba [On the conditions for the formation of carbonate-sulfate-halogen strata of the upper Jurassic of the Terek-Caspian trough]. Sbornik nauchnyh trudov SevKav. TGU. Serija «Estestvenno nauchnaja». No. 2. 2006. 172 p. (in Russian)

3. Egorkin A.V., Matushkin B.A. Stroenie zemnoj kory na Kavkaze i v Zapadnoj chasti Srednej Azii po dannym geofizicheskih issledovanij [The structure of the earth's crust in the Caucasus and in the western part of Central Asia according to geophysical studies]. Izvestija Akademii nauk SSSR, serija geologicheskaja. No. 5. M. Nauka, 1969. Pp. 5-15. (in Russian)

4. Ermakov B. V., Erhov V.A., Ivanovskaja L. V., Krasnopevceva G. V., Mihal'cev A. V., Popova O. G., Semov V. N., Shhukin Ju. K. Rezul'taty issledovanija zemnoj kory i verhnej mantii v reshenii zadach prognoza mineragenii Severnoj Evrazii [The results of the study of the crust and upper mantle in solving the problems of minerageny prognosis in Northern Eurasia]. Geofizika. 1994. No. 5. Pp. 51-54. (in Russian)

5. Zonenshajn L. P., Le Pishon K. Glubokovodnye vpadiny Chernogo i Kaspijskogo morja – ostatki mezozojskih tylovyh bassejnov [The deepwater depressions of the Black and Caspian Sea – remnants of the Mesozoic rear basins]. M. 1987. Pp. 74-93. (in Russian)

6. Korsakov S.G., Semenuha I.N., Gorbova S.M. i dr. Gosudarstvennaja geologicheskaja karta Rossijskoj Federacii m-ba 1:200000 [State geological map of the Russian Federation at a scale of 1: 200000]. Izdanie vtoroe. Serija Kavkazskaja, list L-37-XXXIV. SPb.: VSEGEI, 2002. 182 p. (in Russian)

7. Krasnopevceva G.V., Matushkin B.A., Popov E.A. Geofizicheskie issledovanija na regional'nom profile Volgograd – Nahichevan' [Geophysical surveys at the regional profile Volgograd – Nakhchivan]. Izvestija Akademii nauk SSSR, serija geologicheskaja. No. 12. M. Nauka, 1967. Pp. 43-52. (in Russian)

8. Muratov M.V., Gzovskij M.V. Osnovnye jetapy razvitija Jel'brusa kak vulkana [The main stages of the development of Elbrus as a volcano]. Trudy MGRI. 1948. Vol. 23. Pp. 75-82. (in Russian)

9. Neprochnova A.F. O raspredelenii skorostej sejsmicheskih voln v zemnoj kore Chernomorskoj vpadine [On the distribution of seismic wave velocities in the crust of the Black Sea Basin]. Izvestija Akademii nauk SSSR, serija geologicheskaja. No. 6. M. Nauka, 1971. Pp. 27-35. (in Russian)

10. Pruckij N.I., Lavrishhev V.A. Severo-Zapadnyj Kavkaz v mezozoe [North-Western Caucasus in the Mesozoic]. V kn. Geodinamika Kavkaza. M. Nauka, 1989. Pp. 92-98. (in Russian)

11. Steklov A.A. Nazemnye molljuski neogena Predkavkaz'ja i ih stratigraficheskoe znachenie [Terrestrial mollusks of the Neogene of the Pre-Caucasus and their stratigraphic significance]. M. MGU, 1963. 22 p. (in Russian)

12. Hain V.E. Tektonika kontinentov i okeanov [Tectonics of continents and oceans]. M. Nauchnyj mir, 2001. Pp. 577-580. (in Russian)

13. Shempelev A. G. Rezul'taty glubinnyh geofizicheskih issledovanij vdol' Genaldonskogo profilja [Results of deep geophysical surveys along the Genaldon profile]. Trudy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Vladikavkaz. 2007. Pp. 457-463. (in Russian)

VДК 528.23 DOI:10.23671/VNC.2018.4.20136

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА S-АППРОКСИМАЦИИ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ РЕЛЬЕФА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

© 2018 И.А. Керимов¹, д. ф-м. н., проф., И.Э. Степанова¹, д. ф.-м. н., Д.Н. Раевский¹, к. ф.-м. н., А.В. Щепетилов², д. ф.-м. н.

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

²ФГБОУВО Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Россия, 119991, г. Москва, Ленинские горы, 1

В статье рассмотрены результаты исследований возможностей метода S-аппроксимации при построении аналитических аппроксимаций рельефа земной поверхности. Получены аналитические аппроксимации для различных типов рельефов местности (равнины, холмы и горы) и топографических данных разного масштаба. Для каждого из типов рельефа выполнена оценка точности аппроксимации и разработаны соответствующие рекомендации по выбору параметров модели.

Ключевые слова: интегральные представления, S-аппроксимации, рельеф, СЛАУ, погрешность.

Введение

В настоящее время весьма актуальным является разработка и внедрение новых способов описания рельефа (топографии) поверхности Земли. Речь идет об использовании более мощных и гибких методов аналитического представления поверхности Земли на достаточно больших по площади территориях по данным значений высот большого количества точек $\xi_3(\xi_1,\xi_2)$, используемых при решении широкого круга задач геодезии, геологии и геофизики. Для построения аналитических аппроксимаций рельефаодним из наиболее эффективных инструментов является метод линейных интегральных представлений В. Н. Страхова [Страхов, 1995; Страхов и др., 2009].

Построение аналитических аппроксимаций функции $\xi_3(\xi_1,\xi_2)$ следует выполнять методом линейных интегральных представлений, исходя из следующего фундаментального факта: функция, непрерывная (либо даже из более общего класса L_2 (- ∞ ,+ ∞) функций, с суммируемым квадратом на плоскости переменных (x_1, x_2)) на произвольной горизонтальной плоскости (плоскости переменных (ξ_1, ξ_2)) может рассматриваться как предельные значения некоторой функции трех переменных (ξ_1, ξ_2, ξ_3), гармонической в полупространстве $\xi_3 < 0$, верхнем к заданной горизонтальной плоскости [Керимов, 2009, 2011; Страхов и др., 2002].

В качестве интегральных представлений функции рельефа $\xi_3(\xi_1,\xi_2)$ могут использоваться, основанные на представлении интегралом Фурье (метод F-аппроксимации) и суммой потенциалов простого и двойного слоев, залегающих ниже заданного рельефа (метод S-аппроксимации), для которых в настоящее время разработаны теоретические основы, алгоритмы и компьютерные технологии [Керимов, 2009, 2011; Раевский, 2016; Раевский, Степанова, 2015а, б; Степанова и др., 2016; Страхов, 1995; Страхов, Керимов, 2001; Страхов, Степанова, 2002; Страхов и др., 2002, 2009].

В данной статье представлены результаты исследования возможностей методаSаппроксимации при построении аналитических аппроксимаций рельефа земной поверхности для разнообразных геоморфологических типов и различных масштабов исходных материалов и соответственно точности исходных данных.

Метод S-аппроксимации состоит в аппроксимации заданной величины (в данном случае вертикальной координаты, характеризующей рельеф земной поверхности) суммой простого и двойного слоев, залегающих ниже заданного рельефа. В рамках этой методики решение задачи сводится к решению системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) больших размерностей (соразмерно общему количеству измерений), поэтому основным вычислительным этапом является именно решение СЛАУ [Раевский, 2016; Раевский, Степанова, 2015а, б; Степанова и др., 2016; Страхов, Степанова, 2002; Страхов и др., 2002, 2009].

Основными гиперпараметрами (которые подбираются вручную) S-аппроксимационной модели являются:

 общее количество плоскостей, являющихся носителями простого и двойного слоев, которые будут аппроксимировать рельеф;

 глубина залегания каждой из плоскостей (под глубиной в данной задаче мы понимаем расстояние от минимальной высотной отметки до соответствующей плоскости).

Так как исходные измерения всегда даны с некоторой погрешностью, необходимо также ввести верхнюю (delta_max) и нижнюю (delta_min) границы нормы невязки, чтобы задача была решена с требуемой точностью. Константы можно определить исходя из точности измерений по следующим формулам:

$$\delta_{\min}^2 = N\sigma_{\min}^2, \quad \delta_{\max}^2 = N\sigma_{\max}^2,$$

где N – общее количество измерений,

σ_{min} – нижняя оценка среднеквадратического отклонения (СКО),

σ_{max} – верхняя оценка среднеквадратического отклонения (СКО).

Например, если известно, что погрешность измерений составляет приблизительно 20 см (0,2 м), то можно выбрать $\sigma_{min} = 0.1$, $\sigma_{max} = 0.3$ и далее решать задачу.

Для изучения возможностей S-аппроксимации для аналитических аппроксимаций рельефа земной поверхности было разработано программное обеспечение (ПО), которое включает в себя следующие программы:

1) RegCheb – программа по нахождению устойчивого приближенного решения СЛАУ регуляризованным итерационным методом Чебышева;

 BCM – программа по нахождению устойчивого приближенного решения блочным методом контрастирования с использованием регуляризованного метода Чебышева;

3) HeighEst – вычисление высот в произвольной сетки точек на основе полученных решений программами RegCheb и BCM (сеть можно сгущать или решать задачи с пробелами в данных).

Для исследований возможностей метода S-аппроксимации для построения аналитических аппроксимаций рельефа земной поверхности для различных геоморфологических условий были использованы топографические данные для трех типов: равнинная, холмистая и горная местности, по 4 файла на каждый тип. От показателя перепада высот зависит выбор параметров модели: чем более резкий рельеф, тем труднее аппроксимация – нужно больше итераций для достижения необходимой точности.

I. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КАЧЕСТВА РЕШЕНИЯ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ РЕЛЬЕФОВ

Для равнинной и холмистой местностей перепад высот не такой значительный и в этом случае возможна практически с любой точностью (даже с миллиметровой, если требуется). Горы же аппроксимировать гораздо труднее в связи с наличием множества резких подъемов. В настоящей статье представлены результаты расчетов для каждого из трех типов рельефа: равнинная, холмистая и горная местность. Для каждого типа были рассмотрены несколько вариантов S-аппроксимационных моделей с различными исходными параметрами, а именно варьировалось общее число исходных плоскостей и их глубина залегания. Все вычисления проводились на компьютере Inteli7-4700HQ с частотой 2,4 ГГц.

1.1. Равнинная местность

Для апробации алгоритма на равнинной местности была выбрана территория размером 570×580 метров с шагом 5 м. Общее количество пунктов измерений N=13340. Были выбраны следующие границы для нормы невязки: $\delta_{\min}^2 = 100, \delta_{\max}^2 = 600$. Ниже приведем результаты S-аппроксимации для 4 различных моделей.



Рис. 1. Равнинная местность. Карта изолиний рельефа поверхности.

Таблица 1.

Равнинная местность. Результаты S-аппроксимации рельефа.

Ν	σ _{min} , M	σ _{max} , M	<u>Н_{тіп}</u> м Н _{тах,} м	Модель	п	σ ₀ , м	⊿Н, м	$\underline{\Delta} t$
13340	0.0865	0.2121	<u>657</u> 667	Mod_1	7	0,1024	0,9409	<u>1,4707·10⁻⁴</u> 1:31:09
				Mod_2	7	0,1022	0,94	$\frac{1,4785\cdot 10^{-4}}{0:50:14}$
				Mod_3	1	0,1454	1,5932	$\frac{2,0439 \cdot 10^{-4}}{0:46:55}$
				Mod_4	1	0,1184	1,2111	$\frac{1,6657\cdot 10^{-4}}{0:39:49}$

Приняты следующие обозначения:

$$\sigma_{\max} = \sqrt{\frac{\delta_{\max}^2}{N}}, \ \sigma_{\min} = \sqrt{\frac{\delta_{\min}^2}{N}},$$

H_{max}, H_{min} – максимальное и минимальное значения высотных отметок;

Модель — название соответствующей модели (R — общее количество плоскостей, H_r — глубина залегания плоскости r):

Mod_1: R=2, $H_1 = 25$ M, $H_2 = 40$ M;

Mod_2: R=5, $H_1 = 25$ M, $H_2 = 30$ M, $H_3 = 35$ M, $H_4 = 40$ M, $H_5 = 45$ M;

Mod 3: R=2, $H_1 = 15$ M, $H_2 = 30$ M;

Mod_4: R=5, $H_1 = 15$ m, $H_2 = 20$ m, $H_3 = 25$ m, $H_4 = 30$ m, $H_5 = 40$ m;

n– количество *пробных решений* – под *пробным решением* понимается устойчивое приближенное решение, норма невязки для которого находится в заданных границах, усреднение множества пробных решений составляют результирующее решение;

$$\sigma_0 = \frac{\|Ax - f_\delta\|_E}{\sqrt{N}}$$
 – среднеквадратическое отклонение;

 f_{σ} – вектор значений вертикальной координаты, характеризующей топографию, A– матрица СЛАУ;

х – найденное решение СЛАУ;

 $\| \|_{E}$ – евклидова норма);

 ΔH – максимальное расхождение между аппроксимированным и реально заданным значениями высоты;

$$\Delta = \frac{\|Ax - f_{\delta}\|_{E}}{\|f_{\delta}\|_{E}} - \text{показатель качества решения;}$$

t – время решения СЛАУ (часы: минуты: секунды).

Как видно из результатов (см. табл. 1), все модели смогли найти решение с заданной точностью за разумное время (менее 1,5 часов). Среднеквадратическое отклонение для всех трех вариантов менее 15 см, а максимальное расхождение менее 1,6 м. Однако при этом для моделей, где глубина первого носителя была относительно малой (Mod_3 и Mod_4, $H_1 = 15$ м), результирующее решение было найдено всего по совокупности одного пробного решения (n = 1), что является нека-



а) карта разности между аппроксимацией и реальным рельефом; б) карта изолиний рельефа, полученная с помощью S-аппроксимации.

чественным результатом из-за трудного подбора параметра регуляризации в этом случае. Для моделей же Mod_1 и Mod_2 было найдено по 7 пробных решения для формирования результирующего решения. При этом для моделей, где глубина первого носителя одинакова, отдается предпочтение модели с большим количеством аппроксимирующих плоскостей, так как в этом случае вычислительное время значительно сокращается, а качество решения не ухудшается: это подтверждают приблизительно одинаковые результаты для моделей Mod_3-Mod_4 и Mod_1-Mod_2. На рисунке 2 представлены результаты аппроксимации для модели Mod_2. Форма рельефа сохранилась, устранив помеху в измерениях.

Вывод: для равнинных областей, где шаг сетки относительно небольшой $(\Delta h \le 15 \text{ м})$ аппроксимацию необходимо производить с достаточным удалением первой залегающей плоскости от минимальной высотной отметки $(5\Delta h \le H_1 \le 7\Delta h, где \Delta h - шаг сетки)$. Глубина последней плоскости должна быть не более $4(h_{\text{max}} - h_{\text{min}})$, где $h_{\text{max}} - h_{\text{min}} -$ разность между максимальным и минимальным значениями высоты. В этом случае получаются наиболее устойчивые качественные решения за разумное вычислительное время.

1.2. Холмистая местность

Для апробации алгоритма на холмистой местности была выбрана область размером 580×580 метров с шагом 5 м. Общее количество пунктов измерений N=13573. Были выбраны следующие границы для нормы невязки: $\delta_{\min}^2 = 100$, $\delta_{\max}^2 = 600$.

Ниже приведем результаты S-аппроксимации для 4 различных моделей.

 $\begin{array}{l} \text{Mod}_1\colon R=3,\ H_{1}=20\ \text{m},\ H_{2}=40\ \text{m},\ H_{3}=80\ \text{m};\\ \text{Mod}_2\colon R=7,\ H_{1}=20\ \text{m},\ H_{2}=30\ \text{m},\ H_{3}=40\ \text{m},\ H_{4}=50\ \text{m},\ H_{5}=60\ \text{m},\ H_{6}=70\ \text{m},\ H_{7}=80\ \text{m};\\ \text{Mod}_3\colon R=3,\ H_{1}=35\ \text{m},\ H_{2}=55\ \text{m},\ H_{3}=80\ \text{m};\\ \text{Mod}_4\colon R=7,\ H_{1}=35\ \text{m},\ H_{2}=40\ \text{m},\ H_{3}=50\ \text{m},\ H_{4}=60\ \text{m},\ H_{5}=70\ \text{m},\ H_{6}=80\ \text{m},\ H_{7}=90\ \text{m};\\ \end{array}$

Таблица 2.

N	σ _{min} , M	σ _{max} , M	<u>Н_{тіп}_</u> м Н _{тах,} м	Модель	п	σ ₀ , м	⊿Н, м	$\frac{\Delta}{t}$
13573	0.0858	0.2103	<u>257</u> 274	Mod_1	1	0.2081	1,5778	$\frac{7.853 \cdot 10^{-4}}{0:30:12}$
				Mod_2	10	0,0916	1,6192	$\frac{3,458\cdot 10^{-4}}{0:58:27}$
				Mod_3	10	0,1232	1,5055	$\frac{4,6494\cdot10^{-4}}{0:38:22}$
				Mod_4	10	0,1309	1,5151	$\frac{4,9401\cdot 10^{-4}}{0:38:29}$

Холмистая местность. Результаты S-аппроксимации рельефа



х, м

Рис. 3. Холмистая местность. Карта изолиний рельефа поверхности.





Как видно из результатов (см. табл. 2), все модели смогли найти решение с заданной точностью за разумное время (менее 40 минут). Среднеквадратическое отклонение Mod_2, Mod_3, Mod_4 менее 14 сантиметров, но при этом для Mod_2 расхождение ΔH максимально. Связано это со слишком близким расположением первой аппроксимирующей плоскости, поэтому результаты для Mod_1, Mod_2 менее устойчивые, чем для Mod_3, Mod_4. При этом для моделей, где глубина первого носителя одинакова, не следует выбирать глубину последней плоскости слишком большой, но все так же отдается предпочтение моделям с несколькими плоскостями. На рис. 4 представлены результаты аппроксимации для модели Mod_3. Наибольшие отклонения наблюдаются вдоль «траншеи» в западной части (см. рис. 4а).

<u>Вывод</u>: для холмистых областей с шагом сетки $\Delta h \le 15$ следует исходить из тех же соображений, что и для равнинных областей – аппроксимацию необходимо производить с достаточным удалением первой залегающей плоскости от минимальной высотной отметки ($5\Delta h \le H_1 \le 7\Delta h$, где Δh – шаг сетки). Глубина последней плоскости должна быть не более $4(h_{max} - h_{min})$.

1.3. Горная местность

Для апробации алгоритма на горной местности была выбрана область из предоставленных заказчиком размером 600×600 метров с шагом 5 м. Общее количество пунктов измерений N=14641. Были выбраны следующие границы для нормы невязки: $\delta_{\min}^2 = 200$, $\delta_{\max}^2 = 1300$. Ниже приведем результаты S-аппроксимации для 5 различных моделей.



Рис. 5. Горная местность. Карта изолиний рельефа поверхности.

	~ ~	2
1	annua	≺
1	uonnnu	э.

Ν	σ _{min} , M	σ _{max} , M	<u>Н_{тіп}.</u> м Н _{тах,} м	Модель	п	σ ₀ , м	<i>∆Н</i> , м	$\frac{\Delta}{t}$
14641	0,1169	0,298	<u>1563</u> 1866	Mod_1	7	0,1369	1,874	$\frac{7,9414\cdot 10^{-5}}{1:07:48}$
				Mod_2	6	0,1459	2,0692	<u>8,4662·10⁻⁵</u> 1:28:28
				Mod_3	10	0,1929	3,315	$\frac{1,119\cdot 10^{-4}}{0:48:44}$
				Mod_4	10	0,1923	3,1085	$\frac{1,1157\cdot 10^{-4}}{0:50:18}$
				Mod_5	10	0,2118	3,5672	$\frac{1,3748\cdot 10^{-4}}{5:31:29}$

Горная местность. Результаты S-аппроксимации рельефа.

Mod_1: R=7, $H_1 = 15$ m, $H_2 = 25$ m, $H_3 = 40$ m, $H_4 = 70$ m, $H_5 = 120$ m, $H_6 = 170$ m, $H_7 = 250$ m;

Mod_2: R=2, $H_1 = 15$ M, $H_2 = 200$ M;

Mod_3: R=7, $H_1 = 25$ m, $H_2 = 40$ m, $H_3 = 70$ m, $H_4 = 120$ m, $H_5 = 150$ m, $H_6 = 190$ m, $H_7 = 250$ m;

Mod_4: R=2, $H_1 = 25$ M, $H_2 = 250$ M;

Mod_5: R=6, $H_1 = 45$ M, $H_2 = 70$ M, $H_3 = 100$ M, $H_4 = 140$ M, $H_5 = 180$ M, $H_6 = 240$ M;

Результаты вычисления показывают, что наилучшим образом аппроксимация удается для моделей, где глубина первой плоскости относительно невысокая (см. табл. 3): для моделей Mod_1, Mod_2 среднеквадратическое и максимальное отклонения минимальны. При этом также отдается предпочтение моделям с большим количеством аппроксимирующих плоскостей. Если же глубину первой плоскости выбирать достаточно большой, аппроксимация занимает гораздо больше времени (Mod_5). Однако стоит отметить, что при этом все модели сумели с высокой точностью аппроксимировать участок горного рельефа. На рис. 6 представлены результаты аппроксимации для модели Mod_1.





<u>Вывод</u>: для горной местности глубину первой плоскости стоит выбирать меньшую, чем для равнин и гор ($2\Delta h \le H_1 \le 5\Delta h$, где Δh – шаг сетки). Глубина последней плоскости должна быть не более 2 ($h_{\text{max}} - h_{\text{min}}$). так как на горном участке эта разность велика.

II. Исследование моделей различного масштаба

В настоящем отчете представлены результаты счета для каждого из трех типов областей (равнины, холмы, горы) для моделей различного масштаба:

I. Территория площадью 575×575 метров, шаг сетки h=5 метров, исходное количество точек, по которым строится аппроксимация, N=13456 точек;

II. Территория площадью 3500×3500 метров, шаг сетки h=35 метров, исходное количество точек, по которым строится аппроксимация, N=13168 точек; территория, для которой по аппроксимационной конструкции восстанавливаются высоты, 3500×3500 метров, шаг сетки h=5 метров, количество точек, по которым восстанавливаются значения высот, M=641601;

III. Территория площадью 7000×7000 метров, шаг сетки h=60 метров, исходное количество точек, по которым строится аппроксимация, N=13689 точек; территория, для которой по аппроксимационной конструкции восстанавливаются высоты, 7000×7000 метров, шаг сетки h=5 метров, количество точек, по которым восстанавливаются значения высот, M=1962801.

Все вычисления проводились на компьютере Inteli7-4700HQ с частотой 2,4 ГГц. Далее во всех таблицах, где указаны результаты аппроксимаций, и на рисунках римскими цифрами **I**, **II** или **III** указываются соответствующие модели согласно описанию выше.

2.1. Модель І. Равнинная местность

Апробация алгоритма на равнинной местности проводилась на территории, рекомендованной заказчиком. Были выбраны площади соответствующих размеров и масштабы построения. Верхнюю границу σ_{max} для среднеквадратического отклонения σ_0 немного увеличивали при увеличении масштаба модели. Это необходимо для достижения более устойчивого решения, так как при увеличении шага сетки ухудшается и обусловленность исходной системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), которую необходимо решить в рамках метода S-аппроксимаций. Ниже приведен результаты, полученные на аппроксимируемом участке для каждой из областей.



Рис. 7. Равнинная местность. Карта изолиний рельефа: а) модель I; б) модель II; в) модель III.

Таблица 4.

Равнинная местность. І	Результаты	8-аппроксимации	рельефа по т	очкам,
использующи	ися для пост	гроения аппрокси	мании.	

N⁰	N	σ _{min} , M	σ _{max} , M	<u>Н_{тіп},</u> м Н _{тах,} м	Модель	n	σ ₀ , м	⊿Н, м	$\frac{\Delta}{t}$
Ι	13456	0,1219	0,2112	<u>726</u> 772	Mod_1	10	0,195	3,6131	<u>2,5826·10⁻⁴</u> 0:47:04
Π	13168	0,1232	0,2465	<u>680</u> 780	Mod_2	10	0,243	3,2133	$\frac{3,3161 \cdot 10^{-4}}{4:22:59}$
ш	13689	0,1209	0,2703	<u>670</u> 780	Mod_3	10	0,2628	3,3125	<u>3,6948·10⁻⁴</u> 0:46:55

Mod_1: R=3, $H_1 = 15$ m, $H_2 = 25$ m, $H_3 = 40$ m; Mod_2: R=1, $H_1 = 80$ m; Mod_3: R=1, $H_1 = 140$ m;

Как видно из результатов построения аппроксимации, скорость сходимости снижается при увеличении шага сетки (время счета увеличивается) и, соответственно, размеров территории. При этом качество аппроксимации по исходным точкам почти не падает – среднеквадратическое отклонение (СКО) и максимальное отклонение ΔH остаются приблизительно на одном и том же уровне. Для моделей большего масштаба **II**, **III** проверим качество построенной аппроксимации по всем точкам.

Таблица 5.

	M	Модель	σ_0^* , м	$\Delta H^{*}, M$
Π	641601	Mod_2	0,6173	14,2832
Ш	1962801	Mod_3	0,7891	30,1819

Равнинная местность. Результаты S-аппроксимации рельефа по всем точкам

Здесь M – количество точек, в которых восстанавливались высоты по построенной аппроксимации по N точкам, $\sigma 0$ – вычисленное среднеквадратическое отклонение по этим точкам, ΔH^* – максимальное отклонение. Результаты построения аппроксимации по всем точкам показывают вполне неплохие результаты для равнины. В случае восстановления высот в 1962801 точках, СКО увеличилось всего менее, чем в 3 раза. Но при этом максимальное отклонение намного увеличилось – для модели II почти в 5 раз, а для модели III почти в 10 раз. Это говорит о том, что некоторые резкие локальные поднятия в рельефе, которые не были учтены при построении аппроксимации из-за усечения исходного объема выборки, привносят существенный вклад в ошибку. Ниже представлена карта разности по M точкам исходного рельефа и построенного с помощью S-аппроксимации

Видно, что за исключением локальных перепадов высот, ошибка достаточно равномерная.

<u>Вывод</u>: для равнинных областей, где шаг сетки достаточно высокий ($\Delta h > 15$ м) аппроксимацию необходимо производить с меньшим удалением первой залега-



Рис. 8. Равнинная местность. Карта разности между аппроксимацией и реальным рельефом: а) модель I; б) модель II; в) модель III.

ющей плоскости от минимальной высотной отметки ($2\Delta h \leq H_1 \leq 3\Delta h$). Глубину последней плоскости лучше выбирать в пределах ($h_{\text{max}} - h_{\text{min}}$), но если глубина первой плоскости уже превышает это значение, то оно может быть и больше, но желательно не более 4($h_{\text{max}} - h_{\text{min}}$), как было указано ранее – лишнее добавление в аппроксимирующую модель глубоко залегающих плоскостей не улучшит результаты. Погрешность восстановления высот при сгущении сетки увеличивается.

2.2. Модель II. Холмистая местность

Для апробации алгоритма на холмистой местности была выбрана территория из предоставленных заказчиком. Были выбраны области соответствующих размеров различного масштаба. Ниже приведем результаты, полученные на аппроксимируемом участке для каждой из областей.



Рис. 9. Холмистая местность. Карта изолиний рельефа: а) модель I; б) модель II; в) модель III.

Таблица 6.

Холмистая местность. Результаты S-аппроксимации рельефа по точкам, использующимся для построения аппроксимации.

	N	σ _{тіп} , м	σ _{max} , м	<u>Н_{тіп}_м</u> Н _{тах,} м	Модель	п	σ ₀ , м	⊿Н, м	$\frac{\Delta}{t}$
Ι	13456	0,1219	0,2116	<u>316</u> 364	Mod_1	10	0,2087	3.14825	$\frac{6,2011\cdot 10^{-4}}{0:21:15}$
Π	13168	0,1232	0,2756	<u>300</u> 780	Mod_2	10	0,2719	3,0717	<u>5,9599·10⁻⁴</u> 4:01:17
III	13689	0,1209	0,3419	<u>300</u> 950	Mod_3	10	0,3385	3,0605	$\frac{7,3283\cdot 10^{-4}}{6:31:24}$

Mod_1: R=3, $H_1 = 15$ M, $H_2 = 25$ M, $H_3 = 40$ M; Mod_2: R=6, $H_1 = 80$ m, $H_2 = 120$ m, $H_3 = 180$ m, $H_4 = 260$ m, $H_5 = 360$ m, $H_6 = 480$ m; Mod_3: R=4, $H_1 = 140$ m, $H_2 = 240$ m, $H_3 = 380$ m, $H_4 = 550$ m.

Результаты почти аналогичные результатам и для равнин – время счета увеличивается при увеличении шага сетки, и увеличивается (но не так сильно) СКО.

Таблица 7.

рельсфа по всем точкам.									
	М	Модель	σ_0^* , м	$\Delta H^{*}_{, M}$					
Π	641601	Mod_2	0,4866	9,8256					
III	1962801	Mod_3	1,0503	28,2105					

пельефя по всем точкам

Холмистая местность. Результаты S-аппроксимации

Результаты же восстановления высот по всем точкам показало результаты для модели II даже лучше, чем для равнины. Это обусловлено более гладким рельефом по сравнению с предыдущим примером – не смотря на более крутой рельеф, при этом локальных поднятий почти не присутствует, и, поэтому, СКО и максимальное отклонение не так сильно увеличились для модели II. Для модели III уже результаты ухудшаются, СКО на уровне 1 м.



Карта разности между аппроксимацией и реальным рельефом: а) модель I; б) модель II; в) модель III.

Вывод: для холмистых областей, где шаг сетки достаточно высокий ($\Delta h > 15$ м) аппроксимацию необходимо производить с меньшим удалением первой залегающей плоскости от минимальной высотной отметки ($2\Delta h \le H_1 \le 3\Delta h$). Глубину последней плоскости лучше выбирать в пределах $(h_{\text{max}} - h_{\text{min}})$, но если глубина первой плоскости уже превышает это значение, то оно может быть и больше, но желательно не более $4(h_{\text{max}} - h_{\text{min}})$. Погрешность восстановления высот при сгущении сетки увеличивается.

2.3. Модель III. Горная местность

Для апробации алгоритма на горной местности были выбраны области соответствующих размеров различного масштаба. Ниже приведем результаты, полученные на аппроксимируемом участке для каждой из областей.



Рис. 11. Горная местность. Карта изолиний рельефа: а) модель I; б) модель II; в) модель III.

Таблица 8.

	N	σ _{min} , м	σ _{max} , м	<u>Н_{тіп},</u> м Н _{тах,} м	Модель	n	σ ₀ , м	⊿Н, м	$\frac{\Delta}{t}$
Ι	13456	0,1	0,2112	<u>640</u> 860	Mod_1	10	0,195	3,6131	$\frac{2,5826\cdot 10^{-4}}{0:47:04}$
Π	13168	0,1509	0,3897	<u>500</u> 1020	Mod_2	3	0,3888	3,2668	$\frac{4,8651\cdot 10^{-4}}{4:22:59}$
III	13689	0,2417	0,4681	$\frac{150}{1050}$	Mod_3	10	0,452	2,9365	$\frac{6,7802\cdot10^{-4}}{7:17:50}$

Горы. Результаты S-аппроксимации рельефа по точкам, использующимся для построения аппроксимации.

Mod_1: *R*=7, $H_1 = 15$ m, $H_2 = 25$ m, $H_3 = 40$ m, $H_4 = 60$ m, $H_5 = 90$ m, $H_6 = 140$ m, $H_7 = 200$ m;

Mod_2: R=7, $H_1 = 80$ m, $H_2 = 120$ m, $H_3 = 160$ m, $H_4 = 210$ m, $H_5 = 270$ m, $H_6 = 350$ m, $H_7 = 450$ m;

Mod_3: R=6, $H_1 = 125$ m, $H_2 = 200$ m, $H_3 = 280$ m, $H_4 = 360$ m, $H_5 = 480$ m, $H_6 = 700$ m;

Среднеквадратическое отклонение σ_0 значительно увеличивается при увеличении шага сетки. Если же уменьшать нижнюю границу до уровня 20 см, сходимость будет слишком медленной. Как видно, даже для достижения точности в 39 и 45 см для моделей II, III понадобилось гораздо больше вычислительного времени. Теперь оценим результаты по восстановлению высот на всей сети точек.

Таблица 9.

Горы. Результаты S-аппроксимации рельефа по всем точкам.

	М	Модель	σ_0^* , м	$\Delta H^{*}_{, M}$
Π	641601	Mod_2	0,9365	15,821
III	1962801	Mod_3	2,8758	55,7186

Из результатов следует, что при аппроксимации горного рельефа качество восстановления высот значительно падает при сгущении сетки.



Карта разности между аппроксимацией и реальным рельефом: а) модель I; б) модель II; в) модель III.

Вывод: для горной местности, где шаг сетки достаточно высокий ($\Delta h > 15 \text{ м}$) аппроксимацию необходимо производить с меньшим удалением первой залегающей плоскости от минимальной высотной отметки ($2\Delta h \le H_1 \le 3\Delta h$). Глубину последней плоскости лучше выбирать в пределах ($h_{\text{max}} - h_{\text{min}}$). Погрешность восстановления высот при сгущении сетки заметно увеличивается.

Общие выводы

Получены результаты построения аналитических аппроксимаций рельефа земной поверхностидля трех типов рельефа: равнинная, холмистая и горная местности. Детально проанализированы результаты работы алгоритма метода S-аппроксимаций. В качестве метода решения СЛАУ рассматривался регуляризованный трехслойный итерационный метод Чебышева.

Для всех типов рельефа аппроксимация возможна с высокой степенью точности, если площадь территории и шаг сетки относительно невысоки. С увеличением масштаба качество аппроксимации снижается. Для каждого из трех типов рельефа рассмотрено несколько вариантов моделей с различным количеством аппроксимирующих плоскостей и различными глубинами их залегания. Во всех трех случаях отмечено небольшое преимущество использования модели с несколькими плоскостями по сравнению с использованием всего 1-2 плоскостей. Для каждого из типов рельефа даны соответствующие рекомендации по выбору параметров модели для дальнейшего использования метода.

Проведено исследование по оценке качества решения в зависимости от исходного масштаба модели и по восстановлению высот в более густой сети точек. Результаты показали, что для каждого из трех типов областей точность аппроксимации ухудшается при увеличении масштаба. При этом восстановление высот в более густой сети точек увеличивается по мере увеличения шага сетки. Однако СКО на всей области остается в разумных пределах (менее 80 см для равнин, 110 см для холмов и 290 см для гор в рассматриваемых примерах) даже для территорий площадью 7000х7000 метров.

Разработаны рекомендации для выбора параметроваппроксимационной моделидля каждого типа рельефа местности. Стоит обратить внимание, что с увеличением шага сетки необходимо уменьшать глубину залегания первой плоскости.

Литература

1. Керимов И.А. F-аппроксимации рельефа земной поверхности // Физика Земли. – 2009. – № 8. – С. 101-112.

2. Керимов И.А. Метод F-аппроксимации при решении задач гравиметрии и магнитометрии. – М.: Физматлит, 2011. – 264 с.

3. Раевский Д. Н. Параллельные алгоритмы решения плохо обусловленных систем линейных алгебраических уравнений больших размерностей // Суперкомпьютерные дни в России: труды международной конференции. – М.: МГУ, 2016. – С. 912-925.

4. Раевский Д.Н., Степанова И.Э. О решении обратных задач гравиметрии с помощью модифицированного метода S-аппроксимаций // Физика Земли. – 2015а. – № 2. – С. 44-54.

5. Раевский Д. Н., Степанова И. Э. Модифицированный метод S-аппроксимаций. Региональный вариант // Физика Земли. – 2015б. – № 2. – С. 55-66.

6. Степанова И.Э., Раевский Д.Н., Щепетилов А.В. О повышении эффективности модифицированного метода S-аппроксимаций // Физика Земли. – 2016. – № 1. – С. 149-160.

Страхов В. Н. Геофизика и математика // Физика Земли. – 1995. – № 12. – С.
4-23.

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

9. Страхов В. Н., Степанова И. Э. Метод S-аппроксимаций и его использование при решении задач гравиметрии (локальный вариант) // Физика Земли. – 2002. – № 2. – С. 3-19.

10. 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.

11. Страхов В. Н., Степанова И. Э., Керимов И. А. К вопросу о вычислении поправок за рельеф // Физика Земли. – 2002. – № 4. – С. 55-66.

STUDY OF THE S-APPROXIMATION METHOD FOR DIFFERENT TYPES OF LANDFORMS

© 2018 I.A. Kerimov¹, Sc. Doctor (Phys.-Math.), Prof., I.E. Stepanova¹, Sc. Doctor (Phys.-Math.), D.N. Raevskiy¹, Sc. Candidate (Phys.-Math.), A.V. Shcepetilov², Sc. Doctor (Phys.-Math.)

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

²Educational Institution of Higher Education M.V. Lomonosov Moscow State University, Russia, 119991, Moscow, Leninskie Gory, 1

The article deals with the results of studies of the possibilities of the S-approximation method in the construction of analytical approximations of the earth's surface relief. Analytical approximations for different types of terrain (plains, hills and mountains) and topographic data of different scales are obtained. For each type of relief the accuracy of the approximation is estimated and appropriate recommendations for the choice of model parameters are developed.

Keywords: integral representations, S-approximations, relief, SLAE, error.

References

1. Kerimov I.A. F-approksimacii rel'efa zemnoj poverhnosti [F-approximations of the terrestrial surface]. Fizika Zemli. 2009. No. 8. Pp. 101-112. (in Russian)

2. Kerimov I.A. Metod F-approksimacii pri reshenii zadach gravimetrii i magnitometrii [F-approximation method for solving problems of gravimetry and magnetometry]. M. Fizmatlit, 2011. 264 p. (in Russian)

3. Raevskij D.N. Parallel'nye algoritmy resheniya ploho obuslovlennyh sistem linejnyh algebraicheskih uravnenij bol'shih razmernostej [Parallel algorithms for solving ill-conditioned systems of linear algebraic equations of large dimensions]. Superkomp'yuternye dni v Rossii: trudy mezhdunarodnoj konferencii. M. MGU, 2016. Pp. 912-925. (in Russian)

4. Raevskij D.N., Stepanova I.E. O reshenii obratnyh zadach gravimetrii s pomoshch'yu modificirovannogo metoda S-approksimacij [The solution of the inverse problems gravimetry using a modified method of S-approximations]. Fizika Zemli. 2015a. No. 2. Pp. 44-54. (in Russian)

5. Raevskij D.N., Stepanova I.E. Modificirovannyj metod S-approksimacij. Regional'nyj variant [Modified S-Approximation Method. Regional version]. Fizika Zemli. 2015b. No. 2. Pp. 55-66. (in Russian)

6. Stepanova I.E., Raevskij D.N., Shchepetilov A.V. O povyshenii effektivnosti modificirovannogo metoda S-approksimacij [On improving the efficiency of the modified method of S-approximations]. Fizika Zemli. 2016. No. 1. Pp. 149-160. (in Russian)

7. Strahov V. N. Geofizika i matematika [Geophysics and Mathematics]. Fizika Zemli. 1995. No. 12. Pp. 4-23. (in Russian)

8. Strahov V.N., Kerimov I.A. Approksimacionnye konstrukcii spektral'nogo analiza (F-approksimaciya) gravimetricheskih dannyh [Approximating structure of spectral analysis (F-approximation) of gravimetric data]. Fizika Zemli. 2001. No. 12. Pp. 3-20. (in Russian)

9. Strahov V.N., Stepanova I.E. Metod S- approksimacij i ego ispol'zovanie pri reshenii zadach gravimetrii (lokal'nyj variant) [S- approximation method and its use in solving the problems of gravimetry (a local version)]. Fizika Zemli. 2002. No. 2. Pp. 3-19. (in Russian)

10. Strahov V.N., Kerimov I.A., Stepanova I.E. Razrabotka teorii i komp'yuternoj tehnologii postroeniya linejnyh analiticheskih approksimacij gravitacionnyh i magnitnyh polej [Development of the theory and computer technology for constructing linear analytical approximations of gravitational and magnetic fields]. M. IFZ RAN, 2009. 254 p. (in Russian)

11. Strahov V.N., Stepanova I.E., Kerimov I.A. K voprosu o vychislenii popravok za rel'ef [On calculation of corrections for relief]. Fizika Zemli. 2002. No. 4. Pp. 55-66. (in Russian)

УДК 551.464.541.132.3 DOI:10.23671/VNC.2018.4.20147

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАСТВОРЕННЫХ ФОРМ МЕДИ В ВОДНОЙ ТОЛЩЕ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

© 2018 В.В. Ковалев¹, к. г.-м. н., С.Г. Парада², д. г.-м. н.

¹Государственный морской университет им. адмирала Ф.Ф. Ушакова, институт водного транспорта, Россия, 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Седова 8, e-mail: kovalev-45@mail. ru;

²ФГБУН Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук, Россия, 344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41, e-mail: parada@ssc-ras. ru

По результатам химических анализов проб воды Северного, Среднего Каспия и, частично, Южного Каспия, отобранных по профилям из различных горизонтов водной толщи, определены содержания растворенных форм меди. Построены карты пространственного распределения этого элемента в поверхностном и наддонном водных горизонтах, а также по вертикальным разрезам водной толщи, выявлены закономерности их распространения в объеме морской воды. Установлены средние содержания растворенных форм меди в поверхностном (8,6 мкг/л) и в наддонном (9,6 мкг/л) горизонтах Каспийского моря. Выделены участки с аномально высокими (более 20 мкг/л) и аномально низкими (менее 5 мкг/л) концентрациями растворенных форм меди в них. Особенности распределения растворенных форм меди по вертикали водной толщи определяются жизнедеятельностью планктонных организмов и их отмиранием. В поверхностном слое аномально высокие концентрации меди связаны с прижизненным накоплением металла планктоном. На глубинах свыше 100 м аномально высокие ее концентрации связаны с распадом отмерших организмов и выделением меди и других металлов в виде органических комплексов.

Ключевые слова: Каспийское море, водная толща, вертикальные разрезы, растворенная форма, медь, концентрации, аномалии.

Введение

Настоящая статья продолжает серию публикаций, посвященных исследованию закономерностей распределения тяжелых металлов в водной толще, донных осадках и гидробионтах Каспийского моря [Ковалев, Парада, 2013, 2016, 2017; Ковалев, Фелицын, 2016]. Среди тяжелых металлов, присутствующих в водах Каспийского моря медь занимает особое положение. С одной стороны она входит в состав приоритетной группы металлов-токсикантов, с другой стороны медь является биогенным элементом, необходимым для жизнедеятельности организмов. В водной среде тяжелые металлы, в т.ч. медь, могут существовать в трех основных формах: взвешенной, коллоидной и растворенной. Последняя может включать свободные ионы и комплексные соединения с органическими и неорганическими лигандами. Наибольшую опасность для гидробионтов представляют растворенные формы металлов, которые в наибольшей степени способны проникать через клеточную мембрану и накапливаться в тканях и внутренних органах живых организмов, вызывая токсические эффекты [Luoma, 1983; O'Donnel et al., 1985; Линник, 1987; Спозито, 1993; Лисицын, 2008 и др.]. Поэтому исследование распределения растворенных форм меди в водах Каспийского моря, обладающего значительными биоресурсами, является актуальной задачей. Вместе с тем, анализ распределения меди в водах Каспийского моря встречается в публикациях не часто. Обычно медь рассматривается совместно с другими металлами при определении форм миграции тяжелых металлов в воде и особенностей их накопления в донных отложениях и представителях ихтиофауны [Перевозников, Богданова, 1999; Лисицин, 2008; Алыков и др., 2013 и др.]. При этом отечественные работы посвящены в основном акватории Северного Каспия. Исследований, касающихся объемного (по площади и по глубине) распределения меди в водах большей части Каспийского моря, практически нет. Целью настоящей работы является попытка восполнить этот пробел путем выявления особенностей распределения растворенных форм меди по всей водной толще большей части Каспийского моря. Всего проанализировано 518 проб воды в акватории Северного, Среднего и, частично, Южного Каспия, отобранных по станциям, указанным на рисунке 1. Методика отбора, подготовки и анализа проб подробно изложена в предыдущих работах [Парада и др., 2011; Ковалев, Фелицын, 2016].



Рис. 1. Схема размещения профилей и станций отбора проб. Римскими цифрами обозначены номера профилей, арабскими – номера станций отбора проб воды.

Результаты и обсуждения

Распределение растворенных форм меди в поверхностном и наддонном слоях воды Каспийского моря приведено на рисунке 2.



Рис. 2. Распределение растворенных форм меди в воде поверхностного (а) и наддонного (б) слоев Каспийского моря, мкг/л: 1 – менее 5; 2-5–10; 3-10–20; 4 – более 20.

Установленные нами содержания меди в воде поверхностного слоя Северного, Среднего и, частично, Южного Каспия варьируют от 0,5 и менее до 20,0 и более мкг/л (рис. 2а). В поверхностном горизонте средняя концентрация элемента составляет 8,6, в наддонном – 9,6 мкг/л. Это больше, чем ранее установлено в водах Мирового океана (3 мкг/л) [Морозов и др., 1975], и в поверхностных водах Северного Каспия (3,06-4,52 мкг/л) [Чуйко, Попова, 2013], и меньше, чем в водах Черного моря (12 мкг/л) [Виноградова и др., 1971].

В водную толщу Каспийского моря медь поставляется как во взвешенном, так и в растворенном состоянии с речным стоком. На границе с аридной зоной имеет значение эоловое поступление элемента. Соотношение взвешенных и растворенных форм металла определяется характером водосборной площади (изрезанность рельефа, наличие пород, обогащенных элементом т. д.), так, если с горными реками поступает 24,1% меди в растворенном виде (от суммы форм), то равнинными реками поставляется 78,5% [Коновалова, Иванова, 1970]. По данным [Холодов, Туровский, 1985] в реках Каспийского бассейна (Волга, Урал, Кура, Терек) в растворенном состоянии мигрирует 38,7% меди. Увеличение доли растворов в переносе меди равнинными реками приводит к тому, что в жидком стоке за год поставляется больше элемента, чем в твердом. Например, река Волга выносит 4,56 тыс. т/год меди с жидким стоком и лишь 0,724 тыс. т/год с твердом стоком; река Урал – 0,071 и 0,053 тыс. т/год, соответственно; река Терек – 0,037 и 0,253 тыс. т/год [Коновалова, Иванова, 1970]. Концентрация меди для трех рек в паводок и межень фактически не меняется, в среднем составляет 4 мкг/л [Коновалов, Иванова, Колесникова, 1968]. По другим исследованиям содержание растворенного элемента в р. Терек и р. Урал не более 6,3 мкг/л, а в р. Волга достигает 18 мкг/л [Демина и др., 1978]. Наши данные незначительно отличаются от выше приведенных значений. Так, средняя концентрация растворенной меди в р. Волга в среднем за трехлетний срок наблюдений составила 6,7 мкг/л, в реке Урал – 7,0 мкг/л, в р. Терек – 4,2 мкг/л. Для р. Волга, исходя из полученного цифрового материала, можно отметить тенденцию уменьшения содержания металла. В зоне смешения речных и морских вод увеличиваются растворенные формы меди: для горных рек они составляют 69,6%, для равнинных рек – 85% [Коновалова, Иванова, 1970]. Таким образом, основным поставщиком растворенных форм меди, как и других элементов [Усенова, Дильмаганбетов, 2010], являются реки Волга и Урал, в меньшей степени Терек и Самур.

Природные причины поступления больших масс растворенных форм меди с речным стоком обуславливают возникновение на поверхности и у дна приустьевых пространств ареалов повышенных концентраций этого элемента. На выходе из дельты в поверхностном горизонте прослеживается область концентраций растворенных форм меди от 10 до 20 мкг/л (рис. 2а). Сложная конфигурация этой области объясняется значительной разветвленностью дельты Волги, направлением дрейфовых течений, биогеохимическими процессами, происходящими на геохимическом барьере «река-море». Так, в ходе более детальных исследований, проведенных в Северном Каспии, было установлено, что повышенные концентрации растворенных форм тяжелых металлов, включая медь, приурочены к предустьевому пространству реки Волга у выхода Кировского и Белинского каналов [Чуйко, Абдусамадов, 2013]. Это объясняется их слабой проточностью, связанной с высокой заростаемостью высшей водной растительностью, что способствует усилению терригенной седиментации, приводящей к удалению взвешенных форм металлов из водной среды [Бухарицин, Аксенов, 2008]. Такие же повышенные содержания растворенных форм меди (10 мкг/л) установлены ранее в районе гидрофронтов рек северо-западной части Черного моря (реки Днепр, Буг, Днестр, Дунай) [Морозов и др., 1975].

Более простое распределение металла наблюдается в авандельте р. Урал. Здесь, от устья реки в сторону открытого пространства моря, вытянута полоса средних величин меди (5-10 мкг/л). Только на предустьевом взморье реки Терек нет четко выраженного ареала высоких концентраций элемента, вследствие его преобладающего поступления во взвеси, а также адсорбции растворенной фазы на гидроокислах марганца и железа, извлечения из морской воды фито- и зоопланктоном.

Пестрый характер распределения растворенных форм меди в поверхностном слое Северного и Среднего Каспия обусловлен разнообразием проявления множества факторов, – близостью и удаленностью от источников поступления, апвеллинга и направления дрейфовых течений, процессов адсорбции и десорбции, ассимиляции и регенерации фито- и зоопланктоном. Еще исследования К.В. Краускопфа показали, что медь, а также цинк и свинец, адсорбируются на гидратированной двуокиси марганца и гидратированной окиси железа [Краускопф, 1963]. То, что медь играет важную роль в жизнедеятельности морских организмов известно давно. Металл является носителем кислорода в крови в виде гемоцианинов у некоторых видов организмов и имеет существенное значение в синтезе гемоглобина [Виноградова и др., 1971].

На восточном побережье Среднего Каспия выделяются два ареала высоких содержаний элемента (более 20,0 мкг/л). Они образовались, по-видимому, в результате апвеллинга, за счет подъема обогащенных металлом вод из глубинных горизонтов, разложением остатков планктонных организмов и растворением некоторых минеральных образований. Повышенные значения концентраций меди в воде северо-западной части Среднего Каспия (10-20 мкг/л) приурочены к устьевому пространству р. Самур. По направлению от устья на восток в сторону открытого пространства моря последовательно происходит сначала уменьшение содержания меди до значений менее 5 мкг/л за счет адсорбции металла на гидроокислах и поглощения его фито- и зоопланктоном, а потом наблюдается повторное увеличение концентрации до 10-20 мкг/л, вследствие деструкции планктона. Вторичный рост концентраций растворенной меди на некоторых участках моря определяется неоднократным его использованием в биологическом круговороте [Виноградова и др., 1971; Демина и др., 1978]. В центральной части и у западного побережья Среднего Каспия выделяются ареалы минимальных содержаний элемента (менее 5 мкг/л), образовавшиеся за счет связывания растворенных форм меди во взвешенное состояние при адсорбции гидроокислами марганца, железа, а также органическим веществом.

В наддонном горизонте (рис. 2б) на приустьевых пространствах рек сохраняются участки повышенных концентраций меди (10-20 мкг/л). На авандельте Волги выделяются два ареала таких значений: первый, занимает крайнюю северо-западную часть моря, второй, неправильной формы, протянулся от дельты до Среднего Каспия. Эти же концентрации металла появляются в области гидрофронтов рек Урала и Терека, вследствие растворения органического вещества взвеси, осевшего в наддонный горизонт.

В Среднем Каспии характер распределения меди в наддонном слое несколько упорядочивается. Вдоль западного берега протянулась узкая полоса минимальных концентраций металла (менее 5 мкг/л). У восточного берега выделяется обширная область повышенных содержаний (10-20 мкг/л), образовавшаяся за счет расположения доминирующих в этой части моря остатков диатомового фитопланктона, а также зоопланктона. В глубоководном горизонте Среднего Каспия концентрация растворенных форм меди достигает экстремальных величин (более 20,0 мкг/л). Здесь в донных осадках оседает большая часть меди, связанная с органическим веществом. Это объясняет установленную ранее обогащенность медью и другими металлами глинистых илов среднекаспийской котловины [Брусиловский и др., 1976]. В процессе диффузии из иловых растворов в наддонную воду, десорбции с гидроокислов марганца и железа, минерализации остатков планктона и растворения некоторых минеральных образований (CuCO₃), происходит резкое увеличение растворенных форм меди в придонном слое впадины. Таким образом, в силу перечисленных факторов, содержания растворенных форм меди в воде возрастают от поверхности к придонному слою.

В первой прибрежной (гидродинамически активной) зоне Среднего Каспия, наоборот, происходит уменьшение концентрации меди в воде от поверхностного слоя к придонному. При этом увеличение содержания меди в поверхностном слое обусловлено поступлением с речным стоком растворенных и взвешенных форм металла, и, частично, с эоловыми выносами некоторых хорошо растворимых минералов. Медь может замещать железо и марганец в железомагнезиальных минералах: например, в авгите и роговых обманках [Коновалов и др., 1968]. Взвешенные минеральные и органо-металлические соединения, за счет растворения в морской воде, являются дополнительным источником обогащения элементом верхних слоев вод. От поверхностного к наддонному горизонту, вследствие механизма связывания меди во взвесь гидроокислами марганца и железа, а также сорбцией на частичках органического детрита, понижается концентрация элемента. Во второй переходной зоне Среднего Каспия тенденция уменьшения содержания меди с глубиной сохраняется, как и в прибрежной области. Только в верхних горизонтах (от 0 до 50 м) становится мощнее слой повышенных величин металла по причине накопления автохтонных органических соединений меди непосредственно в море.

Распределение содержаний растворенных форм меди по вертикальным разрезам водной толщи Каспийского моря приведено на рисунке 3.



Рис. 3. Распределение растворенных форм меди по разрезам водной толщи Каспийского моря, мкг/л: 1 – менее 5; 2-5-10; 3-10-20; 4 – более 20. Римскими цифрами обозначены номера профилей, арабскими – номера станций отбора проб воды, в соответствии с номерами на рис. 1.

Согласно представлениям В.В. Гордеева и А.П. Лисицына поведение растворенных форм меди в вертикальном профиле океана определяется в основном изменением концентраций органосвязанной формы элемента [Гордеев, Лисицын, 1979]. По данным этих исследователей органически связанная медь дает два максимума концентраций в водной толще, один из которых привязан к зоне фотосинтеза (0-50 м), другой приурочен к глубинам 500-1000 м. Верхний максимум они объясняют прижизненным накоплением планктоном; нижний – распадом отмерших организмов и выделением меди (и других металлов) в виде органических комплексов. Таким образом, изменение содержания органосвязанной меди по вертикали приводит к изменению общей концентрации растворенных форм элемента. Такой же механизм, влияющий, на вертикальное поведение меди наблюдается в Черном море [Виноградова и др., 1971], а также, видимо, в Каспийском. Подтверждением этому является обогащение медью верхнего слоя (0-50 м) центральной халистатической зоны Среднего Каспия до 11,8 мкг/л, горизонта от 200 до 500 м до 11,3 мкг/л и нижнего наддонного слоя до 13,6 мкг/л. Увеличение концентрации тяжелых металлов в придонном слое ранее объяснялось диффузионными поступлениями элемента из иловых растворов [Коновалов, Иванова, Колесникова, 1968].

В западной части разрезов I-I, II-II и III-III (рис. 3) прослеживается приуроченность повышенных содержаний растворенных форм меди (10-20 мкг/л) к приустьевым пространствам реки Сулак и, частично реки Терек. На разрезе III-III в сторону открытого пространства моря, как и у железа [Ковалев, Фелицын, 2016], наблюдается последовательная смена концентраций металла, обусловленная биогеохимическими процессами на профиле «река-море». В восточной части этого же разреза, примерно, на глубинах от 30 до 60м преобладающими становятся максимальные величины меди, вследствие распада планктонных организмов и растворения нестойких органоминеральных образований. То же самое, только с меньшим размахом, происходит в восточной части разреза IV-IV. В общем, почти на всех разрезах наблюдается увеличение содержаний растворенных форм меди в промежуточных слоях вод, особенно, на востоке бассейна. В наддонном горизонте глубоководной котловины (разрезы VI-VI, VII-VII и IX-IX), по причинам уже отмеченным выше, наблюдаются повышенные (10-20 мкг/л и выше) концентрации металла. В южной части Среднего Каспия (разрез Х – Х) содержание меди уменьшается, как и у других микроэлементов [Ковалев, Фелицын, 2016; Ковалев, Парада, 2017].

Таким образом, пестрая картина распределения меди в объеме водной толщи Каспийского моря определяется совокупностью источников ее поступления и соотношением выносимых реками растворенных и взвешенных форм металла, физикохимическими процессами сорбции-десорбции и диффузии, жизнедеятельностью морских организмов, растворимостью приносимых ветром минералов, распадом планктонных организмов и органоминеральных комплексов.

Выводы

1. По результатам химических анализов проб воды Северного, Среднего Каспия и, частично, Южного Каспия, отобранных по профилям из различных горизонтов водной толщи, определены содержания растворенных форм меди. На построенных картах пространственного распределения этого элемента в поверхностном и наддонном водных горизонтах, а также по вертикальным разрезам водной толщи выявлены закономерности их распространения в объеме морской воде.

2. Установлены средние содержания растворенных форм меди в поверхностном (8,6 мкг/л) и в наддонном (9,6 мкг/л) горизонтах Каспийского моря.

3. Выделены участки с аномально высокими (более 20 мкг/л) и аномально низкими (менее 5 мкг/л) концентрациями растворенных форм меди в поверхностном слое водной толщи. Первые располагаются у восточного побережья Среднего Каспия. Их появление в области, прилегающей к глубоководной части моря, может быть связано с апвеллингом обогащенных металлом вод. Вторые – в центральной части и у западного побережья Среднего Каспия, где обеднение вод происходит за счет перехода растворенных форм меди путем адсорбции на взвешенные частицы гидроокислов марганца и железа, а также органического вещества.

4. В наддонном горизонте аномально высокие концентрации растворенных форм меди (более 20,0 мкг/л) отмечаются в среднекаспийской котловине. Это связано с диффузией меди из обогащенных этим и другими металлами глубоководных

глинистых илов. Аномально низкие концентрации растворенных форм меди (менее 5 мкг/л) в наддонных водах отмечаются вдоль западного берега в виде узкой полосы.

5. В распределении растворенных форм меди по вертикали водной толщи определенных закономерностей не обнаружено. В одних случаях аномально высокие концентрации установлены в поверхностном слое на глубинах от 0 до 50м (восточные участки профилей III-II и IV-IV), что может быть связано с прижизненным накоплением меди планктоном; в других аномально высокие ее концентрации отмечаются на глубинах от 100 до 700м (центральные участки профилей VII-VII и IX-IX), что может быть связано с распадом отмерших организмов и выделением меди и других металлов в виде органических комплексов.

Литература

1. Алыков Н. М., Чуйко Е. В., Курочкина Т. Ф., Попова О. В., Маркова О. С. Геоэкология тяжелых металлов в различных водных экосистемах Северного Каспия // Геология, география и глобальная энергия. – 2013. – № 1 (48). – С. 181-189.

2. Брусиловский С. А., Гладкова Е. В., Хлистунов В. В. К характеристике микроэлементного состава донных осадков Каспийского моря // В сб.: Комплексные исследования Каспийского моря. – М.: Изд-во МГУ, 1976. – Вып. 5. – С. 151-163.

3. Виноградова Э. А., Еремина Н. Э., Коган Г. М. О вертикальном распределении микроэлементов, растворенных в воде Черного моря // ДАН СССР. – 1971. – Т. 204. № 3. – С. 704-706.

4. Гордеев В.В., Лисицын А.П. Микроэлементы // В кн.: Химия океана. – М.: Наука, 1979. – Т. 1. – С. 337-375.

5. Демина Л. Л., Гордеев В. В., Фомина Л. С. Формы железа, марганца, цинка и меди в речной воде и взвеси и их изменения в зоне смешения речных вод с морскими (на примере рек бассейнов Черного, Азовского и Каспийского морей) // Геохимия. – 1978. –№7. – С. 1211-1229.

6. Ковалев В.В., Парада С.Г. Геологические аспекты современных изменений уровня Каспийского моря // Вестник Южного научного центра. – 2013. – Т. 9. №2. – С. 38-46.

7. Ковалев В. В., Парада С. Г. Закономерности распределения микроэлементов в гидробионтах Каспийского моря // В сб. Окружающая среда и человек. Современные проблемы генетики, селекции и биотехнологии: материалы международной научной конференции и молодежной научной конференции памяти члена-корреспондента РАН Д. Г. Матишова (г. Ростов-на-Дону, Россия, 5-8 сентября 2016 г.) / [гл. ред. акад. Г. Г. Матишов]. – Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2016. – С. 359-361.

8. Ковалев В.В., Парада С.Г. Распределение растворенных форм титана и ванадия в водной толще Каспийского моря // Геология и геофизика Юга России. – 2017. – № 4. – С. 58-72.

9. Ковалев В.В., Фелицын С.И. Распределение растворенных форм железа и марганца в водной толще Каспийского моря // Геология и геофизика юга России. – 2016. – № 3. – С. 85-97.

10. Коновалова Г.С., Иванова А.А., Колесникова Т.Х. Рассеянные и редкие элементы, растворенные в воде и содержащиеся во взвешенных веществах главнейших рек СССР // В кн.: Геохимия осадочных пород и руд. – М.: Наука, 1968. – С. 151-176.

11. Коновалова Г.С. Иванова А.А. Речной сток микроэлементов с территории СССР в морские бассейны // Океанология. – 1970. – Т. 10. Вып. 4. – С. 628-636.

12. Краускопф К. В. Факторы, контролирующие концентрации тринадцати редких металлов в морской воде // В кн.: Геохимия литогенеза. – М.: Наука, 1963. – С. 128-133.

13. Линник П. Н. Формы нахождения тяжелых металлов в природных водах – составная часть эколого-токсикологической характеристики водных экосистем // Водные ресурсы. – 1987. – № 5. – С. 84-96.

14. Лисицин А.П. Маргинальные фильтры и биофильтры мирового океана // В кн.: Океанология на старте XXI века. – М.: Наука, 2008. – С. 159-224.

15. Морозов Н. П., Патин С. А., Демина Л. Я. Переходные и тяжелые металлы в водах Северной Атлантики // Тр. ГОИН. – М. – 1975. – Вып. 127. – С. 77-94.

16. Парада С. Г., Холод Ю. В., Шишкалов И. Ю. Геохимия вторичных ореолов рассеяния Малка-Муштинского рудного узла (Северный Кавказ) // Наука Юга России. – 2011. – Т. 7. № 3. – С. 55-60.

17. Перевозников М.А., Богданова Е.А. Тяжелые металлы в пресноводных экосистемах. – СПб.: ГосНИОРХ, 1999. – 228 с.

18. Спозито Г. Распределение потенциально опасных следовых металлов // В кн.: Некоторые вопросы токсичности ионов металлов. – М.: Мир, 1993. – С. 9-24.

19. Усенова Н.А., Дильмаганбетов С.Н. О содержании некоторых микроэлементов в воде р. Эмбы Актюбинской области // Геология, география, и глобальная энергия. – 2010. – № 2 (37). – С. 148-152.

20. Холодов В. Н., Туровский Д. С. К проблеме осадконакопления в Каспийском море // Литология и полезные ископаемые. – 1985. – № 1. – С. 17-34.

21. Чуйко Е.В., Абдусамадов А.С. Особенности миграции тяжелых металлов в экосистеме Северного Каспия // Юг России: экология, развитие. – 2013. – № 3. – С. 110-116.

22. Чуйко Е.В., Попова О.В. Особенности транспорта некоторых микроэлементов в воде Северного Каспия // Юг России: экология, развитие. – 2013. – № 1. – С. 89-92.

23. Luoma S. N. Bioavailabilityof trace metals to aquatic organisms – a rewiev // Sci. Total Environ. – 1983. – Vol. 28. No I. – Pp. 1-22.

24. O'Donnel J.R. Bioavailability of trace metals in natural water / J.R. O'Donnel, B.M. Kaplan, H.E. Allen // Aquat. Toxicol and Hazad Assessment: 7-th Symp. – Philadelphia. – 1985. – Pp. 485-500.

THE DISTRIBUTION OF DISSOLVED FORMS COPPER IN THE WATER COLUMN OF THE CASPIAN SEA

© 2018 V.V. Kovalev¹, Sc. Candidate (Geol.-Min.), S.G. Parada², Sc. Doctor (Geol.-Min.)

¹Admiral Ushakov State Maritime University, Institute of water transport, Russia, 344006, Rostov-on-Donu, Sedova Str., 8, e-mail: kovalev-45@mail. ru.

²Southern Scientific Center of Russian Academy of Sciences, Russia, 344006, Rostovon-Don, Chekhova Str., 41, e-mail: parada@ssc-ras. ru

According to the results of chemical analyzes of water samples from the Northern, Middle Caspian and, partially, the Southern Caspian, taken from profiles from different horizons of the water column, the contents of dissolved forms of copper were determined. Maps of the spatial distribution of this element in the surface and supra-aquatic horizons, as well as along vertical sections of the water column, have been constructed, and patterns of their distribution in the volume of sea water have been revealed. The average content of dissolved forms of copper in the surface (8.6 μ g/l) and in the above bottom (9.6 μ g/l) horizons of the Caspian Sea has been established. Selected areas with abnormally high (more than 20 μ g/l) and abnormally low (less than 5 μ g/l) concentrations of dissolved forms of copper in them. The specific features of the distribution of dissolved forms of copper along the vertical of the water column are determined by the vital activity of planktonic organisms and their death. In the surface layer, abnormally high concentrations of copper are associated with the lifetime accumulation of metal by plankton. At depths above 100 m, its abnormally high concentrations are associated with the lifetime with the decay of dead organisms and the release of copper and other metals in the form of organic complexes.

Keywords: Caspian Sea, water column, vertical sections, dissolved form, copper, concentrations, anomalies.

References

1. Alykov N.M., Chujko E.V., Kurochkina T.F., Popova O.V., Markova O.S. Geojekologija tjazhelyh metallov v razlichnyh vodnyh jekosistemah Severnogo Kaspija [Geoecology of heavy metals in various aquatic ecosystems of the Northern Caspian]. Geologija, geografija i global'naja jenergija. 2013. No. 1 (48). Pp. 181-189. (in Russian)

2. Brusilovskij S.A., Gladkova E.V., Hlistunov V.V. K harakteristike mikrojelementnogo sostava donnyh osadkov Kaspijskogo morja [To the characteristics of the microelement composition of the bottom sediments of the Caspian Sea]. V sb.: Kompleksnye issledovanija Kaspijskogo morja. M. Izd-vo MGU, 1976. Issue 5. Pp. 151-163. (in Russian)

3. Vinogradova Je.A., Eremina N.Je., Kogan G.M. O vertikal'nom raspredelenii mikrojelementov, rastvorennyh v vode Chernogo morja [On the vertical distribution of trace elements dissolved in the water of the Black Sea]. DAN SSSR. 1971. Vol. 204. No. 3. Pp. 704-706. (in Russian)

4. Gordeev V.V., Lisicyn A.P. Mikrojelementy [Trace elements]. V kn.: Himija okeana. M. Nauka, 1979. Vol. 1. Pp. 337-375. (in Russian)

5. Demina L.L., Gordeev V.V., Fomina L.S. Formy zheleza, marganca, cinka i medi v rechnoj vode i vzvesi i ih izmenenija v zone smeshenija rechnyh vod s morskimi (na primere rek bassejnov Chernogo, Azovskogo i Kaspijskogo morej) [Forms of iron, manganese, zinc and copper in river water and suspensions and their changes in the zone

of mixing river waters with sea waters (as an example rivers of the basins of the Black, Azov and Caspian seas)]. Geohimija. 1978. No. 7. Pp. 1211-1229. (in Russian)

6. Kovalev V.V., Parada S.G. Geologicheskie aspekty sovremennyh izmenenij urovnja Kaspijskogo morja [Geological aspects of the current changes in the level of the Caspian Sea]. Vestnik Juzhnogo nauchnogo centra. 2013. Vol. 9. No. 2. Pp. 38-46. (in Russian)

7. Kovalev V.V., Parada S.G. Zakonomernosti raspredelenija mikrojelementov v gidrobiontah Kaspijskogo morja [Patterns of distribution of trace elements in hydrobionts of the Caspian Sea]. V sb. Okruzhajushhaja sreda i chelovek. Sovremennye problemy genetiki, selekcii i biotehnologii: materialy mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii i molodezhnoj nauchnoj konferencii pamjati chlena-korrespondenta RAN D.G. Matishova (g. Rostov-na-Donu, Rossija, 5-8 sentjabrja 2016 g.) / [gl. red. akad. G.G. Matishov]. Rostov n/D: Izd-vo JuNC RAN, 2016. Pp. 359-361. (in Russian)

8. Kovalev V.V., Parada S.G. Raspredelenie rastvorennyh form titana i vanadija v vodnoj tolshhe Kaspijskogo morja [Distribution of dissolved forms of titanium and vanadium in the water column of the Caspian Sea]. Geologija i geofizika Juga Rossii. 2017. No. 4. Pp. 58-72. (in Russian)

9. Kovalev V.V., Felicyn S.I. Raspredelenie rastvorennyh form zheleza i marganca v vodnoj tolshhe Kaspijskogo morja [Distribution of dissolved forms of iron and manganese in the water column of the Caspian Sea]. Geologija i geofizika juga Rossii. 2016. No. 3. Pp. 85-97. (in Russian)

10. Konovalova G.S., Ivanova A.A., Kolesnikova T.H. Rassejannye i redkie jelementy, rastvorennye v vode i soderzhashhiesja vo vzveshennyh veshhestvah glavnejshih rek SSSR [Scattered and rare elements dissolved in water and contained in suspended substances of the main rivers of the USSR]. V kn.: Geohimija osadochnyh porod i rud. M. Nauka, 1968. Pp. 151-176. (in Russian)

11. Konovalova G. S. Ivanova A.A. Rechnoj stok mikrojelementov s territorii SSSR v morskie bassejny [River flow of trace elements from the territory of the USSR in the sea basins]. Okeanologija. 1970. Vol. 10. Issue 4. Pp. 628-636. (in Russian)

12. Krauskopf K. V. Faktory, kontrolirujushhie koncentracii trinadcati redkih metallov v morskoj vode [Factors controlling the concentrations of thirteen rare metals in seawater]. V kn.: Geohimija litogeneza. M. Nauka, 1963. Pp. 128-133. (in Russian)

13. Linnik P. N. Formy nahozhdenija tjazhelyh metallov v prirodnyh vodah-sostavnaja chast' jekologo-toksikologicheskoj harakteristiki vodnyh jekosistem [Occurrence forms of heavy metals in natural waters are a component of the ecological and toxicological characteristics of aquatic ecosystems]. Vodnye resursy. 1987. No. 5. Pp. 84-96. (in Russian)

14. Lisicin A.P. Marginal'nye fil'try i biofil'try mirovogo okeana [Marginal filters and biofilters of the world ocean]. V kn. Okeanologija na starte XXI veka. M. Nauka, 2008. Pp. 159-224. (in Russian)

15. Morozov N. P., Patin S. A., Demina L. Ja. Perehodnye i tjazhelye metally v vodah Severnoj Atlantiki [Transitional and heavy metals in the waters of the North Atlantic]. Tr. GOIN. M. 1975. Issue 127. Pp. 77-94. (in Russian)

16. Parada S.G., Holod Ju.V., Shishkalov I.Ju. Geohimija vtorichnyh oreolov rassejanija Malka-Mushtinskogo rudnogo uzla (Severnyj Kavkaz) [Geochemistry of secondary haloes of dispersion of the Malka-Mushta ore cluster (North Caucasus)]. Nauka Juga Rossii. 2011. Vol. 7. No. 3. Pp. 55-60. (in Russian)

17. Perevoznikov M.A., Bogdanova E.A. Tjazhelye metally v presnovodnyh jekosistemah [Heavy metals in freshwater ecosystems]. SPb. GosNIORH, 1999. 228 p. (in Russian)

18. Spozito G. Raspredelenie potencial'no opasnyh sledovyh metallov [Distribution of potentially hazardous trace metals]. V kn. Nekotorye voprosy toksichnosti ionov metallov. M. Mir, 1993. Pp. 9-24. (in Russian)

19. Usenova N.A., Dil'maganbetov S.N. O soderzhanii nekotoryh mikrojelementov v vode r. Jemby Aktjubinskoj oblasti [The content of some trace elements in the water of the river. Emby Aktobe region]. Geologija, geografija, i global'naja jenergija. 2010. No. 2 (37). Pp. 148-152. (in Russian)

20. Holodov V. N., Turovskij D. S. K probleme osadkonakoplenija v Kaspijskom more [To the problem of sedimentation in the Caspian Sea]. Litologija i poleznye iskopaemye. 1985. No. 1. Pp. 17-34. (in Russian)

21. Chujko E.V., Abdusamadov A.S. Osobennosti migracii tjazhelyh metallov v jekosisteme Severnogo Kaspija [Features of the migration of heavy metals in the ecosystem of the Northern Caspian]. Jug Rossii: jekologija, razvitie. 2013. No. 3. Pp. 110-116. (in Russian)

22. Chujko E. V., Popova O. V. Osobennosti transporta nekotoryh mikrojelementov v vode Severnogo Kaspija [Features of transport of some trace elements in the water of the Northern Caspian]. Jug Rossii: jekologija, razvitie. 2013. No. 1. Pp. 89-92. (in Russian)

23. Luoma S. N. Bioavailabilityof trace metals to aquatic organisms – a rewiev // Sci. Total Environ. – 1983. – Vol. 28. No I. – Pp. 1-22.

24. O'Donnel J. R. Bioavailability of trace metals in natural water / J. R. O'Donnel, B. M. Kaplan, H. E. Allen // Aquat. Toxicol and Hazad Assessment: 7-th Symp. – Philadelphia. – 1985. – Pp. 485-500.

VДК 550:004.65 DOI:10.23671/VNC.2018.4.20148

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ БАЗ ДАННЫХ В ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

© 2018 С.А. Мамаев, к. т.н., Ж.Г. Ибаев, к. ф.-м. н., А.Ш. Гусейнова, А.С. Курбанисмаилова, А.С. Мамаев

ФГБУН Институт геологии Дагестанского научного центра РАН, Россия, 367010, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. Ярагского, 75, e-mail: dangeogis@mail.ru

Бурно развитие информационных технологий привели к широкому их внедрению во все отрасли современной науки. В работе рассмотрены вопросы использования информационных технологий для хранения и обработки информации, накапливаемых в различных геологических фондах, в частности в фондах Института геологии Дагестанского научного центра РАН. При этом основными задачами, которые необходимо решать, являются формализация и нормализация информации. Они успешно могут быть решены современными программными средствами по созданию хранилищ данных, систем их аналитической обработки, т.е. так называемых OLAP – методики и разнообразных способов интеллектуального анализа данных. Весь процесс разработки информационно-аналитической системы начинается именно с определения способов надежного хранения данных. Для этих целей использована доступная нам система управления базами данных Microsoft Access. Проведена большая работа по формализации информации по скважинам и рассмотрены проблемы разработки электронных баз данных в геологии. Используя технологию реляционных баз данных, разработана база данных гидрогеологических параметров артезианских скважин, расположенных на территории Республики Дагестан. Описана методика использования базы данных.

Ключевые слова: база данных, аналитические системы, артезианский бассейн, ГИС-системы.

Введение

Прогресс геологических исследований во многом обусловлен уровнем практической деятельности исследователя-геолога в области современных информационных технологий. В настоящее время в геологических фондах накоплен достаточно большой объем информации, обработать и использовать, который представляется трудоемкой и сложной задачей. В связи с этим в настоящее время актуальность приобрели методы, позволяющие надежно хранить эту информацию, анализировать и оперативно предоставлять ее пользователям [Информационные технологии..., 2011].

Наиболее эффективно описанные выше задачи можно решать, используя так называемые средства оперативной аналитической обработки (OLAP) [Atkinson, Vieira, 2012; Itzik, 2012; Celko, 2012; Sharder, 2002; Мамаев, Ибаев, 2014, 2015; Мамаев и др., 2016а; Залибеков и др., 2012; Ибаев, Мамаев, 2008].

В статье рассмотрены вопросы создания электронных баз данных в геологии сформированных на основе гидрогеологических параметров артезианских скважин и расположенных на территории Республики Дагестан [Мамаев, Ибаев, 2014; Мамаев и др., 2016а, б, 2017а, б, 2018; Залибеков и др., 2012; Ибаев, Мамаев, 2008; Курбанов и др., 2006, 2009; Черкашин и др., 2003; Лурье, 2002; Востокова и др., 2002; Геоинформатика..., 2008; Asavin, Chesalova, 2004].

Информационная модель базы данных

Основным источниками данных при построении базы данных являются геологические паспорта, которые заводятся на этапе бурения и обсадки скважины (рис. 1).

Как известно до начала проектирования базы данных необходимо тщательно проанализировать всю информацию, на основе, которой будет составлена база. В первую очередь необходимо найти такие свойства объекта, которые позволили бы однозначно идентифицировать рассматриваемые объекты. На языке баз данных под этим подразумевается свойство объекта, имеющее уникальное значение для каждого объекта и позволяющее выделить необходимый экземпляр среди множества подобных объектов. Это так называемое поле первичного ключа. Основным требованием к полю первичного ключа является его уникальность и неповторимость, т.е. не бывает двух объектов с одинаковыми значениями поля первичного ключа. Выбор такого свойства у множества или выбор множества таких свойств у объекта является главной проблемой, существенно влияющей на дальнейшую структуру разрабатываемой базы данных. В нашем случае в качестве первичного ключа целесообразнее использовать номер скважины, поскольку именно он характеризуется четкой индивидуальностью для каждой скважины. Следующий шаг – обнаружение свойств, выражающихся одним значением (числом или строкой символов и т. д.) и свойств которые имеют несколько значений для одного и того же объекта. Для нашего случая свойства, выражающиеся одним единственным значением, входят в блоки привязка и общие сведения паспорта скважины (рис. 1).

Свойства, которые имеют несколько значений для одной и той же скважины, содержатся в блоках:

- геологическая характеристика
- характеристика фильтра
- Характеристика водоносного горизонта
- опробование
- качество воды
- Бактериологические показатели
- формула солевого состава
- Дополнительные свойства

Отметим, что для последних характерна временная зависимость, т.е. если какие-то свойства скважин установлены непосредственно во время бурения и практически не меняются со временем, то другие имеют временную зависимость. В нашем случае свойствами, имеющими временную зависимость, являются: качество воды и дополнительные свойства.

Информационную модель базы данных можно представить в следующем виде (рис. 2).

Следующий шаг это определение свойств имеющих повторяющиеся значения для некоторого множества объектов.

Для информации по гидрогеологическим параметрам скважин, расположенных на территории Республики Дагестан такими не зависящими от времени свойствами, выражающимися одним значением, являются:

– Область (край, АССР)

– Район

F				
Dunanax N axa.	Форма СВК 2-51		C. 2	
LOUDENT HD. DOK.	-BRE-ST	Cal DEWAR XURANT	FPUCTH	K A
	УТВЕРЖДАЮ	US VOWAT AAPART	Бисти	1110
		1 ADCORNTHER OTMERKS YCTLR, M	(100)	13 TEXHUNECHOE COCTORNING
Министерство (управление)		2 Плубина скважины, м	334.0	15 THE PROPERTY OCALL
гесловии РСФСР 12325		З Пачальным диометр сквежины, ММ	+	16 Cooco as Transmission
		ч полечных дламето скважны, мм		12 Chocod dynemia
по севкавгеология 1428024	r	C Controlate Concentrate and		18 Tel MEDIOTH
Энспедицыя (партия)		B GTONNOCTO COOPYNERNA, THE DYO		10 PaySung 107
	7	о Пате буления	11958-	20 MODANOTH M A0
ПАСПОРТ СКВАЖИНЫ И 437		C Ders Hauste successful	12202	21 Tempedetypa Mepanoru, C
766	1	10 Ustualities or an and the	Parl	22 Организация,
Kennes		The sea on HCROAL 2 DARWARD	page	GYDHERAS CKA.
Nonkyech	in cubament			
The second		Tel - multipline cocionida	-	
1 ПРИВЯЗКА		ХАРАКТЕРИСТИКА ФИЛЬТ	A	продолжение ; 7
Davier (mag ACCD)		Linux Br		Homep Br
1 Badow		2 Tun futuren		12 HC03, MA
3 Haceacenum prover		3 Duran discurp spooned and		18 NO3 MC/A
A Baccula LOADLANSIN BOA		4 Интернал установки от		19 NA . MC/A
		5 фильтров. колонны, М ДО		20 K , MIYA
6 Peupod danceur		6 Susperp dedarps, ees		21 NA * K.M./A
7 Pacyprulia uvactor peutoro daccadua		7 UNTERBAA YCTANDANN OT		22 CA, W/A
8 BOSOXOARCTREMMIN VILCTOR (RORVINGTOR)		3 PHANTPE, M AO		23 MG , Nr/A
9 Косраниаты, граз., нин.		ХАРАКТЕРИСТИКА ВГ		24 NH4, MP/2
10 Popula penseda correctioner - activity situal x ha 11	receive teproved	HOMEP BC		25 H45104,mg
1: Расстояние до постоянного водотока, юч		1 Глубина появления воды, и 800 2	94.0	26 H25, Mr.A
12 Номенилатура планшета м-ба 1:200000		2 Установ уронень воды, м 10.0 6.	9	27 CO2, MT/A
13 HEIMENDESISE ADKYMENTS VIB CCCP DACCP THE	#2 M19782	3 Способ каолации ВГ		28 FE , MU/A
14 Автор документа В.В. Болишаенова. и д	A	4 Тип ВГ по услов,залегания		29 F , Mr/A
15 UNARNTAPHENA TO CK79		5 Козф.фильтрацин, м/сут		30
18 номер Союзгеолфонд -		6 Kost BogonpoBog, H2 /cyr		31
TEOROFHMECKAS YAPAKTEOHCTH	KA	7 Козф уровнепровод., M2/сут		32
ATAKIEFACIA		8 Kaze nuezanposat, M2/cyr		33
Геологический Ге- Глубина, м Мош- М Наз	MEROBANNE	9 Коз4 водоотдачи		34
Nº возраст поралы Зис кров- падош- ность ВП	RODOAN	ОПРОБОВАНИЕ		35
CTD AN DW M		HUMEP BI		361
HALENC NOA HOA KOA	нинненование	1 Bay OTRAMON		5 BAKTEPHOJOC DOKASATEJH
3 3 5 6 7 8 9	10	2 Chocod or Hay Hay		I HOUSE HE T
10, 1 10, 1 10, 0 Ve-	VA. copre seres	а Понижение, м	0	F2UT LEAK FEDAN
10.2 890 00.0 14.3	-C THOT NO COLARDIS	9 1 Acour, alc	12	A ROAM-HHA
80,0 85,0 15,0	the week 3 Section Chev	5 ITPODOAWATEACHOCT D, CYT		
23,0 196,0 10 7,0 A. T	C TA CAPA. Per Ma			
10 20 20 300 16,0 Mag	And Mer undarg	9 000000 / // C		: 9 OPMYAA COAEBORO COCT
20 8,0 34,0 50	C. THOT MEE. G. S. TAPANA	A IIPOLOAMATEACHOCTE, CYT		'r
73/20		10 10 Defut ale		1.80
		Продолжительность.сут		
<u>}</u>		KAURCTRO BOA	N	
		7 Home Br		ii ar
		1 Дата отбора пробы		
		2 Houre 1006u		
		3 Глубина отбора пробы. м		III BC.
		1 TEMPEPATYPA, COMAYON		
		1 5 PH		
		6 WECT.OBILLAS, MOND/A		: 10 доколнительные сведения
		7 CYX.OCTATOK MYA		
		8 OKKCA. HEPMAHE, MITA		
		9 ORHCH BUXPOM, MPA		
		IO JAMAX, BAARN		
		(1 ВКУС, баллы		
		12 UBETHOCTE, THAAVCE		
		13 MYTHOCTE, MP/A		
		14 CL Mr/A		Составил
		15 SOA, Mr/A		Проверка
		16 CO3, Mr/A		Перфорировал
		The second data to be and a second of the second		

Рис. 1. Пример паспорта скважины



Рис. 2. Обобщенная информационная модель базы данных

- Населенный пункт
- Бассейн подземных вод
- Месторождение подземных вод
- Речной бассейн
- Расчетный участок речного бассейна
- Водохозяйственный участок (подучасток)
- Форма рельефа
- Номенклатура планшета масштаба 1:200000
- Наименование документа
- Автор документа
- Инвентарный номер ТПФ
- Назначение скважины
- Организация, бурившая скважину
- Тип воды
- Техническое состояние
- Санитарное состояние.

Не зависящими от времени свойствами, имеющими несколько значений, являются:

- геологический возраст породы
- наименование породы
- характеристика установленного уровня воды
- тип фильтра
- характеристика понижения.

Для свойств зависящих от времени и имеющих несколько значений для одного и того же объекта таких свойств не удалось выявить.

Последний этап анализа данных по скважинам заключался в их формализация и представлении информации хотя бы в первой нормальной форме. Для этого были разработаны свои шаблоны о геологических индексах, а также были нормализованы такие свойства как: речной бассейн, форма рельефа, наименование документа, назначение скважины и т. д.

Структура базы данных

В соответствии с информационной моделью, приведенной на рисунке 2 структуру базы данных гидрогеологических параметров (параметры входят в базу данных) скважин Северо-Дагестанского артезианского бассейна можно представить в виде гиперкуба (рис. 3). Гиперкуб является основой хранилища и его организационная структура позволяет в дальнейшем достаточно легко переводить в форму OLAP- хранилища.

Фактической базой данных являются три основные таблицы: «Svedenya», «geologya» и «kachestvovodi». Они содержат подробные сведения о скважинах, которые в дальнейшем можно подвергнуть различным видам анализа. Таблица фактов «Svedenya» объединяет независимые от времени данные, имеющие одно значение, полученное на этапе бурения и обсадки скважины. Таблица фактов «geologya» содержит независимые от времени данные, имеющие несколько значений, характеризующие геологию и конструкцию скважины. И таблица фактов «kachestvovodi»
содержит данные о химическом составе воды и гидродинамических показателях, имеющие несколько значений, зависящих от времени проведения экспедиционных работ. Заметим, что в таблицах фактов нет никаких сведений о том, как группировать записи при вычислении агрегатных данных. Например, в них есть идентификаторы скважин, но отсутствует информация о том, к какой категории относится данная скважина. Эти сведения, в дальнейшем используемые для построения иерархий в измерениях куба, содержатся в таблицах измерений.

Таблицы измерений в основном содержат неизменяемые данные. Эти данные представляют собой по одной записи для каждого члена нижнего уровня иерархии в измерении. Таблицы измерений содержат одно описательное поле (обычно с именем члена измерения).

Таблицами измерений для нашей базы являются:

subjekt	relef	naznachenie	poroda
raion	autor	sanitsostoianie	harakteristustur
naspunkt	document	tehsostoianie	tipfiltra
reki	nomTRF	orgburivhskv	harakteristponijenia
katalnom	tipvodi	GVPi	

Каждая таблица измерений находится в отношении «один ко многим» с таблицей фактов. В нашем случае одно измерение куба содержится в одной таблице (в том числе и при наличии нескольких уровней иерархии). Подобная схема организации хранилища, когда каждое измерение содержится в одной таблице, носит название «звезда» (starschema).



Рис. 3. Структура базы данных параметров артезианских скважин.

Возможны случаи, когда хотя бы одно измерение содержится в нескольких связанных таблицах, такая схема хранилища данных носит название «снежинка». Дополнительные таблицы измерений в такой схеме, обычно соответствующие верхним уровням иерархии измерения и находящиеся в соотношении «один ко многим» к главной таблице измерений, соответствующей нижнему уровню иерархии, иногда называют консольными таблицами (outriggertable). В нашей задаче можно было бы провести такую иерархию, например для таблицы измерений «naspunkt» выделить такую иерархию как тип населенного пункта, район.

Заметим, что даже при наличии иерархий с целью повышения скорости выполнения запросов к хранилищу данных практически всегда предпочтение отдается схеме «звезда».Поэтому нами и была выбрана именно такая организация базы. Однако не все хранилища данных проектируются по двум приведенным выше схемам. Так, довольно часто вместо ключевого поля для измерения, содержащего данные типа «дата», и соответствующей таблицы измерений сама, таблица фактов может содержать ключевое поле типа «дата». В этом случае соответствующая таблица измерений просто отсутствует.

В случае несбалансированной иерархии в схему «снежинка» также следует вносить коррективы. В этом случае обычно в таблицеизмерений присутствует связь, аналогичная соответствующей связив основной базе данных.

Еще один случай отступления от правил – наличие нескольких разных иерархий для одного и того же измерения. В этом случае таблица измерений содержит поля для всех возможных иерархий с одними и теми же членами нижнего уровня, но с разными членами верхних уровней. Таблица измерений может также содержать поля, не имеющие отношения к иерархиям и представляющие собой просто дополнительные атрибуты членов измерений (memberproperties). Иногда такие атрибуты могут быть использованы при анализе данных.

Свойства базы данных

База данных содержит информацию о 1674 скважинах, пробуренных на территориях 20 районов и 327 населенных пунктов Республики Дагестан. На рисунке 4 представлена круговая диаграмма распределения скважин, по районам полученная по результатам анализа данных представленных в базе.

Как видно по этой диаграмме, распределение скважин является неравномерным и зависит от наличия на территории района поверхностных водоисточников (и спроса воды – т.е. плотность населения той или иной местности) Наибольшее количество скважин расположено в аридной зоне Ногайского района, где отсутствует поверхностный водосток.

На этапе разработки база данных включает 23 таблицы для решения задачи хранения информации, 6 форм, 8 макросов, 6 запросов для проведения обработки и вычислений. Объем занимаемой памяти около 10 Мб. Отметим, что для первого этапа работ база данных была спроектирована как поисково-информационная. С увеличением количества пользователей и требований можно достаточно легко создать различные объекты аналитической обработки данных.

Методика работы базы данных

Работа запросов связана с переводом географических координат в прямоугольные по системе СК-42 в соответствии с ГОСТР 51794-2008 [ГОСТР 51794-2008,



Рис. 4. Распределение скважин по районам Дагестана

2009; Мамаев, Ибаев, 2014]. Выбор данной системы определялся тем, что весь картографический материал Института геологии ДНЦ РАН оцифрован с использованием проекции Гаусса-Крюгера в системе СК-42. Разработка этих запросов обусловлена необходимостью привязки информации о скважинах к географической карте. В связи с недостаточностью и недостоверностью имеющейся информации о географических координатах на данном этапе нам не удалось произвести полную привязку базы данных к географической карте. Отсутствие такой информации также тормозит работу по разработке средств аналитической обработки пространственной информации по скважинам. В нашей базе данных информация о географических координатах присутствует лишь для скважин, расположенных на территориях Бабаюртовского и, частично, Тарумовского районов. Данную проблему предполагаем, решить в ходе экспедиционных работ, а в случае отсутствия финансирования – обработкой информации о географической привязке скважин, в которых примерно указано, где располагается скважина.

poisk			- =
Аптезиаски	е скважины	Республики	Дагестан
/Ipineouueitu		1 cen yostullu	Duccentan
Порядковый номер		Геологический вохраст	
Каталожный номер		Порода	
Район		 Характер уровня воды 	-
Населенный пункт		 Тип фильтра 	
Реки		• Характер понижения	
Tun воды		•	
Назначение			
Санитарное состояние		•	
Техническое состояние		-	
Организация бурившая скважин	p		
Рельеф			•
	Поиск Выход		
work H (1 ws1 → H H) 12 Her	фильтра Поиск		

Рис. 5. Главная форма базы данных.

Главной формой базы данных является форма «poisk» (рис. 5). Эта форма запускается сразу же после открытия базы.

На данной форме в двух колонках расположено 16 управляющих элементов (полей для ввода информации) связанных с таблицами измерений базы данных и две кнопки. Данная форма служит для поиска информации из базы данных по всем этим 16 критериям названия, которых указаны на форме.

Для поиска необходимой информации необходимо ввести критерии поиска в одно из полей данной формы или выбрать из ниспадающего списка и нажать кнопку Поиск. Работа кнопки Поиск обрабатывается макросом «poisk». При этом если критерии поиска находятся в левой колонке, то при нажатии открывается форма «Svedenya» (рис. 6).

Форма «Svedenya» отображает всю информацию о конкретной скважине удовлетворяющая критериям поиска и представляет собой электронный аналог паспорта скважины. Заметим, что критерии поиска в левой колонке формы «poisk»кроме критерия «порядковый номер» отбирает сразу несколько скважин. Информацию о количестве отобранных скважин можно увидеть на строке состояния формы (рис. 6) в левом нижнем углу.

Svedenya				_ = ×
Общие сведения	1			
Ноше сведения		กลายสายหลังและสาย กละพวรก ก็ละระดับเล		
Of name in the name of the nam	P.0.	пециой баггейи		Изличника суртаниции
Район	Ахтынский	Форма рельефа высокогорный эро	ионно-тектонический рельеф	Санитарное состояние
населенный пункт	с. Ахты	Инвентраный номер ТРФ	•	Техническое состояние
географическая привязка	3 км к северо - востоку	абсолютная отметка устья, м	1040	Организация бурившая скважину
	град мин сек	Глубина скважины, м	144	номенклатура планшета м- ба 1:200000
Северная широта		дата бурения	1932	Автор документа В/С кадастр 🔹
Восточная долгота		дата эксплуатации		Наименование документа
месторождение подземных вод	Ахтынское			
Геологическая характеристика	кважины			
	цн, наимен. Характеристика породы породы	воды, м воды, уровня воды	кол, мм фил, м от фил, м до	пра вори солевото состава Пониж, Харак Део, устур от мос от прод, м пониж л/с земли, м ур, м сут
1 Q 💌 0 4,8	4,8 суглянок 💌			
		1		
2 1 • 4,8 8,3	3,5 сланец 💌 тёмно-серый, глинистый	· · ·		
3 J 🔹 8,3 10,2	1,9 брехчия			
		1		
4 J • 10,2 10,7	0,5 песчаник • темно-серый, тонкозернистый, слюдистый	· · · ·		
5 J 💌 10,7 37,9	27,2 сланец темно-серый, глинистый, с прослоем брежчии			
6 J 💭 37,9 144,4 1	16,5 сланец темно-серый, глинистый,	75,7 фонтан		 cawoid 2,3
	с тонкими прослоями			
Качество воды				
№ дата отбора глубина Т проб	РН жёст. жёст. сух ост СІ общ устр.	SO4 SO3 HCO3 Na Na+K	Ca Mg NH4 H4SIO4 H25 CO2 Fe	F Kon- THTTP HILL NO2 NO2 CO3 J HBO2 Br O2: B2O3 Li Ba Sr H2SIO3 NO3
1 03.07.1934 75,7-144,4	1,7 4568 253,3	4 3013 126,6	22,9 8,1	
писы: Н 🗧 1 из 1 🔅 Н 🖂 🗸 С фильтром	Поиск)

Рис. 6. Форма «Svedenya».

На данной форме предусмотрены четыре управляющие кнопки. Кнопки со стрелками обеспечивают переход к информации о других скважинах в соответствующем направлении стрелка, вправо следующая скважина и стрелка влево предыдущая скважина.

Работа кнопки «Печать» обрабатывается макросом «pechatg». При нажатии на эту кнопку открывается отчет «Svedenya» (рис. 7).

Этот отчет содержит информацию аналогичную той, что содержится в форме на рис. 6 и служит для удобства вывода информации на бумажный носитель. В свою очередь данный отчет также содержит две управляющие кнопки. Кнопка «Закрыть» позволяет завершить просмотр данных без отправки на принтер и активизировать работу формы «Svedenya», а кнопка«Печать» обрабатываемая макросом «pechat»,обеспечивает вывод отчета на принтер, закрытие отчета и активизацию формы «Svedeya».

Нажатие кнопки «Закрыть» формы «Svedenya» обрабатывается макросом «vihod» и приводит к активизации главной формы базы.

Паспорт скважины 1 Закрыть Закрыть											
Номер по каталогу:	2	Северная шир	ота	Восточная ,	долгота	абсолютная отметка устья, м:	1040				
Область (край, АССР):	Р.Д.	град мин	сек	град и	ин сек	Глубина скважины, м:	144				
Район:	Ахтынский					дата бурения:	1932				
населенный пункт:	с. Ахты	Форма рельефа	высок	огорный эрози	юнно-тектонический	дата эксплуатации:					
географическая привязка:	3 км к северо -		релье	Þ		тип воды:	ras				
месторождение подземных вод:	востоку Ахтынское	номенклатура г	ланшета	м- 6а 1:20000	D:	Назначение скважины:	разведочная				
речной бассейн:		Наименование	докумен	ra:		Санитарное состояние:					
расчетный участок речного бассейна:		Автор документ	a:		В/С кадастр	Техническое состояние:					
		Инвентраный н	омер ТРФ			Организация бурившая скважи	ну:				
Varia mpa pa rei											
			504	5O3 HCO3	Na Na+K Ca	Mg NH4 H4SIO4 H2S C	02 Fe F				
1 03.07.1934 75.7-144.4	1.7 4	568 253.3	4	3013	126.6 22.9	8.1					
Nen К-титр колон HNC	13 HNO2 NO2 CO3	J HBO2 E	r 02	B203 L	.i Ba Sr H2	SIO3 NO3 SIO2 AI2O3 NH3	U Q1				
Геологическая характ	еристика										
N± ГВП(И) кров, подо мощ неименовен	Характеристика породы Гл пог	на устур Харусту	р D фил,	Инт уст Инт уст	т Тип Формула солев	юго состава пониж Хар пониж дебит, уст	ур Абс прод,				
ВГм ш,м нм ие породы	50Д.1	м вод, м вод	MIM	ф, м от ф, м до	фильтра	M	пов отм сут ем ур, м				
1 Q 0 4,8 4,8 суглинок											
2 Ј 4,8 8,3 3,5 сланец	тёмно-серый,										
	глинистый										
3 J 8.3 10.2 1.9 брекчии											
	тенно-серый										
4 3 10,2 10,7 0,5 11ecdamik	тонкозернистый,										
Puc. 7. Отчет Svedenya.											

При вводе критерия поиска в правую колонку (или выборе из ниспадающего списка) главной формы (рис. 5) и нажатии кнопки «Поиск» открывается форма «gp» (рис. 8).

-5	geolo	gya																				- 0	Х	c
	Pac	пре,	делені	ие скі	важи	н по	инде	ксу, на	именовани	ию по	родь	і, типу	фил	пьтра,	хара	ктеру	пониже	ния і	и уро	вня	Закрыт	ъ Печа	ать	Â
	Nº n.r	а ВГ	FE	вп	кров	подо ш	мощн	наимен. породы	Характеристика породы	Гл появ воды	уст ур воды	Хар уст ур воды	D фил	Инт уст фил, от	Инт уст фил, до	Тип фильтра	Форм сол состава	пони ж	Харак пониж	деб, л/с	уст ур от зем, м	Абсот пр ур,м с	од, .ут	
	1672	•	Q1-3	•	340	380	40 n	ecox 💌				•	108	345	365	Щелев ой		10	•	4	11	8		
	1672	•	2 Q1-3	•	397	425	68 n	ecox 💌				•	108	400	424	Щелев ой			•					
	1674	•	1 Q1-3	•	326	335	9 n	есок				•	146	327	337	Щелев ой		19	•	3,6	11	10		=
	1674	•	Q1-3	•	340	348	8 n	есок				•	146	341	345	Щелев ой 🔻			•					
_	1674	•	Q1-3	•	386	398	12 n	ecox 💌				-	146	385	395	Щелев ой 🖵			•					
3a	пись:	• - ∢ [1 из 5	F H (Сфил	ьтром	Поиск																¥

Рис. 8. Форма «gp».

Распр	Распределение скважин по индексу, наименованию породы, типу фильтра, характеру понижения и уровня																				
N# n.n	31	ran	кров і	подош	мощн	наимен. породы	Харантеристина породы	Гл появ воды	уст ур воды	Хар уст үр воды	D фил	Инт үст фил, от	Инт үст фил, до	Тип фильтра	Форм сол состава	пони ж	Харак пониж	деб, n/c	үст үр от зем, м	Абсат ур, м	прод, сут
1672	1	Q1-3	340	380	40	DECK					108	345	365	Щелевой		10		4	11	8	
1672	2	Q1-3	397	425	68	DECOS					108	400	424	Щелевой							
1674	1	Q1-3	326	335	9	DECOS					146	327	337	Щелевой		19		3,6	11	10	
1674	2	Q1-3	340	348	1	DECOS					146	341	345	Щелевой							
1674	3	Q1-3	386	198	12	DECK					146	385	195	Щелевой							

Рис. 9. Вид формы «gp» при выводе на печать

На данной форме отображается информация, по всем скважинам удовлетворяющая критериям поиска из правой колонки главной формы.

Управление формой «gp» осуществляется двумя кнопками. При нажатии на кнопку «Печать» запускается макрос «pechatgp» и происходит вывод на принтер содержимого формы (рис. 9).

Кнопка «Закрыть» служит для закрытия формы «gp» и активизации главной формы. И наконец, кнопка «Выход» главной формы обрабатывается макросом «zakrit»и служит для завершения работы с базой данных.

Заключение

Процесс формализации и структурирования данных в геологии является трудоемкой задачей. Проведена обработка пространственной информации по скважинам, расположенным на территории Республики Дагестан и предложена методика разработки поисково-информационной базы данных.

Для разработки полноценной информационно-аналитической системы недостаточно данных о географических координатах расположения скважин. Разрабатываемая база данных является первым шагом в работе по реализации масштабного проекта по созданию хранилища данных, содержащих информацию практически о всех геологических исследованиях которые проводит Институт геологии ДНЦ РАН.

База данных гидрогеологических параметров артезианских скважин может быть успешно использована при решении задач обеспечения населения питьевой водой, рационального использования источников питьевой воды и защиты окружающей среды. База данных может быть использована для прогноза процессов загрязнения питьевых вод, подтопления территорий, нарушения экологического состояния и т. д.

Литература

1. Востокова А.В., Кошель С.М., Ушакова Л.А. Оформление карт. Компьютерный дизайн: Учебник. – М.: Аспект Пресс, 2002. – 288 с.

2. Геоинформатика: в 2 кн. // Кн. 2: учебник для студ. высш. учеб. заведений / [Е.Г. Капралов, А.В. Кошкарев, В.С. Тикунова и др.]; под ред. В.С. Тикунова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 384 с.

3. ГОСТ Р 51794-2008 Глобальные навигационные спутниковые системы. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек. Издание официальное. – М.: Стандартинформ, 2009.

4. Залибеков З.Г., Баламирзоев М.А., Мамаев С.А., Идрисов И.А., Геоинформационная система – «Почвы Дагестана» // Труды Института геологии ДНЦ РАН. – 2012. – № 61. – С. 207-211.

5. Ибаев Ж.Г., Мамаев С.А. Общие принципы разработки постоянно действующей гидрогеолого-математической модели терско-кумского артезианского бассейна // Института геологии ДНЦ РАН. – 2008а. – № 52. – С. 260-264.

6. Информационные технологии в экономике и управлении // Под ред. В. В. Трофимова. – М.: Юрайт, 2011. – 478 с.

7. Курбанов М. К., Мамаев С. А., Ибаев Ж. Г. Постоянно действующая гидрогеолого-математическая модель формирования и управления ресурсами и качеством пресных подземных вод Терско-Кумского артезианского бассейна. // Труды Института геологии ДНЦ РАН. –2006. – № 50. – С. 143-147. 8. Курбанов М.К., Мамаев С.А., Ибаев Ж.Г., Гусейнова А.Ш., Мамаева А.С. Методы составления и структура базы данных для создания геоинформационных систем (ГИС) Терско-Кумского артезианского бассейна // Труды Института геологии ДНЦ РАН. –2009. – № 55. – С. 46-49.

9. Лурье И.К. Основы геоинформатики и создание ГИС. Дистанционное зондирование и географические информационные системы. Ч. 1 // Под ред. А.М. Берлянта. – М.: ООО «ИНЭКС-92», 2002. – 140 с.

10. Мамаев С. А., Ибаев Ж. Г. Информационные базы данных гидрогеологических параметров артезианских скважин Северо-дагестанского артезианского бассейна // Труды Института геологии ДНЦ РАН. – 2014. – № 63. – С. 325-329.

11. Мамаев С. А., Ибаев Ж. Г. Хранилища данных для информации по гидрогеологическим параметрам артезианских скважин // Труды Института геологии ДНЦ РАН. – 2015. – № 64. – С. 138-145.

12. Мамаев С. А., Ибаев Ж. Г., Гусейнова А. Ш. ГИС-технологии и их применение при составлении электронных карт. Геология, геодинамика и экология Кавказа // Труды Института геологии ДНЦ РАН. – 2016а. – № 66. – С. 279-284.

13. Мамаев С. А., Ибаев Ж. Г., Гусейнова А. Ш., Юсупов А. Р., Курбанисмаилова А.С. Применение электронных баз данных в геологических исследованиях // Труды Института геологии ДНЦ РАН. – 2016б. – № 67. – С. 309-315.

14. Мамаев С. А., Ибаев Ж. Г., Гусейнова А. Ш. Электронная база данных артезианских скважин Республики Дагестан // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Коллективная монография по материалам VII Всероссийской научно-технической конференции. – Грозный. – 2017а. – С. 330-339.

15. Мамаев С. А., Мамаев А. С., Гусейнова А. Ш., Ибаев Ж. Г. О принципах математического моделирования гидрогеологических объектов на территории Республики Дагестан // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Коллективная монография по материалам VII Всероссийской научно-технической конференции. – Грозный. – 2017б. – С. 383-392.

16. Мамаев С. А., Ибаев Ж. Г., Сулейманов В. К., Гусейнова А. Ш., Курбанисмаилова А. С., Абдулганиева Т. И., Мамаев А. С. Гидрогеолого-математическая модель формирования и управления ресурсами и качеством пресных подземных вод терско-кумского артезианского бассейна // Труды Института геологии ДНЦ РАН. – 2018. – №2 (73). – С. 62-71.

17. Черкашин В. И., Мамаев С. А., Ибаев Ж. Г., Маммаев А. О. Создание информационных электронных гидрогеологических карт с применением современных ГИС-технологий, мониторинг и анализ геоданных // Труды Института геологии ДНЦ РАН. – 2003. – № 49. – С. 85-93.

18. Asavin A. M., Chesalova E. I.. GIS model of ore deposite fe-mn crust from the seamounts of Sierra Leone rise // II International Conference «GIS in Geology» Extended abstracts. – Moscow. – 2004. – Pp. 9-11.

19. Atkinson P., Vieira R. Beginning Microsoft SQL Server 2012 Programming // «Wrox». – 2012. – 864 pp.

20. Celko J. Joe Celko's Analytics and OLAP in SQL // Gardners Books. – 2012. – 208 pp.

21. Itzik Ben-Gan T-SQL Fundamentals for Microsoft SQL Server 2012 and SQL Azure // 1 edition, Microsoft Press. – 2012. – 448 pp.

22. Schrader M. Oracle Essbase& Oracle OLAP // Gardners Books. - 2007. - 528 pp.

APPLICATION OF ELECTRONIC DATABASES IN GEOLOGICAL RESEARCH-RESEARCH

© 2018 S.A. Mamaev, Sc. Candidate (Tech.), Zh.G. Ibaev, Sc. Candidate (Phys.-Math.), A.Sh. Guseinova, A.S. Kurbanismailova, A.S. Mamaev

Institute of Geology of the Dagestan Scientific Center of the RAS, Russia, 367010, Republic of Dagestan, Makhachkala, Yaragskiy Str., 75, e-mail: dangeogis@mail.ru

Intensive development of information technologies has led to their wide use in all spheres of modern science. This paper discusses the use of information technologies for storage and processing the information accumulated in various geological collections and, in particular, in the funds of the Institute of Geology of the Dagestan Scientific Center of Russian Academy of Sciences. The major challenge that must be addressed to is the problem of formalization and normalization of information. These problems can be successfully solved with the use of modern software tools for data warehousing, analytical data processing systems, i. e. the so-called OLAP-equipment and various means of data analysis. The whole process of development of information-analytical system begins with identifying ways of secure data storage. Thus, this article deals with the issues on creation of information-searching database of the wells drilled in different times in the territory of the Republic of Dagestan. For these purposes it is helpful to use the available database management system Microsoft Access. Quite a lot of work has been done to formalize information on wells; the problems of development of electronic databases in geology have been described. Using relational database technology developed has been the database of hydrogeological parameters of artesian wells located in the territory of the Republic of Dagestan. The technique for operation of the database is described.

Keywords: database, analytical systems, artesian basin, GIS systems.

References

1. Vostokova A. V., Koshel' S. M., Ushakova L. A. Oformlenie kart. Komp'yuternyj di-zajn: Uchebnik. – M.: Aspekt Press, 2002. – 288 s.

2. Geoinformatika: v 2 kn. // Kn. 2: uchebnik dlya stud. vyssh. ucheb. zavedenij / [E. G. Kapralov, A. V. Koshkarev, V. S. Tikunova i dr.]; pod red. V. S. Tikunova. – 2-e izd., pererab. i dop. – M.: Izdatel'skij centr «Akademiya», 2008. – 384 s.

3. GOST R 51794-2008 Global'nye navigacionnye sputnikovye sistemy. Sistemy koordinat. Metody preobrazovanij koordinat opredelyaemyh tochek. Izdanie oficial'noe. – M.: Standartinform, 2009.

4. Zalibekov Z.G., Balamirzoev M.A., Mamaev S.A., Idrisov I.A., Geoinformacionnaya sistema – «Pochvy Dagestana» // Trudy Instituta geologii DNC RAN. – 2012. – $N_{\rm P}$ 61. – S. 207-211.

5. Ibaev ZH. G., Mamaev S.A. Obshchie principy razrabotki postoyanno dejstvuyushchej gidrogeologo-matematicheskoj modeli tersko-kumskogo artezianskogo bassejna // Instituta geologii DNC RAN. – 2008a. – № 52. – C. 260-264.

6. Informacionnye tehnologii v ekonomike i upravlenii // Pod red. V.V. Trofimova. – M.: YUrajt, 2011. – 478 s.

7. Kurbanov M.K., Mamaev S.A., Ibaev ZH. G. Postoyanno dejstvuyushchaya gidrogeologo-matematicheskaya model' formirovaniya i upravleniya resursami i kachestvom presnyh podzem-nyh vod Tersko-Kumskogo artezianskogo bassejna. // Trudy Instituta geologii DNC RAN. –2006. – № 50. – S. 143-147.

8. Kurbanov M.K., Mamaev S.A., Ibaev ZH. G., Gusejnova A. SH., Mamaeva A.S. Metody sostavleniya i struktura bazy dannyh dlya sozdaniya geoinformacionnyh

sistem (GIS) Ter-sko-Kumskogo artezianskogo bassejna // Trudy Instituta geologii DNC RAN. –2009. – № 55. – C. 46-49.

9. Lur'e I.K. Osnovy geoinformatiki i sozdanie GIS. Distancionnoe zondirova-nie i geograficheskie informacionnye sistemy. CH. 1 // Pod red. A.M. Berlyanta. – M.: OOO «INEKS-92», 2002. – 140 s.

10. Mamaev S.A., Ibaev Zh. G. Informacionnye bazy dannyh gidrogeologicheskih para-metrov artezianskih skvazhin Severo-dagestanskogo artezianskogo bassejna // Trudy Insti-tuta geologii DNC RAN. – 2014. – N 63. – S. 325-329.

11. Mamaev S.A., Ibaev Zh. G. Hranilishcha dannyh dlya informacii po gidrogeologiche-skim parametram artezianskih skvazhin // Trudy Instituta geologii DNC RAN. – $2015. - N_{2}64. - S. 138-145.$

12. Mamaev S.A., Ibaev Zh. G., Gusejnova A. SH. GIS-tehnologii i ih primenenie pri sostavlenii elektronnyh kart. Geologiya, geodinamika i ekologiya Kavkaza // Trudy Instituta geologii DNC RAN. – 2016a. – № 66. – S. 279-284.

13. Mamaev S.A., Ibaev Zh. G., Gusejnova A. SH., YUsupov A. R., Kurbanismailova A.S. Primenenie elektronnyh baz dannyh v geologicheskih issledovaniyah // Trudy Instituta geologii DNC RAN. – 2016b. – № 67. – S. 309-315.

14. Mamaev S.A., Ibaev Zh. G., Gusejnova A. SH. Elektronnaya baza dannyh artezianskih skvazhin Respubliki Dagestan // Sovremennye problemy geologii, geofiziki i geoekologii Severnogo Kavkaza. Kollektivnaya monografiya po materialam VII Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoj konferencii. – Groznyj. – 2017a. – S. 330-339.

15. Mamaev S.A., Mamaev A.S., Gusejnova A. SH., Ibaev ZH. G. O principah matematiche-skogo modelirovaniya gidrogeologicheskih ob`ektov na territorii Respubliki Dagestan // Sovremennye problemy geologii, geofiziki i geoekologii Severnogo Kavkaza. Kollektiv-naya monografiya po materialam VII Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoj konferencii. – Groznyj. – 2017b. – S. 383-392.

16. Mamaev S.A., Ibaev Zh. G., Sulejmanov V.K., Gusejnova A. SH., Kurbanismailova A. S., Abdulganieva T. I., Mamaev A. S. Gidrogeologo-matematicheskaya model' formirovaniya i upravleniya resursami i kachestvom presnyh podzemnyh vod terskokumskogo artezianskogo bassejna // Trudy Instituta geologii DNC RAN. – 2018. – N_{2} (73). – S. 62-71.

17. Cherkashin V. I., Mamaev S.A., Ibaev ZH. G., Mammaev A.O. Sozdanie informacion-nyh elektronnyh gidrogeologicheskih kart s primeneniem sovremennyh GIS-tehnologij, monitoring i analiz geodannyh // Trudy Instituta geologii DNC RAN. – $2003. - N_{2}49. - S. 85-93.$

18. Asavin A. M., Chesalova E. I.. GIS model of ore deposite fe-mn crust from the seamounts of Sierra Leone rise // II International Conference «GIS in Geology» Extended abstracts. – Moscow. – 2004. – Pp. 9-11.

19. Atkinson P., Vieira R. Beginning Microsoft SQL Server 2012 Programming // «Wrox». – 2012. – 864 pp.

20. Celko J. Joe Celko's Analytics and OLAP in SQL // Gardners Books. – 2012. – 208 pp.

21. Itzik Ben-Gan T-SQL Fundamentals for Microsoft SQL Server 2012 and SQL Azure // 1 edition, Microsoft Press. – 2012. – 448 pp.

22. Schrader M. Oracle Essbase& Oracle OLAP // Gardners Books. - 2007. - 528 pp.

VДК 551.242.51; 504.54 DOI:10.23671/VNC.2018.4.20149

ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ ИМПАКТНЫЕ СТРУКТУРЫ: ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ

© 2018 А.В. Николаев¹, д. ф.-м. н., член-корр. РАН, В.Т. Трофимов², д. г.-м. н., А.Д. Жигалин^{1, 2}, к. г.-м. н., В.С. Лавров¹

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

²ФГБОУВО Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Россия, 119991, г. Москва, Ленинские горы, 1, e-mail: trofimov@rector. msu. ru

Образование природных и техногенных импактных (ударных) геологических структур происходило в условиях воздействия очень высоких температур и давления. В природных импактных структурах формировались месторождения алмазов, золота, урана, меди и других ценных полезных ископаемых. Искусственные импактные структуры, образовавшиеся при проведении подземных ядерных взрывов, характеризуются неустойчивостью быстрой изменчивостью во времени и возможностью проявления отдаленных экологических эффектов в виде спонтанной радиоактивности. В статье обобщены результаты последних исследований импактных структур; полученные результаты отрывают новый взгляд на генезис минералов, возможную роль трансмутации элементов.

Ключевые слова: природные и техногенные импактные структуры, подземные ядерные взрывы, полезные ископаемые, георадиологические эффекты.

Введение

Импактные геологические структуры образовались в результате падений крупных метеоритов, астероидов, а также при проведении ядерных взрывов.

На поверхности Земли эпицентральные области этих воздействий имеют кольцевую форму. Крупные кольцевые структуры, вызванные падением астероидов, астроблемы, имеют в поперечнике 100 км и более.

Изучение импактных структур на поверхности Земли, Луны и планет земной группы показывает, что «бомбардировка» планет малыми космическими телами является ординарным явлением, по крайней мере, в рамках Солнечной системы. Наиболее полное представление о характере импактных структур дает поверхность обратной стороны Луны, испещренная астроблемами, кольцевыми структурами – следами падения астероидов. Сторона, обращенная к Земле, имеет совершенно иной облик – сравнительно небольшое количество астроблем, вулканические кальдеры. Земля экранирует видимую сторону Луны от падения астероидов, вместе с тем обратная сторона Луны показывает насколько интенсивной оказывается бомбардировка метеоритами. На поверхности Земли геологические процессы стерли почти все следы импактного воздействия. Поэтому оставшиеся кольцевые структуры, астроблемы, сравнительно немногочисленны.

Техногенные импактные структуры – это вторичные геологические образования, сформированные в течение нескольких десятков лет после проведения

подземных ядерных взрывов. По своим характеристикам они отличаются от своих природных аналогов, поскольку формируются в специфических условиях – в момент взрыва и в течение очень краткого, ~10⁻⁶ с интервала времени после него. Вследствие чрезвычайно высокой температуры, ~10⁶ °С и громадного избыточного давления, $\sim 10^6 \ \Gamma \Pi a$, сопутствующим подземному ядерному взрыву, происходит скоротечное расширение находящихся в малом объеме под высоким давлением раскаленных газов и продуктов взрыва, образовавшихся в результате термических перевоплощений горных пород, образуется взрывная полость; с удалением от очага следует зона механического разрушения горных пород, трещин, пластических деформаций и механических колебаний в массиве горных пород. Для большинства геологических условий сред взрывная полость не является устойчивой, вследствие чего происходит постепенное обрушение ее кровли. Зона механической разгрузки образует поднимающийся к поверхности земли «столб обрушения». Взрывная полость заполняется обломками обрушенной кровли. Наши скважинные наблюдения в Воротиловской глубокой скважине показывают, что зона разгрузки в астроблеме за 35 млн лет погрузилась ниже 6500 м. Это процесс должен происходить и в очаговых зонах ядерных взрывов, однако, эта проблема остается пока неизученной.

Природные импактные структуры

Природные импактные структуры, образовавшиеся падении на Землю крупных метеоритов и астероидов, начали идентифицироваться как самостоятельные геологические объекты с середины прошлого века, но систематическое их исследование приобрело широкий размах в 60-80-е годы одновременно с началом углубленного изучения Земли и околоземного космического пространства автоматическими и пилотируемыми аппаратами. В научный обиход в это время были введены термины «астроблема» и «импактный кратер», а число открываемых ударно-взрывных структур начало быстро возрастать. Сейчас на земной поверхности выявлено с достоверной доказанностью происхождения более 150-180 (по разным данным) таких объектов. Современный полный каталог импактных структур на поверхности Земли насчитывает 1526 образований, из которых 223 считаются достоверными, 251 – вероятными, 951 – возможными, которые еще требуют исследований, 101 – неустановленными. Такое расхождение данных объясняется, в первую очередь, неутихающими спорами о происхождении целого ряда обнаруженных структур – «кандидатов» в астроблемы, но еще не признанных таковыми. Карты размещения выявленных ударных кратеров на земной поверхности говорят не о вероятном наличии таких форм на нашей планете, а скорее об уровне исследований этой проблемы в тех или иных частях земного шара. Более того, огромная территория океанов, как можно предполагать с высокой степенью вероятности, прячет в своих водах не меньше, а существенно больше, если учесть соотношение площадей океана и суши, подобных структур.

В нашей стране среди выявленных импактных структур различного возраста (от 3,5-5 до 380-700 млн лет) и разной величины (диаметр от 0,25-3 до 65-100 км) наиболее известными являются Попигайский метеоритный кратер (Попигайская астроблема) в Восточной Сибири, в долине р. Попигай, и Пучеж-Катунская (Пучеж-Катункская) астроблема, первая из обнаруженных в нашей стране структур подобного рода, находящаяся в Нижегородской области. Схематический поперечный разрез импактной структуры (кратера) представлен на рисунке 1 [Вишневский, 2016; Масайтис, 2016].

Попигайская астроблема, диаметр которой составляет около 100 км, по величине делит четвертое место в мире с кратером Маникуаган в Канаде, имеет возраст примерно 36 млн лет. Котловина кратера была открыта в 1946 г. В 1970 году была выдвинута гипотеза о её метеоритном происхождении, основанная на изучении выходящих на поверхность горных пород, носящих следы дробления и ударного плавления. В результате геологоразведочных работ в пределах Попигайского кратера, вблизи «мишени» и на значительно удалении от нее, были обнаружены месторождения алмазов, а в 2012 г. были обнародованы сведения о том, что в районе кратера находится крупнейшее в мире месторождение импактных алмазов (рис. 2).



Рис. 1. Схематический геологический разрез импактной структуры (астроблемы): 1 – центральное поднятие (мишень); 2 – кольцевые поднятия (выбросы) у кратеров большого диаметра; 3 – разрушенная коренная порода; 4 – импактиты (расплавленные горные породы); 5 – брекчированные породы

Пучеж-Катунский кратер диаметром около 80 километров, имеющий возраст около 167 млн лет, располагается примерно в 80 км севернее г. Нижний Новгород. В рельефе кратер никак не выражен, поскольку заполнен более поздними осадочными отложениями. С другой стороны, на космических снимках района хорошо просматривается округлая структура диаметром 140 км, центрированная относительно геометрического центра кратера. Эта, близкая по форме к кольцевой, структура отображается в дугообразной форме верхнего течения р. Лух на западе и р. Керженец и ее правого притока на востоке. Учитывая размеры Пучеж-Катунской астроблемы и предполагаемую силу удара, при которой она сформировалась, можно говорить о ее возможной алмазоносности, сходной с алмазоносностью Попигайской импактной структуры. Правда, речь идет о так называемых импактных алмазах, имеющих очень малые размеры и не пригодных для ювелирной огранки. Однако такого рода алмазы обладают повышенными, по сравнению с обычными алмазами, абразивными свойствами, что может представлять интерес для промышленного производства. В настоящее время идея разработки месторождений импактных алмазов рассматривается как оптимистичная перспектива, а не как планы ближайшего будущего. Предпочтение пока безоговорочно отдается традиционным алмазоносным кимберлитовым трубкам (это приблизительно 90% всех запасов алмазных месторождений). Что касается происхождения кимберлитовых алмазов, считается, хотя и не без



Рис. 2. Находки алмазов (черные кружки) в импактитах Попигайской астроблемы (выделена белым) в 1971-1973 гг. [Вишневский, 2007]

проблемных дискуссий, что алмазы кристаллизовались очень глубоко – на глубине нахождения ультраосновных пород в условиях воздействия высоких температуры и давления, после чего залежи увлекались потоками магмы наверх. При этом некоторые алмазы могли возникать уже в процессе подъёма породы вместе с магмой к поверхности земной коры (рис. 3).

Исследования алмазоносных структур, проведенные методом микросейсмического зондирования (ММЗ), показали, что самая верхняя часть субвертикальной неоднородности имеет бо́льший диаметр, чем глубокое тело трубки, а само тело имеет «бокалообразную форму» [Николаев, Французова, 2017].

Природные импактные структуры (астроблемы) представляют собой своего рода памятники геологической истории Земли во всем ее многообразии. И в то же время, перспектива освоения в будущем месторождений импактитовых алмазов и других «экзотических» минеральных полезных ископаемых, сопутствующих импактным структурам, ставит астроблемы в ряд наиболее интересных с практической точки зрения объектов природы.

Как существенная особенность известных на сегодняшний день импактных структур отмечается отсутствие следов радиации, сколько-нибудь превышающей региональные фоновые значения для места их нахождения при том, что эти структуры отображаются в геофизических полях иной природы, например, в гравитационном и геомагнитном. В некоторых «околонаучных» публикациях импактные структуры рассматриваются как свидетельства ядерных войн, имевших место в



Рис. 3. Формирование алмазоносной кимберлитовой трубки в соответствии с теорией вулканического происхождения. Показано, как по стволу, увлекаемые магмой, поднимаются породы, содержащие алмазы

весьма далеком прошлом. Однако отсутствие следов радиоактивности в импактитах, противоречит такого рода предположениям.

Техногенные импактные структуры

К техногенным импактным структурам могут быть отнесены геологические новообразования, сформированные подземными ядерными или большими химическими взрывами. Подземные ядерные взрывы применялись для испытаний новых образцов ядерного оружия.

Эпоха «промышленных атомных взрывов» в нашей стране началась в марте 1965 г., когда в Башкирии был произведён подрыв сразу двух ядерных зарядов. Это была первая попытка использовать атомный взрыв для интенсификации добычи нефти на «проблемном» месторождении. В 1966 г. в Казахстане атомным зарядом была создана полость-хранилище в подземном массиве каменной соли. В 1969 г. на Ставрополье ядерным фугасом попытались интенсифицировать дебитную добычу газа. В 1970 г. в Оренбургской обл. создали подземную ёмкость для хранения газа.

Подземные ядерные взрывы как технологический процесс развиваются по определенному алгоритму. При начальной стадии развития взрыва в горных породах возникают и распространяются тепловая волна, ударная волна и волна сжатия (сейсмическая или сейсмовзрывная волна). В общих чертах, создается ситуация, сходная с той, которая возникает при импактном воздействии на поверхность Земли. С той лишь разницей, что «форс-мажорные» условия создаются не на земной поверхности, а на большой глубине. В результате в очаге ядерного взрыва образуется сферическая взрывная полость. Для большинства грунтов взрывная полость оказывается неустойчивой, вследствие чего происходит обрушение кровли и полость заполняется обломками породы с высоким содержанием радиоактивных материалов. Над полостью образуется коническая фигура с вершиной, обращенной вниз, к очагу взрыва. Если взрыв происходит в скальных грунтах, находящихся под слоем осадков, то полость, образовавшаяся после взрыва, также заполняется обломками, оставляя на поверхности просевший кратер (рис. 3).

При подземном ядерном взрыве в осадочных породах земная поверхность остается неизмененной. Примерно через 1 мс после взрыва полость начинает раздуваться, сбрасывая давление до миллиона атмосфер. Расширение продолжается до тех пор, пока давление газов не уравняется с давлением в окружающих породах. Температура к тому моменту снижается до нескольких тысяч градусов и внутри полости накапливается значительный слой расплавленного скального материала, в котором остается большинство тяжелых радиоактивных изотопов.

При подземных ядерных взрывах создаются условия, сходные с теми, которые сопутствуют природным импактным событиям, а именно чрезвычайно высокая температура и давление. Как следствие, в очаговой обрасти взрыва протекают сложные процессы минерагенеза с образованием новых минералов, возможно, что в том числе и алмазов. Следует отметить, что пока сведения о находках алмазов в местах проведения подземных ядерных взрывов отсутствуют, равно как и сведения о проведении исследований в этом направлении. Не исключено, что серьезным препятствием для этого служит «экологический фактор».

Радиоэкология техногенных импактных структур

Принято считать, что при подземном ядерном взрыве на большой глубине проникающая радиация поглощается грунтом, радиоактивные продукты взрыва остаются в полости и заполняющей ее толще разрушенной породы. В то же время, нахождение радиоактивных материалов всегда сопряжено с риском возникновения радиационной опасности. Так, при проведении мирных ядерных взрывов в нашей стране, согласно официальным данным, в четырех случаях произошло радиоактивное загрязнение территории. К 1994 г., спустя 20-30 лет после проведения взрывов, также по официальным данным, в 24 случаях из 115 остались «локальные надфоновые загрязнения вокруг скважин». Временная неустойчивость полостей, образовавшихся вследствие подземных ядерных взрывов, дает основание предполагать, что со временем возможно формирование аналогичных локальных надфоновых аномалий радиоактивности, превышающих санитарные нормативные показатели, какие возникли как чрезвычайные ситуации при проведении взрывов. Это обстоятельство является ограничивающим «экологическим фактором» при изучении возможности поисков полезных ископаемых, характерных для природных импактных структур, в окрестностях эпицентров проводившихся подземных ядерных взрывов.

С течением времени все отчетливее вырисовывается проблема отдаленных последствий ядерных взрывов. Выходящие за рамки статьи вопросы остаточной радиации, возникшей в результате проведения испытательных ядерных взрывов в атмосфере, в водной среде и на поверхности, в данном случае не рассматриваются. Речь идет лишь о том, что подземные полости, образовавшиеся при проведении взрывов на больших глубинах (а это почти два десятка гигантских подземных газои нефтехранилищ, сооружённых в пластах каменной соли с помощью атомных взрывов), с течением времени не только накапливают радиоактивный рассол, но и

выдавливают его к поверхности земли, что может заметно ухудшать радиационную обстановку. Некоторые из этих ёмкостей уже пришлось замуровать. Место, где был когда-то произведён подземный атомный взрыв, фактически становится захоронением радиоактивных отходов. Правда, оно скрыто в земной толще на глубине 1-2 км (хотя было зафиксировано 5 неудачных случаев, когда при подземном взрыве его продукты сразу же вырывались на поверхность). Но со временем подвижки земной коры, мигрирующие грунтовые воды, подверженные коррозии трубы и обсадные колонны могут привести к распространению радионуклидов. Поэтому места взрывов законодательством определены как ядерные установки в стадии вывода из эксплуатации, что требует долговременного расходования средств для контроля их состояния и поддержания в надёжной изоляции. Специалисты в области радиогеоэкологии склоняются к тому, что атомные взрывы оказались неприемлемы для строительных работ на поверхности земли (сооружение каналов, водохранилищ, насыпных плотин и т. д.) – радиоактивное заражение местности, пусть даже небольшое, не оправдывает достигаемых целей. В силу этого существует необходимость изучения радиогеоэкологической обстановки во всех местах проведения ядерных взрывов, не только подземных, но и камуфлетных, и других видов, как «военных», так и мирных. Особенно это важно для мест перспективного промышленного и градостроительного освоения.

Некоторые задачи, связанные с уменьшением опасности освоения территорий, отчужденных в свое время для проведения ядерных взрывов, могут быть решены. Так, для дезактивации территории в окрестностях Чернобыльской АЭС используется «бактериологическая» технология, ускоряющая распад радионуклидов. Такая же технология используется для дезактивации Теченского каскада водоемов в Челябинской области, куда в течение 1948-1956 гг. сбрасывались отходы химкомбината в г. Озерске [Корнилова, Высоцкий, 2017]. Эта технология пока имеет ограниченное применение, но обнадеживающие перспективы и в дальнейшем, возможно, будет широко применяться при решении задач радигеоэкологического контроля.

Заключение

Природные и техногенные импактные структуры имеют много сходных черт – и тот, и другой виды геологических структур формировались при очень высоких термодинамических условиях. В этих условиях исходные горные породы в «мишенях» импактных структур и подземных полостях претерпевали значительные изменения, в результате чего могли формироваться пригодные для разработки месторождения «экзотических» полезных ископаемых – алмазов, нефти, угля, золота, урана, меди, никеля и др. Это привлекает внимание к этим структурам – природным как к памятникам геологической истории Земли и месторождениям ценных полезных ископаемых, а также техногенным как к объектам повышенного «радиоэкологического интереса» и как лабораториям по изучению последствий ядерных взрывов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, Грант 16-05-00-276

Авторы выражают благодарность В. Л. Масайтису (ВСЕГЕИ), С. А. Вишневскому (ИГМ СО РАН), А. А. Корниловой (МГУ), В. И. Французовой (ИЭПС УрО РАН) и другим коллегам, чьими материалами они воспользовались при работе над статьей, а также Российскому фонду фундаментальных исследований за материальную поддержку.

Литература

1. Вишневский С.А. Попигайская астроблема. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2016. – 71 с.

2. Гласс И.И. Ударные волны и человек. М.: Изд-во «Мир», 1977. 192 с.

3. Корнилова А.А., Высоцкий В.И. Синтез и трансмутация стабильных и радиоактивных изотопов в биологических системах РЭНСИТ // Ядерная физика. – 2017. – № 1. Т. 9. – С. 52-64.

4. Масайтис В. Л. О геологическом картографировании импактных структур. // Региональная геология и металлогения. – 2016. – № 67. – С. 61-69.

5. Николаев А.В., Французова В.И. Сейсмическая томография: о генезисе алмазоносных трубок // Геология и геофизика Юга России. – 2017. – №4. – 73-83.

NATURAL AND TECHNOGENIC IMPACT STRUCTURES: GEOLOGICAL AND ECOLOGICAL ASPECT

© 2018 A.V. Nikolaev¹, Sc. Doctor (Phys.-Math.), Prof., V.T. Trofimov², Sc. Doctor (Geol.-Min.), Prof., A.D. Zhigalin¹, Sc. Candidate (Geol.-Min.), V.S. Lavrov¹

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

²Educational Institution of Higher Education M.V. Lomonosov Moscow State University, Russia, 119991, Moscow, Leninskie Gory, 1, e-mail: trofimov@rector. msu. ru

The formation of natural and man-made impact (shock) geological structures occurred under the influence of very high temperatures and pressure. Natural impact structures formed deposits of diamonds, gold, uranium, copper and other valuable minerals. Artificial impact structures developed during underground nuclear explosions are characterised by time instability and the possibility of remote environmental effects in the form of spontaneous radioactivity. The article summarizes the results of recent studies of impact structures, the results reveal a new view on the Genesis of minerals, the possible role of transmutation of elements.

Keywords: natural and technogenic impact structures, underground nuclear explosions, minerals, georadiologycal effects.

References

1. Vishnevskij S.A. Popigajskaya astroblema [Popigai Astrobleme]. Novosibirsk: Akademicheskoe izd-vo "Geo", 2016. 71 p. (in Russian)

2. Glass I.I. Udarnye volny i chelovek [Shock waves and man]. M. Izd-vo "Mir", 1977. 192 p. (in Russian)

3. Kornilova A.A., Vysockij V.I. Sintez i transmutaciya stabil'nyh i radio-aktivnyh izotopov v biologicheskih sistemah RENSIT [Synthesis and transmutation of stable and radioactive isotopes in biological systems RENSIT]. Yadernaya fizika. 2017. No. 1. Vol. 9. Pp. 52-64. (in Russian)

4. Masajtis V.L. O geologicheskom kartografirovanii impaktnyh struktur [On the geological mapping of impact structures]. Regional'naya geologiya i metallogeniya. 2016. No. 67. Pp. 61-69. (in Russian)

5. Nikolaev A.V., Francuzova V.I. Sejsmicheskaya tomografiya: o genezise almazonosnyh trubok [Seismic tomography: about the genesis of diamond tubes]. Geologiya i geofizika Yuga Rossii. 2017. No. 4. Pp. 73-83. (in Russian) VДК 550.837 DOI:10.23671/VNC.2018.4.20151

ВЫЯВЛЕНИЕ ПРИЗНАКОВ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ НА ОСНОВЕ ВЫДЕЛЕНИЯ ФОНОВЫХ И ЛОКАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ПЕРЕДОВОГО ХРЕБТА (СЕВЕРНЫЙ КАВКАЗ)

© 2018 С.Г. Парада, д. г.-м. н.

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

Предложен способ разделения обобщенных полей кажущегося электрического сопротивления (рк) и кажущейся поляризуемости (η_κ) на фоновую (региональную) и аномальную (локальную) составляющие с дифференцированием массива данных относительно условного нуля, что позволило выделить аномалии соответствующих порядков. Область повышенных значений ρ_{κ} на карте регионального фона соответствует массиву позднепалеозойских кварцевых диоритов палеозойского интрузивного комплекса. Область пониженных значений ρ_{κ} у восточной границы изученной территории может быть связана с повышенной температурой недр. Отрицательные локальные аномалии ρ_{κ} приурочены к участкам разломов и местам их пересечений. Положительные аномалии ρ_{κ} частично совпадают с выходами золотоносных скарнов Зыгыркольской зоны и с геохимическими аномалиями золота во вторичных ореолах рассеяния. Область повышенных значений η_к на карте регионального фона обусловлена гидротермально-метасоматической деятельностью тырныаузской рудно-магматической системы, которая обеспечила появление ореола рассеянной сульфидизации, золотого и редкометалльного оруденения. Большинство локальных аномалий η_к связаны с обводненными зонами разломов. Отдельные положительные аномалии η_к, совпадающие с положительными аномалиями рк, могут указывать на участки гидротермально-метасоматических пород с рассеянной вкрапленностью рудных минералов. Учитывая, что такого типа аномалиями сопровождаются золотоносные скарны Зыгыркольской зоны, они могут являться первоочередными объектами для постановки поисковых работ.

Ключевые слова: электроразведка, вызванная поляризация, электрическое сопротивление, поляризуемость, аномалии локальные, аномалии региональные, золотое оруденение, Северный Кавказ

Введение

В последние годы в Восточной части минерагенической зоны Передового хребта (Кабардино-Балкарская республика) открыты рудопроявления самородного золота. Наиболее перспективные из них располагаются к северо-западу от крупнейшего молибден-вольфрамового месторождения Тырныауз и приурочены к скарнам Зыгыркольской тектонической зоны [Емкужев, Джубуев, 2012; Парада, Столяров, 2012; Парада, 2017]. Учтенные Государственным балансом прогнозные ресурсы золота соответствуют крупному месторождению. Обосновано отнесение выявленных рудопроявлений к золото-скарновому геолого-промышленному типу с рудами убогосульфидной формации [Parada et al., 2017]. В настоящее время поисковые работы с оценкой запасов золота продолжаются.

Несмотря на сильно расчлененный высокогорный рельеф, доступные изучению коренные выходы пород на территории поисков составляют не более 20%, остальная площадь перекрыта различными по происхождению наносами. Подножия крутых склонов перекрыты грубообломочными обвально-осыпными (коллювиальными) накоплениями. Мощность коллювиальных отложений по данным буровых работ достигает 50-100 м. Относительно пологие склоны и водоразделы почти сплошь покрыты элювиально-делювиальными отложениями, представленными дресвяно-щебнистым и супесчано-суглинистым материалом. Морены различного возраста развиты в ледниковых цирках и в долинах рек Зыгыр-кол, Большой Суарык, Ташорун и представляют собой грубообломочные несортированные накопления, сложенные глыбами, мелкими обломками, щебнем и песчаным материалом и также обладают повышенной мощностью. Отмечаются солифлюкционные и более крупные по масштабам оползневые явления. Все это сильно затрудняет геолого-поисковые работы стандартными геологическими и геохимическими методами, что диктует необходимость применения методов поисковой геофизики.

Одним из основных геофизических методов поисков рудных объектов является метод вызванной поляризации (ВП), позволяющий получить данные о кажущемся удельном электрическом сопротивлении (р_к) и кажущейся поляризуемости (п_к) горных пород, метасоматитов и рудных минерализаций [Комаров, 1980]. Эффективность метода ВП при поисках коренных золоторудных объектов подтверждена неоднократно [Seigel, 1984; Doyle, 1990; Oldenburg, 1997; Тарасов и др., 2010; и др.], в том числе и на Северном Кавказе [Емкужев и др., 2013; Заалишвили и др., 2015; Тарасов и др., 2015а; Чотчаев, Гогичев, 2016; Парада, Тарасов, 2017 и др.]. Однако следует иметь в виду, что геофизические аномалии не являются прямыми признаками золотого оруденения. Они могут свидетельствовать о наличии гидротермально-метасоматических образований, которые могут включать золотое оруденение. В зависимости от генетического и (или) геолого-промышленного типа оруденения это участки скопления кварцевых жил, протяженные зоны окварцевания и (или) прожилково-вкрапленной сульфидной минерализации и др. В нашем случае – это гранат-пироксеновые скарны, в том числе окварцованные и (или) с наложенной сульфидной минерализацией [Столяров и др., 2016]. Не исключается наличие и других продуктивных на золото типов гидротермалитов и метасоматитов.

Опубликованные нами ранее результаты геофизических работ по изучаемой площади [Тарасов и др., 20156], касались интерпретации данных электроразведки, основанной на анализе первичных карт изолиний ρ_{κ} и η_{κ} , при построении которых использован стандартный метод интерполяции данных измерений на регулярную сетку, описанный в работах [Никитин, 1986; Силкин, 2008 и др.]. Полученные таким образом карты изолиний ρ_{κ} и η_{κ} отражают обобщенные многопорядковые поля, а выделенные аномалии включают фоновую и локальную составляющие. Поэтому, в продолжение этой работы, нами осуществлено разделение обобщенных полей ρ_{κ} и η_{κ} на фоновую (региональную) и локальную составляющие, выделение аномалий соответствующего порядка и их дальнейшая геологическая интерпретация. Результаты приведены в настоящей статье.

Характеристика объекта исследования

Изученная площадь расположена на территории Эльбрусского района Кабардино-Балкарской Республики. В междуречье рек Баксан и Малка высокогорная область восточной части Передового хребта носит местное название Ташорун-баш и в 8 км западнее долины р. Баксан в районе горы Тырныауз (3594 м) раздваивается, образуя хребты Гитче-Тырныауз и Уллу-Тырныауз.

Рельеф района высокогорный альпийского типа (рис. 1). Абсолютные отметки варьируют от 2400 м (русло р. Большой Суарык на северной границе изученного участка) до 3712 м (г. Суарык) и 3778 м (г. Джуарген). Относительные превышения хребтов над долинами рек колеблются в пределах 500-1500 м. Характерны два вида ландшафтов: 1) альпийских лугов, отличающийся сглаженными формами водоразделов с отметками до 2800 м, и 2) лишенная растительности территория с отметками выше 2800 м с крутыми обрывистыми склонами остаточных ледниковых хребтов и заполненными ледниковыми и коллювиальными отложениями днищами ледниковых цирков и карров. Для первого характерно полное отсутствие обнажений коренных пород за счет широкого развития чехла четвертичных делювиальноэлювиальных образований; для второго – плохая обнаженность с отдельными почти вертикальными участками выходов коренных пород, подножия которых перекрыты коллювиальными и ледниковыми отложениями, мощность которых по результатам бурения достигает 100 и более метров. Территория рассечена маловодными ручьями Большой и Малый Зыгыр-кол, Малый и Большой Суарык, Ташорун, являющимися правыми притоками р. Джуарген (Гижгит), а также ручьем Тырныауз-су, являющимся левым притоком р. Баксан.

Участок работ на северо-востоке охватывает южную часть рудного поля Мало-Тырныаузского сурьмяного месторождения, западной границей является левый борт верховьев р. Джуарген. На юго-востоке он захватывает Северный фланг Тырныаузского рудного узла и граничит с одноименным вольфрам-молибденовым месторождением.

Различные аспекты геологического строения территории опубликованы нами ранее [Парада, Столяров, 2012; Емкужев и др., 2013; Парада и др., 2014; Парада, Столяров, 2017; Парада, 2017]. В соответствии с ними, структурный план территории обусловлен сочетанием двух разновозрастных и разно ориентированных региональных структур: палеозойского грабен-синклинория Передового хребта



Рис. 1. Рельеф Восточной части Передового хребта (вид с западного склона хр. Гитче-Тырныауз)



Рис. 2. Схематизированная карта геологических комплексов Восточной части Передового хребта с данными по геохимическим аномалиям золота во вторичных ореолах рассеяния (по [Парада, Столяров, 2012] с изменениями и дополнениями)

1-5 – стратифицированные геологические комплексы: 1 – осадочно-вулканогенный (D₂),
2-терригенный морской (D₃), 3 – карбонатный (D₃-C₁), 4 – обломочный континентальный (C₂₋₃), 5 – горно-ледниковых отложений (Q₃₋₄); 6-8 – интрузивные геологические комплексы: 6 – герцинский уллу-таллыкольский гипербазитовый (PZ₃), 7 – позднегерцинский чучкурский гипабиссальный диорит-гранодиорит-порфировый (P-T), 8 – альпийский лейкократово-гранитовый тырныаузский (N); 9-11 – гидротермально-метасоматические образования: 9 – кварц-карбонатные, 10 – скарны, 11 – милониты лиственитизированные; 12 – надвиги: Перевальный (1); 13 – сбросы и взбросы: Зыгыркольский (2), Хромитовый (3); 14-16 – содержания золота во вторичных ореолах рассеяния (в г/т): 14 – менее 0,01; 15 – от 0,01 до 0,09; 16-0,1 и более.

широтной (общекавказской) ориентировки и кайнозойского Транскавказского поперечного валообразного поднятия, ось которого вытянута в меридиональном направлении и проходит через хребет Гитче-Тырныауз. Стратифицированные образования объединены нами в четыре комплекса, – осадочно-вулканогенный, морской терригенный, карбонатный, континентальный обломочный (рис. 2). Выделены интрузивные породы двух магматических циклов, оказавших различное влияние на рудоносность территории: позднегерцинского и альпийского. К первому отнесены дайки ультраосновных пород и небольшие массивы кварцевых диорит-порфиров чучкурского комплекса; ко вторым – дайки и мелкие штоки лейкократовые гранитов тырныаузского комплекса. Лейкократовые граниты в ряде случаев содержат оруденение сульфидно-вкрапленного типа с золото-серебряной минерализацией и тончайшие кварцевые прожилки с самородным золотом. Именно с кайнозойским интрузивным комплексом связывают золотое и вольфрам-молибденовое оруденение Тырныаузского рудного узла.

Наиболее перспективные золоторудные проявления приурочены, главным образом, к пироксен-гранатовым и гранатовым скарнам, реже к лейкократовым гранитам и ороговикованным вулканитам в участках их дробления и милонитизации. При этом золотое оруденение Нижнего скарна, расположенного в пределах Зыгыркольской зоны разломов, не обнаруживает связи с какими-либо наложенными жилами и прожилками кварца и прожилково-вкрапленной сульфидной минерализацией. В Среднем и Перевальном скарнах той же рудоносной зоны, кроме того отмечается золото-серебряное оруденение, отчетливо связанное с наложенной сульфидной минерализацией [Столяров, 2015; Парада и др., 2017]. Аномальные значения содержаний золота во вторичных ореолах рассеяния, указывающие на возможные коренные рудопроявления, распространены только в восточной половине исследуемой территории, в той ее части, которую можно отнести к Северному флангу Тырныаузского рудного узла. При этом наиболее интенсивные геохимические аномалии золота совпадают с выходами на поверхность скарнов (см. рис. 2), что также подтверждает вывод о золото-скарновом геологопромышленном типе изучаемого оруденения.

Методика

Первичные данные ρ_{κ} и η_{κ} получены при проведении поисковых работ на золото в Восточной части минерагенической зоны Передового хребта сотрудниками ООО НПК «Элгео» (г. С.-Петербург) при участии автора. Применялась импульсная модификация метода ВП, подробная характеристика которого приведена в наших предыдущих работах [Тарасов и др., 2015а; Парада, Тарасов, 2017]. Использовался разработанный и изготовленный в ООО НПК «Элгео» аппаратурно-программный комплекс АИЭ-2 [Тарасов и др., 2015б]. Наблюдения производились по предварительно подготовленной топогеодезической сети 100х20 м при меридиональной ориентировке профилей.

При измерениях ВП-СГ длина питающей линии AB составляла от 2 до 3 км, длина приемной линии – 40 м. Измерения выполнялись в средней части питающей линии на участке профиля длиной от 1 до 1,5 км. С одной питающей линией одновременно работали три-четыре измерителя η_{κ} . При одном положении питающей линии проводились измерения на планшете, включающем до 10-12 профилей. Такая система измерений обеспечивала однородность поляризующего поля и облегчала последующую состыковку результатов измерений, выполненных при разных положениях питающей линии. Средняя относительная погрешность измерения ρ_{κ} по результатам повторных наблюдений составила 1,92%, η_{κ} – 2,83%.

Поскольку в пределах участка работ развит высокогорный рельеф с относительными превышениями хребтов над долинами до 500 м и более, при использовании стандартной формулы для расчета ρ_{κ} установки СГ на таком рельефе возникают существенные искажения поля ρ_{κ} , при этом на водораздельных частях значения ρ_{κ} уменьшаются, а в распадках и речных долинах – возрастают. Такие искажения могут приводить к появлению ложных аномалий ρ_{κ} и затруднять геологическую интерпретацию. Для удаления влияния рельефа из результатов измерения ρ_{κ} была использована программа IPPOLYGON [Тарасов и др., 2015б], предназначенная для решения прямой задачи метода вызванной поляризации в рамках двухмерной (2D) геоэлектрической модели. С помощью программы вычислялся отклик от двухмерной модели рельефа и вводилась соответствующая поправка за рельеф в ρ_{κ} , рассчитанная для плоской модели рельефа. В качестве модели рельефа использовалась цифровая модель SRTM [http://www.jpl. nasa. gov/srtm].

Дальнейшая обработка результатов заключалась в построении карт изолиний ρ_{κ} и η_{κ} отдельно для выделения фоновых (региональных) и отдельно крупномасштабных (локальных) аномалий.

Для получения карт изолиний фоновых значений ρ_{κ} и η_{κ} , осуществлено низкочастотное сглаживание исходных данных путем применения к Grid метода цифрового анализа её образа. Процедура производится в программе Surfer 10 командой Grid/Filter. Для этих целей используется Nonlinear Filters – Median, при которой задается необходимый размер площадки Filter Size (Rows, Cols), Rows соответствует X, Cols соответствует Y в столбце «Spacing», заданный при создании Grid (исходных изолиний), умноженное на заданное число, т.е. сглаживание вдоль профиля (Y) составляет $50 \times 7=350$ м, вкрест профиля (X) – $50 \times 15=750$ м. Фоновые значения полей ρ_{κ} и η_{κ} отражают геологическое строение относительно глубоких горизонтов территории.

Карты локальных аномалий ρ_{κ} и η_{κ} получены путем вычитания из Grid исходного параметра аномалий Grid фоновых значений, в результате новые значения ρ_{κ} и η_{κ} уже не содержат фоновой составляющей [Дэвис, 1990; Давыденко, 2005]. Процедура производится в программе Surfer 10 командой Grid/Math. Данная команда создает сеточный файл на основе заданной пользователем математической функции вида C=f (A, B), где A и B – входные сеточные файлы, а C – выходной сеточный файл. Заданная функция вычисляется над значениями узлов входных файлов с одинаковыми координатами X, Y, а результат вычислений помещается в выходной файл в узел с теми же координатами X, Y. Таким образом, карты локальных аномалий ρ_{κ} и η_{κ} отражают неоднородности геологического строения вблизи дневной поверхности, в том числе связанные с предполагаемым наличием в недрах золоторудных объектов.

Результаты и обсуждения

Фоновые значения ρ_{κ} для изученной территории составили от 0 до 825 Ом-м (рис. 3). При этом исследуемую территорию можно разделить на две области, – область относительно высокого кажущегося электрического сопротивления (OBC) с ρ_{κ} выше 500 Ом-м, и область относительно низкого кажущегося электрического сопротивления (OHC) с ρ_{κ} ниже 500 Ом-м. Граница этих двух областей не коррелируется с какими-либо геологическими границами, отображенными на карте геологических комплексов (см. рис. 2 и 3). Эти две области отражают геологическое строение более глубоких горизонтов территории. Создается впечатление, что ОВС является северной частью региональной аномалии, связанной с наличием крупного возмущающего объекта в недрах. При этом сама она разделена на две неравные части (большую западную и меньшую восточную) относительно более высоко проводящим участком, пересекающим ее в северо-восточном направлении.



Рис. 3. Карта регионального фона кажущегося электрического сопротивления Восточной части Передового хребта с данными по геологическому строению

ОНС занимает большую часть изученной территории и располагается в ее восточной и северной частях. Она разделена относительно менее проводящим участком на две неравные части. Большая часть занимает восточную половину изучаемой территории, включающей Северный фланг Тырныаузского рудного узла, в том числе Малотырныаузское рудное поле с месторождениями и рудопроявлениями сурьмы и Зыгыркольскую золотоносную зону разломов. Меньшая часть располагается на западной половине изучаемой территории, располагаясь узкой полосой у ее северной границы. У западной границы она огибает ОВС и становится при этом менее проводящей. Таким образом, намечается глубинная линейная структура северо-восточного простирания, подобная которой была выделена нами ранее по результатам анализа фонового магнитного поля [Емкужев и др., 2013]. Она не совпадает с какими-либо элементами близповерхностного геологического строения.

Восточная половина ОНС сама по себе неоднородна. Большую ее часть составляет обширная зона максимальной для данной территории проводимости, вытянутая в северо-западном направлении. Судя по ее расширению в восточном направлении, она связана, скорее всего, с тырныаузским интрузивным комплексом неогенчетвертичного возраста. Центральная, наиболее проводящая часть этой области, совпадает с откартированным на поверхности и в подземных горных выработках ореолом ороговикования. Сами роговики должны обладать меньшей проводимостью, чем исходные породы. Поэтому, учитывая глубинный характер аномалий фона, можно предположить, что повышенная проводимость данной области может быть связана с высокой температурой горных пород на глубине, как это показано в работе [Гусейнов, Гаргацев, 2002], обусловленной, скорее всего наличием современного магматического очага. Важным элементом восточной половины ОНС является проявление в неоднородности ее строения Зыгыркольской зоны разломов, включающей золотоносные скарны. Она располагается в линейно вытянутом участке пониженной проводимости северо-западного простирания (см. рис. 3). Это подтверждает глубинное заложение Зыгыркольской зоны.

Согласно карте локальных аномалий р_к значения положительных аномалий достигают 2800 Ом-м, отрицательных – -800 Ом-м (рис. 4). В пределах изучаемой площади локальные аномалии р_к распределены неравномерно. Наибольше их количество с максимальными значениями (как положительными, так и отрицательными) располагается в пределах площади, выделяемой на карте фона как ОВС (см. рис. 3). При этом они сконцентрированы в составе двух групп, разделенных относительно более высоко проводящим участком, пересекающим фоновую ОВС в северо-восточном направлении. Положительные и отрицательные локальные аномалии ρ_{κ} в большинстве своем параллельны друг другу и совпадают с участками выхода на поверхность герцинских кварцевых диоритов чучкурского интрузивного комплекса. Похоже, что отрицательные аномалии фиксируют близповерхностные зоны дробления по кварцевым диоритам, в то время как положительные аномалии соответствуют не затронутым дроблением участкам тех же кварцевых диоритов. Если вернуться к карте фоновых значений ρ_{κ} , то, при таких обстоятельствах, становиться очевидной связь западной части ОВС с глубинной областью интрузивного массива кварцевых диоритов. Участки локальных аномалий рк из группы в восточной части ОВС только отдельными местами совпадают с выходами чучкурских кварцевых диоритов. По аналогии с западной частью ОВС можно считать, что все



Рис. 4. Карта локальных аномалий кажущегося электрического сопротивления Восточной части Передового хребта с данными по геологическому строению

они связаны с чучкурским интрузивом, при этом большая их часть – с не выходящими на поверхность его апофизами.

Обращает внимание практически непрерывная цепочка относительно высоко проводящих локальных аномалий ρ_{κ} (до -250 - -300 Ом-м) у северной границы изучаемой территории, приуроченных к выходу на поверхность сместителя надвига, сопровождаемого узкой полосой милонитов и кварц-карбонатных пород. Эти аномалии прослеживаются на восток под горно-ледниковыми отложениями в долине реки Б. Суарык и далее, где их продолжение ограничено поперечной Зыгыркольской зоной разломов.

Территория, выделяемая на карте фона как ОНС, характеризуется небольшим количеством локальных аномалий ρ_{κ} . Относительно слабые отрицательные аномалии ρ_{κ} (до -150 - -200 Ом-м) приурочены к участкам разломов и местам их пересечений. Относительно слабые положительные аномалии ρ_{κ} (до 300-500 Ом-м) частично совпадают с выходами золотоносных скарнов Зыгыркольской зоны. При этом одна из них совпадает с проекцией на дневную поверхность золотоносной части слепого Перевального скарна (см. рис. 4). Некоторые из положительных аномалий ρ_{κ} в этой части ОНС отмечаются за пределами Зыгыркольской зоны. Иногда с ними связаны повышенные содержания золота во вторичных ореолах рассеяния. Т. е., эти аномалии ρ_{κ} могут быть объектом более пристального внимания при планировании и производстве поисковых работ.

Фоновые значения η_{κ} для изученной территории составляют от 0,9 до 3,7% (рис. 5). При этом исследуемую территорию можно разделить на две области, – относительно низко поляризующаяся область (НПО) с η_{κ} ниже 1,8%, и относительно высоко поляризующаяся область (ВПО) с η_{κ} выше 1,8%. В обоих случаях изолинии η_{κ} пересекают различные геологические комплексы. Интенсивность ВПО максимальная в юго-восточном углу изучаемой площади (до 3,7%). Именно в этой части располагаются практически все скарны Зыгыркольской зоны, в том числе и наиболее золотоносные. Кроме того, в этой части ВПО располагается месторождение молибдена «Молибденовый штокверк», с молибденитовой минерализацией. А также к этой части ВПО приурочены положительные геохимические аномалии во вторичных ореолах рассеяния таких элементов, как золото, серебро, олово, вольфрам, молибден и др. При этом, расположенные севернее Малотырныаузское месторождение и рудопроявления сурьмы находятся далеко за пределами ВПО на участке с



Рис. 5. Карта регионального фона кажущейся поляризуемости Восточной части Передового хребта с данными по геологическому строению

η_к 1,0-1,4% в пределах НПО. Таким образом, следует констатировать, что появление охарактеризованной ВПО связано с гидротермально-метасоматическими процессами, обеспечившими появление ореола рассеянной сульфидизации, золотого и редкометального оруденения с гипоцентром, расположенным за пределами юговосточного угла изучаемой площади.

НПО занимает полностью западную половину изучаемой территории и северную часть ее восточной половины. Изолинии η_{κ} 1,2 и 1,1% в общих чертах конформны положению линии надвига на земной поверхности, являющейся границей средне-верхнекаменноугольного молассового комплекса, надвинутого на девонские осадочно-вулканогенные и терригенные отложения. В целом, фоновая η_{κ} уменьшается в северном направлении и у границы изученной территории составляет 0,9%. Конфигурация этих и всех остальных изолиний η_{κ} , а также изменения расстояний между ними, свидетельствуют о едином центре рассеянной сульфидизации и рудогенерации, расположенном за юго-восточным углом изученной территории.

Таким образом, можно считать, что в пределах изученной территории располагается северо-западная часть единой относительно крупной региональной аномалии η_к. Очевидно, что ее появление связано с гидротермально-метасоматической деятельностью тырныаузской рудно-магматической системы.

Локальные аномалии η_{κ} обладают в основном небольшой интенсивностью, – положительные до 1,7%, отрицательные – до –1,1% (рис. 6). Все они, в основном, линейно вытянуты. Преобладают широтное и северо-восточное направления, реже – меридиональное. Большинство локальных положительных аномалий сопряжены в плане с локальными отрицательными аномалиями. Это свидетельствует о вертикальных границах в местах резкого изменения знака аномалии. Обычно в местах размещения положительных аномалий η_{κ} располагаются отрицательные аномалии ρ_{κ} , что может быть связано с наличием обводненных зон разломов. Наибольшая по площади и интенсивности такая положительная аномалия η_{κ} располагается у восточной границы изученной площади и состоит из двух примерно одинаковых частей, но разных конфигураций, разделенных локальным понижением η_{κ} до 0,2-0,1%. В этом месте проявлены слабые отрицательные аномалии ρ_{κ} (до –150– 200 Ом-м). По геологическим данным здесь пересекаются разломы северовосточного и север-северо-западного простирания.



Рис. 6. Карта локальных аномалий кажущейся поляризуемости Восточной части Передового хребта с данными по геологическому строению

Серия подобных аномалий, фиксирующих разломы запад-северо-западного простирания, отмечается в средней части территории, в южной ее половине. Примечательно наличие такого типа аномалий вдоль закартированного по геологическим данным выхода на поверхность сместителя надвига в северной части территории. Отдельные относительно изометричные в плане положительные аномалии η_{κ} совпадают с локальными положительными аномалиями ρ_{κ} , что может указывать на участки гидротермально-метасоматических образований с рассеянной вкрапленностью рудных минералов. Учитывая, что такого типа аномалиями сопровождаются золотоносные скарны Зыгыркольской зоны, следует считать их наиболее перспективными для обнаружения новых объектов золотого оруденения.

Выводы

1. Предложен способ разделения обобщенных полей кажущегося электрического сопротивления (ρ_k) и кажущейся поляризуемости (η_k) на фоновую (региональную) и локальную составляющие, что позволило выделить аномалии соответствующих порядков. Он заключается в обработке первичных данных ρ_k и η_k , полученных ранее при проведении поисковых работ на золото в Восточной части Передового хребта, с помощью программы Surfer 10. Для получения карт изолиний фоновых значений ρ_k и η_k , осуществлялось низкочастотное сглаживание исходных данных путем применения к Grid метода цифрового анализа её образа. Карты локальных аномалий ρ_k и η_k получены путем вычитания из Grid исходного параметра аномалий Grid фоновых значений.

2. Область повышенных значений ρ_к на карте регионального фона соответствует массиву позднепалеозойских кварцевых диоритов чучкурского интрузивного комплекса, отдельные апофизы которого выходят на поверхность. Область пониженных значений ρ_к у восточной границы изученной территории может быть связана с повышенной температурой недр.

3. Относительно слабые отрицательные локальные аномалии ρ_{κ} (до -150 - 200 Ом-м) приурочены к участкам разломов и местам их пересечений. Относительно слабые положительные аномалии ρ_{κ} (до 300-500 Ом-м) частично совпадают с выходами золотоносных скарнов Зыгыркольской зоны и с геохимическими аномалия-

ми золота во вторичных ореолах рассеяния. Такие аномалии ρ_{κ} могут представлять объекты для поисковых работ.

4. Область повышенных значений η_к на карте регионального фона связана с ореолом рассеянной сульфидизации. К ней приурочены практически все скарны Зыгыркольской зоны, в том числе наиболее золотоносные, а также месторождение «Молибденовый штокверк» с молибденитовой минерализацией, и положительные геохимические аномалии золота, серебра, олова, вольфрама, молибдена и др. элементов во вторичных ореолах рассеяния. Можно считать, что в пределах изученной территории располагается северо-западная часть единой относительно крупной региональной аномалии η_к. Очевидно, что вся аномалия связана с гидротермально-метасоматической деятельностью тырныаузской рудно-магматической системы, обеспечившей появление ореола рассеянной сульфидизации, золотого и редкометалльного оруденения.

5. Локальные аномалии η_к, в основном, могут быть связаны с обводненными зонами разломов. Отдельные относительно изометричные в плане положительные аномалии η_к, совпадающие с локальными положительными аномалиями ρ_к, могут указывать на участки гидротермально-метасоматических образований с рассеянной вкрапленностью рудных минералов. Учитывая, что такого типа аномалиями сопровождаются золотоносные скарны Зыгыркольской зоны, следует считать их заслуживающими повышенного внимания при проведении поисковых работ.

Литература

1. Гусейнов А. А., Гаргацев И. О. Особенности электропроводности щелочных полевых шпатов при высоких температурах // Физика Земли. – 2002. – № 6. – С. 82-86.

2. Давыденко Д.Б. Прогнозирование полезных ископаемых по дистанционным и геофизическим данным / Проблемы и перспективы комплексного освоения минеральных ресурсов Восточного Донбасса. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2005. – С. 273-290.

3. Дэвис Дж. С. Статистический анализ данных в геологии. Том 2 // Под ред. Д. А. Родионова; пер. с англ. В. А. Голубевой. – М.: Недра, 1990. – 427с.

4. Емкужев А.С., Джубуев Н.С. Минерально-сырьевая база Кабардино-Балкарской Республики // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2012. – № 1. – С. 42-55.

5. Емкужев М.С., Парада С.Г., Столяров В.В., Тарасов В.А. Опыт применения крупномасштабной магнитной съемки при поисках золотого оруденения в Восточной части минерагенической зоны Передового хребта // Геология и геофизика Юга России. – 2013. – № 3. – С. 3-19.

6. Заалишвили В.Б., Чотчаев Х.О., Невский Л.Н., Ольховский Г.П., Тибилов С.М., Гогичев Р.Р. Оптимизация геофизических и геохимических критериев поисков месторождений известных рудных формаций горной части республики Северная Осетия-Алания // Геология и геофизика Юга России. – 2015. – № 3. – С. 28-62.

7. Комаров В.А. Электроразведка методом вызванной поляризации. – Л.: Недра, 1980. – 391 с.

8. Никитин А.А. Теоретические основы обработки геофизической информации. – М.: Недра, 1986. – 342 с.

9. Парада С.Г. Перспективные типы месторождений и рудопроявлений золота на Юге России // Геология и геофизика Юга России. – 2017. – № 1. – С. 57-72.

10. Парада С. Г., Столяров В. В. О связи золотого оруденения Северного фланга Тырныаузского месторождения с интрузивными комплексами (Кабардино-Балкарская республика) // Доклады Академии наук. – 2012. – Т. 445. №4. – С. 437-440.

11. Парада С. Г., Столяров В. В. Условия локализации и золотоносность скарнов Зыгыркольской рудной зоны (Кабардино-Балкарская республика) // Геология и геофизика Юга России. – 2017. – № 3. – С. 95-110.

12. Парада С.Г., Столяров В.В., Маркин М.Ю., Шишкалов И.Ю. Проявление потенциально платиноносных гипербазитов в геохимических аномалиях Ni, Cr и Со на примере Восточной части Передового хребта (Кабардино-Балкарская Республика) // Геология и геофизика Юга России. – 2014. – №2. – С. 42-54.

13. Парада С. Г., Тарасов В. А. Применение метода вызванной поляризации при поисках золота в черносланцевых толщах Муштинского рудного поля (Северный Кавказ) // Геология и геофизика Юга России. – 2017. – № 4. – С. 84-98.

14. Силкин К.Ю. Геоинформационная система Golden Software Surfer 8. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 2008. – 66 с

15. Столяров В. В. Прогнозно-поисковая модель золотого оруденения в скарнах Северного фланга Тырныаузского рудного поля (Кабардино-Балкарская Республика) // Руды и металлы. – 2015. – № 3. – С. 25-37.

16. Столяров В.В., Парада С.Г., Попов Ю.В., Назаренко А.В. Типоморфизм самородного золота из скарнов Тырныаузского рудного узла (Кабардино-Балкарская Республика) // Наука Юга России. – 2016. – Т. 12. № 1. – С. 32-42.

17. Тарасов В. А. Поиск коренных месторождений золота методами импульсной электроразведки / В. А. Тарасов, Л. И. Бытенский, А. В. Тарасов // IV международный горно-геологический форум Мингео Сибирь 2010 и международный семинар «Платина в геологических формациях мира». Тезисы докладов. – Красноярск. – 2010. – С. 49-58.

18. Тарасов В. А., Бытенский Л. И., Пищик В. В. Автоматизированная система электротомографии ВП для поисков рудных месторождений // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – 2015а. – № 3. – С. 101-107.

19. Тарасов В. А., Емкужев М. С., Парада С. Г., Столяров В. В. Геофизические методы при поисках золоторудной минерализации на флангах Тырныаузского рудного узла // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – 2015б. – № 1. – С. 109-117.

20. Чотчаев Х.О., Гогичев Р.Р. Геологические особенности и характеристика золотоносности Теплинского рудного узла // Геология и геофизика Юга России. – 2016. – № 4. – С. 128-143.

21. Doyle, H.A. Geophysical exploration for gold – A review / H.A. Doyle // Geophysics. – 1990. – Vol. 55. No 2. – Pp. 134–146.

22. Oldenburg, D.W. Inversion of geophysical data over a copper gold porphyry deposit: A case history for Mt. Milligan / D. W. Oldenburg, Y. Li, R. G. Ellis // Geophysics. – 1997. – Vol. 62. – No 5. – Pp. 1419–1431.

23. Parada S. G., Stolyarov V. V., Popov Y. V. New type of gold mineralization of the Tyrnyauz ore cluster (Kabardino-Balkar Republic) // Doklady Earth Sciences. – 2017. – Vol. 477. No 1. – Pp. 1256-1259.

24. Seigel, H.O. Geophysical aids to gold exploration / H.O. Seigel, I. Johnson, I.,

J. Hennessey // The Leading Edge. – 1984. – Vol. 3. No 6. – Pp. 32–35. 25. http://www.jpl. nasa. gov/srtm

REVEALING INDICATIONS OF GOLDEN MINERALIZATION ON THE BASE OF ISOLATION OF THE BACKGROUNDAND LOCAL COMPONENTS OF ELECTRIC FIELDS AT THE EASTERN PART OF THE FOREMOST RIDGE (NORTH CAUCASUS)

© 2018 S.G. Parada, Sc. Doctor (Geol.-Min.)

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

The method of dividing generalized fields of apparent electric resistance (ρ_{κ}) and apparent polarizing capability (η_{κ}) into the background (regional) and local components, what allowed to isolate anomalies of corresponding orders. The area of increased values of ρ_{κ} at the map of regional background corresponds to the mass of Late-Paleozoic quartz diorites of the Paleozoic intrusive complex. The area of decreased values of ρ_{κ} near the eastern border of studied territory may be related to increased temperature of bowels. Negative local anomalies of ρ_{κ} are coincided with parts of faults and places of their intersections. Positive anomalies of gold in secondary dispersion halos. The area of raised values of η_{κ} at the map of regional background is caused by hydrothermal-metasomatic activity of the Tyrny-Auz ore-magmatic system, which ensured appearance of the halo of dispersed sulphidization, golden and rare-metal mineralization. Most of local η_{κ} anomalies may point to the parts of hydrothermal-metasomatic rocks with dispersed impregnation of ore minerals. Taking into account, that gold-bearing skarns of the Zygyrkol zone are accompanied by anomalies of such type, they may turn up as first-order objects for arrangement of search works.

Keywords: electrical prospecting, stimulated polarization, electrical resistivity, polarizing capability, local anomalies, regional anomalies, golden mineralization, North Caucasus.

References

1. Gusejnov A.A., Gargacev I.O. Osobennosti jelektroprovodnosti shhelochnyh polevyh shpatov pri vysokih temperaturah [Features of electrical conductivity of alkaline feldspars at high temperatures]. Fizika Zemli. 2002. No. 6. Pp. 82-86. (in Russian)

2. Davydenko D.B. Prognozirovanie poleznyh iskopaemyh po distancionnym i geofizicheskim dannym [Forecasting mineral deposits using remote and geophysical data]. Problemy i perspektivy kompleksnogo osvoenija mineral'nyh resursov Vostochnogo Donbassa. Rostov-na-Donu: Izd-vo JuNC RAN, 2005. Pp. 273290. (in Russian)

3. Djevis Dzh. S. Statisticheskij analiz dannyh v geologii. Tom 2 [Statistical analysis of data in geology. Volume 2]. Pod red. D.A. Rodionova; per. s angl. V.A. Golubevoj. M. Nedra, 1990. 427p. (in Russian)

4. Emkuzhev A.S., Dzhubuev N.S. Mineral'no-syr'evaja baza Kabardino-Balkarskoj Respubliki [Mineral and raw material base of the Kabardino-Balkarian Republic]. Mineral'nye resursy Rossii. Jekonomika i upravlenie. 2012. No. 1. Pp. 42-55. (in Russian) 5. Emkuzhev M.S., Parada S.G., Stoljarov V.V., Tarasov V.A. Opyt primenenija krupnomasshtabnoj magnitnoj s#emki pri poiskah zolotogo orudenenija v Vostochnoj chasti mineragenicheskoj zony Peredovogo hrebta [Experience of using large-scale magnetic surveys in the search for gold mineralization in the eastern part of the mineragenic zone of the Forward Ridge]. Geologija i geofizika Juga Rossii. 2013. No. 3. Pp. 3-19. (in Russian)

6. Zaalishvili V.B., Chotchaev H.O., Nevskij L.N., Ol'hovskij G. P., Tibilov S.M., Gogichev R.R. Optimizacija geofizicheskih i geohimicheskih kriteriev poiskov mestorozhdenij izvestnyh rudnyh formacij gornoj chasti respubliki Severnaja Osetija-Alanija [Optimization of geophysical and geochemical criteria for prospecting deposits of known ore formations in the mountainous part of the Republic of North Ossetia-Alania]. Geologija i geofizika Juga Rossii. 2015. No. 3. Pp. 28-62. (in Russian)

7. Komarov V.A. Jelektrorazvedka metodom vyzvannoj poljarizacii [Electromagnetic induced polarization method]. L. Nedra, 1980. 391 p. (in Russian)

8. Nikitin A.A. Teoreticheskie osnovy obrabotki geofizicheskoj informacii [Theoretical bases of processing geophysical information]. M. Nedra, 1986. 342 p. (in Russian)

9. Parada S. G. Perspektivnye tipy mestorozhdenij i rudoprojavlenij zolota na Juge Rossii [Perspective types of gold deposits and ore occurrences in southern Russia]. Geologija i geofizika Juga Rossii. 2017. No. 1. Pp. 57-72. (in Russian)

10. Parada S.G., Stoljarov V.V. O svjazi zolotogo orudenenija Severnogo flanga Tyrnyauzskogo mestorozhdenija s intruzivnymi kompleksami (Kabardino-Balkarskaja respublika) [About the connection of the gold mineralization of the Northern flank of the Tyrnyauz field with intrusive complexes (Kabardino-Balkarian Republic)]. Doklady Akademii nauk. 2012. Vol. 445. No. 4. Pp. 437-440. (in Russian)

11. Parada S.G., Stoljarov V.V. Uslovija lokalizacii i zolotonosnost' skarnov Zygyrkol'skoj rudnoj zony (Kabardino-Balkarskaja respublika) [Localization conditions and gold-bearing of skarns in the Zygyrkol ore zone (Kabardino-Balkaria Republic)]. Geologija i geofizika Juga Rossii. 2017. No. 3. Pp. 95-110. (in Russian)

12. Parada S.G., Stoljarov V.V., Markin M.Ju., Shishkalov I.Ju. Projavlenie potencial'no platinonosnyh giperbazitov v geohimicheskih anomalijah Ni, Cr i Co na primere Vostochnoj chasti Peredovogo hrebta (Kabardino-Balkarskaja Respublika) [Occurrence of potentially platinum-bearing hyperbasites in geochemical anomalies of Ni, Cr and Co using the example of the Eastern part of the Forward Range (Kabardino-Balkarian Republic)]. Geologija i geofizika Juga Rossii. 2014. No. 2. Pp. 42-54. (in Russian)

13. Parada S. G., Tarasov V.A. Primenenie metoda vyzvannoj poljarizacii pri poiskah zolota v chernoslancevyh tolshhah Mushtinskogo rudnogo polja (Severnyj Kavkaz) [Application of the method of induced polarization in the search for gold in the black shale strata of the Mushta ore field (North Caucasus)]. Geologija i geofizika Juga Rossii. 2017. No. 4. Pp. 84-98. (in Russian)

14. Silkin K. Ju. Geoinformacionnaja sistema Golden Software Surfer 8 [Geographic information system Golden Software Surfer 8.]. Voronezh: Izd-vo VGU, 2008. 66 p. (in Russian)

15. Stoljarov V.V. Prognozno-poiskovaja model' zolotogo orudenenija v skarnah Severnogo flanga Tyrnyauzskogo rudnogo polja (Kabardino-Balkarskaja Respublika) [Predictive search model of gold mineralization in the skarns of the Northern flank of the Tyrnyauz ore field (Kabardino-Balkarian Republic)]. Rudy i metally. 2015. No. 3. Pp. 25-37. (in Russian)

16. Stoljarov V.V., Parada S.G., Popov Ju.V., Nazarenko A.V. Tipomorfizm samorodnogo zolota iz skarnov Tyrnyauzskogo rudnogo uzla (Kabardino-Balkarskaja Respublika) [Typomorphism of native gold from skarns of the Tyrnyauz ore cluster (Kabardino-Balkarian Republic)]. Nauka Juga Rossii. 2016. Vol. 12. No. 1. Pp. 3242. (in Russian)

17. Tarasov V.A. Poisk korennyh mestorozhdenij zolota metodami impul'snoj jelektrorazvedki / V.A. Tarasov, L.I. Bytenskij, A.V. Tarasov [Search for primary gold deposits using pulsed electrical survey methods]. IV mezhdunarodnyj gorno-geologicheskij forum Mingeo Sibir' 2010 i mezhdunarodnyj seminar "Platina v geologicheskih formacijah mira". Tezisy dokladov. Krasnojarsk. 2010. Pp. 49-58. (in Russian)

18. Tarasov V.A., Bytenskij L.I., Pishhik V.V. Avtomatizirovannaja sistema jelektrotomografii VP dlja poiskov rudnyh mestorozhdenij [Automated tomography system for prospecting of ore deposits]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Geologija. 2015a. No. 3. Pp. 101-107. (in Russian)

19. Tarasov V.A., Emkuzhev M.S., Parada S.G., Stoljarov V.V. Geofizicheskie metody pri poiskah zolotorudnoj mineralizacii na flangah Tyrnyauzskogo rudnogo uzla [Geophysical methods in the search for gold mineralization on the flanks of the Tyrnyauz ore cluster]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Geologija. 2015b. No. 1. Pp. 109-117. (in Russian)

20. Chotchaev H.O., Gogichev R.R. Geologicheskie osobennosti i harakteristika zolotonosnosti Teplinskogo rudnogo uzla [Geological features and characteristics of gold-bearing of the Teplinsky ore cluster]. Geologija i geofizika Juga Rossii. 2016. No. 4. Pp. 128-143. (in Russian)

21. Doyle, H.A. Geophysical exploration for gold – A review / H.A. Doyle // Geophysics. – 1990. – Vol. 55. No 2. – Pp. 134–146.

22. Oldenburg, D. W. Inversion of geophysical data over a copper gold porphyry deposit: A case history for Mt. Milligan / D. W. Oldenburg, Y. Li, R. G. Ellis // Geophysics. – 1997. – Vol. 62. – No 5. – Pp. 1419–1431.

23. Parada S. G., Stolyarov V. V., Popov Y. V. New type of gold mineralization of the Tyrnyauz ore cluster (Kabardino-Balkar Republic) // Doklady Earth Sciences. – 2017. – Vol. 477. No 1. – Pp. 1256-1259.

24. Seigel, H.O. Geophysical aids to gold exploration / H.O. Seigel, I. Johnson, I., J. Hennessey // The Leading Edge. – 1984. – Vol. 3. No 6. – Pp. 32–35.

25. http://www.jpl. nasa. gov/srtm

VДК 551:550.34 DOI:10.23671/VNC.2018.4.20152

ХАРАКТЕРИСТИКИ СОВРЕМЕННЫХ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ В ЦЕНТРАЛЬНОМ СЕКТОРЕ БОЛЬШОГО КАВКАЗА ПО ДАННЫМ GPS-НАБЛЮДЕНИЙ И ИХ СВЯЗЬ С НОВЕЙШЕЙ ТЕКТОНИКОЙ И ГЛУБИННЫМ СТРОЕНИЕМ ЗЕМНОЙ КОРЫ

© 2018 Е.А. Рогожин^{1, 3}, д.г.-м.н., проф., В.К. Милюков², д.ф.-м.н., проф., А.П. Миронов², А.Н. Овсюченко¹, к.г.-м.н., А.В. Горбатиков¹, к.ф.-м.н.

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

²Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ, Россия, 119234, г. Москва, Университетский пр., д. 13;

³Геофизический институт – филиал ФГБУН ФНЦ «Владикавказский научный центр Российской академии наук», Россия, 362002, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: eurog1947@yandex.ru

В статье освещены результаты впервые выполненных GPS-измерений вдоль геодезического профиля, пересекающего все основные геологические структуры в Осетинском регионе Большого Кавказа. Интерпретация результатов измерений выполнена в сопоставлении с результатами неотектонических исследований и данными о глубинном строении. Максимальное уменьшение современных скоростей поперечного сжатия зафиксировано в области наивысшего подъема к земной поверхности низкодобротного объема земной коры, оказывающего распирающее действие на все горное сооружение. Наличие значимых поперечных смещений поверхности отражает сдвиговую составляющую по крупнейшим разломам кавказского простирания. Полностью подтвердилось прогнозированное ранее существенное снижение скорости горизонтальных движений по окончании афтершокового процесса катастрофического Рачинского землетрясения 1991 г. на южном склоне Большого Кавказа.

Ключевые слова: тектоника, земная кора, Большой Кавказ.

В Осетинском регионе Большого Кавказа ГАИШ МГУ совместно с ВНЦ РАН создали спутниково-геодезическую сеть, состоящую из 25 пунктов для проведения периодически повторных GPS-измерений (табл. 1), а также станцию непрерывных GPS-наблюдений (код VLKK) [Милюков и др. 2015, Milyukov et al., 2018]. Также использовались данные двух станций созданных Геофизической службой РАН (коды ARDN, PRTN). В основу оценки скоростей современных тектонических движений положен анализ временных рядов координат GPS пунктов и станций, вычисляемых из первичных данных, которые представляют собой наборы фазовых и кодовых измерений на двух частотах продолжительностью трое суток с интервалом регистрации 30 сек по времени UTC+0 (по Гринвичу). Для большинства пунктов периодичность проведения измерений кратна одному году. Для обработки GPS данных

использовался пакет программ GAMIT/GLOBK [Herring et al., 2010]. Полученные оценки скоростей смещений пунктов и станций представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Продольные и поперечные проекции горизонтальных скоростей смещений пунктов и станций Осетинской геодезической сети относительно неподвижной Евразии на профиль с азимутом 15.88°.

Код	Расстояние вдоль профиля (км)	Скорость вдоль профиля (мм/год)	Скорость поперек профиля (мм/год)				
HETG	6,49	4,38±1,19	1,11±2,21				
KEHV	19,16	6,57±1,54	1,93±4,04				
SLUR	22,69	2,18±1,59	3,88±3,77				
HVCE	29,04	3,02±1,46	-0,21±5,32				
ERTS	31,13	0,73±1,26	-0,76±2,81				
MZGM	32,37	6,10±1,30	6,04±3,21				
DZMG	45,97	0,74±1,40	3,12±4,03				
ERMN	47,11	3,13±1,14	1,27±1,92				
EDIS	49,15	2,08±1,15	3,00±2,08				
ROOK	53,32	0,52±1,24	5,62±3,11				
ZAKK	57,92	0,30±1,13	-3,69±1,83				
BUGT	71,24	-0,78±1,18	-7,01±2,44				
TLAP	77,07	3,48±1,75	-7,21±6,80				
FGDN	78,09	2,33±1,20	-4,95±2,66				
LATZ	81,91	0,96±0,91	3,17±0,94				
KADT	82,40	2,63±1,23	-11,83±2,45				
DGIS	88,17	-3,57±1,64	13,35±5,55				
KARZ	94,47	3,11±1,25	-2,73±2,50				
VLKK	114,22	1,59±0,90	2,52±0,93				
ARDN	121,64	0,70±1,10	1,38±1,20				
PRTN	180,27	-0,05±0,92	0,29±0,98				

Оценка скоростей горизонтальных движений вдоль геодезического профиля, пересекающего все основные геологические структуры Большого Кавказа, выполнена впервые. Это определяет чрезвычайную ценность проведенных измерений. Для интерпретации результатов использована тектоническая схема, составленная по данным разномасштабного геологического картирования и собственных полевых наблюдений [Рогожин и др., 2014]. Профиль расположен в области максимального сужения всех тектонических зон Большого Кавказа. Основные подвижные тектонические границы находят прямое и яркое отражение в современном рельефе и деформациях позднеплиоцен-эоплейстоценового геоморфологического уровня (рис. 1).

Проекции горизонтальных скоростей смещений были экстраполированы на совмещенный структурно-геоморфологический и геофизический профиль вдоль долин рек Бол. Лиахва и Ардон (рис. 2). Геофизические исследования были выполнены методом микросейсмического зондирования (ММЗ) [Горбатиков и др.,



Рис. 1. Тектоническая схема района Осетинской геодезической сети [Milyukov et al., 2018]. Кружками вынесены эпицентры землетрясений за 2010–2016 гг. по данным сейсмологической сети Северо-Осетинского филиала Единой геофизической службы РАН (http://www.ceme.gsras.ru). 1 – основные взбросо-надвиги; 2 – выступы кристаллического фундамента; 3 – плиоценчетвертичные интрузии; 4 – плиоцен-четвертичные вулканиты; 5 – олигоцен-плиоценовые осадки Осетинской впадины Предкавказского прогиба, Рача-Лечхумского прогиба и Закавказской межгорной впадины; 6 – пикеты профиля микросейсмического зондирования (MM3) [Горбатиков и др., 2015; Рогожин и др., 2014]; 7 – пункты и станции Осетинской геодезической сети; 8 – контуры полей сгущения эпицентров афтершоков Рачинского (M = 7,1) и Джавского (M = 6,2) землетрясений. Цифрами обозначены названия основных разломов: 1 – Кахетино-Лечхумский (Орхевский, Уцерский), 1а – южная ветвь Кахетино-Лечхумского (Поцхревский); 2 – Гебско-Лагодехский; 3 – Тибский; 4 – Адайком-Казбекский; 5 – Главный надвиг: 6 – Пуйский; 7 – Балтинский; 8 – Владикавказский

2015], который позволяет адекватно выявлять конфигурацию как субвертикальных, так и субгоризонтальных скоростных границ на глубину до 60 км. Геологические объекты со сравнительно высокими сейсмическими скоростями проявляются в микросейсмическом поле как зоны с пониженными амплитудами, и наоборот. В совокупности с данными о проявлениях тектонических процессов в четвертичном периоде, глубинный профиль MM3 дает представление об источниках современных орогенических движений [Горбатиков и др., 2015]. Низкоскоростная среда, вы-


Рис. 2. Структурно-геоморфологический и геофизический профили, совмещенные с продольными (Along Prof) и поперечными (Cross Prof) проекциями горизонтальных скоростей смещений пунктов и станций Осетинской геодезической сети относительно неподвижной Евразии на профиль с азимутом 15.88°.

Латинскими буквами обозначены пункты и станции Осетинской геодезической сети (табл. 1); толстые черные пунктирные линии – основные разломы (цифровые обозначения на рис. 1); показаны рельеф вдоль геолого-геофизического профиля и тонкими черными пунктирными линиями - позднеплиоцен-эоплейстоценовый геоморфологический уровень; белая пунктирная линия – проекция контуров поля сгущения гипоцентров афтершоков Рачинского и Джавского землетрясений на геолого-геофизический профиль; горизонтальные стрелки и цифры над ними – скорости современных смещений. деленная под самой приподнятой частью Большого Кавказа (она же выделяется и ГСЗ) [Павленкова, 2012] коррелируется с областью максимального воздымания на позднеорогенном этапе и может быть сопоставлена с относительно легким, низкодобротным объемом земной коры. Это тело можно интерпретировать как следствие глубинного диапиризма в терминологии В.В. Белоусова [1989].

Разброс пунктов и станций вдоль профиля по простиранию структур общекавказской ориентировки достигает 40 км. Несмотря на это, все пункты и станции проецируются в аналогичные тектонические обстановки вдоль совмещенного геолого-геофизического профиля. На южном склоне, в зоне Кахетино-Лечхумского разлома происходит резкое изменение значений как продольных, так и поперечных проекций горизонтальных скоростей смещений. Высокие скорости горизонтального сжатия вдоль профиля (3-4 мм/год) отражают сближение Дзирульского массива и кристаллического ядра Большого Кавказа по зоне Кахетино-Лечхумского разлома. На самой приподнятой части Большого Кавказа (станции ROOK, ZAKK, BUGT) скорости поперечного сжатия заметно сокращаются до 0-1 мм/год. Эта область к северу от Гебско-Лагодехского разлома отвечает на глубине низкодобротному, более легкому объему земной коры, оказывающему распирающее действие на все горное сооружение. На северном крыле мегантиклинория вновь наблюдается небольшое увеличение средних скоростей горизонтальных движений (1-2 мм/год) вплоть до зоны Владикавказского разлома. К северу от этой разломной зоны скорость поперечного сжатия уменьшается до 0-1 мм/год.

Важно отметить, что максимальное уменьшение поперечного сжатия зафиксировано в области наивысшего подъема к земной поверхности низкодобротного объема земной коры.

Наблюдается некоторая корреляция скоростей смещений, зарегистрированных вдоль и поперек геодезического профиля. К югу от зоны Кахетино-Лечхумского разлома, где поперечные к Кавказскому горно-складчатому сооружению движения поверхности имеют наибольшие значения, скорости поперечных смещений составляют 1–5 м/год. Севернее, в наиболее приподнятой части мегантиклинория, где скорости современных смещений в ССВ направлении существенно сокращаются, скорости поперечных движений, напротив, нарастают (5–15 мм/год). А к северу от зоны Владикавказского разлома поперечные скорости сокращаются до 1–3 мм/год.

Наличие значимых поперечных смещений поверхности обусловливает сдвиговую составляющую по крупнейшим разломам кавказского простирания. Так, при Джавском землетрясении (15.06.1991) с М = 6,2 по сейсмологическим (механизм очага) и геолого-геоморфологическим данным на этом участке сейсмогенерирующий Кахетино-Лечхумский разлом представляет собой левосторонний взбрососдвиг [Рогожин и др., 2014].

Следует напомнить, что после сильнейшего Рачинского землетрясения 1991 г. в эпицентральной области была размещена временная локальная сеть из пяти станций GPS, которая вела регистрацию горизонтальных движений поверхности на южном склоне Большого Кавказа и на Закавказской плите на протяжении четырех лет [Прилепин и др., 1997]. Выяснилось, что в этот период Дзирульский срединный массив и Окрибо-Сачхерская зона Закавказской плиты смещались к северу со скоростью 4,2±0,9 мм/год, а сразу к северу от Кахетино-Лечхумского разлома фиксировались смещения тектонических зон южного склона к югу и юго-юго-западу со скоростями 6.8±1.2 мм/год. Следовательно, в очаговой зоне землетрясения реги-

стрировалось сокращение земной поверхности со скоростью около 1 см/год. При этом северное, кавказское крыло разлома характеризовалось существенно большей скоростью горизонтальных движений.

Как видно из приведенных выше данных, скорость смещений в последние годы снизилась почти вдвое, быстрые движения южного крыла мегантиклинория в южных румбах исчезли. В то же время, резкое снижение скоростей в зоне Кахетино-Лечхумского разлома по сути дела отвечает тенденции, зафиксированной после Рачинского землетрясения. При этом прогнозированное ранее исследователями существенное снижение скорости горизонтальных движений по окончании афтершокового процесса [Прилепин и др., 1997] полностью подтвердилось.

Исследования проведены в рамках научной темы 128. Физические поля, внутреннее строение Земли и глубинные геодинамические процессы. «Современная геодинамика и пространственное положение активных глубинных разломов Центральной части Большого Кавказа на основе инструментальных наблюдений» (№ 0196-2018-0039) и при поддержке РФФИ, грант № 18-05-00641.

Литература

1. Белоусов В.В. Основы геотектоники. – М.: Недра, 1989. – 382 с.

2. Горбатиков А.В., Рогожин Е.А., Степанова М.Ю., Харазова Ю.В., Андреева Н.В., Передерин Ф.В., Заалишвили В.Б., Мельков Д.А., Дзеранов Б.В., Дзебоев Б.А., Габараев А.Ф. Особенности глубинного строения и современной тектоники Большого Кавказа в Осетинском секторе по комплексу геофизических данных // Физика Земли. – 2015. – №1. – С. 3–14.

3. Милюков В.К., Миронов А.П., Стеблов Г.М., Шевченко В.И., Кусраев А.Г., Дробышев В.Н., Хубаев Х.М. Современные горизонтальные движения основных элементов тектонической структуры Осетинской части Большого Кавказа по GPS-измерениям // Физика Земли. – 2015. – №4. – С. 68–80.

4. Павленкова Г.А. Строение земной коры Кавказа по профилям ГСЗ Степное – Бакуриани и Волгоград – Нахичивань (результаты переинтерпретации первичных данных) // Физика Земли. – 2012. – №4. – С. 1–10.

5. Прилепин М.Т., Баласанян С., Баранова С.М., Гусева Т.В., Мишин А.В., Надария М., Рогожин Е.А., Розенберг Н.К., Сковородкин Ю.П., Хамбургер М., Кинг Р., Рейлингер Р. Изучение кинематики Кавказского региона с использованием GSP технологии // Физика Земли. – 1997. – №6. – С. 68–75.

6. Рогожин Е.А., Овсюченко А.Н., Лутиков А.И., Собисевич А.Л., Собисевич Л.Е., Горбатиков А.В. Эндогенные опасности Большого Кавказа. – М.: ИФЗ РАН, 2014. – 256 с.

7. Herring T.A., King R.W., Floyd M.A., McClusky S.C. Introduction to GAMIT/ GLOBK. Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences Massachusetts Institute of Technology. – 2010. – 54 p.

8. Milyukov V.K., Mironov A.P., Ovsyuchenko A.N., Rogozhin E.A., Gorbatikov A.V., Drobyshev V.N., Khubaev Kh.M., Nikolaev A.V. Velocities of Present-Day Horizontal Movements in the Central Sector of the Greater Caucasus according to GPS Observations and Their Relation to Tectonics and the Deep Structure of the Earth's Crust // Doklady Earth Sciences. – 2018. – Vol. 481. Part. 1. – Pp. 879–882.

CHARACTERISTICS OF MODERN HORIZONTAL MOVEMENTS IN THE CENTRAL SECTOR OF THE GREATER CAUCASUS ACCORDING TO GPS OBSERVATIONS DATA AND THEIR RELATIONSHIP WITH THE NEWEST TECTONICS AND DEEP STRUCTURE OF THE CRUST

© 2018 E.A. Rogozhin^{1, 3}, Sc. Doctor (Geol.-Min.), Prof., V.K. Milyukov2, Sc. Doctor (Phys.-Math.), Prof., A.P. Mironov², A. N. Ovsyuchenko¹, Sc. Candidate (Geol.-Min.), A.V. Gorbatikov¹, Sc. Candidate (Phys.-Math.)

¹Schmidt Institute of Physics of the Earth of the RAS, Russia, 123995, Moscow, Bolshaya Gruzinskaya Str., 10/1;

²Sternberg Astronomical Institute, Moscow State University, Russia, 119234, Universitetsky pr., 13;

³Geophysical institute VSC RAS, Russia, 362002, RNO-Alania, Vladikavkaz, Markov Str., 93a, e-mail: eurog1947@yandex.ru

The article highlights the results of the first performed GPS-measurements along the geodetic profile crossing all the main geological structures in the Ossetian region of the greater Caucasus. The interpretation of the measurement results was performed in comparison with the results of neotectonic studies and data on the deep structure. The maximum decrease in the current transverse velocity of compression rates is recorded in the area of the highest rise to the earth's surface of the low quality volume of the earth's crust, which has a bursting effect on the entire mountain structure. The presence of significant transverse displacements of the surface reflects the shear component along the largest faults of the Caucasian strike. The previously predicted significant decrease in the rate of horizontal movements at the end of the aftershock process of the catastrophic Racha earthquake of 1991 on the southern slope of the greater Caucasus was fully confirmed.

Key words: tectonics, crust, Greater Caucasus.

References

1. Belousov V.V. Osnovy geotektoniki [Basics of geotectonics]. M.: Nedra, 1989. 382 p. (in Russian)

2. Gorbatikov A.V., Rogozhin E.A., Stepanova M.Ju., Harazova Ju.V., Andreeva N.V., Perederin F.V., Zaalishvili V.B., Mel'kov D.A., Dzeranov B.V., Dzeboev B.A., Gabaraev A.F. Osobennosti glubinnogo stroenija i sovremennoj tektoniki Bol'shogo Kavkaza v Osetinskom sektore po kompleksu geofizicheskih dannyh [Features of the deep structure and modern tectonics of the Greater Caucasus in the Ossetian sector on a complex of geophysical data]. Fizika Zemli. 2015. No.1. Pp. 3–14. (in Russian)

3. Miljukov V.K., Mironov A.P., Steblov G.M., Shevchenko V.I., Kusraev A.G., Drobyshev V.N., Hubaev H.M. Sovremennye gorizontal'nye dvizhenija osnovnyh jelementov tektonicheskoj struktury Osetinskoj chasti Bol'shogo Kavkaza po GPS-izmerenijam [Modern horizontal movements of the main elements of the tectonic structure of the Ossetian part of the Greater Caucasus using GPS measurements]. Fizika Zemli. 2015. No.4. Pp. 68–80. (in Russian)

4. Pavlenkova G.A. Stroenie zemnoj kory Kavkaza po profiljam GSZ Stepnoe – Bakuriani i Volgograd – Nahichivan' (rezul'taty pereinterpretacii pervichnyh dannyh) [The structure of the Earth's crust of the Caucasus according to the DSS profiles Stepnoe - Bakuriani and Volgograd - Nakhichivan (the results of the reinterpretation of primary data)]. Fizika Zemli. 2012. No.4. Pp. 1–10. (in Russian)

5. Prilepin M.T., Balasanjan S., Baranova S.M., Guseva T.V., Mishin A.V., Nadarija M., Rogozhin E.A., Rozenberg N.K., Skovorodkin Ju.P., Hamburger M., King R., Rejlinger R. Izuchenie kinematiki Kavkazskogo regiona s ispol'zovaniem GSP tehnologii [The study of the kinematics of the Caucasus region with the use of GSP technology]. Fizika Zemli. 1997. No.6. Pp. 68–75. (in Russian)

6. Rogozhin E.A., Ovsjuchenko A.N., Lutikov A.I., Sobisevich A.L., Sobisevich L.E., Gorbatikov A.V. Jendogennye opasnosti Bol'shogo Kavkaza [Endogenous hazards of the Greater Caucasus]. M. IFZ RAN, 2014. 256 p. (in Russian)

7. Herring T.A., King R.W., Floyd M.A., McClusky S.C. Introduction to GAMIT/ GLOBK. Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences Massachusetts Institute of Technology. – 2010. – 54 p.

8. Milyukov V.K., Mironov A.P., Ovsyuchenko A.N., Rogozhin E.A., Gorbatikov A.V., Drobyshev V.N., Khubaev Kh.M., Nikolaev A.V. Velocities of Present-Day Horizontal Movements in the Central Sector of the Greater Caucasus according to GPS Observations and Their Relation to Tectonics and the Deep Structure of the Earth's Crust // Doklady Earth Sciences. – 2018. – Vol. 481. Part. 1. – Pp. 879–882.

VДК 553:552.52:691 DOI:10.23671/VNC.2018.4.20155

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

© 2018 Б.Д. Тотурбиев¹, д. т.н., проф., С.А. Мамаев¹, к. т.н., У.Д. Тотурбиева², к. т.н.

¹ФГБУН Институт геологии Дагестанского научного центра РАН, Россия, 367010, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. Ярагского, 75, e-mail: dangeogis@mail. ru;

²Дагестанский государственный технический университет, Россия, 367015, Республика Дагестан, г. Махачкала, пр. Имама Шамиля, д. 70

Отмечается актуальность разработки и внедрение инновационных наукоемких, энерго-ресурсосберегающих, экологически чистых, высоких технологий из минерального и техногенного сырья в различных отраслях промышленности. При этом важная роль в использовании сырьевых ресурсов в строительной отрасли принадлежит промышленности строительных материалов, особенно использованию природного сырья и в этой связи разработке инновационных проектов, позволяющих осуществлять освоение месторождений нерудного сырья, в том числе вскрышных пород, включая добычи, переработку и производство строительных материалов.

Практикой установлено, что производство строительных материалов из техногенного сырья обходиться намного дешевле, чем использование природного нерудного сырья, поскольку некоторые отходы производства можно применять без соответствующей обработки, то есть исключаются технологические операции добычи, обработки, транспортировки, хранения, контроля, являющиеся частью общего производственного процесса.

Приводятся результаты теоретических и экспериментальных исследований проведённых в Институте Геологии ДНЦ РАН с целью применения глинистых сланцев, аргиллитовых глин, кремнеземистого и техногенного сырья для изготовления вяжущих веществ, теплоизоляционных и стеновых материалов нового поколения, получаемых по инновационной, наукоемкой, низкообжиговой и безобжиговой, следовательно, энерго-ресурсосберегающей технологии.

Ключевые слова: глинистые сланцы, аргиллитовые глины, кремнеземистое и техногенное сырье, вяжущее, инновационный, наукоемкий, низкообжиговый, безобжиговый, нанодисперсный, композиции.

По мере развития современного производства с его масштабностью и темпами роста все большую актуальность приобретают разработка и внедрение инновационных наукоемких, энерго-ресурсосберегающих, экологически чистых, высоких технологий из минерального и техногенного сырья в различных отраслях промышленности [Воробьев, Джимиева, 2008; Путин, 1999].

Скорейшее их решение в ряде стран, особенно обладающие высоким научнотехническим и промышленным потенциалом, когда в мире нарастает экологическая напряженность, рассматривается как стратегическое направление рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды [Борталевич, 2014; Путин, 1999]. Одной из крупнейших наиболее материалоемких отраслей, относящаяся к крупным потребителям минерально-сырьевых ресурсов и в первую очередь нерудного сырья является строительная индустрия. При этом важная роль в использовании сырьевых ресурсов в строительной отрасли принадлежит промышленности строительных материалов, особенно использованию природного сырья.

Российская Федерация располагает значительными объемами разведанных и оцененных запасов полезных ископаемых, пригодных для производства строительных материалов. Их прогнозные ресурсы являются надежным резервом для восполнения перспективных потребностей строительной индустрии. Добыча минерального строительного сырья в России составляет более 80 процентов общего объема добычи нерудных полезных ископаемых [Воробьев, Джимиева, 2008]. Эффективное их расходование при производстве строительных материалов и конструкций является одной из важнейших задач, так как, в России, и за рубежом, постепенно возникает дефицит ряда ресурсов, таких, как древесина, минеральное сырье и пр., что приводит к повышению стоимости строительных материалов.

Поэтому в строительной отрасли минерально-сырьевые ресурсы занимают особое место, именно сегодня, когда из-за необратимых изменений в природной среде в процессе техногенного воздействия нарастают экологические проблемы. Следовательно, рациональное использование и эффективное сбережение природных ресурсов – важнейшая задача жизнедеятельности любого государства. Наилучшим решением может стать использование техногенного сырья (вторичные отходы), включающее комплекс самых разнообразных промышленных отходов и побочных продуктов: металлургических шлаков, бокситовых и других шламов, отходов горно-обогатительных комбинатов (ГОК), золу и золошлаковые отходы ТЭС, отходов углеобогащения, вторичных полимеров, продуктов переработки древесины и пр.

Практика показала, что производство строительных материалов из техногенного сырья обходиться намного дешевле, чем использование природного нерудного сырья, поскольку некоторые отходы производства можно применять без соответствующей обработки, то есть исключаются технологические операции добычи, обработки, транспортировки, хранения, контроля, являющиеся частью общего производственного процесса [Соколов, Мадаева, 2008; Мацапулин и др., 2015].

Использование техногенного сырья в производстве строительных материалов с позиции экологии дает возможность:

 резко сократить объемы добычи дефицитных природных строительных материалов;

 утилизации и осуществления химически прочных связей огромного количества загрязняющих окружающую среду промышленных отходов;

 освобождения ценных земельных участков, отчуждаемых под хвосто- и шламохранилища и пр.

Это наиболее оптимальный путь развития экономики, так как инвестиции, направляемые на осуществление ресурсосберегающих мероприятий чаще всего, в несколько раз ниже затрат, которые необходимы, чтобы увеличить добычу, производство и доставку потребителям необходимого количества соответствующих видов сырья.

Вот уже более шести лет в Институте геологии ДНЦ РАН проводятся научные исследования комплексного использования ресурсов нерудного сырья для строительной индустрии, на базе современных наукоемких, энерго- и ресурсосберегающих и высоких технологий. По результатам исследований разработаны инновационные проекты, позволяющие осуществлять комплексное освоение месторождений нерудного сырья, в том числе вскрышных пород, включая добычу, переработку и производство строительных материалов.

К настоящему времени, результаты проведённых экспериментальных исследований глинистых сланцев Дагестанского месторождения показали возможность применения их для изготовления вяжущих веществ, получаемых по энергосберегающей, низкообжиговой технологии [Мацапулин и др., 2015].

Из глинистых сланцев разработан дегидратированный (200°С) и низкообжиговый (500–700°С) многофункциональный керамический заполнитель, на основе которого получены:

насыпной теплоизоляционный материал – керамзитовый песок;

 теплоизоляционные и теплоизоляционно-конструкционные изделия плотностью 200-600 кг/м³;

- безклинкерное известково-пуццолановое вяжущее марки 200;

портландцемент марки 400-500;

- вяжущее низкой водопотребности (BHB) марки 400-500.

Из-за высокого содержания оксида железа в составе низкообжигового (500– 700°С) многофункционального керамического заполнителя рекомендовано использовать этот материал после соответствующего помола как пигмент для облицовочного материала в виде фактурного кирпича и керамических плиток, декоративных слоев для отделки наружных стеновых панелей и других поверхностей.

Проведенные комплексные исследования аргиллитовых глин показали, что глина представлена в основном монтмориллонитами, гидрослюдами и другими минералами, принимающими участие во вспучивании массы оптимальной вязкости. По химическому составу общее содержание оксидов необходимых для производства керамзита находится в пределах нормы, и характеризуется более или менее постоянным составом.

Исходя из вышеизложенного, мы предположили возможность получения керамзитового песка по упрощенной технологии во вращающейся печи.

Известно, что на практике на предприятиях керамзитовый песок получают при обжиге глинистой мелочи во вращающихся и шахтных печах или же дроблением более крупных кусков керамзитового гравия, преимущественно в валковых дробилках. Производство керамзитового песка по обычной технологии во вращающейся печи неэффективно. Некоторая примесь песчаной фракции получается при производстве керамзитового гравия за счет разрушения части гранул в процессе термообработки, однако он сравнительно тяжелый, так как мелкие частицы глинистого сырья практически не вспучиваются (резервы газообразования исчерпываются раньше, чем глина переходит в пиропластическое состояние). Кроме того, в зоне высоких температур мелкие гранулы разогреваются сильнее крупных, при этом, возможно, их оплавление и налипание на зерна гравия. А себестоимость дробленого керамзитового песка высока не только в связи с дополнительными затратами на дробление, но главным образом потому, что выход песка всегда меньше объема дробимого гравия. Коэффициент выхода песка составляет 0,4-0,7, т.е. в среднем из 1 м³ гравия получают только около 0,5 м³ дробленого керамзитового песка. При этом почти вдвое возрастает его насыпная плотность.

Используемые нами аргиллиты относятся к камнеподобному глинистому сырью, однородны по составу, в них нет вредных включений. Поэтому был применен наиболее упрощенный сухой способ получения керамзитового песка. Аргиллит дробится, отсеивается мелочь, слишком крупные куски направляются для повторного дробления, и затем обжигается во вращающейся печи при 1200°С.

Зерновой состав полученного керамзитового песка составляет фракции 0,16-5,0 мм со следующими физико-механическими свойствами: средняя насыпная плотность 650 кг/м³, теплопроводность 0,13-0,15, прочность 33-45 кг/см² и водопоглощение до 10% [Тотурбиев и др., 2018а, б].

Из аргиллитовых глин по критической технологии получен стеновой материал – строительный кирпич, при этом расход топливно-энергетических ресурсов сокращается в 1,5 раза, увеличивается производительность технологического процесса в 2 раза, себестоимость продукции снижается в 1,5. Данный технический результат достигается тем, что обжиг глинистого сырья осуществляется до формования изделий при довольно низкой температуре 550°С. После дозировки смесь размалывается в мельнице до удельной поверхности 2500 см²/г, затем увлажняется водой и выдерживается в течение 30 минут. Из полученной массы пластическим способом формуются изделия, твердение которых осуществляется в естественных условиях.

Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена, возможность получения безобжигового пенодиатомитового теплоизоляционного материала из кремнистых пород с использованием в качестве связующего вещества нанодисперсной композиции [Тотурбиев и др., 2014, 2016а, б].

Плотность полученного теплоизоляционного материала полностью регулируется количеством пены (856-686 л), введенной в состав диатомитовой нанодисперсной композиции и составляет от 300 до 700 кг/м³.

Арболитобетон, полученный на основе дробленой виноградной лозы и силикатнатриевого композиционного вяжущего, изготовленного из карбонатных отходов производства камнепиления и силикат глыбы с кремнеземистым модулем 2,7...3,0, по прочности превышает арболитобетоны из других видов вяжущих веществ и органических заполнителей растительного происхождения.

Из оптимальных составов арболитобетона можно получать, как теплоизоляционные, так и конструкционно-теплоизоляционные изделия плотностью 400...800 кг/ м³ с достаточно высокой прочностью 1,95-6,75 МПа и низкой теплопроводностью 0,085-0,164 в зависимости от плотности изделий.

В состав разработанного арболитобетона при изготовлении не вводятся минерализаторы и ускорители твердения. А также нет необходимости предварительного вымачивания органического заполнителя.

В его структуре преобладает объем закрытых пор, который способствует повышению прочности и улучшению теплотехнических характеристик материала.

Из природного нанодисперсного кремнеземистого сырья, карбонатных пород и низкообжиговых высокопластичных глин, путем совместного сухого помола без введения химических добавок получены экологически чистые сухие смеси низкой себестоимости.

К другому направлению исследований относятся нанодисперсные полисиликатные системы, обладающие уникальными связующими свойствами, обеспечивающие комплексное применение нерудного сырья и отходов производства в композициях с различным целевым назначением.

По результатам этих исследований разработаны: безобжиговый теплоизоляционный материал на основе гидрофобного перлитового песка с насыпной плотностью 75-150 кг/м³, с использованием в качестве связующего вещества нанодисперсного полисиликата натрия, получаемого путем совместного синтеза кремнезоля и безводного силиката натрия, кремнеземистый ячеистый теплоизоляционный бетон нового поколения с использованием в качестве связующего вещества нанодисперсного полисиликата натрия, полученного путем синтеза аморфного нанодисперсного природного кремнеземистого сырья и тонкодисперсного безводного силиката натрия [Тотурбиев и др., 2014; Юсупов и др., 2017].

Таким образом, разработка и внедрение строительных материалов экологически чистого нового поколения по вышеуказанным технологиям с использованием природного минерального и техногенного сырья, становится очевидной необходимой задачей для развития современной экономики в этой области.

Литература

1. Борталевич С.И. Управление энергобезопасностью регионов // III Международный форум «Россия в XXI веке: Глобальные вызовы и перспективы развития», Москва, 21-22 октября 2014 г. – М. – 2014. – С. 599-607.

2. Воробьев А. Е., Джимиева Р. Б. Современные методы прогнозирования возможного развития технологий недропользования // VII Международная конференция «Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр», Москва, 15-19 сентября, 2008 г. – М. – 2008. – С. 86-88.

3. Мацапулин В.У., Тотурбиев А.Б., Черкашин В.И. Глинистые сланцы – эффективное минеральное сырье для изготовления строительных материалов // Вестник ДГТУ. – 2015. – № 38 (3). – С. 119-127.

4. Путин В.В. Минерально-сырьевые ресурсы в стратегии развития Российской экономики // Записки Горного института. – 1999. – Т. 144 (1). – С. 1-11.

5. Соколов И.В., Мадаева М.З. Оценка уровня экологической и промышленной безопасности горных ландшафтов Северного Кавказа // VII Международная конференция «Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр», Москва, 15-19 сентября, 2008 г. – М. – 2008. С. 276-278.

6. Тотурбиев А.Б., Абдуллаев М. А., Черкашин В. И., Тотурбиев Б. Д. Безобжиговый пенодиатомитовый теплоизоляционный материал на местном природном кремнистом сырье // Промышленное и гражданское строительство. – 2014. – № 3. – С. 76-79.

7. Тотурбиев А.Б., Черкашин В.И., Тотурбиев Б.Д., Тотурбиева У.Д. Перлитовый теплоизоляционный материал на нанодисперсном полисиликатнатриевом вяжущем // Промышленное и гражданское строительство. – 2016а. – № 3. – С. 59-61.

8. Тотурбиев А.Б., Черкашин В.И., Тотурбиев Б.Д., Мацапулин В.У., Тотурбиева У.Д. Использование местного природного кремнистого сырья и отходов производства для получения теплоизоляционного пенобетона // Вестник ДГТУ. – 2016б. – № 4. Т. 39. – С. 136-144.

9. Тотурбиев Б.Д., Тотурбиев А.Б., Абдулаев М.Ш., Абдулганиева Т.И. Использования аргиллитовых глин для производства керамзита // Горный журнал. – 2018а. – № 3. – С. 58-62.

10. Тотурбиев Б. Д., Мамаев С. А., Тотурбиев А. Б. Наноструктурированные жаростойкие бетоны с повышенными эксплуатационными свойствами // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли в Российской Федерации в 2017 году: Сб. научных трудов РААСН. Т. 2. – М.: Издательство АСВ, 2018б. – С. 463-469.

11. Юсупов А. Р., Черкашин В. И., Атемов М. С., Мамаев С. А. Укрупнение грунтов модифицирующей добавкой «ДС-35» при строительстве сельских дорог. // Труды Института геологии ДНЦ РАН. – 2017. – № 4. – С. 32-35.

INNOVATIVE PRODUCTION TECHNOLOGY OF NEW GENERATION BUILDING MATERIALS

© 2018 B.D. Toturbiev¹, Sc. Doctor (Tech.), Prof., S.A. Mamaev¹, Sc. Candidate (Tech.), U.D. Toturbieva², Sc. Candidate (Tech.)

¹Institute of Geology of the Dagestan Scientific Center of the RAS, Russia, 367010, Republic of Dagestan, Makhachkala, Yaragskiy Str., 75, e-mail: dangeogis@mail.ru;

²Daghestan State Technical University, Russia, 367015, Republic of Dagestan, Makhachkala, Imam Shamil Avenue, 70

The relevance of the development and implementation of innovative high-tech, energy-resource-saving, environmentally friendly, high technologies from mineral and industrial raw materials in various industries is noted. At the same time, an important role in the use of raw materials in the construction industry belongs to the building materials industry, especially the use of natural raw materials and, in this regard, the development of innovative projects that allow the integrated development of nonmetallic deposits, including overburden, including mining, processing and production of building materials.

It has been established by practice that the production of building materials from technogenic raw materials is much cheaper than using natural non-metallic raw materials, since some production wastes can be used without proper processing, that is, technological operations of extraction, processing, transportation, storage, and control, which are part of the overall production process, are excluded.

The results of theoretical and experimental studies carried out at the Institute of Geology of the Dagestan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences with the aim of using shale, argilite clay, silica and technogenic raw materials for the manufacture of binders, heat-insulating and wall materials of the new generation, are obtained from innovative, high-tech, low-firing and unburned, therefore, energy resource-saving technology.

Keywords: shale, argillite clay, silica and man-made materials, binder, innovative, high-tech, low-firing, unburned, nano-dispersed, composition.

References

1. Bortalevich S.I. Upravlenie energobezopasnosťyu regionov [Regional Energy Security Management]. III Mezhduna-rodnyj forum "Rossiya v XXI veke: Global'nye vyzovy i perspektivy razvitiya", Moskva, 21-22 oktyabrya 2014 g. M. 2014. Pp. 599-607. (in Russian)

2. Vorob'ev A. E., Dzhimieva R.B. Sovremennye metody prognozirovaniya vozmozhnogo razvitiya tehnologij nedropol'zovaniya [Modern prognosis methods of the possible development of subsoil use technologies]. VII Mezhdunarodnaya konferenciya "Resursovosproizvodyashchie, maloothodnye i prirodoohrannye tehnologii osvoeniya nedr", Moskva, 15-19 sentyabrya, 2008 g. M. 2008. Pp. 86-88. (in Russian)

3. Macapulin V.U., Toturbiev A.B., Cherkashin V.I. Glinistye slancy – effek-tivnoe mineral'noe syr'e dlya izgotovleniya stroitel'nyh materialov [Clay shales – effective mineral raw materials for the manufacture of building materials]. Vestnik DGTU. 2015. No. 38 (3). Pp. 119-127. (in Russian)

4. Putin V. V. Mineral'no-syr'evye resursy v strategii razvitiya Rossijskoj ekonomiki [Mineral resources in the development strategy of the Russian economy]. Zapiski Gornogo instituta. 1999. Vol. 144 (1). Pp. 1-11. (in Russian)

5. Sokolov I.V., Madaeva M.Z. Ocenka urovnya ekologicheskoj i promyshlennoj bezopasnosti gornyh landshaftov Severnogo Kavkaza [Assessment of the level of environmental and industrial safety of mountain landscapes of the North Caucasus]. VII Mezhdunarodnaya konferenciya "Resursovosproizvodyashchie, maloothodnye i prirodoohrannye tehnologii osvoeniya nedr", Moskva, 15-19 sentyabrya, 2008 g. M. 2008. Pp. 276-278. (in Russian)

6. Toturbiev A. B., Abdullaev M.A., CHerkashin V. I., Toturbiev B. D. Bezobzhigovyj penodiatomitovyj teploizolyacionnyj material na mestnom prirodnom kremni-stom syr'e [Unbaked foam-diatomite thermal insulation material on local natural siliceous raw materials]. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2014. No. 3. Pp. 76-79. (in Russian)

7. Toturbiev A.B., Cherkashin V. I., Toturbiev B.D., Toturbieva U.D. Perlitovyj teploizolyacionnyj material na nanodispersnom polisilikatnatrievom vyazhushchem [Perlite thermal insulation material on nano dispersed polysilicate sodium binder]. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2016a. No. 3. Pp. 59-61. (in Russian)

8. Toturbiev A. B., Cherkashin V. I., Toturbiev B. D., Macapulin V. U., Toturbieva U. D. Ispol'zovanie mestnogo prirodnogo kremnistogo syr'ya i othodov proizvodstva dlya polucheniya teploizolyacionnogo penobetona [Use of local natural siliceous raw materials and production wastes for obtaining heat insulating foam concrete]. Vestnik DGTU. 2016b. No. 4. Vol. 39. Pp. 136-144. (in Russian)

9. Toturbiev B.D., Toturbiev A.B., Abdulaev M. Sh., Abdulganieva T.I. Ispol'zovaniya argillitovyh glin dlya proizvodstva keramzita [The use of argillite clay for the production of expanded clay]. Gornyj zhurnal. 2018a. No. 3. Pp. 58-62. (in Russian)

10. Toturbiev B. D., Mamaev S.A., Toturbiev A. B. Nanostrukturirovannye zharostojkie betony s povyshennymi ekspluatacionnymi svojstvami [Nanostructured heatresistant concretes with enhanced performance properties]. Fundamental'nye, poiskovye i prikladnye issledovaniya RAASN po nauchnomu obespecheniyu razvitiya arhitektury, gradostroitel'stva i stroitel'noj otrasli v Rossijskoj Federacii v 2017 godu: Sb. nauchnyh trudov RAASN. Vol. 2. M.: Izdatel'stvo ASV, 2018b. Pp. 463-469. (in Russian)

11. Yusupov A. R., CHerkashin V. I., Atemov M. S., Mamaev S.A. Ukrupnenie gruntov modificiruyushchej dobavkoj «DS-35» pri stroitel'stve sel'skih dorog. [Consolidation of soil modifying additive "DS-35" in the construction of rural roads]. Trudy Instituta geologii DNC RAN. 2017. No. 4. Pp. 32-35. (in Russian) VДК 552.573 DOI:10.23671/VNC.2018.4.20157

О КОНТИНЕНТАЛЬНОСТИ УГЛЕНОСНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮГА РОССИИ

© 2018 В.В. Трощенко, к. г.-м. н.

ФГБУН Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук, Россия, 344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41, e-mail: vtrosh@ssc-ras. ru

Собранные и проанализированные автором факты свидетельствуют, что терригенные породы угленосной толщи Донбасса, включая угольные залежи, являются водно-осадочными образованиями, формирующимися в бассейне осадконакопления за счёт сноса минерального и органического материала с континентальных блоков земной коры, лежащих вне бассейна осадконакопления, и поэтому не являются настоящими континентальными образованиями.

Ключевые слова: Угленосные формации, угольные залежи, аллохтонное накопление, континентальные отложения, квазиконтинентальные отложения.

В геологической литературе за угольными залежами и значительной частью слоистых толщ, представляющих собой угленосные формации, устойчиво закрепилось определение «континентальных отложений». Однако при ближайшем рассмотрении природа большинства ископаемых углей и вмещающих их осадочных толщ оказывается иной.

На протяжении нескольких столетий ископаемый уголь был едва ли не основным полезным ископаемым, и только совсем недавно, каких-то два-три десятилетия назад, он утратил своё почётное звание «настоящего хлеба промышленности», уступив первенство углеводородам нефтегазового ряда. Параллельно с резким снижением экономического потенциала угольного топлива, произошло не менее резкое снижение научного интереса ко всем аспектам геологической науки, так или иначе связанным с происхождением угля, его ролью в геологической истории. Это особенно прискорбно, т. к. многие фундаментальные гипотезы не только всей осадочной геологии, но и смежных отраслей геологической науки – палеогеографии, геотектоники базируются на положениях геологии твёрдых горючих ископаемых, которые принято считать незыблемыми.

Принято считать, что ископаемый уголь произошел из торфа. Данное утверждение справедливо в том смысле, что органический материал древней растительности прежде, чем стать углем, проходил торфяную стадию – биоразложение растительных тканей и формирование автохтонных континентальных торфяных залежей, т. е. торфяников. Но представление о том, что угольные залежи являются продуктом захоронения и преобразования in situ, т. е. в континентальных условиях, именно этих торфяных залежей, не соответствует действительности.

Залежи ископаемых углей, по крайней мере, их подавляющее большинство, демонстрируют морфологические признаки и особенности параллельно-слоистой текстуры на макро- и микроскопическом уровне, которые свидетельствуют о природе ископаемых гумусовых углей, как нормальной водно-осадочной породы органического состава, образующейся при осаждении в водном бассейне дисперсной растительной органики, образующейся при размыве континентальных торфяников и переносимой в седиментационный бассейн водными потоками [Трощенко, 2012, 2014]. Водно-осадочный генезис присущ большинству пород, слагающих угленосные формации.

Практически все известные осадочные толщи фанерозоя, (исключая современные осадки антропогена) сформированы в условиях седиментации в водных бассейнах типа плоских эпиконтинентальных морей и их лагун, и континентальные отложения в них отсутствуют. Континентальные отложения присутствуют только в областях сноса и, как правило, не сохраняются в геологической летописи. Здесь необходимо пояснить, что под континентальными отложениями здесь подразумеваются осадочные образования, которые формируются в пределах континентов и накапливаются здесь же. Это широкий спектр озёрных, болотных, аллювиальных, пролювиальных, коллювиальных, ледниковых и т.п. отложений, образующих недолговечные скопления, которые в дальнейшем могут неоднократно подвергаться повторному размыву, переносу поверхностными водотоками и другими агентами на различные расстояния и переотложению в пределах того же континента до тех пор, пока их материал не покинет пределы континента и поступит в седиментационный бассейн (океан, море, крупное озеро). Здесь их дальнейшее перемещение, преобразование, сортировка и распределение в пространстве зависит уже от динамики вод бассейна – течений, волновых процессов.

Под континентом здесь подразумевается обширная область земной коры (ЗК), испытывающая на протяжении достаточно долгого периода геологического времени устойчивые восходящие тектонические движения, в результате чего на её территории преобладает субаэральный, преимущественно денудационный режим, сопровождающийся деструктивными природными процессами и формированием осадков, которые могут перемещаться под влиянием различных агентов как в пределах континента, так и далее, за его границы.

Бассейн седиментации может представлять собой любую территорию или акваторию, испытывающую одновременно с поднятием континента нисходящие тектонические движения, что обеспечивает возможность приёма и накопления осадка любого состава, образующегося на территории континента, и его полного или частичного сохранения в дальнейшем. Каждый седиментационный бассейн имеет одну или несколько областей водосбора, которые одновременно являются и областями сноса терригенного материала для данного бассейна.

Настоящие континентальные отложения формируются на денудированной поверхности континентальных блоков ЗК и образуют временные скопления молодых, как правило, рыхлых осадков на размытой поверхности или коре выветривания консолидированных древних образований самого разнообразного генезиса. Аналогичные по фациальному составу отложения, встречаемые в составе древних погребенных слоистых толщ, например, аллювиальные отложения в каменноугольной формации Донбасса [Аллювиальные..., 1954], принято также считать континентальными, хотя они, строго говоря, таковыми не являются, поскольку сформированы не на континенте, а на временно осушенной поверхности переполненного осадками седиментационного бассейна. Для таких осадочных образований наиболее подходящим можно считать термин «квазиконтинентальные». Их главный признак – отсутствие в их основании консолидированных коренных пород. Наиболее обычная причина появления квазиконтинентальных образований – массовое поступление в седиментационный бассейн несоразмерных количеств кластического материала, как правило, грубозернистого, в результате чего наступает переполнение бассейна и на субаэральную поверхность выходят всё более молодые порции приносимого водотоками материала. Смена морского (лагунного, озёрного) режима осадконакопления субаэральным сопровождается развитием речных систем и характерных для них эрозионно-аккумулятивных процессов, аналогичных тем, которые присущи континентальным природным экосистемам. Эти эрозионно-аккумулятивные процессы представляют собой часть саморегулируемого механизма распределения осадка по территории (акватории) седиментационного бассейна.

Наиболее благоприятные условия для формирования угленосных бассейнов создавались в плоских эпиконтинентальных морях, их лагунах и крупных озёрах, максимальные глубины которых вряд ли могли превышать значения порядка 100-150 м. Таковы практически все основные угольные бассейны мира. При этом глубина бассейна при формировании каждого слоя угленосной толщи зависела от соотношения скорости поступления в бассейн твёрдого стока и скорости прогибания ложа бассейна. Поэтому наиболее глубоководными осадками здесь являются тонкие илы, а также растительная органика, карбонатные и кремнистые органогенные и хемогенные осадки, а грубозернистые разности представляют самую мелководную часть разреза, и даже субаэральные отложения.

Когда в водный бассейн поступают наиболее тонкие фракции терригенного осадка, как минеральные, так и органические по составу, глубина бассейна может достигать наибольших значений, поскольку скорость приноса и накопления именно этих фракций наименьшая, и накопление осадка отстаёт от опускания дна бассейна, т. е. здесь развивается недокомпенсированное прогибание ЗК. Такой режим осадконакопления сводит к минимуму участие в площадном распределении осадка волновых процессов в бассейне, так как интенсивные волновые движения не достигают уровня дна, захватывая лишь самые верхние слои водных масс. В этих условиях перенос тонкозернистого минерального и органического материала происходит за счёт морских течений, сейшей, ветровых сгонно-нагонных явлений. Образование угольных залежей связано именно с периодами временного прекращения восходящих движений в областях сноса.

Ускорение воздымания областей сноса приводит к интенсификации поступления осадка в бассейн и одновременно к изменению его литологии в сторону большего участия крупнозернистых разностей. При этом роль волновых движений водных масс в переносе осадка возрастает, приобретая основное значение при глубинах, близких к нулевому значению, но резко падает до нуля при окончательном заполнении ванны бассейна. На этом этапе происходит формирование поверхностных водотоков, образующих сеть ручьёв и речек, которые, выбирая наиболее пониженные участки рельефа, концентрируют поверхностный сток, причём скорость течения в этих водотоках многократно превышает скорости медленных морских течений и волновых колебаний, позволяя воде переносить гораздо более крупнозернистый материал, одновременно врезаясь в ранее отложившиеся осадки. Так формируются сингенетические и постгенетические русловые размывы недавно отложенных слоёв угленосной толщи, включая и угольные залежи. Именно с периодами быстрого воздымания блоков ЗК, составляющих области сноса, связано появление в угленосной толще аллювиальных отложений и других осадочных образований, которые принято считать континентальными, хотя правильнее было бы добавлять к этому названию приставку «псевдо» или «квази». Быстрое накопление мощных толщ крупнозернистых осадков может ускорить прогибание дна бассейна за счёт изостазии, остановка или замедление воздымания областей сноса при продолжающемся опускании дна бассейна также приводит к восстановлению нормального циклического процесса осадконакопления [Трощенко, 2017].

Окончание тектонического цикла знаменуется прекращением восходящих движений континентальных блоков, в результате чего их денудация завершается максимальной пенепленизацией с уничтожением всех ранее образовавшихся континентальных осадков данного возраста, тогда как накопившиеся в водном бассейне осадки претерпевают длительную историю диагенетических и метаморфических преобразований, тектонических дислокаций, инверсии и частичной денудации, результатом чего являются угольные бассейны во всём многообразии их структурных форм и качественных характеристик углей [Кизильштейн и др., 2003].

Таким образом, угольные залежи, сохранившиеся до наших дней в составе погребенных, в разной степени дислоцированных и диагенетически преобразованных угленосных толщ, традиционно относимые при всех палеогеографических построениях к континентальным болотным фациям, также таковыми не являются. Более того, их невозможно отнести даже к псевдоконтинентальным отложениям, подобно аллювию в разрезе угленосных толщ, поскольку здесь они являются наиболее глубоководными осадками, наряду с биогенными и хемогенными карбонатными и кремнистыми породами. На это указывает, помимо всего прочего, факт наибольшего площадного распространения, в частности, в Донецком бассейне, именно угольных залежей и пластов морских известняков.

Следует отметить, что мощности стратиграфических подразделений (свит) угленосного карбона Донбасса на площади бассейна претерпевают значительные изменения, однако зоны максимальных мощностей всех свит приурочены в плане к одним и тем же площадям бассейна, рисунок изопахит всех свит повторяется, что позволило В.З. Ершову [Ершов, 1963] сформулировать известное «правило про-порциональности» мощностей стратиграфических подразделений донецкого карбона. Это свидетельствует о том, что неравномерность скоростей опускания дна бассейна сохранялась на протяжении всего периода осадконакопления при неизменном характере распределения этих скоростей по площади. Это обстоятельство позволяет с достаточно высокой точностью восстанавливать значения мощности стратиграфических интервалов на тех площадях, где они не поддаются непосредственному измерению – там, где соответствующие слои либо погружены на недоступную глубину, либо уничтожены денудацией.

Таким образом, динамика осадконакопления, обусловленная особенностями процесса прогибания ложа Донецкого бассейна, носила специфический характер, отличающийся от современного осадконакопления, например, на дне Северного Ледовитого океана, где скорость накопления осадков и, соответственно, скорость опускания дна сохраняет одни и те же значения на обширных площадях, о чём свидетельствуют результаты анализа данных геофизических исследований и бурения скважин в котловине Амундсена [Черных, Крылов, 2011]. Здесь залегание сейсмостратиграфических комплексов от глубины около 6 км (современная поверхность дна) до примерно 7,5 км почти горизонтальное, это практически параллельные слои. Первичные неровности дна снивелированы, локальные поднятия дна у краев впадины образуют структуры прилегания. Резюмируя вышеизложенное, можно сделать заключение о том, что выделение в составе большинства угленосных формаций неких континентальных отложений лишено оснований. Континентальные отложения голоцена широко распространены на территории современных континентов, однако более древние их аналоги, в случае их нахождения в погребенном состоянии, должны рассматриваться как исключительная редкость.

Публикация подготовлена в рамках Госзадания ЮНЦ РАН проект № 01201363185.

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 ССР, 1954. – 296 с.

2. Ершов В.З. История геологического развития угленосной формации Донецкого, ассейна // В кн.: Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР. Т 1. Угольные бассейны и месторождения юга Европейской части СССР. Под ред. И.А. Кузнецова. – 1963. – С. 253-272.

3. Кизилыштейн Л. Я., Щиров В. Т., Черников Б. А. Среднекарбоновое угленакопление в Донецком бассейне. Палеогеографические и пластово-качественные карты основных угольных пластов. – Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского ун-та, 2003. – 108 с.

4. Трощенко В.В. Седиментологический аспект углеобразования // Гл. ред. чл.-корр. РАН Д.Г. Матишов. – Ростов-на-Дону: Издательство ЮНЦ РАН, 2012. – 112 с.

5. Трощенко В. В. Генетические аспекты морфологии торфяных и угольных залежей // Вестник ЮНЦ, 2014. – Т. 10. № 3. – С. 61-68.

6. Трощенко В.В. Цикличность угленакопления и геотектоника // Геология и геофизика юга России, 2017. – № 1. – С. 73-80.

7. Черных А.А., Крылов А.А. Седиментогенез в котловине Амундсена в свете геофизических данных и материалов бурения на хребте Ломоносова // ДАН. – 2011. – Т. 440. № 4. – С. 516-520.

ON CONTINENTAL NATURE OF COAL-BEARING DEPOSITS OF RUSSIAN SOUTH

© 2018 V.V. Troshchenko, Sc. Candidate (Geol.-Min.)

Federal research centre Southern Scientific Centre, RAS, Russia, 344006, Rostov-on-Don, Chekhov Ave, 41

The data, gained and analysed by the author, are witnessing that terrigenous rocks of coal-bearing series of Donbas, including coal deposits, are water-sedimentary formations, formed in the basin of sedimentation on account of input of mineral and organic material from the continental blocks of the Earty crust, located outside the basin and being areas of washout.

Keywords: Coal-bearing formations, coal seams, allochtonous accumulation, continental deposits, quasicontinental deposits.

References

1. Alljuvial'nye otlozhenija v uglenosnoj tolshhe srednego karbona Donbassa. [Alluvial deposits in the coal-bearing series of Middle-Carboniferous jf Donbas]. Trudy in-ta geol. nauk AN SSSR. Vyp. 151. Ugol'naja serija (№ 5). M. Izd-vo AN SSR, 1954. 296 p. (in Russian)

2. Ershov V.Z. Istorija geologicheskogo razvitija uglenosnoj formacii Doneckogo bassejna. [History of geological development of coal-bearing formation of the Donetsk basin]. V kn.: Geologija mestorozhdenij uglja i gorjuchih slancev SSSR. T 1. Ugol'nye bassejny i mestorozhdenija juga Evropejskoj chasti SSSR. Pod red. I.A. Kuznecova. 1963. Pp. 253-272. (in Russian)

3. Kizil'shtejn L. Ja., Shhirov V.T., Chernikov B.A. Srednekarbonovoe uglenakoplenie v Doneckom bassejne. Paleogeograficheskie i plastovo-kachestvennye karty osnovnyh ugol'nyh plastov. [Middle-Carboniferous coal accumulation in the Donets basin. Paleogeographic and seam-quality maps of main coal seams]. Rostov-na-Donu. Izd-vo Rostovskogo un-ta. 2003. 108 p. (in Russian)

4. TroshhenkoV.V.Sedimentologicheskijaspektugleobrazovanija.[Sedimentological aspect of coal formation]. Gl. red. chl.-korr. RAN D.G. Matishov. Rostov-na-Donu: Izdatel'stvo JuNC RAN. 2012. 112 p. (in Russian)

5. Troshhenko V. V. Geneticheskie aspekty morfologii torfjanyh i ugol'nyh zalezhej. [Genetic aspects of the peat and coal deposits morphology]. Vestnik JuNC. 2014. T. 10. N 3. Pp. 61-68.

6. Troshhenko V.V. Ciklichnost' uglenakoplenija i geotektonika. [Cyclicity of coal accumulation and tectonics]. Geologija i geofizika juga Rossii. 2017. N 1. Pp. 73-80.

7. Chernyh A.A., Krylov A.A. Sedimentogenez v kotlovine Amundsena v svete geofizicheskih dannyh i materialov burenija na hrebte Lomonosova. [Sediment-genesis in the Amundsen Trough in the light of geophysical data and results of drilling at the Lomonosov Ridge]. DAN. 2011. T. 440. N 4. Pp. 516-520.

VДК 550.34 DOI:10.23671/VNC.2018.4.20158

МОДЕЛИ СЕЙСМИЧНОСТИ ДЛЯ ВЕРОЯТНОСТНОГО ДЕТАЛЬНОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ РСО-АЛАНИЯ

© 2018 Ю.К. Чернов, д. ф.-м. н., проф., В.Б. Заалишвили, д. ф.-м. н., проф., Б.В. Дзеранов, к. г.-м. н.

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

В рамках исследований по созданию нового альбома вероятностных карт детального сейсмического районирования территории PCO-Алания разработан ряд моделей региональной и локальной сейсмичности района. Модели в вероятностной форме описывают места (зоны) возникновения потенциально опасных для изучаемой территории землетрясений, максимальные возможные магнитуды этих землетрясений, размеры, механизмы и ориентацию очагов, повторяемость землетрясений разных магнитуд во времени, распределение очагов землетрясений по глубине. Исследования проведены с использованием большого объема сейсмостатистических, макросейсмических, сейсмотектонических, инструментальных и других данных. Модели позволяют повысить точность и детальность прогнозных оценок на региональном и локальном уровнях, т. к. более полно учитывают особенности пространственно-временного распределения потенциально опасных очагов землетрясений, а также представляют итоговую информацию в виде, необходимом для ее дальнейшего включения в вероятностный анализ сейсмической опасности (probabilistic seismic hazard analysis – PSHA).

Ключевые слова: детальное сейсмическое районирование, сейсмическая опасность, сильные землетрясения, зоны ВОЗ, сейсмический режим, вероятные сейсмические воздействия.

Введение

Геофизическим институтом ВНЦ РАН в 2017 г. начата разработка новой Карты детального сейсмического районирования территории РСО-Алания. В рамках данной программы разработана новая (позволяющая получать более точные и детальные оценки) технология вероятностного прогнозирования наиболее важных характеристик опасных сейсмических воздействий. Подробное описание этой технологии дано в работе [Чернов, 2017]. Здесь же приведем ее основные положения. Согласно данной технологии вероятностный анализ сейсмической опасности (probabilistic seismic hazard analysis – PSHA) строится на основе расчетов с использованием формулы полной вероятности. При этом условная вероятность задается функцией распределения рассматриваемого параметра сейсмического воздействия при единичном событии (землетрясении) с заданными характеристиками (магнитуда, удаленность, механизм и др.), а безусловная вероятность – описывает неопределенность в возникновении такого землетрясения в данном месте в заданный промежуток времени.

Данная расчетная схема реализуется на базе моделей, которые можно разделить на две группы – модели сейсмичности (задают безусловную вероятность) и модели сильных движений (задают условную вероятность). В данной работе рассмотрены

модели первой группы, описывающие: а) вероятные места (зоны) возникновения потенциально опасных для изучаемой территории землетрясений (зоны ВОЗ); б) максимальные возможные магнитуды (M_{max}) этих землетрясений; в) размеры, механизмы и ориентацию очагов; г) повторяемость землетрясений разных магнитуд во времени; д) распределение очагов землетрясений по глубине.

Исходные материалы и методика анализа данных

Информационная база исследований сформирована с использованием всех доступных сейсмологических, геолого-геофизических, макросейсмических, инженерно-геологических и других данных по исследуемому району, а также по некоторым другим сейсмоактивным районам мира со сходными природными условиями (подробнее их описание дано ниже, применительно к каждому типу из разрабатываемых моделей).

При этом анализировались:

 материалы о геологическом строении района (о стратиграфии глубинных отложений, об общем тектоническом строении, геоморфологические данные);

 данные о сейсмотектонических условиях района и разработанные ранее различными авторами варианты зон ВОЗ;

 региональные и локальные данные о пространственном расположении и повторяемости во времени очагов землетрясений разных магнитуд, а также других параметрах сейсмического режима исследуемой территории РСО-Алания и прилегающих районов;

 данные о размерах, ориентации и механизмах очагов землетрясений исследуемого района;

 – результаты по оценкам региональной и локальной сейсмичности, полученные ранее при выполнении работ по ОСР, ДСР, СМР в данном регионе;

 литературные и фондовые данные о макросейсмических проявлениях сильных землетрясений в различных геологических условиях исследуемого района;

При обработке исходных данных использовались методы математической статистики – корреляционный, регрессионный и дисперсионный анализы, метод проверки статистических гипотез, а также метод геологических аналогий.

Комплексному анализу подвергнут район, включающий в себя территорию PCO-Алания и прилегающие участки на расстояниях до 150 км. Размеры (~325 км × 325 км) и расположение (симметричный квадрат вокруг территории PCO-Алания) рассматриваемого района выбраны таким образом, чтобы обеспечить учет возможных воздействий от всех потенциально опасных для расчетных точек очагов землетрясений. Максимальные расстояния, на которых учитываются возможные очаги землетрясений, составляют ~150 км. Более далекие землетрясения даже с максимально возможными в данном регионе магнитудами (M_{max} =7,0) с большой вероятностью не могут вызвать сильных (I>6 баллов MSK) сотрясений на изучаемой территории Республики Северная Осетия-Алания.

Применен вариант оценки вероятных сейсмических воздействий для точечных объектов [Чернов, 1989]. Точечными объектами в данном случае являются расположенные по сетке квазиоднородные элементарные участки, на которые разбит весь вышеуказанный район. Каждый элементарный участок территории (с учетом глубины сейсмогенерирующего слоя) для описания региональной и локальной сейсмичности характеризуется следующими параметрами:

— значениями магнитуд потенциально опасных землетрясений, очаги, а точнее центры тяжести очагов которых могут возникать под данным участком, от минимальной M_{min} до максимальной M_{max} ;

 размерами, механизмами и ориентацией в пространстве очагов потенциально опасных землетрясений разных магнитуд;

– распределением землетрясений разных магнитуд по глубине очагов;

 повторяемостью, то есть средним числом землетрясений разных магнитуд в единицу времени;

Размеры элементарных участков на поверхности земли для всей территории приняты одинаковыми и равными 5 км'5 км, что обеспечивает достаточную детальность и точность расчетов [Чернов, 1989]. В качестве сейсмогенерирующего пространства рассматривался слой земной коры мощностью до 40 км.

Вышеуказанные характеристики тесно связаны с региональными и местными особенностями сейсмичности и сейсмогеологического строения изучаемой территории и являются необходимыми исходными данными для построения описанных ниже моделей сейсмичности.

Результаты и обсуждение.

<u>Зоны ВОЗ.</u> Определение зон ВОЗ и максимально возможных в них магнитуд землетрясений является сложной задачей, страдающей большой неопределенностью. В российской практике эта задача решается на основе комплексного анализа имеющихся сейсмологических и геолого-геофизических данных [Сейсмическое..., 1980; Аптикаев и др., 1986; Штейнберг и др., 1993; Комплект карт..., 1999].

Зоны ВОЗ для рассматриваемого района достаточно полно изучались при построении карт ОСР территории Северного Кавказа [Сейсмическое..., 1980; Уломов, 1995; Комплект карт..., 1999], ДСР Ставропольского края [Составление карты..., 1996], а также исследований, проведенных ИГЭ РАН [Отчет..., 2007, 2008], ОИФЗ РАН [Рогожин, 2007; Отчет..., 2015].

В настоящее время для исследуемой территории РСО-Алания и прилегающих районов имеется карта зон ВОЗ, разработанная в рамках построения действующей Карты ОСР-97. Подробное описание методики и результатов построения данной карты зон ВОЗ приведены в [Ulomov et al., 1999]. Здесь мы ограничимся кратким изложением этого материала.

В качестве зон ВОЗ предложена модель, предусматривающая три основных структурных элемента – линеаменты, домены и отдельные очаги землетрясений – линеаментно-доменно-фокальная или ЛДФ – модель. При разработке данной модели использован большой фактический материал, включающий различные каталоги землетрясений, карты новейшей тектоники, карты активных разломов, механизмов очагов и другие данные.

Согласно данной модели линеаменты – это линейно вытянутые объемные области, обычно приуроченные к крупным разломам. Возникающие здесь очаги сильных землетрясений тяготеют к центральным частям (осям) линеаментов. По мере удаления от осевой зоны вероятность возникновения крупных очагов падает. Линеаменты разделены по величине возможной в их пределах M_{max} . Домены – это объемные распределенные по площади относительно однородные в сейсмогеологическом отношении сейсмогенерирующие структуры. В пределах домена в горизонтальном направлении вероятность возникновения очагов землетрясений принимается одинаковой. Домены также ранжированы по величине M_{max} .

Разделение линеаментных и доменных зон по величине M_{max} проведено с использованием различных способов – на основе их протяженности и ширины, по характеристикам сейсмического режима, по палеосейсмологическим, археологическим и историческим данным, по пространственно-временному распределению афтершоков имевших здесь место крупных землетрясений, по величине сейсмодислокаций и другим параметрам. На данный момент применительно к исследуемой территории РСО-Алания данная ЛДФ – модель является одной из самых обоснованных и надежных и поэтому она принята за основу для дальнейших расчетов при производстве детального вероятностного анализа сейсмической опасности данного региона.

На рисунке 1 приведена используемая нами в дальнейших построениях карта зон ВОЗ. Эта карта представляет собой несколько видоизмененный нами (без существенной потери точности) соответствующий фрагмент карты зон ВОЗ по версии ОСР-97. Видоизменение состоит в том, что здесь в целях удобства дальнейших расчетов в явном виде выделены осевые и боковые подзоны линеаментных зон. Осевые и боковые подзоны различаются уровнями вероятности возникновения разрешенных в данной зоне ВОЗ магнитуд землетрясений. Так, например, принято, что вероятности возникновения землетрясений с магнитудой M_{max} в осевой подзоне в два раза выше, чем в боковой. Разница в вероятностях возникновения землетрясений с магнитудами меньшими, чем M_{max} в этих двух подзонах постепенно снижается при уменьшении величины M, сходя на нет для землетрясений малых магнитуд. Ширина боковых зон принята в два раза большей, чем осевых. что в сочетании с соответствующими законами повторяемости (подробнее см. далее) в целом соответствующими работ [Уломов, 1995; Ulomov et al. 1999].



Рис. 1. Зоны ВОЗ (по версии ОСР-97). Жирным черным цветом показана граница территории РСО-Алания.

<u>Преобладающие механизмы очагов.</u> Под «механизмом очага» землетрясения в данном случае понимается тип подвижки в очаговой области – сдвиг, взброс или сброс, а также комбинации этих основных типов. Кроме того, оценивается ориентация в трехмерном пространстве поверхности основного разрыва, по которому происходит подвижка в очаге.

Из-за ограниченности прямых определений механизмов очагов по данным инструментальной регистрации дополнительно привлечены геолого-геофизические данные, на основе которых осуществлено выделение зон ВОЗ в работах [Арефьев, 2001; Составление карты..., 1996; Комплект карт..., 1999; Уломов, 1995; Рогожин, 2007; Отчет..., 2015]. Согласно выводам этих работ, в данном регионе в зонах ВОЗ, связанных с активными разломами «продольного», или «близширотного» простирания более вероятны взбросовые и взбросо-сдвиговые механизмы очагов. В зонах ВОЗ, связанных с разломами «поперечного», или «близмеридионального», простирания более вероятны сдвиговые механизмы подвижки. «Продольные» зоны ВОЗ, потенциально более опасные, сосредоточены, в основном, в южной и центральной части территории РСО-Алания и прилегающих районов. По мере продвижения на север их значение уменьшается и возрастает относительная роль «поперечных» структур. Разделение на «сдвиговый» и «взбросовый» механизмы подвижки является условным. В реальности правильнее говорить о преобладании «сдвиговой» или «взбросовой» компоненты в общем перемещении бортов разрыва при землетрясении. Кроме того, в пределах и «продольных» и «поперечных» зон ВОЗ возможны землетрясения с иным, чем вышеуказанные «наиболее вероятные» механизмы очагов. Тип подвижки, по-видимому, определяется ориентацией площадки будущего разрыва по отношению к направлению регионального сжатия.

Учитывая вышеизложенное, принято, что потенциально опасные для изучаемой территории РСО-Алания очаги землетрясений имеют смешанный взбросо-сдвиговый механизм подвижки без преобладания сдвиговой или взбросовой компонент. По данным работ [Сейсмическое..., 1980; Составление карты..., 1996; Арефьев, 2001] падение потенциально опасных разрывных зон варьирует от 40-50° до близвертикального.

Эти представления используются далее для выбора параметров расчетной модели, описывающей ориентацию в пространстве очагов землетрясений разных магнитуд, потенциально опасных для изучаемой территории.

<u>Повторяемость землетрясений</u>. До последнего времени детальные количественные модели повторяемости землетрясений разных магнитуд в формате, предусмотренном используемой в настоящем исследовании расчетной схемой [Чернов, 2017], для изучаемого района не разрабатывались. Это связано, прежде всего, с недостаточностью сейсмостатистических данных и, как следствие, невозможностью прямого применения стандартных процедур определения параметров сейсмического режима [см., например, Сейсмическое..., 1980]. Первая попытка таких построений предпринята для района г. Спитак (северная Армения), а также северной части рассматриваемой территории [Chernov, Sokolov, 1996; Оценка..., 1998]. Подобные оценки затем были выполнены для некоторых других территорий Кавказа и Предкавказья [Чернов, 2006; 2010; 2016]. Настоящая работа продолжает исследования в данном направлении.

Из-за недостатка данных, необходимых для корректного статистического расчета количеств землетрясений \overline{N} (\overline{M}) во всем диапазоне потенциально опасных магнитуд (*M*=3–7) и на достаточно длительном интервале времени, в настоящем исследовании были применены комбинированные способы оценок с использованием непосредственных статистических подсчетов количества землетрясений разных магнитуд, а также геолого-геофизических критериев сейсмичности, методов геологических аналогий и экстраполяций. При этом использованы схемы зон ВОЗ (см. рис. 1), каталоги исторических землетрясений Кавказа, данные о сейсмической активности и графиках повторяемости, полученные ранее для разных территорий Кавказа при ОСР [Сейсмическое..., 1980; Комплект карт..., 1999], ДСР [Составление карт..., 1996]; СМР [Аверьянова и др., 1996; Оценка..., 1998] и другие материалы.

Для непосредственного определения статистики землетрясений и построения соответствующего рекуррентного соотношения $\overline{N}(\overline{M})$ использованы два основных первоисточника – каталог Геофизического института ВНЦ РАН и база данных из [Составление..., 1996]. Эти база данных и каталог включают в себя все основные первоисточники и являются на сегодняшний день достаточно полными и достоверными.

Оценки $P_{M=m}$ [N=n] [см. Чернов, 2017 выражение (8)], по этим двум первоисточникам выполнены в несколько этапов. На первом этапе построена модель повторяемости для относительно большой (но, в то же время, представительной для района РСО-Алания с точки зрения общих сейсмотектонических условий) территории. Выбрана территория в границах $40,5^{\circ} - 45,5^{\circ}N$ и $40^{\circ} - 46,5^{\circ}E$. Произведены разные варианты подсчетов количества землетрясений разных магнитуд – за весь период (~600 лет), за последние 150 лет, за последние 40 лет и др. При подсчетах все землетрясения сгруппированы по магнитудам – с \overline{M} =2,5 (2,25-2,74); с \overline{M} =3,0 (2,75-3,24); c \overline{M} =3,5 (3,25-3,74); c \overline{M} =4,0 (3,75-4,24); c \overline{M} =4,5 (4,25-4,74); c \overline{M} =5,0 (4,75-5,24); c *M*=5,5 (5,25-5,74); c *M*=6,0 (5,75-6,24); c *M*=6,5 (6,25-6,74); c *M*=7,0 (6,75-7,24). Однако, как указано в (Составление ..., 1996), из-за пропусков в регистрации землетрясений в прошлом такие оценки для длительного интервала времени занижены. Размеры таких пропусков оценены в (Составление ...,1996). С учетом этих оценок и рекомендаций из [Разработка..., 2004] нами рассчитаны поправочные коэффициенты к первичным оценкам. Так, например, для \overline{M} =4 эти коэффициенты приняты равными 1,40 для периода 150 лет и 1,17 – для периода 40 лет. Для магнитуд с М =3 за последние 150 лет принят повышающий коэффициент 10,0 (90% пропусков), а для магнитуд M=2 – коэффициент 50,0 (98% пропусков). В итоге получено соотношение:

$$lg\overline{N} = -0.862\overline{M} + 1.984\tag{1}$$

Выражение (1) показывает средние количества землетрясений (\overline{N}), приведенные к площади 1000 км² и времени 1 год и справедливы для магнитуд с шагом DM=0,5. Соответствующие помагнитудные оценки $lg\overline{N}$ приведены в таблице 1.

В этой же таблице приведены несколько подобных оценок, полученных ранее другими авторами. В некоторых из этих оценок рекуррентные соотношения $N(\overline{M})$ получены по статистическим выборкам, сгруппированным по магнитуде с шагом DM=1,0. В таких случаях эти оценки пересчитывались при помощи стандартных процедур логарифмически линейной аппроксимации и интерполяции в значения, соответствующие группированию DM=0,5. Пересчет осуществлялся в предположении, что на один интервал $\Delta M=0,5$ приходится *в среднем* в два раза меньше землетрясений, чем на интервал $\Delta M=1,0$ [Разработка..., 2004]. Поэтому, принятые в рас-

четах значения $N(\overline{M})$ (для $\Delta M=0,5$) примерно в два раза ниже, чем первоначальные оценки, рассчитанные для интервалов $\Delta M=1,0$. Такая оценка завышена на $\approx 13\%$. Однако такая консервативная оценка на данном этапе представляется оправданной, так как обеспечивает дополнительный «запас прочности» (в смысле снижения вероятности недооценки сейсмической опасности).

Таблица 1.

Варианты оценок средних чисел (\overline{N}) землетрясений разных магнитуд (\overline{M}) для района в границах 40,5° – 45,5°N и 40°–46,5°E и для смежных территорий. Приведено к площади S = 1000 кв. км и времени t = 1 год

	$lg\overline{N}$							
	Настоя-	[Комп-	[Аверья-	[Чер-	Годзи-	[Chernov,	[От-	Средне-
M	щее ис-	лект,	нова и	нов,	ховская	Sokolov,	чет,	звешенные
	следова-	1999]	др., 1996]	2016]		1996]	2008]	значения
	ние							
2,5	-0,063	-0,256	-0,171	-0,171	-0,242	-0,289	-0,289	-0,281
3,0	-0,54	-0,705	-0,602	-0,602	-0,744	-0,724	-0,724	-0,730
3,5	-1,033	-1,158	-1,268	-1,539	-1,247	-1,153	-1,016	-1,178
4,0	-1,464	-1,592	-1,706	-2,021	-1,75	-1,602	-1,494	-1,632
4,5	-1,895	-2,027	-2,144	-2,454	-2,252	-2,051	-1,971	-2,080
5,0	-2,326	-2,461	-2,582	-2,886	-2,754	-2,499	-2,449	-2,527
5,5	-2,757	-2,896	-3,02	-3,319	-3,257	-2,947	-2,927	-2,975
6,0	-3,188	-3,33	-3,458	-3,751	-3,76	-3,395	-3,405	-3,423
6,5	-3,619	-3,765	-3,898	-4,184	-4,263	-3,844	-3,882	-3,871
7,0	-4,05	-4,199	-4,334	-4,616	-4,765	-4,292	-4,36	-4,318

По приведенным в таблице 1. отдельным оценкам рассчитаны средневзвешенные значения. При этом оценкам по версии настоящих исследований и ОСР-97, как наиболее обеспеченным статистически приписаны веса равные 2, остальным версиям – веса равные 1.

В результате получено выражение:

$$lg \overline{N} = -0,898 \overline{M} + 1,968 \tag{2}$$

В выражении (2) обозначения те же, что и в выражении (1)

Это выражение является базовым для дальнейших построений. В графическом виде это соотношение показано на рисунке 2.

На втором этапе полученные для всего района значения $N(\overline{M})$ пересчитаны в значения $\overline{N(M)}$ отдельно для каждой из выделенных зон ВОЗ (см. рис. 1) Пересчет осуществлялся двумя способами, описанными в работе [Чернов, 1989]. В качестве окончательных приняты значения $\overline{N(M)}$, являющиеся огибающими разных способов расчета (т.е. принят консервативный вариант оценки). При этом рассмотрены два варианта оценок. В первом, общая (т.е. без разделения на осевую и боковую подзоны) ширина линеаментов с M_{max} =7,0 составляет 15 км, с M_{max} =6,5-12 км и с M_{max} =6,0-10 км. Во втором, более консервативном, принято, что ширина линеаментов с M_{max} =7,0 и 6,5 одинакова и равна 15 км. В таблице 2 приведены результирующие оценки $\overline{N(M)}$ для разных зон ВОЗ, рассчитанные по второму варианту. Эти оценки, как более осторожные, приняты в дальнейших расчетах.

Таблица 2.

t = 1 год). Без разделения линеаментов на осевые и боковые подзоны							
	$lg \overline{N}$						
\overline{M}	Зоны ВОЗ с	Зоны ВОЗ с	Зоны ВОЗ с	Зоны ВОЗ с	Зоны ВОЗ с		
	$M_{max}=5,0$	$M_{max}=5,5$	$M_{max}=6,0$	$M_{max}=6,5$	$M_{max}=7,0$		
2,5	-0,277	-0,277	-0,277	-0,277	-0,277		
3,0	-0,726	-0,726	-0,726	-0,726	-0,726		
3,5	-1,175	-1,175	-1,175	-1,175	-1,175		
4,0	-1,624	-1,624	-1,624	-1,624	-1,624		
4,5	-2,073	-2,073	-2,073	-2,073	-2,073		
5,0	-2,522	-2,522	-2,522	-2,522	-2,522		
5,5	-	-2,79	-2,76	-2,76	-2,76		
6,0	-	-	-2,936	-2,936	-2,936		
6,5	-	-	-	-3,07	-3,07		
7,0	-	-	-	-	-3,122		

Средние числа (\overline{N}) землетрясений разных магнитуд (\overline{M}) в зонах ВОЗ
с разными M _{max} . Расчет по карте зон ВОЗ в версии ОСР-97. Район в пределах
40,5° – 45,5°N и 40°–46,5°E (приведено к площади S = 1000 кв. км и времени
t = 1 год). Без рязлеления линеяментов на осевые и боковые ползоны

Так как в принятых моделях зон ВОЗ предусмотрено разделение линеаментных зон ВОЗ на осевые и боковые подзоны с разной вероятностью возникновения в них землетрясений (см. выше), данные таблицы 2 соответствующим образом пересчитаны. Результаты приведены в таблице 3.

На третьем этапе были построены модели $\overline{N}(\overline{M})$ в пределах всех выделенных зон ВОЗ для каждого из элементарных участков 5 км'5 км (см. выше). При этом следуя работе [Чернов, 1989], нами принято, что каждая из зон ВОЗ квазиоднородна с точки зрения возможности генерации землетрясений. Поэтому, значения $\overline{N}(\overline{M})$ на каждом элементарном участке зоны ВОЗ изменятся, по сравнению со значениями из таблиц 2-3 пропорционально отношению площади выбранного элементарного участка (25 км²) к площади *S*=1000 кв. км. Результаты расчетов для зон ВОЗ с M_{max} =7,0 в графическом виде показаны на рисунке 2.

Оценки для зон ВОЗ с меньшими M_{max} получаются из графиков на рисунке 2 отсечением соответствующей правой части.

Сравнивая наклон базовых графиков повторяемости для рассматриваемого района Кавказа с аналогичными оценками для других районов Кавказа, Центральной Азии, Сахалина, Алжира можно видеть, что они не выходят за рамки обычных соотношений и близки к средним оценкам для многих районов мира. По уровню сейсмической активности землетрясений малых магнитуд рассматриваемый район близок к Восточному Узбекистану, а также району Спитака, в 1,3-1,5 раза ниже, чем Сахалин и несколько выше, чем районы Грозного и Газли. По частоте возникновения более крупных землетрясений с M^3 5,5 сходен с районами Грозного и Северного Алжира и в 2-4 раза ниже, чем Газлийский район и район Сахалина [Сейсмическое..., 1980; Чернов, 1989; Chernov, Sokolov, 1996; Аверьянова и др., 1996; Оценка..., 1999].

Важно подчеркнуть, что базовые для всего изучаемого района (табл. 1) и производные от них (табл. 2-3 и рис. 2) оценки в значительной мере выполнены на осно-

Таблица 3.

Средние числа (<i>N</i>) землетрясений разных магнитуд (<i>M</i>) в зонах ВОЗ с
разными М _{тах} . Расчет по карте зон ВОЗ в версии ОСР-97. Район в пределах
40,5° – 45,5°N и 40°–46,5°E (приведено к площади S = 1000 кв. км и времени
t = 1 год). С разделением на осевые (без скобок) и боковые (в скобках) подзоны

	$lg \overline{N}$						
\overline{M}	Зоны ВОЗ с	Зоны ВОЗ с	Зоны ВОЗ с	Зоны ВОЗ с	Зоны ВОЗ с		
	$M_{max}=5,0$	$M_{max}=5,5$	$M_{max}=6,0$	$M_{max}=6,5$	$M_{max}=7,0$		
2,5	-0,277	-0,277	-0,277	-0,277	-0,277		
3,0	-0,726	-0,726	-0,726	-0,726	-0,726		
3,5	-1,175	-1,175	-1,175	-1,175	-1,175		
4,0	-1,624	-1,624	-1,624	-1,624	-1,624		
4,5	-2,073	-2,073	-2,073	-2,073	-2,073		
5,0	-2,522	-2,522	-2,522	-2,522	-2,522		
5,5	-	-2,79	-2,76	-2,76	-2,76		
6.0			-2,870	-2,870	-2,870		
0,0	-	-	-3,019	-3,019	-3,019		
6.5				-2,920	-2,920		
0,5	-	-	-	(-3,200)	(-3,200)		
7.0					-2,946		
7,0	-	-	-	-	(-3,298)		



Рис. 2. Средние количества землетрясений (\overline{N}) разных магнитуд (\overline{M}). Расчет по карте зон ВОЗ в версии OCP-97. Район в пределах 40,5° – 45,5°N и 40°–46,5°E (приведено к площади элементарных участков 5 км × 5 км, и времени t=1 год). 1 и 2 цвета – для зон ВОЗ с разными M_{max} с разделением на осевые и боковые подзоны, соответственно; 3 – для зон ВОЗ с разными M_{max} без разделения на осевые и боковые подзоны; 4 – средние по району без разделения на зоны ВОЗ с разными M_{max}

Таблица 4.

	Относительная частота (вероятность)					
<i>H</i> (км)	$\overline{M} = 3,0$	\overline{M} =4,0	$\overline{M}=5,0$	$\overline{M} = 6,0$	$\overline{M} = 7,0$	
3,0	0,05	0,03	0	0	0	
5,0	0,2	0,15	0,06	0,01	0	
10,0	0,24	0,29	0,2	0,18	0,23	
15,0	0,19	0,16	0,25	0,31	0,31	
20,0	0,19	0,19	0,24	0,26	0,28	
30,0	0,12	0,15	0,17	0,21	0,14	
40,0	0,01	0,03	0,08	0,03	0,04	

Вероятности возникновения землетрясений разных магнитуд (\overline{M}) на разных глубинах (H) для исследуемого района (в примерных границах 40,0° – 46,5°N и 39,0° – 47,0°E).



Рис. 3. Эмпирические функции плотности вероятности распределения по глубине потенциально опасных для изучаемой территории РСО-Алания очагов землетрясений разных магнитуд: $1 - для \ \overline{M} = 6.0; \ 2 - для \ \overline{M} = 5.0; \ 3 - для \ \overline{M} = 7.0; \ 4 - для \ \overline{M} = 4.0; \ 5 - для \ \overline{M} = 3.0.$

ве анализа сейсмичности южной, более активной части рассматриваемого района. Применение этих оценок ко всей территории может привести к некоторому завышению (консерватизму) последующих оценок сейсмических воздействий, в которые будет заложен определенный «запас прочности». Тако<u>й подход</u> (также как и в вышеописанном случае построения базового соотношения $\overline{N}(\overline{M})$) представляется оправданным в условиях дефицита исходной информации.

<u>Распределение очагов землетрясений по глубине</u>. Анализ данных сейсмологических наблюдений показывает, что потенциально опасные очаги землетрясений в кавказском регионе возникают в земной коре на глубине 3-40 км [см. Сейсмическое..., 1980; Составление карт..., 1996; Новый каталог..., 1977; Уломов, 1995; Чернов, 2006]. Статистические построения, выполненные в рамках настоящего исследования по Каталогу землетрясений, разработанному в Геофизическом институте ВНЦ РАН (вариант 1) подтверждают и детализируют этот вывод. Для повышения надежности определений дополнительно использованы (варианты 2 и 3, соответственно) результаты наших предыдущих оценок для районов п. Кудепста и г. Кисловодска [Чернов, 2006], а также (вариант 4) – для района г. Спитак [Chernov, Sokolov, 1996]. Принятые оценки рассчитаны как средневзвешенные значения, где варианту 1 придан вес 2, остальным 1. Результаты в цифровом и графическом виде приведены в таблице 4 и на рисунке 3.

В дальнейших расчетах вероятности $P_{M=m}$ [H=h] из [Чернов, 2017, выражение (7)] берутся по таблице 4 и рисунку 3.

<u>Геометрические параметры потенциально опасных очагов.</u> Из-за недостатка данных натурных наблюдений для оценки размеров потенциально опасных для изучаемой территории РСО-Алания очагов землетрясений нами использовались зависимости длины *L* и площади главного разрыва в очаге от магнитуды *M_S*, из работы [Штейнберг, 1986]:

- для очагов со сдвиговым типом подвижки:

$$lg L = 0,63 M_{s} - 2,75$$

$$lg S = 1,07 M_{s} - 4,79$$
(3)

- для очагов со взбросовым типом подвижки

$$lgL = 0.45 M_{s} - 1.54$$

$$lgS = 0.86 M_{s} - 3.12$$
(4)

где L – длина очага в κm ; S – площадь очага в κm^2 ; M_S – магнитуда землетрясения, определяемая по поверхностным волнам.



Рис. 4. Размеры (длина – квадрат и ширина – кружок) очагов потенциально опасных для территории РСО-Алания землетрясений.

Дополнительно использовались также зависимости \overline{L} , $\overline{S}(\overline{M})$ из работы [Wells, Coppersmith, 1994], оценки С.С. Арефьева [2001], В.И. Уломова [1995] и Н.В. Шебалина [1977], а также наши определения [Чернов, 1989].

Очаги землетрясений (точнее плоскости главных разрывов в очагах) моделируются в виде площадок имеющих форму эллипса.

Размеры потенциально опасных очагов землетрясений, принятые в дальнейших расчетах, в графическом виде приведены на рисунке 4.

Ориентация потенциально опасных очагов задавалась по данным определений механизмов очагов (см. выше). Для землетрясений со взбросо-сдвиговым типом подвижки принято, что длинные стороны площадок главных разрывов в очагах всех землетрясений ориентированы горизонтально, а в поперечном направлении площадки наклонены под углом ~ 60° к горизонтальной поверхности.

Для землетрясений небольших магнитуд в расчетной модели предусмотрена произвольная азимутальная ориентация очагов. Для более крупных (M=6-7) допускается отклонение основного разрыва в очаге от направления соответствующей зоны ВОЗ (линеаменты на рис. 1) на 30°.

Заключение

Подводя итог выполненным исследованиям можно резюмировать следующее:

1. Для изучаемой территории Республики Северная Осетия-Алания разработан усовершенствованный комплекс моделей, позволяющий на количественном уровне описывать основные характеристики сейсмического режима и очаговой сейсмичности в формате, необходимом для дальнейших вероятностных оценок сейсмической опасности в рамках детального сейсмического районирования данной территории.

2. Разработанный комплекс моделей позволяет повысить точность и детальность прогнозных оценок за счет более полного учета региональных и локальных факторов, определяющих сейсмогенерирующие свойства рассматриваемого объема геологической среды, включая оценки магнитуд, механизмов, геометрических размеров, ориентации в пространстве и вероятности возникновения каждого из потенциально опасных для изучаемой территории очагов землетрясений.

3. Разработанные модели сейсмичности в достаточной мере отражают имеющийся по исследуемому району объем сейсмогеологических данных. В то же время они относительно просто могут корректироваться и адаптироваться к поступающей новой информации, что делает их удобными в технологическом отношении.

Литература

1. Аверьянова В. Н., Баулин Ю. И., Кофф Г. Л. и др. Комплексная оценка сейсмической опасности территории г. Грозного. Минстрой России. – М. – 1996. – 107 с.

2. Аптикаев Ф. Ф., Ибрагимов Р. Н., Кнауф В. М. и др. Методические рекомендации по детальному сейсмическому районированию (проект). // Вопросы инженерной сейсмологии. Вып. 27. – М.: Наука, 1986. – С. 184-206.

3. Арефьев С.С. Эпицентральные наблюдения и геодинамические модели очагов сильных землетрясений. Диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности «Геофизика». – М.: ОИФЗ РАН, 2001. – 446 с.

4. Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации ОСР-97. Объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах. Министерство науки и технологий, Российская Академия наук, Объединенный Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта. – М. – 1999. – 57 с.

5. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. // Под редакцией Н. М. Кондорской и Н. В. Шебалина. – М.: Наука, 1977. – 535 с.

6. Отчет об инженерно-сейсмологических исследованиях на объекте: «Жилой комплекс с бассейном, подземными гаражами и кафетерием по ул. Мира-Шмидта в г. Геленджик Краснодарского края» // Фонды ООО «Инжгеопроект». – Кисловодск. – 2007. – 45 с.

7. Отчет по теме: Проведение геофизических исследований на площадке проектируемого объекта «Комплекс жилых домов микрорайоне «Кудепста-3» в г. Сочи // Фонды ИГЭ РАН. – М. – 2008. – 77 с.

8. Отчет о выполнении работ по теме: «Расчет сейсмических воздействий и определение исходной сейсмичности» // Рук.Е. А. Рогожин. Фонды ИФЗ РАН. – М. – 2015. – 67 с.

9. Оценка сейсмической опасности и сейсмического риска аварийной системы водоснабжения г. Ставрополя // Науч. рук. и отв. исп. Ю.К. Чернов. Фонды СКИГЦ Госстроя РФ. – Ставрополь – Пятигорск. – Март 1998 г. – 109 с.

10. Оценка возможных сейсмических воздействий на участке строительства гидроузла Тилездит в Алжире // Науч. рук. и отв. исп. Ю.К. Чернов. Фонды Фонды СКИГЦ Госстроя РФ. – Ставрополь. – Октябрь 1999 г. – 65 с.

11. Разработка комплексной методики оценки вероятных сейсмических воздействий, сейсмической опасности и сейсмического риска (на примере районов Северного Кавказа и Сахалина // Науч. рук. Ю.К. Чернов. Отчет о НИР. Фонды СК ИГЦ Госстроя РФ. – Ставрополь. – 2004. – 251 с.

12. Рогожин Е.А. Зоны ВОЗ и их характеристики для территории Республики Северная Осетия-Алания / Инновационные технологии для устойчивого развития горных территорий: Материалы Международной конференции VI. 28-30 мая 2007 г. – Владикавказ: Терек, 2007. – С. 283.

13. Сейсмическое районирование территории СССР. Методические основы и региональное описание карты 1978 г. // Отв. ред. В.И. Бунэ, Г.П. Горшков. – М.: Наука, 1980. – 307 с.

14. Составление карты детального сейсмического районирования территории Ставропольского края // Научн. рук. Г.А. Соболев. Отв. исп. А.Я. Сидорин. Отчет о результатах хоздоговорных работ. Том 1-6. ОИФЗ РАН им. О.Ю. Шмидта. – М. – 1996.

15. Уломов В.И. Об основных положениях и технических рекомендациях по созданию новой карты сейсмического районирования территории Российской Федерации // Сборник научных трудов «Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии». Вып. 2-3. – М. – 1995. – С. 9-26.

16. Чернов Ю.К. Сильные движения грунта и количественная оценка сейсмической опасности территорий. – Ташкент: Изд-во «ФАН», 1989. – 295 с.

17. Чернов Ю. К. Опыт уточнения сейсмической опасности отдельных территорий в Ставропольском крае с учетом новых требований СНиП и мировой практики // Инженерная геология. Вып. 1. – М. – 2006. – С. 23-35.

18. Чернов Ю.К. Задание вероятных сейсмических воздействий для инженерных целей // Труды V общероссийской конференции изыскательских организаций

«Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации» 17-18 декабря 2009 г. ОАО ПНИИИС. – М. – 2010. – С. 122-127.

19. Чернов Ю.К., Чернов А.Ю. Вероятностные модели сейсмических воздействий для прогнозирования сейсмической опасности в инженерных целях // Геология и геофизика Юга России. – 2017. – №2. – С. 116-128.

20. Чернов А. Ю. Геоэкологическая оценка сейсмической опасности и риска на примере застраиваемых территорий центрального Предкавказья // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Ставрополь. – 2016. – 163 с.

21. Шебалин Н.В. Параметры очага землетрясения и параметры сейсмического эффекта. Некоторые корреляционные связи // В кн. Сейсмическое микрорайонирование. – М.: Наука, 1977. – С. 30-36.

22. Штейнберг В.В. Параметры колебаний при сильных землетрясениях // Вопросы инженерной сейсмологии. Вып. 27. – М.: Наука, 1986. – С. 7-22.

23. Штейнберг В.В., Сакс М.В., Аптикаев Ф.Ф. и др. Методы оценки сейсмических воздействий (пособие) // Вопросы инженерной сейсмологии. Вып. 34. – М.: Наука, 1993. – С. 5-94.

24. Chernov Yu.K. and Sokolov V.Yu.. Probabilistic Assessments of the Seismic Hazard in Northern Armenia (Spitak Region) // Eartheuake spektra. – May 1996. – Vol. 12. N 2. Pp. 199-216.

25. Ulomov V.I. et al. Seismic hazard of Northern Eurasia // The global seismic hazard assessment program (GSHAP) 1992-1999. Annali di Geofisica. – December 1999. – Vol. 42. N 6. – Pp. 1023-1038.

26. Wells D. L., Coppersmith K. J. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement // Bull. Seim. Soc. Am. – 1994. – Vol. 84. N 4. – Pp. 974-1002.

SEISMICITY PATTERNS FOR A DETAILED PROBABILISTIC SEISMIC ZONING OF THE NORTH OSSETIA-ALANIA TERRITORY

© 2018 Yu.K. Chernov, Sc. Doctor (Phys.-Math.), Prof., V.B. Zaalishvili, Sc. Doctor (Phys.-Math.), Prof., B.V. Dzeranov, Sc. Candidate (Geol.-Min.)

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

A number of models of regional and local seismicity of the region have been developed within the framework of research on the creation of a new album of probabilistic maps of detailed seismic zoning of the RNO-Alania territory. Models in probabilistic form describe the place (zone) of occurrence of potentially dangerous earthquakes for the study area, the maximum possible magnitude of these earthquakes, the size, mechanisms and orientation of the foci, the frequency of earthquakes of different magnitudes in time, the distribution of earthquake foci in depth. Research conducted using large volume seismostatistics, macroseismic, seismotectonic, instrumental and other data. The models make it possible to increase the accuracy and detail of predictive estimates at the regional and local levels, as they take into account more fully the features of the spatial and temporal distribution of potentially dangerous earthquake foci, and also provide the final information in the form necessary for its further inclusion in the probabilistic seismic hazard analysis – PSHA.

Keywords: detailed seismic zoning, seismic hazard, strong earthquakes, possible sources of earthquakes zones, seismic regime, probable seismic effects.

References

1. Aver'janova V. N., Baulin Ju. I., Koff G. L. i dr. Kompleksnaja ocenka sejsmicheskoj opasnosti territorii g. Groznogo [Comprehensive seismic hazard assessment of the territory of Grozny]. Minstroj Rossii. M. 1996. 107 p. (in Russian)

2. Aptikaev F.F., Ibragimov R.N., Knauf V.M. i dr. Metodicheskie rekomendacii po detal'nomu sejsmicheskomu rajonirovaniju (proekt) [Guidelines for detailed seismic zoning (project)]. Voprosy inzhenernoj sejsmologii. Issue 27. M. Nauka, 1986. Pp. 184-206. (in Russian)

3. Aref'ev S.S. Jepicentral'nye nabljudenija i geodinamicheskie modeli ochagov sil'nyh zemletrjasenij [Epicentral observations and geodynamic models of strong earthquakes sources]. Dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni doktora fizikomatematicheskih nauk po special'nosti "Geofizika". M. OIFZ RAN, 2001. 446 p. (in Russian)

4. Komplekt kart obshhego sejsmicheskogo rajonirovanija territorii Rossijskoj Federacii OSR-97 [A set of maps of general seismic zoning of the territory of the Russian Federation OSR-97]. Ob#jasnitel'naja zapiska i spisok gorodov i naselennyh punktov, raspolozhennyh v sejsmoopasnyh rajonah. Ministerstvo nauki i tehnologij, Rossijskaja Akademija nauk, Ob#edinennyj Institut fiziki Zemli im. O. Ju. Shmidta. M. 1999. 57 p. (in Russian)

5. Novyj katalog sil'nyh zemletrjasenij na territorii SSSR s drevnejshih vremen do 1975 g. [New catalog of strong earthquakes on the territory of the USSR from ancient times to 1975]. Pod redakciej N.M. Kondorskoj i N.V. Shebalina. M. Nauka, 1977. 535 p. (in Russian) 6. Otchet ob inzhenerno-sejsmologicheskih issledovanijah na ob#ekte: «Zhiloj kompleks s bassejnom, podzemnymi garazhami i kafeteriem po ul. Mira-Shmidta v g. Gelendzhik Krasnodarskogo kraja» [Report on engineering and seismological studies at the facility: "Residential complex with a swimming pool, underground garages and a cafeteria on Mira-Schmidt street in the city of Gelendzhik Krasnodar Territory"]. Fondy OOO "Inzhgeoproekt". Kislovodsk. 2007. 45 p. (in Russian)

7. Otchet po teme: Provedenie geofizicheskih issledovanij na ploshhadke proektiruemogo ob#ekta «Kompleks zhilyh domov mikrorajone «Kudepsta-3» v g. Sochi [Report on the topic: Carrying out geophysical research at the site of the designed project "Residential building complex of "Kudepsta-3" micro-district in Sochi]. Fondy IGJe RAN. M. 2008. 77 p. (in Russian)

8. Otchet o vypolnenii rabot po teme: «Raschet sejsmicheskih vozdejstvij i opredelenie ishodnoj sejsmichnosti» [Report on the implementation of work on the topic: "The calculation of seismic impacts and determination of the initial seismicity"]. Ruk. E. A. Rogozhin. Fondy IFZ RAN. M. 2015. 67 p. (in Russian)

9. Ocenka sejsmicheskoj opasnosti i sejsmicheskogo riska avarijnoj sistemy vodosnabzhenija g. Stavropolja [Assessment of seismic hazard and seismic risk of the emergency water supply system of the city of Stavropol]. Nauch. ruk. i otv. isp. Ju.K. Chernov. Fondy SKIGC Gosstroja RF. Stavropol' – Pjatigorsk. Mart 1998. 109 p. (in Russian)

10. Ocenka vozmozhnyh sejsmicheskih vozdejstvij na uchastke stroitel'stva gidrouzla Tilezdit v Alzhire [Assessment of possible seismic effects on the construction site of the Tilzezdit hydroelectric complex in Algeria]. Nauch. ruk. i otv. isp. Ju. K. Chernov. Fondy Fondy SKIGC Gosstroja RF. – Stavropol'. Oktjabr' 1999. 65 p. (in Russian)

11. Razrabotka kompleksnoj metodiki ocenki verojatnyh sejsmicheskih vozdejstvij, sejsmicheskoj opasnosti i sejsmicheskogo riska (na primere rajonov Severnogo Kavkaza i Sahalina [Development of a comprehensive methodology for assessing of probabilistic seismic effects, seismic hazard and seismic risk (using the example of the North Caucasus and Sakhalin)]. Nauch. ruk. Ju.K. Chernov. Otchet o NIR. Fondy SK IGC Gosstroja RF. – Stavropol'. 2004. 251 p. (in Russian)

12. Rogozhin E.A. Zony VOZ i ih harakteristiki dlja territorii Respubliki Severnaja Osetija-Alanija [PSS zones and their characteristics for the territory of the Republic of North Ossetia-Alania]. Innovacionnye tehnologii dlja ustojchivogo razvitija gornyh territorij: Materialy Mezhdunarodnoj konferencii VI. 28-30 maja 2007. Vladikavkaz: Terek, 2007. 283 p. (in Russian)

13. Sejsmicheskoe rajonirovanie territorii SSSR. Metodicheskie osnovy i regional'noe opisanie karty 1978g. [Seismic zoning of the USSR. Methodical bases and regional description of the map of 1978]. Otv. red. V.I. Bunje, G.P. Gorshkov. M. Nauka, 1980. 307 p. (in Russian)

14. Sostavlenie karty detal'nogo sejsmicheskogo rajonirovanija territorii Stavropol'skogo kraja [Constructing of detailed seismic zoning map of the territory of the Stavropol Territory]. Nauchn. ruk. G.A. Sobolev. Otv. isp. A. Ja. Sidorin. Otchet o rezul'tatah hozdogovornyh rabot. Vol. 1-6. OIFZ RAN im. O. Ju. Shmidta. M. 1996. (in Russian)

15. Ulomov V.I. Ob osnovnyh polozhenijah i tehnicheskih rekomendacijah po sozdaniju novoj karty sejsmicheskogo rajonirovanija territorii Rossijskoj Federacii [On the main provisions and technical recommendations for creating a new map of seismic zoning of the territory of the Russian Federation]. Sbornik nauchnyh trudov «Sejsmichnost' i sejsmicheskoe rajonirovanie Severnoj Evrazii». Issue 2-3. M. 1995. Pp. 9-26. (in Russian)

16. Chernov Ju. K. Sil'nye dvizhenija grunta i kolichestvennaja ocenka sejsmicheskoj opasnosti territorij [Strong ground motion and quantitative assessment of seismic hazard of territory]. Tashkent: Izd-vo «FAN», 1989. 295 p. (in Russian)

17. Chernov Ju. K. Opyt utochnenija sejsmicheskoj opasnosti otdel'nyh territorij v Stavropol'skom krae s uchetom novyh trebovanij SNiP i mirovoj praktiki [Experience in clarifying the seismic hazard of individual territories in the Stavropol Territory taking into account the new requirements of the SNiP (construction rules and regulations) and world practice]. Inzhenernaja geologija. Issue 1. M. 2006. Pp. 23-35. (in Russian)

18. Chernov Ju. K. Zadanie verojatnyh sejsmicheskih vozdejstvij dlja inzhenernyh celej [Setting possible seismic effects for engineering purposes]. Trudy V obshherossijskoj konferencii izyskatel'skih organizacij «Perspektivy razvitija inzhenernyh izyskanij v stroitel'stve v Rossijskoj Federacii» 17-18 dekabrja 2009 g. OAO PNIIIS. M. 2010. Pp. 122-127. (in Russian)

19. Chernov Ju. K., Chernov A. Ju. Verojatnostnye modeli sejsmicheskih vozdejstvij dlja prognozirovanija sejsmicheskoj opasnosti v inzhenernyh celjah [Probabilistic models of seismic effects for seismic hazard prognosis for engineering purposes]. Geologija i geofizika Juga Rossii. 2017. No. 2. Pp. 116-128. (in Russian)

20. Chernov A. Ju. Geojekologicheskaja ocenka sejsmicheskoj opasnosti i riska na primere zastraivaemyh territorij central'nogo Predkavkaz'ja [Geoecological assessment of seismic hazard and risk on the example of built-up areas of the central Ciscaucasia]. Dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tehnicheskih nauk. Stavropol'. 2016. 163 p. (in Russian)

21. Shebalin N.V. Parametry ochaga zemletrjasenija i parametry sejsmicheskogo jeffekta. Nekotorye korreljacionnye svjazi [Earthquake focal parameters and seismic effect parameters. Some correlations]. V kn. Sejsmicheskoe mikrorajonirovanie. M. Nauka, 1977. Pp. 30-36. (in Russian)

22. Shtejnberg V.V. Parametry kolebanij pri sil'nyh zemletrjasenijah [Vibration parameters in case of strong earthquakes]. Voprosy inzhenernoj sejsmologii. Issue 27. M. Nauka, 1986. Pp. 7-22. (in Russian)

23. Shtejnberg V.V., Saks M.V., Aptikaev F.F. i dr. Metody ocenki sejsmicheskih vozdejstvij (posobie) [Methods for assessing seismic effects (manual)]. Voprosy inzhenernoj sejsmologii. Issue 34. M. Nauka, 1993. Pp. 5-94. (in Russian)

24. Chernov Yu.K. and Sokolov V.Yu. Probabilistic Assessments of the Seismic Hazard in Northern Armenia (Spitak Region) // Eartheuake spektra. – May 1996. – Vol. 12. N 2. Pp. 199-216.

25. Ulomov V.I. et al. Seismic hazard of Northern Eurasia // The global seismic hazard assessment program (GSHAP) 1992-1999. Annali di Geofisica. – December 1999. – Vol. 42. N 6. Pp. 1023-1038.

26. Wells D. L., Coppersmith K. J. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement // Bull. Seim. Soc. Am. – 1994. – Vol. 84. N 4. – Pp. 974-1002.

VДК 550.37+550.834 DOI:10.23671/VNC.2018.4.20159

ФИЗИЧЕСКИЕ ПОЛЯ КАК ПРОИЗВОДНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ГОРНОГО МАССИВА И ТЕХНОЛОГИЯ ИХ МОНИТОРИНГА

© 2018 Х.О. Чотчаев, А.М. Колесникова, к. г. н., М.В. Майсурадзе, В.Д. Шепелев

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

Процесс напряженно-деформированного развития среды условно начинается дислокацией в кристаллах, протекает образованием зоны трещиноватости в породах и заканчивается обрушением массива (разломом в естественных условиях). Каждый этап напряженно-деформированного развития или изменения характеризуется обусловленной этим изменением конкретной величины амплитудно-частотных колебаний среды. Реакция массива на действие деформирующего напряжения проявляется нарушением электрических связей в кристаллической решетке. Дана оценка современным средствам контроля безопасности персонала и предупреждения состояния элементов локального подземного пространства, основанным на незащищенных от электромагнитных помех схемах электрических и радиотехнических цепей. К существенным недостаткам отнесена их подверженность воздействию человеческого фактора в виде принудительного отключения. Изменения дипольных моментов при ковалентной связи ведут к возникновению электромагнитных импульсов, а остаточные деформации в виде дислокаций создают акустические волновые поля. Приводится энергетическая характеристика трех составляющих межмолекулярных взаимодействий: ориентационная, индукционная и дисперсная.

Рассматривая природу физических полей как производные деформаций среды, переходящие со временем в механические необратимые изменения структуры пород и структурно-тектонического строения массива, появляется возможность установления количественной зависимости интенсивности этих полей и состояния безопасности разрабатываемого массива. В качестве основной технологии мониторинга естественных электромагнитных импульсов и звуковых волн предлагаются волоконно-оптические датчики на основе брэгговских решеток.

Ключевые слова: деформация, физические поля, амплитудно-частотные характеристики, электромагнитные импульсы, акустические волны, мониторинг, волоконно-оптические датчики.

Актуальность рассматриваемой задачи

Производство в горнодобывающей отрасли ведется во все времена с высокой степенью риска. Во-первых, из-за сложности геологической обстановки, как в плане структурно-тектонической раздробленности, так и в многообразии негативно воздействующих факторов на устойчивость массива горных пород, учесть влияние по полному списку которых все еще не представляется возможным. Во-вторых, это происходит из-за недостаточной изученности геолого-структурных, тектонических и геотехнических условий разреза, как на стадии детальной разведки, так и в процессе промышленного освоения. Под массивом в данной работе понимается объем горной породы, представляющий определенный интерес и подготавливаемый к промышленному освоению, геотектонические условия которого подлежат детальному изучению для безопасного ведения горнопроходческих работ.
Системы современных средств контроля и предупреждения состояния элементов локального подземного пространства, безопасного и бесперебойного функционирования транспортных средств и горнопроходческого оборудования, а также позиционирования местонахождения каждого работника в случае чрезвычайного происшествия базируются, в основном, на принципиальных схемах электрической и радиотехнической цепей, которые недостаточно чувствительны и плохо защищены от помех электромагнитного характера. Кроме того, они легко подвержены воздействию человеческого фактора, заключающегося в возможности принудительного отключения сигнальных средств, произвольной интерпретации причин автоматизированных сигнальных предупреждений отдельными работниками или целыми группами работников с якобы ложными срабатываниями контрольной аппаратуры и, как следствие, обуславливавет игнорирование предупреждений контрольных систем. Поколение ныне действующего шахтного контрольно-предупредительного оборудования уровня безопасности не может блокировать производственные циклы и выполнять программу спасения людей. Инновационные технологии средств контроля и предупреждения должны быть запрограммированы на независимую блокировку производственных процессов, позиционирование местоположения функционирующих в производственном цикле площадок и каждого персонифицированного работника в реальном времени. Инновационные технологии должны содержать не только программы ведения производственного цикла, но и программы автоматизированной ликвидации аварий или смягчение последствий в горных выработках.

Атомно-молекулярная основа горных пород и внутренние связи

В вопросах, касающихся механики горных пород, эмпирические заключения, экспериментальные подтверждения и теоретические видение основываются на предположении об их упругой природе, независимо от генезиса, допуская при этом наличие широкого диапазона упругих сред – от мягкопластичных грунтов до практически абсолютно твердых минеральных образований.

В последнее десятилетие в Геофизическом институте заметное внимание уделяется, как физико-химическим связям собственно твердой среды, так и изучению поведения горной породы при интенсивных динамических нагрузках на основе учета взаимодействия ее нано-размерных частиц или формированию макро-физико-механических свойств горных пород на основе учета ее микро-свойств – атомномолекулярных связей и их изменения [Григоркина и др., 2015; Заалишвили, Туаева, 2002, 2003; Заалишвили и др., 2009, 2016].

Горная порода представляет собой моно- или полиминеральное образование, сцементированное межмолекулярными связями зерен и частиц совершенных кристаллов, обусловленными электромагнитным взаимодействием электронов и ядер одной молекулы с электронами и ядрами другой [Зварыгин, 1994].

Силы межмолекулярных связей проявляются дипольным, электромагнитным и квантово-дисперсным воздействиями. Если по какой-либо причине твердое тело деформировано, то в нем возникает упругая сила, направленная на восстановление его первоначального состояния. Она всегда направлена противоположно деформирующей силе, вызванной нарушением естественного состояния горного массива.

Крепость пород определяется межмолекулярным взаимодействием составляющих породу частиц, скомпонованных на атомно-молекулярном уровне согласно

равновесному расположению, когда потенциальная энергия молекулы минимальна, вытекающая из положения равновесия кулоновских сил притяжения ядер и электронов и отталкивания ядер и соответственно электронов друг от друга.

В свою очередь, устойчивость молекулы, кристалла или минерала как целого обеспечивается взаимодействием атомов, т.е. химической связью, которая значительно превышает силу межмолекулярного взаимодействия (при одном и том же минеральном составе крепче те породы, которые более мелкозернистые).

Устойчивая атомно-электронная пара (химический элемент) в строго соответствующих количествах посредством определенного типа связи образует молекулы, которые, в свою очередь, в соединении с другой атомно-электронной парой или другой молекулой, образуют кристаллы и минералы, совокупность которых и есть горная порода.

В горных породах преобладает ковалентная (гомеополярная) связь, т. е. электронное облако одного атома находится одновременно под воздействием и другого атома, а электронное облако второго атома находится и под воздействием первого атома, при этом электронное облако вытянуто между атомами.

Физика межмолекулярного взаимодействия обусловлена электромагнитным взаимодействием электрона и ядер одной молекулы с электронами и ядрами другой, подобно атомному взаимодействию. Энергия межмолекулярных взаимодействий складывается из трех видов взаимодействия: ориентационного, индукционного и дисперсного [Молекулярные взаимодействия, 1984].

Взаимодействие молекул ориентационного вида обязано присутствию дипольного момента. Сила притяжения между молекулами зависит от их ориентации относительно друг друга. Максимальная сила взаимодействия молекул наблюдается в том случае, когда их дипольные моменты сориентированы в одном направлении, по одной линии. Энергия притяжения ориентационного вида для двух молекул приблизительно может быть выражена формулой:

$$E_{op} = k \left(m_1^2 * m_2^2 \right) / r^6 \tag{1}$$

здесь k – коэффициент, зависящий от температуры; m₁, m₂ – дипольные моменты молекул; r – расстояние между молекулами.

Индукционное взаимодействие обусловлено взаимодействием электронного дипольного момента одной молекулы с индуцированным ей дипольным моментом другой полярной или неполярной молекулы. Энергия индуцированного взаимодействия приблизительно может быть выражена формулой:

$$E_{uho} = -k \,(\alpha_1 m_1^{2} * \alpha_2 m_2^{2})/r^6, \tag{2}$$

где α_1 и α_2 – поляризуемость молекул.

При квантово-механических флуктуациях электронной плотности возникает дисперсионное взаимодействие молекул за счет смещения зарядов при движении электронов вокруг ядер и образования мгновенных диполей, которые индуцируют мгновенные диполи в соседней молекуле, что ведет к их взаимодействию. Энергия дисперсного взаимодействия определяется по формуле:

$$E_{\text{дис.}} = -\frac{3}{2} \left(\alpha_1 \alpha_2 I_1 I_2 \right) / I_1 I_2 r^6$$
(3)

здесь I₁ и I₂ – потенциалы ионизации молекул.

Дисперсионное взаимодействие слабо экранируется, и поэтому взаимодействие между частицами легко определить суммированием взаимодействий между молекулами и атомами в обеих частицах, например, с помощью интегрирования в предположении аддитивности межмолекулярных (межатомных) взаимодействий. Приращение энергии молекулярного притяжения на единицу площади частиц можно вычислить на основании формулы Бура и Гамакера [Коллоидная химия, 1982].

Для вывода уравнения энергии молекулярного притяжения между частицами воспользуемся уравнением энергии притяжения одной молекулы [Ананьев, Коробкин, 1973]:

$$U=\pi Cn/6x^3,\tag{4}$$

где, x – расстояние между атомами одной частицы и поверхностью другой; C – константа; n – число атомов. Если обозначить расстояние между атомом одной частицы и поверхностью другой частицы через x = r + h, где h – расстояние между частицами; r – расстояние атома от поверхности частиц, а число взаимодействующих атомов через n, то приращение энергии молекулярного притяжения на единицу площади частиц составит:

$$dU = -\pi n^2 C dr/6 (r+h)^3$$
(5)

После интегрирования получим,

$$U = -\pi n^2 C / 12h = A / 12\pi h^2, \tag{6}$$

где А – константа Гамакера, имеющая значение порядка 10⁻¹⁹ Дж.

На основании формулы Бура и Гамакера можно определить (ориентировочно) прочность молекулярных связей между зернами.

Удельная сила взаимодействия между зернами (прочность межмолекулярных связей), исходя из предыдущего уравнения, составит:

$$f = A/6\pi h^3 \tag{7}$$

Минимальное расстояние между зернами горной породы равно сумме радиусов соприкасающихся атомов. Принимая h= 3×10⁻¹⁰ м, получим:

$$f = 10^{-19} / 6^*3, 14^* (3^*10^{-10})^3 = 3, 7^*10^9 \Pi a, \tag{8}$$

что выше прочности самых прочных горных пород, таких как кварц.

Геофизические поля как индикаторы механических процессов

Физические и химические основы межмолекулярных связей горных пород одновременно являются предвестниками протекающих нарушений этих связей, причиной которых является увеличение напряжений в породах и последующие упругие или остаточные деформации. Исходя из основ межмолекулярных связей, очевидно, что индикатором являются электромагнитные поля, поскольку деформации кристаллической решетки вызывают изменение расстояний между атомами и квантово-механические флуктуации электронной плотности частиц (молекул, атомов). Мгновенное распределение электрического заряда молекулы, которому отвечает мгновенный дипольный момент молекулы (или более высокого порядка мультипольный момент), индуцирует электрический мультипольный момент в другой молекуле. Лавинный эффект мгновенных мультипольных моментов создает энергию дисперсионного взаимодействия, которая проявляется в виде электромагнитных импульсов (ЭМИ) поля $E_{дисп}$. Частотный спектр электромагнитных колебаний лежит в диапазоне 1 Кгц-50МГц, причем в начальной стадии развития деформационного процесса спектр смещается в сторону высоких частот, а с началом проявления остаточных деформаций постепенно смещается в область низких частот. Для начальной стадии нагружения характерно возникновение дислокаций, т. е. локальных смещений отдельных атомов кристаллической решетки. Дислокация способна распространяться в кристалле за счет меньшей дополнительной внешней энергии, чем требуется для образования дефекта при совершенной решетке [Богомолов и др., 2008; Фейнман и др., 1966].

Наиболее высокочастотная часть спектра ЭМИ соответствует возникновению таких дислокаций, множество которых приводит к образованию зон трещиноватости и тектонических нарушений. Каждый ранг тектонического проявления сопровождается определенным спектром электромагнитных импульсов, при этом низкочастотные импульсы характерны нарушениям относительно низких порядков и наоборот. Безусловно, сказанное относится к любому отдельно взятому комплексу, будь то магматический, метаморфический или осадочный, с той лишь разницей, что спектры деформаций каждого комплекса будут индивидуальными.

Поскольку электромагнитный импульс является вектором, а его амплитудночастотные характеристики и пространственная направленность служат важнейшими параметрами для определения природы воздействия, целесообразно проводить измерения ЭМИ в режиме регистрации 3-х компонент. В комплексе с геотехническими, литологическими и структурно-тектоническими условиями месторождения данные 3-х компонентных наблюдений за электромагнитными импульсами позволяют установить интервалы разрабатываемого массива с активной динамикой развития механических напряжений, дать качественную характеристику деформирующего фактора, сделать прогноз развития опасных процессов.

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

Рудовмещающие массивы Центрального Кавказа в основном состоят из метаморфических, магматических, вулканогенно-осадочных комплексов, относящихся к категории, в целом, крепких пород. Остаточные деформации в таких породах в форме микротрещин, горных ударов, отскоков элементов породы, деформационных тресков, отслаиваний и т. д. сопровождаются звуковым эффектом.

Пластические деформации, связанные с появлением и развитием дефектов на уровне структурно-текстурных особенностей материала в виде микро- и макротрещин и аллотропических изменений кристаллической решетки, проявляются в виде отдельных акустических импульсов, служащих универсальным признаком обнаружения разномасштабных трещин по частотному спектру излучения. Такие импульсы проявляются в кристаллической решетке даже в области упругости, а возникают от того, что среда неоднородна на уровне текстурно-структурной упаковки, нагружена неравномерно и в отдельных областях происходит пластическая деформация, хотя в целом процесс остается упругим. Возбуждение высокочастотных акустических волн благоприятствует применению сейсмоакустических исследований в звуковом и ультразвуковом диапазоне частот. Цикл акустической эмиссии породы от начала нагружения до полного разрушения будет дифференцироваться характерными амплитудно-частотными спектрами, отражающими стадии деформаций на уровнях кристаллической решетки, структурно-текстурного и литологического строения среды.

Усиление напряжения происходит за счет перераспределения давления боковых или вышележащих пород, изменения текстурных особенностей породы, затем и межэлементных связей на уровне структурных изменений. При давлениях превышающих предел прочности породы, фаза упругих деформаций сменяется нелинейными изменениями структуры среды (пластические деформации) и разрывами сплошности. Далее следует обрушение горной породы или разрядка в виде горного удара.

Сдвиги на межмолекулярном уровне структурно-тектонической упаковки горной породы порождают высокочастотные упругие продольные и поперечные волны, частотный спектр которых будет смещаться влево по мере подготовки, появления и развития остаточной деформации. Диапазон частот на ранней стадии развития напряженно-деформированного процесса может фиксироваться СВЧ-датчиками, внедрение которых позволит получить полный цикл подготовки, развития и протекания напряженно-деформированных процессов на опасных участках горных выработок. Напряжение, соответствующее начальной стадии деформации в виде микротрещины, будет иметь малую длительность (порядка микросекунд или долей микросекунд) [Чотчаев, 2016].

Продольно-сдвиговые смещения при постоянно возрастающем давлении перестают быть упругими, упругая деформация переходит в пластическую и часть энергии начинает расходоваться на диссипативные потери, включая и остаточную деформацию, которая используется на практике поляризационно-оптической регистрации напряжений, испытываемых горным массивом и определяемых по величине соотношения главных оптических осей, для чего используются оптические композиционные материалы [Колесникова и др., 2014].

Мониторинг напряженно-деформированного состояния разрабатываемого массива по физическим полям

Исследование и анализ природы возникновения электромагнитных импульсов и акустических волн направлены на установление надежных и эффективных индикаторов, характеризующих состояние разрабатываемого массива горных пород с использованием не менее надежных технологических средств наблюдения.

Используемые традиционные электро- и радиотехнические схемы с одной стороны, недостаточно надежно защищены от широкого спектра электрических помех подземного оборудования и природного характера, и с другой – технологические линии контроля доступы любому заинтересованному. Первый недостаток приводит к нередким ложным предупреждениям, а второй – к отключениям за неподтвержденность или умышленным корректировкам порога срабатывания прибора, т. е. возможному занижению чувствительности прибора. Статистика такова, что количество аварий в подземных выработках, связанных с ухудшением состояния массива из-за техногенного нарушения устойчивой геостатической стабильности пород и воздействия деформирующих природных событий на уже неустойчивые горные породы разрабатываемого шахтного пространства, не уменьшается [Бабин и др., 2013]. Среди множества направлений, требующих обеспечения безопасности горного производства, здесь рассматривается лишь разрабатываемый массив, напряженно-деформированное состояние которого генерировано пустотным пространством выработок, технологическими взрывами, сейсмотектоническими разгрузками в области масштабных дислокаций (каковыми являются выработки), случайными сейсмодислокациями, сфокусированными на территорию массива и т. д.

Исходя из физики деформации кристаллической решетки и последующих физико-химических взаимодействий на атомно-молекулярном уровне, следствием чего являются электромагнитные импульсы и акустические волны, диаграммы этих характеристик наиболее полно могут содержать информацию о динамике деформационных изменений в массиве.

При выборе технологической линии мониторинга электромагнитной и акустической производных остаточной деформации массива учитываются недостатки традиционных систем радио- и электротехнических цепей относительно их чувствительности к помехам, что предопределяет использование волоконно-оптических линий и датчиков. В качестве сенсоров необходимо использовать датчики звуковые (для акустических волн) и магнитного и электрического поля (для электромагнитных импульсов).

Для пространственно-временной привязки событий необходимо предусмотреть возможность амплитудно-частотного дифференцирования полезного сигнала, что доступно при использовании квазираспределенного датчика [Вялишев и др., 2014], представляющего собой массив точечных сенсорных элементов, как правило, на основе внутриволоконных решеток, объединенных одним общим световодом, т.е. одномодовым волоконно-оптическим кабелем с записанными в оптоволокне брэгговскими решётками. Брэгговские решетки это участки световода с чередованием показателя преломления вдоль его оси за счет преобразования ультрафиолетовым облучением структуры световода. ВБР каждого датчика отражает свет определённой длины волны с шириной спектра около 1 нм. При механическом воздействии (деформация, смещение, вибрация) изменяются период и показатель преломления решётки, вследствие чего происходит смещение длины волны отражённого света. Обработкой результатов измерений величины этого смещения определяются относительная деформация, температура, наклон, ускорение, вибрация, давление и перемещение (в зависимости от конструкции датчика). Каждый элемент обладает своими уникальными характеристиками, что позволяет проанализировать его состояние независимо от других сенсорных элементов.

Пункты размещения волоконно-оптических датчиков и сеть их расположения определяются исходя из максимального обеспечения безопасности персонала и шахтного оборудования, степени важности объекта в технологическом цикле освоения массива, учета структурно-тектонических и геотехнических условий эксплуатации массива, гидрогеологического режима грунтовых и пластовых вод, сейсмичности территории, возможных организационных срывов, инфраструктурных неувязок и т. д. Для уверенной интерпретации результатов наблюдений и обоснованного заключения о наступлении момента аварийной ситуации должны быть дублирующие друг друга две технологические линии наблюдений с брэгговскими решетками-датчиками, одна из которых регистрирует электромагнитные импульсы, другая – акустические волны.

Линия связи также должна состоять из волоконно-оптического кабеля. Монтаж датчиков и линии связи производится в недоступности шахтному персоналу, непосредственно не участвующему в процессе мониторинга.

Управление технологической линией мониторинга выводится на дневную поверхность в диспетчерскую.

На этапе опытно-методических разработок и производственных наблюдений представляется целесообразным установить критерии определения аварийной ситуации по параметрам возмущения, на которые впоследствии калибруется регистрирующая аппаратура для работы в автономном режиме без вмешательства оператора.

Окончательную схему технологической линии, тип волоконно-оптического кабеля, спектральную ширину сигнала источника, периоды брэгговских решеток, технологию установок датчиков и прочие технические тонкости пуска волоконно-оптической технологической линии мониторинга могут спроектировать, выполнить и запустить специалисты волоконно-оптических линий связи, с которыми в век инновационных технологий горнякам необходимо завязывать тесные контакты.

Выводы

Индикаторами напряженно-деформированного состояния и степени развития остаточных деформаций в массиве горной породы и элементах технологических выработок, угрозы горного удара и выброса метана, обвалов и обрушений и продолжительных сейсмологических воздействий, являющихся следствием внешних деформирующих напряжений, служат естественные электромагнитные импульсы и акустические волны.

Описана механика воздействия напряженно-деформированного состояния на уровне кристаллической решетки и физико-химических процессов на атомно-молекулярном уровне.

Показаны физико-химические основы обнаружения и развития напряженнодеформированного состояния горной породы, основанные на аномальных проявлениях таких физических параметров как импульсы электромагнитных и звуковых волн.

Ранняя стадия проявления пластических деформаций в горной породе теоретически связывается с изменениями на уровне кристаллической решетки, текстурной и структурной упаковок породы, сопровождающимися лавинообразным проявлением микротрещин в особых очаговых точках и генерацией электромагнитных и акустических колебаний в широком диапазоне частотного спектра.

Предполагается возможность дифференциации сигналов обоих характеристик по амплитудно-частотным спектрам и – установления степени развития деформационного процесса.

Оценено современное состояние контроля напряженно-деформированного состояния массива на основе помехонезащищенных электрических и радиотехнических схем.

Обосновывается перспектива использования в качестве технологической линии и датчиков мониторинга состояния массива горных пород волоконно-оптических сенсоров закрытого типа с выведением регистрирующей аппаратуры на дневную поверхность в диспетчерский пункт.

Литература

1. Ананьев В.П., Коробкин В.И. Инженерная геология. – М.: Высшая школа, 1973. – С. 299.

2. Бабин С.А., Голушко С.К., Цыба А.М., Чейдо Г.П., Шелемба И.С., Шакиров О.Р. Концепция многофункциональной системы безопасности угольной шахты с использованием волоконно-оптических технологий // Вычислительные технологии. – Том 18. Специальный выпуск. – Новосибирск. – 2013. – С. 95-100.

3. Богомолов Л. М., Боровский Б. В., Закупин А. С., Мубассарова В. А., Сычев В. Н., Сычева Н. А. От экспериментов В. А. Степанова по электропластическим эффектам в кристаллах NaCl к современным исследованиям электрочувствительности трещинообразования в горных породах // XVIII Петербургские чтения по проблемам прочности и роста кристаллов, посвященные 100-летию со дня рождения члена-корреспондента АН СССР профессора А. В. Степанова. – Санкт-Петербург. – 2008. – С. 3-17.

4. Григоркина Г.С., Хубежов С.А., Тваури И.В., Ашхотов О.Г., Ашхотова И.Б., Заалишвили В.Б., Козырев Е.Н., Уайлд М., Секиба Д., Огура Ш., Фукутани К., Магкоев Т.Т. Исследование межфазных границ в системах AG / TiO₂, AU / TiO₂, AG / MoO₃, AU / MoO₃ // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. – 2016. – № 8. – С. 100-104.

5. Вялишев А.И., Добров В.М., Долгов А.А., Бутов О.В., Плешков А.Ю. Волоконно-оптические датчики для контроля параметров состояния объектов и окружающей среды в задачах мониторинга // Природоустройство. – 2014. – № 3. – С. 32-37.

6. Заалишвили В.Б., Туаева Ж.Д. Математическое моделирование колебаний грунтовой толщи на основе учета нелинейных свойств грунтов при интенсивных воздействиях // Труды Международной конференции «Информационные технологии и системы: наука и практика». – Владикавказ. – 2002. – С. 367-370.

7. Заалишвили В.Б., Туаева Ж.Д. Математическое моделирование колебаний грунта на основе учета нелинейных свойств при интенсивных воздействиях // Владикавказский математический журнал. Апрель – июнь 2003 г. – Владикавказ. – 2003. – Т. 5. Вып. 2. – С. 18-23.

8. Заалишвили В.Б., Туаева Ж.Д., Мельков Д.А. Установление механизмов формирования нелинейно-неупругих явлений, обусловленных нано-размерными частицами среды при интенсивных динамических воздействиях // Труды IV международной научной конференции «Информационные технологии и системы. Наука и практика». – Владикавказ. 30 июня – 3 июля 2009 г. – 2009. – С. 245-246.

9. Заалишвили В.Б., Магкоев Т.Т., Мельков Д.А., Морозов Ф.С. Механизмы формирования нелинейно-неупругих явлений обусловленных нано-размерными частицами среды при интенсивных воздействиях // Геология и геофизика Юга России. – 2016. – № 1. – С. 48-60.

10. Зварыгин В.И. Влияние водной среды на прочность структуры промывочной ждкости // В сб.: Соверенствование техники и технологии бурения скважин на твердые полезные ископаемые. – Екатеринбург. – 1994. – С. 126-130.

11. Колесникова А. М., Чотчаев Х. О., Джгамадзе А. К. Использование поляризационно-оптического метода измерения напряжений (ПОМИН) для прогноза землетрясений // В сб.: Опасные природные и техногенные геологические процессы на горных и предгорных территориях Северного Кавказа. Труды IV Международная научно-практическая конференция посвященой 65-летию доктора физико-математических наук, профессора, Почетного деятеля науки и техники Российской Федерации, Заслуженного деятеля науки Республики Северная Осетия-Алания В.Б. Заалишвили. Отв. редакторы: А.В. Николаев, В.Б. Заалишвили. – Владикавказ. – 2014. – С. 303-306.

12. Коллоидная химия. – 1982. – С. 246.

13. Молекулярные взаимодействия // Перевод с англ. Э.Д. Германа; под ред. А.М. Бродского. – М.: Мир, 1984. – С. 49-50.

14. Фейнман Р. Р., Лейтон Р. В., Сендс М. Физика сплошных сред // Фейнмановские лекции по физике. Т. 7. – М.: Мир, 1966. – С. 7-23.

15. Чотчаев Х.О. Контроль напряженно-деформированного состояния горного массива звукометрическими и геофизическими методами // Геология и геофизика Юга России. – 2016. – № 3. – С. 129-140.

PHYSICAL FIELDS AS THE DERIVATIVE OF DEFORMATION OF THE MAUNTAIN MASSIF AND TECHNOLOGY OF IT'S MONITORING

© 2018 Kh.O. Chotchaev, A.M. Kolesnikova, Sc, Candidate (Geol.-Min.), M.V. Maysuradze, V.D. Shepelev

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

The process of stress-strain development of the medium conditionally begins with dislocation in crystals, proceeds with the formation of a fracture zone in rocks and ends with the collapse of the massif (fault in natural conditions). Each stage of development is characterized by amplitude-frequency features. The reaction of the massif to the action of the deforming stress is manifested by a violation of electrical connections in the crystal lattice. Assessed the current security controls of the personnel and prevention the condition elements of the local underground space based on unsecured circuits electric and electronic circuits fromelectromagnetic interference. Significant disadvantages include their exposure to the human factor in the form of forced shutdown. Changes in the dipole moments in the covalent bond lead to the appearance of electromagnetic pulses, and the residual deformation in the form of dislocations create acoustic wave fields. The energy characteristic of three components of intermolecular interactions: orientation, induction and dispersion is given.

Considering the nature of physical fields as derivatives of the deformations of the medium, passing eventually to irreversible mechanical changes in the structure of rocks and structure-tectonic structure of the massif, there is the possibility of establishing a quantitative dependence of the intensity of these fields, and the security status of the developed massif. Fiber-optic sensors based on Bragg gratings are proposed as the main technology for monitoring natural electromagnetic pulses and sound waves.

Keyword: deformation, physical fields, electromagnetic pulses, acoustic waves, monitoring, fiber optic sensors.

References

1. Anan'ev V. P., Korobkin V.I. Inzhenernaya geologiya [Engineering geology]. M. Vysshaya shkola, 1973, 299 p. (in Russian)

2. Babin S.A., Golushko S.K., Cyba A.M., Chejdo G. P., Shelemba I. S., Shakirov O.R. Koncepciya mnogofunkcional'noj sistemy bezopasnosti ugol'noj shahty s ispol'zovaniem volokonno-opticheskih tehnologij [The concept of a multi-functional coal mine safety system using fiber optic technology]. Vychislitel'nye tehnologii. Vol. 18. Special'nyj vypusk. Novosibirsk. 2013. Pp. 95-100. (in Russian)

3. Bogomolov L.M., Borovskij B.V., Zakupin A.S., Mubassarova V.A., Sychev V.N., Sycheva N.A. Ot eksperimentov V.A. Stepanova po elektroplasticheskim effektam v kristallah NaCl k sovremennym issledovaniyam elektrochuvstvitel'nosti treshchinoobrazovaniya v gornyh porodah [From the experiments of V.A. Stepanov on electroplastic effects in NaCl crystals to modern studies of the electrical sensitivity of cracking in rocks]. XVIII Peterburgskie chteniya po problemam prochnosti i rosta kristallov, posvyashchennye 100-letiyu so dnya rozhdeniya chlena-korrespondenta AN SSSR professora A.V. Stepanova. Sankt-Peterburg. 2008. Pp. 3-17. (in Russian)

4. Grigorkina G. S., Hubezhov S.A., Tvauri I. V., Ashhotov O. G., Ashhotova I. B., Zaalishvili V.B., Kozyrev E. N., Wilde M., Sekiba D., Ogura Sh., Fukutani K., Magkoev T. T. Issledovanie mezhfaznyh granic v sistemah AG / AG / TiO₂, AU / TiO₂, AG / MoO₃, AU [Investigation of interphase boundaries in systems AG / TiO₂, AU / TiO₂, AG / MoO₃, AU / MoO₃]. Fiziko-himicheskie aspekty izucheniya klasterov, nanostruktur i nanomaterialov. 2016. No. 8. Pp. 100-104. (in Russian)

5. Vyalishev A. I., Dobrov V. M., Dolgov A. A., Butov O. V., Pleshkov A. Yu. Volokonnoopticheskie datchiki dlya kontrolya parametrov sostoyaniya ob`ektov i okruzhayushchej sredy v zadachah monitoringa [Fiber-optic sensors for monitoring the parameters of the state of objects and the environment in monitoring tasks]. Prirodoustrojstvo. 2014. No. 3. Pp. 32-37. (in Russian)

6. Zaalishvili V. B., Tuaeva Zh. D. Matematicheskoe modelirovanie kolebanij gruntovoj tolshchi na osnove ucheta nelinejnyh svojstv gruntov pri intensivnyh vozdejstviyah [Mathematical modeling of the soil strata vibrations based on taking into account the nonlinear properties of soils during intensive loadings]. Trudy Mezhdunarodnoj konferencii "«Informacionnye tehnologii i sistemy: nauka i praktika". Vladikavkaz. 2002. Pp. 367-370. (in Russian)

7. Zaalishvili V. B., Tuaeva Zh. D. Matematicheskoe modelirovanie kolebanij grunta na osnove ucheta nelinejnyh svojstv pri intensivnyh vozdejstviyah [Mathematical modeling of ground motion based on taking into account non-linear properties under intensive loadings]. Vladikavkazskij matematicheskij zhurnal. Aprel' – iyun' 2003 g. Vladikavkaz. 2003. Vol. 5. Issue 2. Pp. 18-23. (in Russian)

8. Zaalishvili V.B., Tuaeva Zh. D., Mel'kov D.A. Ustanovlenie mehanizmov formirovaniya nelinejno-neuprugih yavlenij, obuslovlennyh nano-razmernymi chasticami sredy pri intensivnyh dinamicheskih vozdejstviyah [Establishment of mechanisms for the formation of nonlinear inelastic phenomena caused by nano-sized particles of the medium under intense dynamic loadings]. Trudy IV mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii "Informacionnye tehnologii i sistemy. Nauka i praktika". Vladikavkaz. 30 iyunya – 3 iyulya 2009 g. 2009. Pp. 245-246. (in Russian)

9. Zaalishvili V.B., Magkoev T.T., Mel'kov D. A., Morozov F.S. Mehanizmy formirovaniya nelinejno-neuprugih yavlenij obuslovlennyh nano-razmernymi chasticami

sredy pri intensivnyh vozdejstviyah [Mechanisms of formation of nonlinear inelastic phenomena caused by nano-sized particles of the medium under intense loadings]. Geologiya i geofizika Yuga Rossii. 2016. No. 1. Pp. 48-60. (in Russian)

10. Zvarygin V.I. Vliyanie vodnoj sredy na prochnosť struktury promyvochnoj zhdkosti [The influence of the aquatic environment on the strength of the structure of the washing liquid]. V sb.: Soverenstvovanie tehniki i tehnologii bureniya skvazhin na tverdye poleznye iskopaemye. Ekaterinburg. 1994. Pp. 126-130. (in Russian)

11. Kolesnikova A.M., CHotchaev X. O., Dzhgamadze A.K. Ispol'zovanie polyarizacionno-opticheskogo metoda izmereniya napryazhenij (POMIN) dlya prognoza zemletryasenij [Using the polarization-optical method for measuring stress (POMIN) for earthquake prognosis]. V sb.: Opasnye prirodnye i tehnogennye geologicheskie processy na gornyh i predgornyh territoriyah Severnogo Kavkaza. Trudy IV Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya posvyashchenoj 65-letiyu doktora fiziko-matematicheskih nauk, professora, Pochetnogo deyatelya nauki i tehniki Rossijskoj Federacii, Zasluzhennogo deyatelya nauki Respubliki Severnaya Osetiya-Alaniya V.B. Zaalishvili. Otv. redaktory: A.V. Nikolaev, V.B. Zaalishvili. Vladikavkaz. 2014. Pp. 303-306. (in Russian)

12. Kolloidnaya himiya [Colloid chemistry]. 1982. 246 p. (in Russian)

13. Molekulyarnye vzaimodejstviya [Molecular interactions]. Perevod s angl. E. D. Germana; pod red. A. M. Brodskogo. M. Mir, 1984. Pp. 49-50. (in Russian)

14. Fejnman R. R., Lejton R. V., Sends M. Fizika sploshnyh sred [Physics of continuous media]. Fejnmanovskie lekcii po fizike. Vol. 7. M. Mir, 1966. Pp. 7-23. (in Russian)

15. CHotchaev H. O., Kontrol' napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya gornogo massiva zvukometricheskimi i geofizicheskimi metodami [Control of the stress-strain state of a mountain massif using sound and geophysical methods]. Geologiya i geofizika Yuga Rossii. 2016. No. 3. Pp. 129-140. (in Russian)

VДК 551.243 DOI:10.23671/VNC.2018.4.20162

СТРУКТУРНО-ВЕЩЕСТВЕННЫЕ КОМПЛЕКСЫ КАК ИНДИКАТОРЫ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ОБСТАНОВОК НА ПРИМЕРЕ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЦЕНТРАЛЬНОГО КАВКАЗА

© 2018 Х.О. Чотчаев, А.Г. Шемпелев, к. г.-м. н., С.Н. Трофименко, Д.Н. Забирченко

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

Оценка отдельных геодинамических обстановок цикла Уилсона сформироваиших тот или иной существующий структурно-вещественный комплекс основных микроплит и структурно-тектонических зон восточного сегмента Центрального Кавказа проведена на основе концепции тектоники литосферных плит и соответствующих геодинамических режимов, устанавливаемых на границе и внутренних частях тектонических плит, подвергшихся различного рода динамическим воздействиям. Структурно-вещественные комплексы дифференцированы по геоморфологическим, тектоническим, седиментационным, магматическим, метаморфическим и вулканическим признакам.

Дается характеристика мантийного воздействия на кору вертикальной и (или) латеральной направленности, динамика которого определяется конвективным восходящим течением разогретого внешним ядром мантийного субстрата и независимыми от конвективных течений струями из нижних и верхних этажей мантии – плюмами по модели двухярусной тектоники литосферы. Отмечена эффективность сейсмотомографии позволяющей по скоростным характеристикам распространения упругих колебаний составлять модели плотностных тепловых неоднородностей мантии. Как обобщение особенностей каждого описываемого структурно-вещественного комплекса, дается характеристика геодинамической обстановки.

Ключевые слова: геодинамическая обстановка, структурно-вещественные комплексы, конвекционное течение, Центральный Кавказ.

Введение

Земная кора, раздробленная на большое количество разномасштабных и бесформенных плит, представляет собой собранную из пазлов современную географическую мозаику планеты. Из 100 (по Р.М. Доменицской, не считая террейны по В.Е. Хаин) выделенных тектонических плит лишь одна океаническая – Тихоокеанская – 103,3 млн км² и 6 континентальных (Северо-Американская и Северо-Восточная Сибирь – 75,9 млн км², Евразийская – 67,8 млн км², Африканская – 61,3 млн км², Антарктическая – 60,9 млн км², Австралийская – 47,2 млн км², Южно-Американская – 43,6 млн км²) [Аплонов, 2001, Парначев, 2014] представляют собой планетарный масштаб, в сумме составляя более 90% всей площади Земли. Соотношение площадей коры континентальной и коры океанической (включая и моря) составляет примерно 9 к 11. Основным критерием определения границ тектонических плит являются зоны сейсмической, вулканической, а также тектонической активности, а так же горы и океанические желоба. С точки зрения диалектики природы дробление коры на плиты не что иное, как соблюдение принципа наименьшего запаса энергии (энергетической выгоды) системы для балансирования в целостности в условиях непрерывно пульсирующего состояния верхней мантии. Можно себе представить энергетические затраты на подобное балансирование сплошной коры при локальных колебаниях кровли верхней мантии. С другой стороны следует учесть, что нынешняя тектоническая схема литосферных плит (ТЛП) уравновешивает энергетическую разгрузку внутрилитосферных радиогенных и геодинамических процессов и энергий роста ядра выпадением железа за счет люфта в межплитных швах, сохраняя энтропию системы. В случае сплошности коры мера необратимого рассеивания энергии может быть нарушена и, как следствие, нарушено термодинамическое равновесие системы.

Взаимодействие как разных типов, так и однотипных плит, вызванное соответствующим геодинамическим режимом, определяет геодинамическую обстановку развития геологической структуры и ее структурно-вещественных комплексов (СВК). Платформой такого взаимодействия является мантийное воздействие на кору вертикальной и (или) латеральной направленности, динамика которого определяется конвективным восходящим течением разогретого внешним ядром мантийного субстрата и независимыми от конвективных течений струями из нижних и верхних этажей мантии – плюмами [Лобковский,1988; Зоненшайн и др., 1990].

В первом случае восходящий поток относительного разуплотненного и нагретого субстрата образует восходящую ветвь в будущей конвекционной ячейке, перемещение частиц в которой может происходить по разным траекториям в зависимости от плотности и температуры восходящего потока [Сорохтин, Ушаков, 1993].

За счет механизма ползучести перемещение вещества вверх происходит на атомном и молекулярном уровне путём перескакивания вакансий дислокаций [Фейнман и др., 1966] из плоскости в плоскость. Во втором случае движение мантийного вещества из глубинных недр к подошве литосферы рассматривается в виде адвекции, т. е. направленного подъёма материала в форме «струи», которая растекается по подошве литосферы, не образуя замкнутой конвекционной ячейки. Конвективные потоки и мантийные плюмы находят отражение в материалах сейсмотомографических исследований [Аплонов, 1998; Пущаровский, 1998]. По скоростным характеристикам распространения упругих колебаний составляются модели плотностные, а через них и тепловые неоднородности мантии в виде вертикальных зон избыточной плотности для нисходящих потоков и зон разуплотнения для восходящих потоков.

Обобщенное изучение данных сейсмической томографии земных недр позволяет сделать следующие выводы:

 современная мантия Земли характеризуется плотностными и тепловыми неоднородностями, которые фиксируются снижением или возрастанием скоростей сейсмических волн;

 неоднородности в виде колоннообразных тел прослеживаются по всему сечению мантии Земли, т.е. имеют общемантийную (сквозь мантийную) природу;

• низкоскоростные и высокоскоростные неоднородности мантии Земли увязываются в систему крупномасштабной конвекции, имеющей ограниченное число конвекционных ячеек.

Элементы СВК Большого Кавказа, как и любой геологической структуры, являются индикаторами, не только той последней геодинамической обстановки, запечатлевшей современную геологическую действительность, они содержат сведения о комплексах предыдущих геодинамических обстановок, использование которых позволяет эти обстановки классифицировать [Чистяков и др., 1997; Хаин, Ломизе, 2005].

Согласно концепции ТЛП геологическая структура претерпевает закономерно чередующиеся периоды в тектонической эволюции Земли, которые характеризуются определённой последовательностью геологических событий и развиваются на фоне общего направленного развития планеты за счет ее внутренней энергии. Геологический период завершения полного витка тектонической эволюции называется циклом, продолжительность которого зависит от ранга геологической структуры. Для структуры Большого Кавказа, прошедшего все известные геодинамические обстановки, интерес представляет цикл Уилсона – наиболее продолжительный по времени и наиболее значимый по геологическим результатам. Он охватывает время от начала образования океана до его закрытия и включает в себя события от континентального рифтогенеза до столкновения континентов, с промежуточными стадиями спрединга и раскрытия океана, субдукции и образования магматической дуги. Цикл имеет продолжительность порядка 600 млн лет. Механизм протекания каждой геодинамической обстановки цикла Уилсона детально описан в геологической литературе и здесь не рассматривается.

В качестве структурно-вещественных комплексов, сложенных ассоциациями осадочных и метаморфических формаций и магматических образований (формаций), рассматриваются наиболее характерные обособленные складчато-тектонические блоки восточной части Центрального Кавказа, характеризующиеся специфичной структурой и текстурой, тектонической локализацией, морфологическими особенностями, вещественным составом, мощностями слоев, конседиментационными (флексуры, адвекция) и постседиментационными (оползание слоев, астроблемы, диапиры) структурами.

Структурно-вещественные комплексы первого порядка (по классификации регионального тектонического районирования) в целом ориентированы субширотно [Милановский, Хаин, 1963], согласно общекавказскому простиранию, основные из которых приведены на рисунке 1. Дифференцированные структурно-вещественные элементы более высоких порядков повторяют простанственную ориентировку основных структур.

Владикавказская котловина Терско-Каспийского передового прогиба

Владикавказская котловина располагается севернее Лесистого хребта, представляет собой глубокий прогиб, переходящий на юге в северное крыло Кавказского антиклинория. Началом формирования прогиба следует верхний сармат, когда на территории Терско-Каспийского передового прогиба устанавливается режим устойчивого прогибания, сохранившийся на фоне общего поднятия региона, начавшегося в позднем сармате-мэотисе [Шемпелев и др., 2015; 20176]. Таким образом, ложем прогиба следует считать глины и мергели нижне-верхнесарматских региоподъярусов.

Выполнена Владикавказская котловина мощной толщей континентальных образований неогена и четвертичного периода [Стеклов, 1963], образующих верхнюю молассу. В основании этой толщи располагаются отложения галечниково-песчаноглинистого состава верхнего сармата-понта, объединяющие конгломераты и галечники Лысогорской свиты. Ее мощность ее изменяется от 1000 м до 200 м у северной рамки площади до полного выклинивания у южной границы прогиба.

На конгломератах лысогорской свиты располагаются туфогенно-конгломератовые отложения свиты рухсдзуар.

Эти породы выполняют значительную площадь котловины. Мощность их достигает 1450 м. Завершается разрез верхней молассы четвертичными плейстоценголоценовыми аллювиальными и флювиогляциальными образованиями, мощностью от 0 до 750 м.

Южную границу котловины с Северной моноклиналью определяет Владикавказский разлом [Милановский, Хаин, 1963; Чотчаев, 2016], представляющий собой флексуру с поднятым южным, опущенным северным крыльями (падение 75–80°) и изгибом на глубине порядка 7 км [Овсюченко и др., 2008]. Владикавказская структура по данным ГСЗ [Краснопевцева, 1984] отмечается появлением интенсивных дифрагированных волн, искажением рельефа большинства глубинных границ и исчезновением некоторых протяженных сейсмических границ.

На микросейсмических разрезах границы названных выше комплексов прослеживаются фрагментарно и лишь на отдельных участках. В северных частях обоих профилей, соответствующих Осетинской впадине, на глубинах 2,5-4 км выделяется первый прерывистый близгоризонтальный раздел высокой контрастности скоростей поперечных сейсмических волн. В разрезе осадочного чехла впадины этот раздел предположительно соответствует подошве терригенных отложений миоценового молассового комплекса. Ниже – на глубине 4,5-7 км – можно выделить второй, более мощный и контрастный раздел, который в Осетинской впадине предположительно соответствует кровле известняковой соленосной формации позднеюрского возраста.

Сейсмические исследования в пределах Владикавказской котловины прослеживают стратифицированные границы от внутриверхнеюрских до чокрака, в котором размыв не отмечается, что дает основание предположить унаследованность снизу вверх структурных элементов и единую геодинамическую обстановку их накопления. В межсолевых и подсолевых отложениях верхней юры установлены аномалии, которые связываются с карбонатными массивами, интерпретируемыми, как возможные рифогенные образования. Выше верхнеюрских отложений такие структуры не проявляются.

Геодинамический режим соответствует коллизионной эпохе развития, деструкции и перемещениям блоков за счет продвижения Аравийского выступа вглубь Евразии, происходит вспышка вулканизма [Короновский, 1982] в основном андезитового состава. Орогенез характеризуется образованием хребтов и межгорных впадин. Интрузивная деятельность характеризуется низкой активностью.

Зона Киммерийской складчатости

Зона Киммерийской складчатости расположена восточнее Садоно-Унальского горста и Фиагдонской антиклинали. С севера она ограничивается поддвигом «Скалистого хребта», с юга Цариит-Цатадонским и Белореченским разломами, отделяющими ее от Шаухох-Дарьяльского поднятия. Восточная граница зоны находится за пределами описываемой территории.

По литологическому составу основания юрской толщи в зоне Киммерийской складчатости выделяются две подзоны: Дагом-Даргавская и Цатадон-Армхинская. Граница между ними проходит по Джимара-Годтанадагскому разлому.

Нижние члены юрского разреза в Дагом-Даргавской подзоне представлены алевролитами и песчаниками мизурской свиты, выделяемыми в морскую терригенную формацию среднего лейаса. В Цатадон-Армхинской подзоне в основании изученной части юры располагаются среднелейасовые глинистые сланцы геналдонской толщи, содержащие подчиненное количество песчаников. Эти породы в данной работе без всякого обоснования объединены с мизурской свитой. Довольно резкие различия в фациях и биоценозе, позволяющие сделать заключение о различных геодинамических обстановках формирования этих отложений, явились, по-видимому, достаточной аргументацией для отнесения некоторыми исследователями Цатадон-Армхинской подзоны, в качестве решения этой проблемы, к Восточному Кавказу. Отсутствие каких-либо различий в вышележащих нижне-среднеюрских песчано-глинистых осадках, перекрывающих как «мизурские», так и «геналдонские» отложения, позволяет предположить, что тектоническая обособленность подзон закончилась в конце плинсбаха, и далее они развивались как единое целое.

Не исключается, естественно, и другая точка зрения, по которой фациальные различия «мизурских» и «геналдонских» осадков, а также отличия в биоценозе, являются производными от расположения участка осадконакопления относительно береговой линии, и что нивелирование условий осадконакопления к началу тоара является естественным процессом в условиях расширяющейся морской трансгрессии.

Тектонические структуры, как в Дагом-Даргавской, так и в Цатадон-Армхинской подзонах, являются результатом преимущественно адыгейской фазы альпийского орогенеза. Они развивались уже в единой, консолидированной зоне Киммерийской складчатости и поэтому характеризуются единым планом складчатых деформаций.

В пределах зоны выделяется целый ряд субширотно-ориентированных тектонических подзон, характеризующихся определенным типом пликативных и дизъюнктивных нарушений.

Здесь с севера на юг выделены подзоны северных антиклиналей, промежуточных грабенов, центральных синклиналей, Фиагдон-Ларского поднятия и «южной» синклинали.

В целом, по своему положению в геологической структуре горной части восточного сегмента Центрального Кавказа и по своему строению «южная» синклиналь Киммерийской складчатости является аналогом Штулу-Харесской грабен-синклинали, разделяющей Таймази-Лабагомское (Центральное) и Балкаро-Дигорское поднятия, и, по-видимому, в какой-то степени, может рассматриваться в качестве ее восточного сегмента.

Киммерийская складчатость развивается при геодинамическом режиме, соответствуюшем киммерийскому этапу столкновения южного микроконтинента с активной континентальной окраиной Скифской плиты, при завершающейся коллизионной эпохе. Южнее примкнувшего микроконтинента образуется зона субдукции, происходит формирование Малокавказской вулканической дуги. Осадконакопление проиходит в условиях эпиконтинентального морского бассейна.

Активизируется магматическая деятельность, андезидацитовая туфо-лавовая



вулканогенная формация сменяется габбро-диорит-гранодиоритовой и габбро-диабазовой дайковой формациями. Осадочные комплексы представляют аспидные и узловатые глинистые сланцы, метапесчаники, кварциты.

Начинается взаимодействие континентальной окраины с океанической плитой и раскрытие океанического бассейна, связанного со спредингом базальтоидного вулканизма.

Центральное поднятие а. Таймази-Лабагомское поднятие

Осевая зона антиклинория Большого Кавказа в Восточной части Центрального Кавказа смещается на юг, где орографически выражена наиболее высокогорным Боковым хребтом и занимает южную часть восточного окончания структурно-тектонического сооружения Центрального Кавказа. Представлена осевая зона здесь двумя субшироными горстовыми поднятиями: Таймази-Лабагомским и Шаухох-Дарьяльским.

Таймази – Лабагомское поднятие расположено в юго-западной высокогорной части сегмента, занимая здесь склоны Главного и Бокового хребтов, а также северные отроги последнего. По литологическому составу слагающих его пород делится на две тектонические подзоны: Танадон-Буронскую и Лабода-Цмиакомскую.

Танадон-Буронская подзона охватывает северную половину Таймази-Лабагомского поднятия. Она ограничивается на севере депрессионной структурой Штулу-Харесской грабен-синклинали, а на юге Лабода-Караугомским и Цейдонским разломами, место сочленения которых залечено внедрившимися Караугомским и Цейским массивами среднеюрской Дигорской вулкано-плутонической ассоциации. В долине р. Баддон подзона погружается под песчано-глинистые породы формации глинистых сланцев. Сложена подзона средне- и верхнепалеозойскими гранитоидами. Меньшее значение имеют породы супраструктуры, представленные останцами, ксенолитами и относительно крупными блоками кристаллических сланцев макерской серии, слагающих ктитебердинскую и буронскую свиты. Магматические породы представлены образованиями диоритовой формации и габбро-диорит-гранодиоритовой группы формаций, тяготеющими к зонам крупных разломов общекавказской ориентировки и системам трещиноватости северо-западного простирания. Незначительная роль принадлежит вулканитам нижне-среднелейасовой андезито-дацитовой и песчаникам среднелейасовой морской терригенной формаций, которые, располагаясь на контакте с Штулу-Харесской грабен-синклиналью, могут рассматриваться принадлежащими, как подзоне, так и южному крылу грабен-синклинали.

Танадон-Буронская подзона состоит из пяти тектонических блоков, из которых западные – Танадонский, Рудный и Хуппаринский отделяются от восточных – Саухохского и Буронского, глубинным Згидским разломом, поверхностным проявлением которого является Донисарский взброс. По Згидскому разлому и, соответственно, по Донисарскому взбросу восточная часть Танадон-Буронской подзоны поднята не менее, чем на 2,5-3 км. Западная часть подзоны, представленная Танадонским, Рудным и Хуппаринским блоками, в результате ротации наклонена на север под углом 40°. До сих пор не нашли обоснованного объяснения мелкие нашлепки, возможно тектонические останцы вулканитов нижне-среднелейасовой андезидацитовой формации и глинистых сланцев нижне-, среднеюрской формаций, встречающи-

еся среди гранитоидов подзоны в разных частях Хуппаринского блока. В качестве одной из гипотез, объясняющих это явление, высказывается предположение, что ротация блоков происходила одновременно с перемещением масс пород с юга на север. Последнее проявилось, очевидно, более амплитудными надвигами, на которые и указывают останцы вулканогенных и осадочных пород, сохранившиеся лишь местами после формирования Главного и Бокового хребтов и их последующей интенсивной денудации.

Лабода-Караугомский разлом, ограничивающий западную часть Танадон-Буронской подзоны с юга, является одним из крупнейших дизьюнктивов древнего заложения в этой части региона. Прослеживается он в юго-восточном направлении на 25 км, от массива г. Лабода на западе до горно-ледникового Караугомского плато на востоке. Дальнейшее продолжение разлома уничтожено интрузией в его зону гранодиоритовой магмы, сформировавшей здесь Караугомский массив среднеюрской дигорской вулкано-плутонической ассоциации. Падение разлома крутое (75–88°), чаще северное и субвертикальное. К его зоне тяготеют мелкие субинтрузивные тела плиоценовой диоритовой формации. Амплитуда по разлому не определяется.

Восточные блоки Танадон-Буронской подзоны претерпели более интенсивную ротацию, в результате которой они оказались перевернутыми на север. Их поверхность приобрела южное падение под углами 70–75°, что установлено не только по врезам речных долин, но и горными выработками, пройденными Садонским свинцово-цинковым комбинатом на Студенческом и Урсдонском рудопроявлениях.

Саухохский блок является южной частью Кионского поперечного поднятия. Сложен блок, в основном, средне- и верхнепалеозойскими гранитоидами и кристаллическими сланцами буронской свиты. Меньшее значение имеют вулканиты садонской, песчаники мизурской и глинистые сланцы галиатской свит и многочисленные мелкие тела, штоки и дайки интрузивной и субинтрузивной фаций среднеюрских дигорской вулкано-плутонической ассоциации и казбекского дайкового комплекса, а также плиоценового диоритового Теплинского комплекса. Ограничен блок на западе и севере Донисардонским и на востоке Урсдонским взбросами, по которым он не только поднят, но и смещен к северу. По зоне Цейдонского разлома в юго-западную часть Саухохского блока внедрены гранодиориты Цейского массива.

Буронский блок, завершающий на востоке Танадон-Буронскую подзону, сложен образованиями Мамисон-Казбекской супраструктуры, представленными кристаллическими сланцами Буронской свиты. Меньшая роль принадлежит породам сероцветной молассы, а также андезидацитовой, морской терригенной и глинистых сланцев формаций. Магматические образования относительно редки и представлены преимущественно дайками среднеюрской габбро-диабазовой формации казбекского дайкового комплекса. В структурном отношении это наиболее сложнопостроенный из множества блоков восточного сегмента Центального Кавказа. Судя по его восточному окончанию, блок смят в складки, из которых отчетливо фиксируются Малая и Большая Бадская антиклинали и разделяющая их Машигкомская синклиналь. Западнее долины р. Ардон эти складки не документируются. Большая Бадская антиклиналь является здесь доминирующей структурой. Она протягивается в широтном направлении примерно на 8-9 км. Ширина ее около 2-х км. Осевая плоскость складки опрокинута на север. Ее северное крыло падает к югу под углами 70–85°, южное тоже к югу с углами 40–70°. Ядро складки сложено кристаллическими сланцами буронской свиты, крылья – конгломератами баддонской, вулканитами садонской и песчаниками мизурской свит.

К Танадон-Буронской подзоне с юга по линии Лабода-Караугом-Цейдонской тектонической зоны причленяется Лабода-Цмиакомская подзона. Подзона сложена верхнепротерозойскими образованиями супраструктуры, представленными кристаллическими сланцами кассарской свиты, относимыми к буульгенской серии, а также породами гранито-гнейсовой среднепалеозойской формации кассарского комплекса. Кроме этого, в ее строении участвуют гранодиоритовые Караугомский и Цейский массивы, а также штоки и дайковые комплексы среднеюрских габбродиорит-гранодиоритовой (дигорский комплекс) и габбро-диабазовой (казбекский комплекс) формаций. Ограничивается подзона с юга тектонической зоной Главного надвига, являющегося, по сути дела, поддвигом, по которому геологические образования более южных зон пододвигаются под Таймази-Лабагомскую структуру, обеспечивая тем самым ее воздымание. Лабода-Цмиакомская подзона делится на два блока, разделенных Караугомским интрузивом гранодиоритов. Западный – Водораздельный блок занимает гребневую часть Главного Водораздельного хребта между горно-ледниковыми массивами Лабода (4320 м) и Бурджула (4357 м).

Восточный Лагау-Цмиакомский блок располагается на склонах Бокового хребта, между горными массивами Лагау и Цмиакомхох. Ограничен он на севере Цейдонским разломом, на востоке – частью Колотинского надвига, на юге зоной Главного надвига. Западная его граница, сочленение с Водораздельным блоком, как отмечено выше, уничтожена интрузией гранодиоритов Караугомского массива. Блок преимущественно представлен верхнепротерозойскими кристаллическими сланцами кассарской свиты. Меньшее значение имеют верхнепротерозойские образования чанчахской свиты и совсем незначительна роль верхнепалеозойской сероцветной молассы, туффито-песчаной и карбонатной метаморфизованной формаций. В северной части блока преобладают образования среднепалеозойской гранито-гнейсовой формации, более мелкие тела тяготеют к его восточному и южному краям. Магматические образования, кроме упомянутых выше гранодиоритов Караугомской и Цейской интрузий, представлены их жильными дериватами, а также бесчисленным количеством даек среднеюрской габбро-диабазовой формации (дигорской вулкано-плутонической ассоциации). В южной части блок осложнен субширотными разломами, а в его восточной части широко развиты северо-восточные разрывы. В структурном плане большая часть блока представляет собой Цмиакомскую антиклинальную складку, южное крыло и переклинальное замыкание которой осложнены зонами крупных разломов. Северное крыло антиклинали определяется только в крайней восточной части структуры, где на южных склонах Цадуатинской балки северное крыло, сложенное верхнепермскими мраморами, переходит в осложненное Колотинским надвигом южное крыло Цадуатинской синклинали. Восточнее Ардон-Бадского водораздела синклиналь и северное крыло антиклинали не прослеживаются. Южное крыло, осложненное Главным надвигом, в котором располагаются линзы и пласты мраморов пермского периода, имеет крутое (70-80°) падение к северу [Шемпелев, 2017а]. Высокогорный рельеф и плохая проходимость ограничивают возможность изучения блока с необходимой полнотой. Уточнение его строения, по-видимому, возможно лишь с получением дополнительного фактического материала.

Описанное Таймази-Лабагомское поднятие представляет значительный интерес в связи с тем, что здесь непосредственно соприкасаются породы макерской и буульгенской серий. Даже грубое умозрительное приведение поверхности поднятия в субгоризонтальное положение, приблизительно соответствующее предлейасовому, показывает, что образования макерской серии залегают на буульгенской и что Лабода-Караугом-Цейдонская тектоническая зона, разделяющая эти салическую и мафическую серии, является ничем иным, как крупным надвигом

б. Шаухох-Дарьяльское поднятие

Расположено поднятие в юго-восточной части территории, где занимает гребень и склоны Бокового хребта. От Таймази-Лабагомского поднятия оно отделяется сравнительно широким (12км) Колотинским покровом. Шаухох-Дарьяльское поднятие состоит из сравнительно крупных Шаухохского и Дарьяльского массивов, разделенных Чачским покровом. Шаухохский массив располагается в междуречье рр. Фиагдон-Гизельдон. Ограничен массив с севера юго-западной частью Джимара-Годтанадагского разлома и Цариит-Цатадонским взбросом. Южная граница его представлена Сырхубарзондским взбросом. Ядерная часть блока сложена отложениями позднекарбоновой сероцветной молассы, а также позднекарбоновой-раннепермской туффито-песчаной и поздне-пермской карбонатной метаморфизованной формаций. Перекрываются они образованиями раннелейасовой формации метапесчаников, кварцитов, узловатых и пятнистых сланцев, а также среднелейасовой аспидной формации. Перечисленные породы секутся многочисленными дайками среднеюрской габбро-диабазовой формации казбекского комплекса. Фундамент массива, представленный, как отмечено выше, палеозойскими формациями, обнажается в тектонических клиновидных блоках и в ядре Гизельдонской антиклинали. Гизельдонская антиклиналь располагается в долине р. Мидаграбындон и протягивается по ней от языка одноименного ледника на север на 3,5 км. Ширина ее от 1 км на севере до 2,5 км на юге. На участке Ларцыком ядерная часть складки расширяется до 4 км за счет «выжимания» мраморизованных известняков гизельдонской свиты в предполагаемую полость приоткрывания в процессе тектонических движений блока. С севера и с юга антиклиналь обрывается разломами Чижфандаг-Скаронским и Сырхубарзондским, соответственно. Чижфандаг-Скаронский взброс протягивается от долины р. Фиагдон к истокам р. Цатадон на протяжении около 15 км. Простирание разлома субширотное, падение крутое (75-80°) южное. Южный блок по разлому взброшен примерно на 0,5 км. Сырхубарзондский разлом ограничивает с юга как Гизельдонскую антиклиналь, так и весь Шаухохский массив и прослеживается от долины р. Фиагдон до истоков р. Геналдон, на 22 км. Протягиваясь в субширотном направлении, разлом дугообразно выгибается к югу. Падение его субвертикальное, северное. Он представлен серией сближенных разрывов, образующих единую дизъюнктивную зону мощностью до 50 м, в которой зачастую зажаты и «растащены» блоки и пластины пород гизельдонской и мидаграбынской свит. Разлом на западе и востоке, очевидно, выполаживается и переходит в надвиговые структуры. Однако, не исключена возможность перекрытия Сырхубарзондского разлома, независимыми от него, самостоятельными надвигами. По разлому, расположенные южнее геологические образования, пододвигаются под Шаухохский массив.

Гизельдонская антиклиналь представляет собой типичную брахискладку широтной ориентировки с погружением оси в обе стороны с относительно пологим (15–25°) углом. Северное крыло ее, сложенное раннелейасовой формацией метапесчаников, кварцитов, узловатых и пятнистых сланцев, сорвано по контакту с нижележащими мраморами позднепермской карбонатной мраморизованной формации и часто падения пород крыла не соответствуют падениям пород палеозойского ядра. В целом, породы ядра имеют общее падение на север с углом 45–50°. Падения же мезозойских пород крыла, как правило, крутые (60–80°), часто опрокинутые к северу и нередко изоклинально смятые. Южное крыло антиклинали оборвано разломами.

Другие выходы палеозойского фундамента Шаухохского массива являются тектоническими блоками с моноклинально залегающими породами, падения которых преимущественно южные крутые, редко пологие.

В целом Шаухохский массив характеризуется глыбово-складчатой структурой с «сорванными» контактами между свитами, с крутым залеганием разломов, разделяющих массив на блоки и имеющих, как правило, южное падение. Характерной особенностью северных блоков массива является смятость мезозойских пород в опрокинутые и наклоненные складки с размахом крыльев до 400-500 м.

По Цариит-Цатадонскому разлому породы массива надвинуты на песчано-глинистые отложения зоны киммерийской складчатости.

Дарьяльский массив занимает крайний юго-восточный угол описываемой территории и располагается в долине р. Терек. От Шаухохского массива он отделяется Чачским покровом. С севера массив ограничен Белореченским, а с юга Гвилетским разломами. Сложен массив породами среднепалеозойской гранито-гнейсовой формации и образованиями раннелейасовой формации метапесчаников, кварцитов, узловатых и пятнистых сланцев и среднелейасовой, аспидной формации. Незначительную роль играют роговики, образованные, предположительно, по породам мидаграбынской свиты. Гранитогнейсы и роговики образуют кристаллическое основание массива и слагают Северный и Южный Дарьяльские блоки, а также обнажаются в Гвилетско-Кистинском блоке. Породы формации метапесчаников, кварцитов, узловатых и пятнистых сланцев, объединяемых в кистинскую свиту, образуют своеобразный чехол палеозойского ядра. Образования аспидной формации, включающие белореченскую свиту, оконтуривают породы кистинской свиты с севера. Ширина Дарьяльского массива по долине р. Терек составляет 7 км, а длина в пределах описываемой площади – 20 км.

Главными особенностями пород кассарской толщи Центрального поднятия являются: плотность и мелкозернистость; слабо развитая кристаллизационная сланцеватость и преобладание гранобластовых, нематобластовых и лепидобластовых структур; четко проявленная реликтовая слоистость, подчеркиваемая переслаиванием полос разного состава; редкость постепенных переходов между породами и незначительность диафторических процессов; одноэтапный метаморфизм пород в кварц-альбит-эпидот-альмандиновой субфации фации зеленых сланцев метаморфической серии.

Структурно-вещественный комплекс Центрального поднятия в протерозойский этап характеризуется ультраметаморфизмом вулканогенных и терригенных пород и формированием образований инфраструктуры и супраструктуры, составляющих первооснову кристаллического фундамента континентальных плит.

Палеозойский этап в герцинский цикл орогенеза ознаменовался закрытием океана и столкновением с Восточно-Европейской континентальной плитой Центрально-Кавказской и Бечасынской микроплит-террейнов. Фрагменты Бечасынской микроплиты представлены кассарской свитой и, по-видимому, Вазахох-Донифарскими метабазитами. В результате коллизии (Бретонская, Преднамюрская и Судетская фазы герцинского цикла орогенеза) произошло воздымание зоны Главного хребта, зоны главного Транскавказского поперечного поднятия, внедрение гранитоидов и образование мощных тектонических покровов, сложенных породами макерской серии, офиолитов и островодужных комплексов [Баранов, 1991, 1995]. Предположительно, Пфальской и Лабинской фазами орогенеза обусловлен тектонический контакт пород буронской свиты (макерская серия) с метаморфическими образованиями кассарской свиты (буульгенская серия) и ее гранитизированными разностями. Разрушение горной системы привело в конце палеозоя к пенепленизации региона, в котором в мелководных морских и лагунных условиях накапливаются терригеннокарбонатные и карбонатные осадки. В результате формируется доюрский кристаллический фундамент Большого Кавказа.

Мамисон-Казбекский реликтовый рубец

Мамисон-Казбекский реликтовый рубец или геосутура – тектоническое выражение зоны коллизии, обычно содержащая офиолиты, метаморфические породы высоких давлений и тектонический меланж – является указателем существовавшего ранее и замкнувшегося впоследствии морского бассейна. Зона имеет региональное общекавказское значение и прослеживается на протяжении около 550 км.

В восточной части Центрального Кавказа Мамисон-Казбекский реликтовый рубец протягивается от Мамисонского перевала на западе до Майли-Казбекского горного массива на востоке. Геосутура ограничивается зонами разломов на севере Главного надвига, Колотинского, Сырхубарзондского, Кайджинского и Гвилетского, а на юге – Адайком-Казбекского и Цесского.

Адайком-Казбекский разлом играет роль своеобразного барьера для мезозойских магматических проявлений, которые широко развиты севернее разлома. Южнее него мезозойские магматические проявления полностью отсутствуют. По этому разлому геологические образования, расположенные южнее пододвигаются под Мамисон-Казбекскую геосутуру. Выполнен реликтовый рубец породами арнагской и циклаурской свит, превращенных в процессе субдукции океанического дна и, особенно, коллизии континентальных плит, в хаотический комплекс или микстит.

Геосутура выполненна тектонизированным терригенным материалом, содержащим разного размера глыбы и блоки вулканогенно-осадочных пород и ремобилизованные олистостромы пород офиолитового комплекса. При этом, в той или иной степени серпентинизированные пикриты, нигде не встречающиеся без андезито-базальтовой или диабазовой оболочки (Клиатком, Арсиком, Мидаграбын), хорошо укладываются в схему процесса диапиризма, прошедшего на первой стадии тектонической мобилизации офиолитов. Незначительная роль в строении Мамисон-Казбекской зоны принадлежит субинтрузивным образованиям плиоценовой диоритовой формации.

Пододвигание пород реликтового рубца под кристаллический фундамент, расположенной севернее, континентальной плиты, в чем все исследователи едины во мнении, осадочно-вулканогенные формации, вероятно, могут частично субдуцировать вместе с «поглощаемой» плитой. Избыточная же часть пород «прессуется» между континентальными плитами, образуя здесь своеобразную подушку, и надвигается на край северной плиты в виде тектонических пластин или покровов в благоприятных для этого участках. В зависимости от условий залегания пород в Мамисон-Казбекской геосутуре выделяются Бубудон-Льядонский, Мидаграбын-Майлийский и Куровский тектонизированные интервалы и, разделяющие их, Колотинский и Чачский покровы.

Тектонизированные интервалы находятся в тыловых частях Таймази-Лабогомского поднятия и Шаухохского и Дарьяльского массивов, которые, в конечном счете, явились своеобразными порогами для двигавшихся с юга осадочных толщ. Последние, «упираясь» в эти пороги, дробились, сминались, рассланцовывались, катаклазировались и милонитизировались. Они приобрели субвертикальное перевернутое залегание, параллельное плоскостям разломов, ограничивающих эти пороги с юга. К сожалению, отсутствие специализированных наблюдений не позволяет судить о масштабах тектонической переработки пород зоны. Из имеющегося же материала пока можно сделать вывод о возможном преобладании слабо тектонизированных или неизмененных пород над матричным тектонитом. В целом, для Бубудон-Льядонского, Мидаграбын-Майлийского и Куровского интервалов пликативные формы не характерны. Встречающиеся здесь редкие складки не превышают по амплитуде первые десятки метров и лишь некоторые достигают 150-300 м. Осевые плоскости складок, как правило, падают на север. Простирание их осей субширотное (260– 280°).

Колотинский и Кайджинский тектонические покровы располагаются на участках, где блоки Центрального поднятия очевидно погружены. Несмотря на отсутствие прямых фактов, как о структуре края северной плиты в целом, отмечается:

• заливообразная, выдающаяся к северу форма площадей развития вулканогенно-осадочных пород в междуречьях Баддон-Фиагдон и Геналдон-Терек;

• явно надвиговый характер залегания в северных частях этих участков вулканогенно-осадочных пород, картируемое на водораздельных гребнях Архондон-Кайдон, Цазиудон-Фиагдон и Геналдон-Терек;

• более пологое, в целом, залегание пород с выполаживанием, местами, до 40° и менее;

• широкое развитие пликативных дислокаций с преобладанием в южных частях сжатой изоклинальной складчатости, а в северных – гетероклинальных и брахиформных структур. Амплитуда горизонтального перемещения Колотинского покрова достигает 7 км, Кайджанского – 4 км.

Кайджанский покров является чешуйчатым надвигом. Три южные чешуи сложены породами реликтового рубца и по Чачскому надвигу надвинуты на отложения кистинской и белореченской свит Дарьяльского массива.

В Мамисон-Казбекском реликтовом рубце по составу магматических пород и по их насыщенности выделяются три типа олистостром [Парначев, 2014]. Первый тип представлен сравнительно небольшими глыбами габброидов, располагающимися без видимой ориентировки в тонкоперетертом глинисто-алевролитовом матриксе.

Ко второму типу олистостром отнесены относительно крупные блоки, сложенные на 70-80% параллельными дайками диабазов и габбро-диабазов, часто окварцованных и интенсивно пирротинизированных.

К третьему типу олистостром отнесены блоки, сложенные частым послойным переслаиванием глинистых сланцев с силлами и потоками габброидов и андезитобазальтов, а также блоки, полностью сложенные этими магматическими породами. Особенностью этих олистоблоков является то, что магматические породы в них представлены, преимущественно излившимися фациями, для которых характерна шаровая отдельность. Субинтрузивные образования в этих олистоблоках редки и представлены единичными дайками диабазового состава.

Хаотические комплексы осадочного и тектонического происхождения являются индикаторами контрастных в геоморфологическом и структурном отношении тектонических зон [Шульц и др., 1991]. Меланжи маркируют положение офиолитовых и безофиолитовых швов, сближения и столкновения литосферных плит, микроплит, террейнов, блоков. Хаотические комплексы осадочного происхождения олистостромы указывают на местоположение подводных уступов и склонов, разграничивающих геодинамически разнородные бассейны осадконакопления.

Чередующиеся геодинамические обстановки цикла Уилсона на месте будущей структуры Большого Кавказа создавались взаимодействием двух литосферных плит – Скифской континентальной и Южного (Закавказского) микроконтинента – террейна, и шовной зоны (сутура) между ними.

Раннемезозойский этап начинается, по-видимому, с подъема мантийного диапира в Лабинскую орогеническую фазу, приведшего к установлению условий растяжения и, как следствие, к активизации вулканизма начальных стадий рифтогенеза (Адайкомский андезито-базальтовый горизонт). Продолжающееся раскрытие рифта и преобразование его в океанический бассейн, сопровождается интенсивным базальтоидным магматизмом (Фиагдонский вулкано-плутонический комплекс). В раннекиммерийскую орогеническую фазу происходит смена условий растяжения условиями сжатия. Начинается сокращение океанического бассейна. Вдоль южного края Скифской плиты образуется зона поглощения, по которой океаническая плита поддвигается под нее. После достижения погружающейся океанической плитой глубин порядка 150 км и более в подошве Скифской плиты создались РТ условия для генерации известково-щелочной магмы и в краевой части Скифского континента, в конце нижнего лейаса вспыхивает андезидацитовый вулканизм, интенсивно протекавший почти весь средний лейас (садонская свита). Затухание в начале домера вулканической деятельности привело к охлаждению южного края Скифской плиты и, как следствие, к расширению морской трансгрессии, захватывающей более внутренние зоны континента. К концу лейаса здесь устанавливается сравнительно устойчивый режим эпиконтинентального моря (Большекавказского бассейна), в котором накапливаются терригенные толщи мизурской, галиатской и стратиграфически вышележащих свит. В расположенном южнее и сокращающемся океаническом бассейне базальтоидный вулканизм прекратился с установлением условий сжатия и в средне-, и верхнелейасовой эпохах там накапливаются амагматические толщи глинистых сланцев верхней подсвиты циклаурской свиты. В результате непрекращавшейся субдукции в конце байоса с южным краем Скифской плиты сталкивается Южная (Закавказская) микроплита – террейн. Происходит закрытие в этой части океанического бассейна и формирование Малокавказской микроплиты. Геодинамическая обстановка коллизии вызвала расслоение южного края Скифской плиты на шоли («шолевая тектоника» по Дж. Дьюи и А. Сенгора от немецкого Scholl – клочок земли), т.е. микроплиты и микроблоки, перемежаемые внутрикоровыми горизонтами астеносферы, и интенсивную шолевую тектонику с торошением, скучиванием, ротацией и дроблением шолей, а также с образованием клиновидных зон растяжения – минисфенохазмов, сопровождаемое, как правило, базальтоидными излияниями (Ходские анамезиты). По-видимому, в этот период происходит активизация среднеюрского магматизма с внедрением по многочисленным зонам разломов массивов, штоков и даек субинтрузивной и интрузивной фаций габбро-диотрит-гранодиоритовой формации. С последней предполагается генетическая связь свинцово-цинкового оруденения Горной Осетии, размещение которого в пространстве контролируется структурами сфенохазмов (за исключением Кадат-Ханикомских рудных зон). В эту орогеническую фазу активизировалась тенденция к поднятию главного Транскавказского поперечного поднятия. В результате этого, в зоне Центрального Кавказа возникла горная система. Закрывшийся на юге океанический бассейн был преобразован в узкую шовную зону, выполненную меланжем тектонизированных океанических пород и различного размера офиолитовыми олистостромами.

Заключение

Структурно-вещественный комплекс Владикавказской котловины является индикатором коллизионной эпохи развития, деструкции и перемещения блоков за счет продвижения Аравийского выступа вглубь Евразии, характеризует вспышку вулканизма в основном андезитового состава. Орогенез характеризуется образованием хребтов и межгорных впадин. Интрузивная деятельность характеризуется низкой активностью.

Структурно-фациальные элементы Киммерийской складчатости указывают на развитие в условиях столкновения южного микроконтинента с активной континентальной окраиной Скифской плиты, при завершающейся коллизионной эпохе. Южнее примкнувшего микроконтинента образуется зона субдукции, происходит формирование Малокавказской вулканической дуги. Осадконакопление проиходит в условиях эпиконтинентального морского бассейна. Активизируется магматическая деятельность, андезидацитовая туфо-лавовая вулканогенная формация сменяется габбро-диорит-гранодиоритовой и габбро-диабазовой дайковой формациями. Осадочные комплексы представляют аспидные и узловатые глинистые сланцы, метапесчаники, кварциты. Начинается взаимодействие континентальной окраины с океанической плитой и раскрытие океанического бассейна, связанного со спредингом базальтоидного вулканизма.

Комплекс Центрального поднятия в протерозойский этап характеризуется ультраметаморфизмом вулканогенных и терригенных пород и формированием образований инфраструктуры и супраструктуры, составляющих первооснову кристаллического фундамента континентальных плит. Палеозойский этап в герцинский цикл орогенеза ознаменовался закрытием океана и столкновением с Восточно-Европейской континентальной плитой Центрально-Кавказской и Бечасынской микроплит-террейнов. В результате коллизии происходит внедрение гранитоидов и образование мощных тектонических покровов, сложенных породами макерской серии, офиолитов и островодужных комплексов. Разрушение горной системы приводит в конце палеозоя к пенепленизации региона, в котором в мелководных морских и лагунных условиях накапливаются терригенно-карбонатные и карбонатные осадки. В результате формируется доюрский кристаллический фундамент Большого Кавказа.

Комплекс Мамисон-Казбекского реликтового рубца представляется самым убедительным индикатором зоны коллизии по характерному содержанию офиолитов, метаморфических пород высоких давлений и тектонического меланжа. Является указателем существовавшего ранее и замкнувшегося впоследствии морского бассейна.

Литература

1. Аплонов С.В. Геофизический анализ эволюции литосферы: Учеб. пособие. // СПб: Изд-во СПб. ун-та, 1998. – С. 75-77.

2. Аплопов С.В. Геодинамика: учебник. – СПб: Изд-во СПбУ, 2001. – С. 124-128.

3. Баранов Г.И. Догерцинская структура Большого Кавказа // Тезисы докладов VII краевой конференции по геологии и полезным ископаемым Северного Кавказа. – Ессентуки. – 1991. – С. 104-106.

4. Баранов Г.И. Геодинамическое развитие Большого Кавказа в палеозое. Основные проблемы геологического изучения и использования недр Северного Кавказа. // Материалы VIII Юбилейной конференции по геологии и полезным ископаемым. – Ессентуки. – 1995. – С. 54-56.

5. Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И., Натапов Л.М. Тектоника литосферных плит территории СССР // В 2кн. Кн. 2. – М.: Недра, 1990. – С. 168-175.

6. Краснопевцева Г.В. Глубинное строение Кавказского сейсмоактивного региона. – М.: Наука, 1984. – С. 107.

7. Короновский Н.В. Геодинамическая обстановка проявления кайнозойского вулканизма на Кавказе и в альпийском складчатом поясе // Сб. докладов 2 семинара по геодинамике Кавказа в Тбилиси, апр. 1980. – М.: Наука, 1982. – С. 47.

8. Лобковский Л.И. Геодинамика зон спрединга, субдукции и двухъярусная тектоника плит. – М.: Наука, 1988. – 251 с.

9. Милановский Е. Е., Хаин В. Е. Геологическое строение Кавказа. – М.: Изд-во Моск. унив., 1963. – С. 222-226, 293-296.

10. Овсюченко А. Н., Мараханов А. В., Новиков С. С., Рогожин Е. А. Зона Владикавказского активного разлома на территории РСО-А // Вестник Владикавказского НЦ РАН. – 2008. – Т. 8. № 3. – С. 44-56.

11. Пущаровский Ю. М. Сейсмотомография, тектоника и глубинная геодинамика // Докл. РАН. – 1998. – Т. 360. № 4. – С. 518-522.

12. Парначёв В. П. Основы геодинамического анализа. – Томск: Изд-во НТЛ, 2014. – С. 243-277.

13. Сорохтин О. Г., Ушаков С. А. Природа тектонической активности Земли // Итоги науки и техники. Сер. Физика Земли. – М. – 1993. – Т. 12. – 151 с.

14. Стеклов А. А. Наземные моллюски неогена Предкавказья и их стратиграфическое значение. – М.: МГУ, 1963.

15. Фейнман Р. Р., Лейтон Р. В., Сендс М. Фейнмановские лекции по физике. // Физика сплошных сред. Т. 7. – М.: Мир, 1966. – С. 7-23.

16. Хаин В. Е., Ломизе М. Г. Геотектоника с основами геодинамики. – М.: Университет, Книжный дом, 2005. – 560 с.

17. Чистяков Д. Н., Русс В. В., Кириков Д. А., Янов Э. Н., Кропачев А. П. Кутейников Е. С., Дортман Н. Б. Худолей, А. К., Тихомиров С. П., Занин А. М., Гурьев Г. А., Умитбаев Р.Б., Унксов В. А., Коновалов А. Л., Борковая Е. А. Типовые условные обозначения для тектонических карт. – М. – 1997. – С. 9-12.

18. Шемпелев А. Г., Кухмазов С. У., Чотчаев Х. О., Невский Л. Н. Структура Большого Кавказа – результат пологого надвига земной коры Скифской плиты не консолидированную кору микроплит Южного Кавказа // Геология и геофизика Юга России. – 2015. – №4. – С. 129-146.

19. Чотчаев Х.О., Заалишвили В.Б., Невский Л.Н., Шемпелев А.Г. Геоморфо-

логия как признак наследственности структурных особенностей земной коры // Геология и геофизика Юга России. – 2016. – № 1. – С. 141-158.

20. Шемпелев А. Г., Чотчаев Х. О., Кухмазов С. У. Данные глубинных геофизических исследований вдоль Чегемского профиля (Центральный блок, Большой Кавказ) // Геология и геофизика Юга России. – 2017а. – № 2. – С. 129-134.

21.Шемпелев А.Г., Заалишвили В.Б., Кухмазов С.У. Глубинное строение Западной части Центрального Кавказа по геофизическим данным // Геотектоника. – 2017б. – № 5. – С. 20-29.

22. Шульц С. С., Эргашев Ш. Э., Гвоздев В. А. Геодинамические реконструкции. // Методическое руководство – Л.: Недра, 1991. – 144 с.

STRUCTURAL-MATERIAL COMPLEXES AS INDICATORS OF GEODYNAMIC SITUATIONS ON THE EXAMPLE OF THE EASTERN PART OF THE CENTRAL CAUCASUS

© 2018 Kh.O. Chotchaev, A.G. Shempelev, Sc. Candidate (Geol.-Min.), S.N. Trofimenko, D.N. Zabirchenko

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

Evaluation of selected geodynamic situations of Wilson cycle formed geodynamic one or other existing structural-material complex of core microplates and structural-tectonic zones of the Eastern segment of the Central Caucasus, carried out on the basis of the concept of lithospheric plates tectonics and related geodynamic regimes imposed on border and interior parts of tectonic plates subjected to various kinds of dynamic effects. Structural-material complexes are differentiated using geomorphological, tectonic, sedimentation, igneous bedrock, metamorphic and volcanic features.

Describes the effects on the mantle crust vertical and (or) lateral thrust, which is determined by the dynamics of convective rising over current heated by outside core of mantle substrate and independent of convective currents jets from the lower and upper floors of the mantle – plums using the model of the two-deck tectonics of the lithosphere. Seismic tomography effectiveness allows using velocity propagation characteristics of elastic vibrations prepare models of the mantle density thermal inhomogeneities. As a generalization of the characteristics of each of the described structural-physical complex, describes the geodynamic situation.

Keywords: geodynamic situation, structural-material complexes, convection current, the Central Caucasus.

References

1. Aplonov S.V. Geofizicheskij analiz evolyucii litosfery: Ucheb. Posobie [Geophysical analysis of the evolution of the lithosphere]. SPb: Izd-vo SPb. un-ta, 1998. Pp. 75-77. (in Russian)

2. Aplonov S.V. Geodinamika: uchebnik [Geodynamics: a tutorial]. SPb: Izd-vo SPbU, 2001. Pp. 124-128. (in Russian)

3. Baranov G. I. Dogercinskaya struktura Bol'shogo Kavkaza [Pre-hercinian structure of the Greater Caucasus]. Tezisy dokladov VII kraevoj konferencii po geologii i poleznym iskopaemym Severnogo Kavkaza. Essentuki. 1991. Pp. 104-106. (in Russian)

4. Baranov G.I. Geodinamicheskoe razvitie Bol'shogo Kavkaza v paleozoe. Osnovnye problemy geologicheskogo izucheniya i ispol'zovaniya nedr Severnogo Kavkaza [Geodynamic development of the Greater Caucasus in the Paleozoic. The main problems of geological study and use of the subsoil of the North Caucasus]. Materialy VIII Yubilejnoj konferencii po geologii i poleznym iskopaemym. Essentuki. 1995. Pp. 54-56. (in Russian)

5. Zonenshajn L. P., Kuz'min M. I., Natapov L. M. Tektonika litosfernyh plit territorii SSSR [Tectonics of lithospheric plates in the USSR]. V 2kn. Kn. 2. M. Nedra, 1990. Pp. 168-175. (in Russian)

6. Krasnopevceva G.V. Glubinnoe stroenie Kavkazskogo sejsmoaktivnogo regiona [The deep structure of the Caucasian seismically active region]. M. Nauka, 1984. 107 p. (in Russian)

7. Koronovskij N.V. Geodinamicheskaya obstanovka proyavleniya kajnozojskogo vulkanizma na Kavkaze i v al'pijskom skladchatom poyase [Geodynamic setting of Cenozoic volcanism in the Caucasus and in the alpine fold belt]. Sb. dokladov 2 seminara po geodinamike Kavkaza v Tbilisi, apr. 1980. M. Nauka, 1982. Pp. 47. (in Russian)

8. Lobkovskij L. I. Geodinamika zon spredinga, subdukcii i dvuh`yarusnaya tektonika plit [Geodynamics of spreading and subduction zones and two-tier plate tectonics]. M. Nauka, 1988. 251 p. (in Russian)

9. Milanovskij E.E., Hain V.E. Geologicheskoe stroenie Kavkaza [Geological structure of the Caucasus]. M.: Izd-vo Mosk. univ., 1963. Pp. 222-226, 293-296. (in Russian)

10. Ovsyuchenko A.N., Marahanov A.V., Novikov S.S., Rogozhin E.A. Zona Vladikavkazskogo aktivnogo razloma na territorii RSO-A [Zone of the Vladikavkaz active fault on the territory of the RNO-A]. Vestnik Vladikavkazskogo NC RAN. 2008. Vol. 8. No. 3. Pp. 44-56. (in Russian)

11. Pushcharovskij Yu. M. Sejsmotomografiya, tektonika i glubinnaya geodinamika [Seismotomography, tectonics and deep geodynamics]. Dokl. RAN. 1998. Vol. 360. No. 4. Pp. 518-522. (in Russian)

12. Parnachyov V.P. Osnovy geodinamicheskogo analiza [Fundamentals of geodynamic analysis]. Tomsk: Izd-vo NTL, 2014. Pp. 243-277. (in Russian)

13. Sorohtin O.G., Ushakov S.A. Priroda tektonicheskoj aktivnosti Zemli [Nature of Earth's tectonic activity]. Itogi nauki i tehniki. Ser. Fizika Zemli. M. 1993. Vol. 12. 151 p. (in Russian)

14. Steklov A.A. Nazemnye mollyuski neogena Predkavkaz'ya i ih stratigraficheskoe znachenie [Terrestrial mollusks of the Neogene of the Pre-Caucasus and their stratigraphic significance]. M. MGU, 1963. (in Russian)

15. Fejnman R. R., Lejton R. V., Sends M. Fejnmanovskie lekcii po fizike [Feynman lectures in physics]. Fizika sploshnyh sred. Vol. 7. M. Mir, 1966. Pp. 7-23. (in Russian)

16. Hain V.E., Lomize M.G. Geotektonika s osnovami geodinamiki [Geotectonics with the basics of geodynamics]. M. Universitet, Knizhnyj dom, 2005. 560 p. (in Russian)

17. Chistyakov D. N., Russ V. V., Kirikov D. A., YAnov E. N., Kropachev A. P. Kute jnikov E. S., Dortman N. B. Hudolej, A. K., Tihomirov S. P., Zanin A. M., Gur'ev G. A., Umitbaev R. B., Unksov V.A., Konovalov A. L., Borkovaya E. A. Tipovye uslovnye oboznacheniya dlya tektonicheskih kart [Typical conventions for tectonic maps]. M. 1997. Pp. 9-12. (in Russian)

18. Shempelev A. G., Kuhmazov S. U., CHotchaev H. O., Nevskij L. N. Struktura Bol'shogo Kavkaza – rezul'tat pologogo nadviga zemnoj kory Skifskoj plity ne konsolidirovannuyu koru mikroplit YUzhnogo Kavkaza [The structure of the Greater Caucasus is the result of the flat slope of the earth's crust of the Scythian Plate on the consolidated crust of the microplates of the South Caucasus]. Geologiya i geofizika YUga Rossii. 2015. No. 4. Pp. 129-146. (in Russian) 19. Chotchaev H. O., Zaalishvili V. B., Nevskij L. N., SHempelev A. G. Geomorfologiya kak priznak nasledstvennosti strukturnyh osobennostej zemnoj kory [Geomorphology as a sign of heredity of the structural features of the earth's crust]. Geologiya i geofizika YUga Rossii. 2016, No. 1. Pp. 141-158. (in Russian)

20. Shempelev A. G., CHotchaev H. O., Kuhmazov S.U. Dannye glubinnyh geofizicheskih issledovanij vdol' CHegemskogo profilya (Central'nyj blok, Bol'shoj Kavkaz) [Data from deep geophysical surveys along the Chegem profile (Central bloc, Greater Caucasus).]. Geologiya i geofizika Yuga Rossii. 2017a. No. 2. Pp. 129-134. (in Russian)

21. Shempelev A. G., Zaalishvili V. B., Kuhmazov S. U. Glubinnoe stroenie Zapadnoj chasti Central'nogo Kavkaza po geofizicheskim dannym. Geotektonika [Depth structure of the western part of the Central Caucasus according to geophysical data]. 2017b. No. 5. Pp. 20-29. (in Russian)

22. Shul'c S. S., Ergashev Sh. E., Gvozdev V.A. Geodinamicheskie rekonstrukcii [Geodynamic reconstructions]. Metodicheskoe rukovodstvo L. Nedra, 1991. 144 p. (in Russian)

УДК 553.66:553.61.13 (571.661) DOI:10.23671/VNC.2018.4.20172

СЕВЕРО-ЗАПАДНО-КОРЯКСКИЙ ВУЛКАНИЧЕСКИЙ ПОЯС И ЕГО РУДОНОСНЫЕ ВУЛКАНОГЕНЫ

© 2018 Г.П. Яроцкий, к. г.-м. н.

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Россия, 683006, Камчатский кр., г. Петропавловск-Камчатский, бульвар Пийпа, 9, e-mail: ecology@kscnet. ru

Обосновано выделение орогенного Северо-Западно-Корякского вулканического пояса. В методологии авторской глыбово-клавишной структуры литосферы определён на границе регионального прогиба и северной активной окраины Корякского микроконтинента механизм образования вулканогенов пояса. На пересечении поперечными межглыбовыми глубинными разломами литосферы границы регионального прогиба и северной окраины микроконтинента образовались локальные впадины вулканогенов. В них в эпоху олигоценовой тектоно-магматической активизации внедрились породы гранитно-метаморфического слоя коры, в которых образовались рудные столбы с золотом, ртутью, ураганным серебром, сопутствующими месторождениями олова в породах фундамента.

Обосновано выделение олово-золото-серебряных рудных районов вулканогенов пояса. Простирание пояса в пределы и Чукотки дает основание определить Северо-Западно-Корякскую металлогеническую зону.

Ключевые слова: вулканический пояс, Север Корякского нагорья, вулканогены, поперечные разломы литосферы, сереброрудные районы.

Введение

Северо-Восток Азии включает пространства азиатского материка на Северо-Западе Тихого океана. Его частями являются крупные географические территории, созданные вулканическими процессами позднего мезозоя и кайнозоя. География положения Северо-Западно-Корякского нагорья определяется на западе р. Рекинники (Рекиннинская губа Пенжинского залива), на востоке pp. Пальматкина, Пальнывеем, Импенвеем (вдоль восточной административной границы Камчатского края), на юге северными отрезками главного Корякского хребта (средних течений рек Уннэйваям, Энычаваям, Пальматкина). Эта территория простирается на CB на 375 км от г. Велолнык (Маметчинский залив) при ширине полосы 25-40 км и уходит на Чукотку.

На протяжении к СВ от побережья Пенжинской губы до долготы г. Ледяной в Северо-Западно-Корякском вулканическом поясе простираются на широте р. Пальматкиной изолированные друг от друга горные массивы орогенной стадии олигоценового вулканизма, разделённые локальными площадями низменности Парапольского дола. Массивы представляют геологические структуры с высотами 600-1000 м, зачастую прорезанные узкими (2-5 км) долинами рек. География территории лежит в зоне сочленения Корякского хребта с бассейном рек и озёр, крупным резерватом перелётных птиц с юго-востока Азии – Парапольским долом. Территория относится к Корякскому государственному биосферному заповеднику, имеющему международное значение. Она прослеживается далее к СВ, переходя в общирные озёрно-болотные низменности Чукотки. Особенностью строения пояса является его прерывистость – он разделён на локальные площади. С ними связаны кислые вулканические породы с серебряным, золотым, ртутным оруденениями, в т.ч. месторождениями. Площади относятся нами к вулканогенам – Уннэйваямскому, Гайчаваямскому, Пальматкинскому. Их геология, полезные ископаемые, металлогения и тектоника являются предметами авторского исследования. В системном анализе эти вопросы решаются с целью определения роли вулканогенов пояса как места в минерально-сырьевой базе металлогении Камчатского края. В таком ракурсе тектоника ранее исследователями не рассматривалась.

Методология и методика исследования

Методология лежит в классических представлениях о связи металлогении с тектоникой и вулканизмом. В них автор исследования рассматривает тектонику Северо-Западно-Корякского вулканического пояса. Пояс возник на северной окраине позднемезозойского Корякского континента, созданного верхнемеловыми терригенными отложениями корякской серии. Окраина маркируется олигоценовым орогенным вулканизмом образований велолныкской серии. Характерными геологическими признаками пород серии пояса является андезитовый состав и гранитоидный магматизм рассматриваемых отдельных его площадей (полей), как бы вулканогены (рис. 1).

Основой методологии является авторская Концепция глыбово-клавишной структуры литосферы активной окраины континента на СВ Азии. Концепция отражает делимость литосферы по разрезу и в плане на активной СЗ окраине континентов Тихоокеанского подвижного пояса. Делимость обусловлена планетарной регматической сетью разломов, проникающих сквозь земную кору и входящих в верхнюю мантию. Это происходит, как в процессе образования и роста коры и литосферы в целом, так и в последующие тектоно-магматические активизации эпох геологического мироздания [Яроцкий, 1973, 2016, 2017].

На СВ Азии северо-восточные элементы диагональной сети обеспечивают прирост суши за счёт СВ разломов окраины, вдоль которых развиваются вулканические пояса со складчато-блоковым чехлом. Вместе с тем, СЗ составляющая этой сети делит литосферу на блоки и глыбы, которые получают возможность перемещаться по вертикали и горизонтали. Это перемещение видно на закономерном чередовании воздымающихся и погружающихся полуостровов и заливов Камчатки, южного побережья Корякского нагорья и Чукотки. Глыбы образуются поперечными глубинными разломами, делящими продольные геоструктуры прироста суши на обособленные звенья. Соседние звенья единой продольной геоструктуры окраины отличаются по ряду признаков, в том числе характеризующих самостоятельные части вулканических поясов в своей геологической истории развития. В поясах эти части образуют вулканогены. Согласно классике тектоники окраин [Красный, 1966] «Вулканоген. – Самостоятельное звено вулканических поясов, относящееся к особому генетическому типу тектонических структур, которые почти везде «срезают» уже сформированные складчатые образования; связаны с гранитоидными процессами активизации»» [Тектоника.., 1976, стр. 511]. Такими геоструктурами на материковой части Корякии являются разновозрастные вулканические поля вдоль сочленения Пенжинской [Гос. геол. карта.., 1998] и Центрально-Корякской структурно-формационных тектонических зон (СФЗ), рассматриваемых и как тектонические зоны [Апрелков и др., 1997], а также в Олюторской СФЗ. Сочленение

Центрально-Корякской СФЗ на севере маркируется выходами образований велолныкской серии олигоцена в виде чёткообразных закономерных чередований обособленных вулканических полей, разделяемых выступами фундамента, либо скрытых под рыхлыми отложениями. Чёткообразное простирание вулканитов серии создаётся системой поперечных региональных межглыбовых разломов литосферы СЗ простирания. Разлом является основным элементом системы тектоники активных окраин континентов и их металлогении. Ниже приведено их описание – именно эта система и создаёт троицу вулканогенов Северо-Западно-Корякского вулканического пояса олигоцена (рис. 1, 2, 3). Названия стратиграфических подразделений приведены по [Карта полезных ископаемых..., 1999], названия геоструктур даны по [Апрелков и др., 1997].

Парень-Таловско-Тиличикский поперечный межглыбовый разлом (П-Т-Т). В своём начале на юге на прибрежье Берингова моря он ограничивает распространение к северо-востоку Ватынский тектонический покров (в районе г. Отыранваям) и образовании корфской свиты плиоцена. Далее к северо-западу он проходит в разрыве и по смещению осей антиклиналей в Центрально-Корякской (Укэлаятской) тектонической зоне. Ещё далее к северо-западу через Мелководненскую впадину Пенжинской губы разлом на его суше фиксируется грабеном р. Парень. На крайнем юго-востоке территории в акватории моря разлом фактически ограничивает Олюторско-Командорский прогиб, совпадая частью с Северо-Командорским глубинным разломом. Является восточным ограничением Ветроваямского вулканогена миоцена на юге – от южной границы линейного максимума зоны Вывенского глубинного разлома. В его зоне лежит Уннэйваямский вулканоген Северо-Западно-Корякского вулканического пояса.

Омолон-Каменско-Олюторский поперечный межслыбовый разлом (О-К-О). На крайнем юго-востоке ограничивает распространение к западу выходов меланократовых пород Беринговского поднятия вдоль побережья Олюторского полуострова. В среднем течении р. Пахачи в зоне разлома сильно сужается Говенско-Пахачинский прогиб. А ещё севернее он является фактически западным ограничением Пахачинско-Апукского вулканического поля (вулканогена). В верховьях р. Вывенки, в её слиянии с правым притоком Вахавнитваям, в зоне разлома резко сужается площадь Ильпинско-Тылговаямского прогиба, представленного почти полным выклиниванием угленосной миоценовой молассы (классическая и медвежкинская свиты). Далее к северу поперечный разлом фиксируется изгибом к северо-западу продольного глубинного разлома – тектонической границы Пенжинской и Центрально-Корякской (Укэлаятской) тектонических зон. В зоне поперечного разлома в низовьях р. Белой выклинивается юго-западный фланг Парапольского прогиба. К северу от устья р. Белой поперечный разлом подчёркивается восточной границей Чалбуганского тектонического блока (по р. Оклан).

Особо ярко в геологии, гравитационном и магнитном полях проявлена зона поперечного разлома в изгибе глубинного северо-восточного Орловско-Микинского разлома в среднем течении р. Оклан на отрезке между крупным узлом её слияния с р. Юлговаям, Бол. и Малой Чалбугчан, Лыланта и южным притоком р. Игульвием – это отрезок длиной 25 км. Сам узел гидросети и ее прямолинейный (325°) отрезок также являются признаком крупной разломной структуры.

Прямым указанием на существование Парень-Таловско-Тиличикского и Омолон-Каменско-Олюторского поперечных разломов является дуга Орловского отрезка Орловско-Микинского глубинного продольного разлома между pp. Оклан и Парень. Дуга выгнута на север и выдвинута примерно на 30 км, является южной частью Удско-Мургальской дуги (У-М). Разлом проходит по р. Оклан. На севере по разлому изгибается Шайбовеемский разлом между блоками древнего Омолонского массива. В сейсмологии южная часть разлома усилена аргументами макроцентров Хаилинского землетрясения 1991 г. [Яроцкий, 2016]. В его зоне лежит Уннэйваямский вулканоген.

Олойско-Слаутненско-Ачайваямский/Аниваямский поперечный межглыбовый разлом (O-C-A).

На юго-востоке разлом ограничивает восточный край Пахачинско-Апукского четвертичного вулканического поля. Здесь же Вывенско-Ватынский глубинный северо-восточный разлом, являющийся границей Центрально-Корякской (Укэлаятской) (ЦК (У) и Олюторской тектонических зон, резко (почти дискордантно) меняет своё предыдущее северо-восточное простирание (около 60-65°) на юго-восточное (около 120°). Далее к северу, в Центрально-Корякской тектонической зоне СЗ простирание поперечного разлома подчёркивается аналогичным простиранием Учхичхильского поднятия и северо-западным простиранием осей антиклиналей в ЦК (У) тектонической зоне.

Часть поперечного разлома совпадает с глубинным северо-западным разломом, ограничивающим Учхичхильское поднятие на востоке, к востоку от которого на северо-запад простирается Куйбивеемский грабен. Часть разлома совпадает с Уннэйваямским вулканическим полем – вулканогенном северо-западного простирания, ограничивая на востоке Ватынский тектонический покров. На разломе лежит и Пальматкинский вулканоген Северо-Западно-Корякского вулканического пояса.

Продолжение поперечного разлома на северо-запад фиксируется Слаутненским поперечным поднятием на северном окончании Пареньско-Парапольского прогиба и прямолинейным (325°) отрезком (длиной около 60 км) русла р. Пенжины между её слиянием с рр. Мургаль и Черной. Добавим, что в месте пересечения Олойско-Слаутненско-Ачайваямского/Аниваямского разлома с изгибом Вывенско-Ватынского (Вв-Вт) продольного глубинного разлома (район г. Ледяной) – границы Центрально-Корякской и Олюторской тектонических зон, произошло Корякское землетрясение (1988 г.). В его зоне лежит Гайчаваямский вулканоген – звено пояса Северо-Западно-Корякского.

Поперечный Олойско-Слаутненско-Ачайваямский/Аниваямский разлом разделяет два блока с разной мощностью земной коры. На западе в поднятой глыбе Южно-Корякских мысов с мощностью 40-38 км, на востоке в опущенной глыбе Южно-Корякских бухт – 31-28 км [Ващилов, 1982, в Апрелков и др., 1997].

Приведенное описание трёх поперечных межглыбовых разломов является критерием их роли в формировании тектоники Северо-Западно-Корякского вулканического пояса. Особым элементом глыбово-клавишной структуры литосферы являются продольно-осевые разломы глыб параллельные поперечным межглыбовым. С ними как установлено нами в настоящем исследовании связано образование сателлитов Северо-Западно-Корякского вулканического пояса. О сателлитах более подробно сказано ниже. Они определили вместе с окраиной континента условия возникновения вулканических и рудоносных столбов их гранитно-метаморфического слоя земной коры окраины уже зрелой и рудоносной.

Геолого-геофизическая изученность территории

Территория распространения образований велолныкской серии олигоцена известна с начала её исследования как рудоносная – с 50-х годов XIX века [Гос. геол. карта.., 1998]. В процессе геологических поисковых работ установлены проявления ртути и сурьмы, серебра, золота. Решались вопросы стратиграфии, в частности, выделены велолныкские образования, залегающие на отложениях позднемелового фундамента (маметчинская, эссовеемская свиты). На всей территории пояса выполнены геологическая полистная, а также аэромагнитная [Корнилов, 1971] и гравиметрическая [Белоусов, 2001] съёмки м-ба 1:200000. К западу от р. Энычаваям проведена электроразведка МТЗ м-ба 1:500000 [Мороз, 1976].

Площади вулканогенов велолныкской серии получили и целенаправленное крупномасштабное геолого-геофизическое изучение. Уннэйваямский вулканоген под названием «вулканическое поле» получил аэромагнитную и гравиметрическую съёмки м-ба 1:50000. На её основании С. Е. Апрелков и др. [2002] провели районирование поля на базе концепции развития вулканоструктур площади. Позиция поля в поясе не исследовалась. По результатам интерпретации аэромагнитной съёмки [Шмелёв и др., 1983] определены некоторые связи проявлений полезных ископаемых вулканического поля с особенностями аномалий поля.

Согласно [Гос. геол. карта.., 1998] установлена мощность кислых вулканитов Уннэйваямского вулканогена 500 м, согласно [Мороз, 1976] вулканиты лежат в локальной впадине глубиной 0,5-1,0 км на верхнемеловом фундаменте и на глубине 8 км – метаморфическом. Повсеместно кислые породы вулканогена прорваны мелкими интрузивными телами гранитов. В центре впадины – крупнейшая на материковой части региона Мигитунупская интрузия гранитов.

Особым аспектом территории **Уннэйваямского вулканогена** является магнитное поле AMC (м-ба 1:200000). При явной его локальности среди мозаик выделяются линейные полосы корреляции локальных аномалий чередующегося знака. Объяснение находится в условиях локализации вулканических пород и последующем их остывании. Подобная картина известна для аэромагнитного поля Ветроваямского вулканогена [Яроцкий, 2006]. Там огромная территория миоценового покровного комплекса андезитов, кластолав, дацитов сложена полосами пород в локальных зонах нарушений. В них породы в процессе вулканического литогенеза остывают, приобретая магнитное поле. Так образуются линейные полосы чередующихся локальных минимумов и максимумов таких зон нарушений. Этот тип магнитного поля вообще характерен для трёх изучаемых вулканогенов и их магнитного поля. [Яроцкий, Митрофанов, 2013]. Имеется явная очевидность: линейные протяжённые закономерно полосчатые аномалии наиболее оптимальны для лавовых андезитовых покровов, против мозаичных – для площадей распространения туфовых, туфогенных фаций.

Основательное геологическое изучение получил другой – Гайчаваямский вулканоген, в групповой геологической съёмке м-ба 1:200000 и в Объяснительной записке к карте [Гос. геол. карта.., 1998]. Дана подробная стратиграфия и взаимоотношение фундаментов позднемелового геосинклинального и орогенного олигоценовых комплексов. Показана локализация орогенных образований велолныкской серии между Парапольским и Ванэтатским глубинными СВ разломами, заключающими по простиранию Пусторецко-Парапольский прогиб. Дана схема перспективности вулканогена и прилегающей площади на цинк и олово, ртуть, сурьму. Особо выделены проявления серебра (25 проявлений), в ряде из которых в штуфных пробах его содержания достигают первых сотен г/т, при ураганных показателях более тысяч г/т! Особым аспектом рудоносности таких проб является низкое содержание золота – до десятка г/т! В примесях серебряных руд – сурьма, мышьяк, свинец, медь. Рудные тела – кварцевые жилы, жильные зоны окварцевания и брекчирования, субвулканические дробленые тела кислого состава подавляюще СЗ простирания, редко – СВ.

Пальматкинский вулканоген изучен на ранней стадии исследования Северо-Востока Корякско-Камчатского региона и лишь в [Карта полезных ископаемых.., 1999] получил стратиграфическое определение в виде олигоценовых отложений велолныкской серии. Ранее он был отнесён к автоваамской свите с несколькими проявлениями золота. Была выделена Палаваямская интрузия гранитов [Башаркевич и др., 1987].

Таким образом, определилась полоса вулканогенов, – Уннэваямского, Гайчаваямского и Пальматкинского – создавших Северо-Западно-Корякский вулканический пояс. Добавим, что пояс по таким же велолныкским отложениям олигоцена простирается на Чукотку в бассейн слияния рек Майни и Ваеги. Здесь также выделяется Майнский вулканоген в зоне поперечного межглыбового Опукского разлома, выделенного нами [Яроцкий, 2017]. Этот вулканоген находится в 120 км от Пальматкинского вулканогена к востоку.

Результаты Вулканогены Северо-Западно-Корякского пояса и их металлогеническая роль

Тектоника Северо-Западно-Корякского нагорья

В геологическом отношении рассматриваемая территория лежит вдоль северной окраины Центрально-Корякской структурно-формационной зоны. Зона образована обширной территорией выходов образований корякской серии позднего мела, слагающих Корякский микроконтинент [Апрелков и др. 1997; Карта полезных ископаемых.., 1999]. Вместе с обрамляющими полосками выходов пород свит фундамента на севере и юге микроконтинент рассматривается как Центрально-Корякская (Укэлаятская) тектоническая зона [Апрелков и др., 1997]. На юге микроконтинент контактирует с Олюторской тектонической зоной. На севере системой вулканических полей олигоцена микроконтинент сочленяется через Пусторецко-Парапольский прогиб с Пенжинской тектонической зоной. Последняя через систему эоценовых *вулканических полей* сочленяется с древними образованиями юга Омолонского массива палеозоя. Вулканические поля образуют чётки Пенжинского вулканического пояса, подобные чёткам полей олигоцена рассматриваемой территории северной части Корякского микроконтинента – вулканогенам Северо-Западно-Корякского вулканического пояса.

Для «вулканических полей» упоминающейся территории существует определение Л.И. Красного (1966), приведенное выше. В нашем исследовании будет применено именно это определение, отражающее как тектонику площади, так и её возможную металлогению в системе «тектоника-магматизм-металлогения». В заключении конкретизирован механизм образования вулканогенов на примере Уннэйваямского вулканогена Северо-Западно-Корякского вулканического пояса. Это выполнено на основании геофизических исследований окраины Корякского микро-
континента. На содержании понятия «вулканоген» нами будет показано, как происходит образование системы «вулканоген-металлогения», установление связи между её структурными элементами и формирование самой системы в Северо-Западно-Корякском вулканическом поясе.

Роль поперечных межглыбовых разломов литосферы в формировании вулканических орогенных поясов окраин континентов

Поперечные межглыбовые разломы литосферы на рассматриваемой территории Северо-Западно-Корякского пояса проявились как главные тектонические элементы Концепции глыбово-клавишной системы структуры литосферы и формирования вулканогенов: Уннэйваямского, Гайчаваямского и Пальматкинского. Установлено, что эти поперечные разломы разделяют пояса на *линейные вулканогены* как звенья продольных линейных вулканических поясов, а также складчатых геоструктур типа прогибов, антиклинориев, выступов фундамента и т.п. [Яроцкий, Чотчаев, 2018].

В настоящем исследовании получены новые данные о роли поперечных разломов и как механизма формирования *вулканогенов гнездового-узлового типа*. Эта



Рис. 1. Тектоническое положение и геология Северо-Западно-Корякского вулканического пояса олигоцена и его вулканогенов Уннэйваямского, Гайчаваямского, Пальматкинского [Гос. геол. карта.., 1998; Карта полезных ископаемых.., 1999; Евглевский, 1987] Геологические элементы. Орогенный комплекс олигоиена, андезит-дацитовая формация. Покровный олигоценовый и субвулканический комплекс. Велолныкская свита: 1 – андезиты, дациты, риолиты, 2 – туфы среднего и кислого состава. 3 – базальты, андезиты (а); дациты, риодациты ($\lambda \zeta$), риолиты (λ); 4 – граниты (γ), гранит-порфиры ($\gamma \pi$), грано-диорит-порфиры (=^ π). Интрузии. М – Мигитунупская, И – Ильвапинанская, Пл – Палаваямская. Позднемеловой геосинклинальный комплекс (сантон-маастрихт): 5 – корякская серия, 6 – эссовеемская свита, 7 – маметчинская свита; 8 – контуры образований рудовмещающей велолныкской свиты – вулканогенов Северо-Западно-Корякского вулканического пояса; 9 – проявления золота (Au), серебра Ag), олова (Sn), ртути (Hg); 10 – тектонические границы: крутопадающие, прочие; 11 – глубинные продольные краевые разломы, заключающие Пусторецко-Парапольский прогиб – границы Пенжинской и Центрально-Корякской СФЗ: Пр – Парапольский, Вн – Ванэтатский; 12 – поперечные глубинные разломы: а – межглыбовые разломы литосферы (П-Т-Т – Парень-Таловско-Тиличикский, О-К-0 – Омолон-Каменско-Олюторский, О-С-А – Олойско-Слаутненско-Ачайваямский/Аниваямский), б – внутриглыбовые разломы продольно-осевые, параллельные межглыбовым; 13 – граница Пенжинской и Центрально-Корякской СФЗ; 14 – граница Центрально-Корякской и Олюторской СФЗ; 15 – воздымающиеся (а) и опускающиеся (б) в эпоху тектогенеза части сопредельных северо-западных глыб земной коры. Цифрами обозначены: сателлиты вулканогенов (внемасштабные): 1 – Велолныкский, 2 – Усть-Найлвалваямский, 3 – Усть-Импенвеемский.

функция определилась на примере рассматриваемых трёх названных вулканогенов Северо-Западно-Корякского олигоценового вулканического пояса, разделенных разломами: Парень-Таловско-Тиличикским, Омолон-Каменско-Олюторским и Олойско-Слаутненско-Ачайваямским/Аниваямским. Их роль как разделов поясов активных окраин континента, как окраинных. Одним примером является Юго-Восточно-Корякский миоценовый вулканический пояс Олюторской СФЗ, другим – Окланско-Пенжинский эоцен-олигоценовый вулканический пояс на Пенжинском правобережье Пенжинской СФЗ – тектонической зоны на южной окраине палеозойского Окланского континента. Зона здесь фиксируется линейными юрскими выходами севера Таловско-Майнского поднятия [Гос. геол. карта.., 1998].

На рассматриваемой территории три вышеописанных поперечных межглыбовых разлома выполняют важную главную функцию: они обеспечили выход на поверхность кислым вулканитам и интрузиям из метаморфического кислого слоя литосферы. Пересечение ими образований и верхнего мела и гранитного слоя в литосфере привело к локальным впадинам в ней. В них в орогенную стадию пояса локализованы гранитные интрузии, кислые вулканиты с рудоносными растворами – образовались магматогенно-рудные столбы с серебром и др. Их дериваты создали также и оловянные площади в рудовмещающих комплексах фундамента – эти площади обрамляют с юга гранитные интрузии и кислые вулканиты впадины. Они генетически также принадлежат как поперечным разломам, так и продольным разломам северной границы Центрально-Корякской СФЗ и южной – Пусторецко-Парапольского прогиба.

Тектоно-магматическая гранитоидная активизация в орогенную стадию на северной окраине Корякского микроконтинента и юга Пусторецко-Парапольского прогиба распространилась к северу на его противоположный край – в пределы Пенжинской СФЗ (тектонической зоны) – к югу от Таловско-Майнского поднятия. В этом проявил себя еще один элемент системы глыбово-клавишной структуры литосферы – продольно-осевой внутриглыбовый глубинный разлом. Он проходит через середину глыбы литосферы и дериваты – вулканогенные – магматогеннорудного столба вулканогена достигают образований южной окраины фундамента Пенжинской СФЗ – тектонической зоны в пределах её прогиба. На её пересечении продольно-осевыми разломами локализуются площади уже сателлитов каждого из вулканогенов – выходы олигоценовых велолныкских образований [Карта полезных ископаемых.., 1999]. На этих продольно-осевых разломах лежат и выступы фундамента (маметчинская и эссовеемская свиты) микроконтинента, разделяющие вулканогены. Это Ваежское, Средне-Найваямское поднятия Центрально-Корякской тектонической зоны.

Выходы пород серии образовали окраинный вулканический пояс, который в работе [Апрелков и др., 1997], рассматривается как северное продолжение Западно-Камчатского палеоцен-эоценового вулканического пояса (ЗКВП). Однако в ЗКВП вулканиты кинкильской свиты, возникшие в эоцене и ещё по вещественным характеристикам принципиально отличаются от олигоценовых вулканитов велолныкской серии. И авторы это акцентируют. Эти вулканиты «...формировались на более мощной «зрелой» земной коре» (стр. 53). Это привело к необходимости пересмотра нами рассматриваемого пояса велолныкской формации и выделению его в самостоятельную Северо-Западно-Корякскую геоструктуру окраины мезозойского континента – вулканический пояс. Сателлиты названных вулканогенов созданные образованиями велолныкской серии малы по площадям и имеют лишь обозначенные контуры без основных минерагенических и геофизических характеристик. Это площади сателлитов – Велолныкский (г. Велолнык на берегу Пенжинского залива), Усть-Найлвалваямский и Усть-Импенвеемский. В настоящем исследовании они пока ещё лишь маркерыиндикаторы Южно-Пенжинского окраинного вулканического пояса олигоцена.

Южно-Пенжинские сателлиты как дериваты вулканогенов Северо-Западно-Корякского пояса развиты вдоль древних образований юга Пенжинской СФЗ и маркируется небольшими площадями велолныкская серия ещё один окраинный вулканический пояс. Его положение и фиксируется названными сателлитами. Следующая с ними пара «вулканоген-сателлит» расположена за пределами «Карты полезных ископаемых..» [1999] в 130 км к СВ от слияния рек Майн-Ваеги (г. Банкулгун) – это площадь Майнского вулканогена. К западу от неё лежит сателлит г. Граница (к югу от оз. Линлин). Условно этот орогенный олигоценовый пояс можно назвать Южно-Пенжинским. В конечном счете, нами формулируются два ранее не выделявшихся окраинных поясая орогенной эпохи олигоцена.

В свете приведенных фактов и рассуждений возникла возможность воспользоваться мыслью Ч. Дарвина «Наука заключается в такой группировке фактов, которая позволяет выводить на основании их общие законы и заключения» и получать новое их качество как элементов систем.

Тектоническое положение вулканогенов пояса

Выше уже была дана общая аргументация выделения Северо-Западно-Корякского окраинного вулканического пояса, развитого на северной окраине Центрально-Корякской тектонической зоны в олигоцене, как самостоятельной геоструктуры.

Северо-Западно-Корякский пояс представлен вулканогенами: Уннэйваямским, Гайчаваямским и Пальматкинским. Далее он выходит к СВ на Чукотку за пределы края. Характерным для всех трёх вулканогенов является: одинаковые признаки положения в региональном СВ Пусторецко-Парапольском прогибе большей северной частью своих площадей; обрамление каждого вулканогена с юга выходами пород



Условные обозначения см. на рис. 1

Рис. 2. Карта аномального магнитного поля зоны сочленения Пенжинской и Центрально-Корякской СФЗ с положением Северо-Западно-Корякских вулканогенов, их сателлитов. Изолинии (ΔT) _a [Корнилов, 1971; Карта полезных ископаемых.., 1999; Евглевский, 1987]. Цифрами обозначены сателлиты вулканогенов: 1 – Велолныкский, 2 – Усть-Найлвалваямский, 3 – Усть-Импенвеемский.



Условные обозначения см. на рис. 1

Изоаномалы (штрихи направлены в сторону уменьшения значения поля)

Рис. 3. Гравиметрическая карта [Белоусов и др., 2001. Объяснительная записка к «Гравиметрической карте Камчатской области м-ба 1:500000»] Северо-Западно-Корякских вулканогенов и их сателлитов.

Вулканогены: 1 – Уннэйваямский, 2 – Гайчаваамский, 3 – Пальматкинский. Сателлиты: 1 – Велолныкский, 2 – Усть-Найлвалваямский, 3 – Усть-Импенвеемский.

фундамента Центрально-Корякской СФЗ (тектонической зоны); идентичным геологическим строением и их рудной, подавляюще серебряной, минерализацией. Положение территории вулканогенов в прогибе определяется и его тектоническими границами-разломами, которые замыкают прогиб на юге и севере; положение вулканогенов определено их локализацией в месте пересечения прогиба поперечными межглыбовыми глубинными разломами, они лежат на границах глыб литосферы, созданными поперечными разломами; их положение симметрично относительно друг друга на равных расстояниях.

Положение вулканогенов определяется системой субпараллельных трёх вышеописанных поперечных межглыбовых разломов, которые трассируются от побережья Берингова моря на северо-запад. Все три разлома включают и их магматические производные – гранитные интрузии. Интрузии являются важным признаком вулканогенов согласно приведенному определению геоструктур и по факту. Вместе с тем, гранитоиды вулканогенов являются, в свою очередь, и признаками: земной коры с развитым гранитным слоем; глубинности очагов гранитоидов и вулканитов кислого ряда геологического разреза вулканогенов; признаком генетически сопряженной сереброрудной минерализации вулканогенов с оловорудной в образованиях фундамента; признаком сквозькоровой глубины межглыбовых разломов. В этом контексте две полосы выходов образований велолныкской серии в орогенной олигоценовой стадии вулканизма очевидно формируют два пояса: Южно-Пенжинский и Северо-Западно-Корякский. И оба они на окраине континента, являясь окраинными. В этом контексте Пусторецко-Парапольский прогиб оправданно является рифтогенной структурой. Этот аспект окраинной тектоники требует дальнейшего изучения геологической истории развития окраин.

Положение вулканогенов, определяемое в плане поперечными межглыбовыми разломами определяет ещё один важнейший элемент системы «тектоника-структура» литосферы. Это отражено в положении между Уннэйваямским и Гайчаваямским вулканогенами Нойвалваямского выступа фундамента, а между Гайчаваямским и Пальматкинским – срединным Ваежским поднятием. На западном (приморском) фланге пояса срединный выступ, возможно, погружён в прогиб и не устанавливается. Между тем, оба выступа фундамента лежат на продольно-осевых разломах глыб, проходящих вдоль параллельно обрамляющих их межглыбовых разломов. Явление вывода на поверхность блоков фундамента требует изучения.

Тектоника и геология вулканогенов

В пределах велолныкской серии вулканитов пояса точечно расположены поля вулканитов орогенной андезит-дацитовой формации олигоцена. Главные ее члены – андезиты, риолиты, дациты, туфы среднего и кислого состава, гранитоиды. Образования формации и окружающих их пород велолныкской серии осложнены множеством разрывных нарушений. Мощность формации около 550 м [Гос. геол. карта..., 1998]. Орогенная формация развита вдоль Парапольского, Куюльского, Парапольского, Ванэтатского продольных разломов вдоль северной окраины Корякского микроконтинента. Вулканиты формации создают наполнение локальных впадин и образуют вулканогены Северо-Западно-Корякского вулканического пояса. Такие комплексы являются характерными и для вулканических поясов Олюторской СФЗ [Карта полезных ископаемых.., 1999], созданных в миоценовую орогенную стадию развития активной окраины позднемелового континента СВ Азии.

Уннэйваямский вулканоген изучался групповой геологической и геологическим доизучением м-ба 1:200000 съёмками [Гос. геол. карта.., 1998], материалы и результаты которых вошли в [Карта полезных ископаемых.., 1999].

Северная окраина Центрально-Корякской тектонической зоны представлена окраиной Корякского микроконтинента [Апрелков и др., 1997]. Он сложен 10 км толщей флишевых отложений корякской серии, обрамлённых на севере континента узкими полосками маметчинской и эссовеемской свитами фундамента ранне-позднемелового возраста. Обрамление локализовано вдоль Ванэтатского глубинного разлома, падающего на юго-восток. На нём – лежачий блок с амплитудой перемещения первые сотни метров. Это сочленение образований фундамента окраины и Пусторецко-Парапольского прогиба пересекается длительно существующим поперечным Парень-Таловско-Тиличикским межглыбовым разломом. Место пересечения на западе края пояса фиксируется зоной этого поперечного разлома. Оно установлено также методом МТЗ [Мороз, 1976] в виде локальной впадины глубиной до 1 км до поверхности верхнемелового комплекса и до 8 км – по поверхности домелового основания (кровли метаморфического фундамента литосферы) размером около 90 × 15-20 км и 40 × 15 км, по изолиниям 1 км и 8 км.

Максимум глубин и площадей локальной впадины смещён к югу от Мигитунупской интрузии и кислых туфов вулканогена. И именно к этому смещению приурочена максимальная концентрация проявлений серебра! На юго-восточном краю Уннэйваямской впадины в образованиях корякской серии фундамента – проявления олова и его двух месторождений. Все они лежат в зоне поперечного межглыбового Парень-Таловско-Тиличикского разлома. Смещение максимума глубин и их площадей к югу от Мигитунупской интрузии согласуется с положением висячего надразломного (над Ванэтатским разломом) крыла фундамента окраины микроконтинента. Таким образом, локализуется разрез Уннэйваямского вулканогена.

Мигитунупская интрузия гранитов является следствием подъема из гранитного слоя литосферы вулканогенно-рудного столба. Дериваты этого столба выражены многочисленными малыми телами гранитов и субвулканических риолитов в породах андезит-дацитовой формации. Как говорилось выше, образования велолныкской серии свидетельствуют о развитии гранитного слоя коры. Это против более ранних эоценовых вулканитов кинкильской свиты Западной Камчатки, которые ошибочно рассматриваются как камчатское продолжение к югу велолныкской серии олигоцена [Апрелков и др., 1997].

Гайчаваямский вулканоген характеризуется теми же признаками и закономерностями, что и Уннэйваямский. Полная аналогия в магнитном поле (рис. 2) и в гравитационном минимуме той же формы и интенсивности (рис. 3). Он лежит в зоне поперечного Омолон-Каменско-Олюторского разлома. В его пересечении сочленения Пусторецко-Парапольской впадины образована Ильванпинанская гранитная интрузия, обрамлённая андезито-дацитами вулканитов велолныкской серии. Мощность вулканитов около 550 м. Вулканиты насыщены исключительно проявлениями серебра: 25 проявлений с ураганными содержаниями [Гос. геол. карта.., 1998]. На юге вулканоген обрамлён полосой образований маметчинской и эссовеемской свит фундамента.

Пальматкинский вулканоген характеризуется теми же признаками и геологическими и геофизическими закономерностями (рис. 2 и 3), что и Уннэйваямский и Гайчаваямский вулканогены. Он лежит в зоне поперечного Олойско-Слаутненско-Ачайваямского/Аниваямского разлома. В его пересечении с Пусторецко-Парапольским прогибом образовалась локальная впадина с Палаваямской гранитоидной интрузией, обрамлённая вулканитами велолныкской серии с проявлениями золота, серебра [Башаркевич и др., 1987 г].

В целом, схема формирования вулканогенов Северо-Западно-Корякского и Южно-Пенжинского орогенных поясов в эпоху орогенеза проста и определена тектоникой литосферы активных окраин двух континентов СВ Азии; позднемезозойской – Пенжинской и позднекайнозойской – Центрально-Корякской.

Выводы

Концепция глыбово-клавишной структуры литосферы Корякско-Камчатского региона в общей схеме формулируется нижеследующим образом. Её положения являются базовыми в тектонике, геологии и минерагении.

В геологическом мироздании на границе «континент-океан» происходит постоянный прирост суши за счёт океанического дна. Процесс протекает под воздействием и контролем диагональной сети планетарной трещиноватости. Её разломы – линеаменты определяют конфигурацию побережья континента и геологическую историю его суши. Диагональная сеть сложена СВ и СЗ разломами, которая существует от времени заложения и всё время формирования литосферы и её геоструктур. На СЗ Тихого океана разломы определяют заложение и развитие СВ региональных структур, в частности, окраинных продольных вулканических поясов под контролем СВ составляющей диагональной сети. Вместе с ними действуют и разломы C3 направления, поперечные продольным геоструктурам. Разломы делят их на отдельные линейные звенья, которые начинают развитие синхронно, но геодинамически симметрично противоположно: одни в условиях вертикальных воздыманий, другие – погружений! Поэтому в воздымающихся геоструктурах форма слоёв горизонтов земной коры и литосферы в целом выгнутая, в погружающихся – прогнутая, критические точки в них – замки и кили. В глыбах через них проходят продольно-осевые разломы.

На поверхности звеньев образуются различные возрастные и вещественные геологические комплексы, которые указывают на процессы в коре и литосфере в целом. Так последовательно формируется продольная зональность продольных региональных геоструктур, выраженная в «разноцветных» их звеньях со своими индивидуальными признаками. Последовательный процесс прироста суши разноглубинными линейными звеньями серии сопредельных региональных геоструктур формирует их клавиши, которые объединяются в глыбы, заключённые парами СЗ поперечных разломов СЗ составляющей диагональной сети трещиноватости. Звенья в глыбах молодые по возрасту в прибрежьях сменяются более древними по мере удаления их от океана. Во времени звенья могут менять своё вертикальное движение в зависимости от последующих процессов на границе «океан-суша» и на поверхность могут быть выведены горизонты звеньев, сформированных ранее в условиях погружения. В вулканических поясах поперечные разломы ограничивают линейные вулканогены. Они самостоятельные – их звенья с общими основополагающими характеристиками возраста, вещества, тектоники геофизических полей. На поперечных разломах, пересекающих тектонические сочленения региональных продольных геоструктур, формируются изометричные тектонические узлы с локальными сквозькоровыми впадинами. В них формируются гнездовые вулканогены.

Таким образом, на окраине континента формируется активная часть прирастаемой литосферы суши. В ней возникают и действуют основополагающие процессы, которые влияют на деятельность каждого обособленного линейного или узлового звена продольной геоструктуры: от зарождения по зарождения по стадию орогенез. Процессы создают частые отклонения в состоянии вещества и его физических свойств в звеньях, которые в целом являются оригинальными и самобытными.

Концепция глыбово-клавишной структуры литосферы в настоящем исследовании позволила установить генеральные структурные связи между её элементами и процессами в системах «тектоника-полезные ископаемые», «тектоника-сейсмичность». Имеются дальнейшие возможности совершенствования Концепции, приобретающей черты познания закономерностей геологического мироздания на окраине континента в Корякско-Камчатском регионе.

Заключение

1. Изложенный аспект методологии авторского исследования показал, что эффективным методологическим инструментом тектонического исследования сочленения рифтогенного Пусторецко-Парапольского прогиба и северной окраины Корякского микроконтинента является авторская тектоническая Концепция глыбовоклавишного строения литосферы.

2. Главный элемент Концепции – поперечные межглыбовые разломы литосферы на пересечении сочленения прогиба и микроконтинента привели к образованию локальных впадин в позднемеловом и метаморфическом фундаментах. Во впадинах – верхняя часть рудных столбов с веществом гранитно-метаморфического слоя коры и локализации самих андезит-дацитовых вулканитов, интрузий гранитов, рудной золото-серебряной минерализации с сопутствующим оловом.

 Второй элемент Концепции – внутриглыбовые продольно-осевые разломы обусловили образование на южной стороне Пенжинской структурно-формационной зоны сателлитов вулканогенов Северо-Западно-Корякского вулканического пояса – Южно-Пенжинского окраинного пояса.

4. Системой главных поперечных и продольно-осевых разломов создана пара окраинных вулканических поясов окраин континентов, обрамляющих рифтогенный Пусторецко-Парапольский прогиб: Южно-Пенжинский и Северо-Западно-Камчатский.

Элементы глыбово-клавишной структуры литосферы создали вдоль сочленения окраин континентов цепь вулканогенов Северо-Западно-Корякского пояса, простирающегося на Чукотку. Система вулканогенов образует Северо-Западно-Корякскую металлогеническую зону месторождений серебра, золота, ртути, олова на северной окраине Корякского микроконтинента Центрально-Корякской структурно-формационной зоны.

Литература

1. Апрелков С.Е., Декина Г.И., Попруженко С.В. Особенности геологического строения Корякского нагорья и бассейна р. Пенжины // Тихоокеанская геология. – 1997. – Т. 16. №2. – С. 46-57.

2. Апрелков С. Е., Богдан П. С., Попруженко С. В. Палеовулканоструктуры Уннэйваямского поля в Корякском нагорье и связь с ними оруденения / по геолого-геофизическим данным // Тихоокеанская геология. – 2002. – Том 21. № 5. – С. 51-61.

3. Башаркевич А. Л., Дмитриева В. К., Бочков Б. В. Государственная геологическая карта СССР. Масштаб 1:200000. Корякская серия. Р-59-VII (г. Острая). 1981. Объяснительная записка. 37 л. 1 гр. ВСЕГЕИ СГФ. – 1987 г.

4. Белоусов С. П., Касьянюк Е. Е., Желтухина С. Ф. и др. Объяснительная записка к гравиметрической карте Камчатской области масштаба 1:500000. Руководство пользователю. 1 кн. – 16 л., 11 гр. пр. ФГУП «Елизовская геофизическая экспедиция». Елизово, Камчатской области. – 2001 г.

5. Государственная геологическая карта Российской Федерации м-ба 1:200000. Серия Еропольская. Лист Р-58-XI (Оклан). Серия Корякская. Листы Р-58-XII (Слаутное), Р-58-XVIII (Пальматкино), Р-59-XIII (р. Эссовеем). Объяснительная записка. (МПР Россия, «Камчатгеология»). – М. – 1998. – 160 с.

6. Евглевский Н.Л. Отчёт о групповой геологической съёмке и геологическом доизучении площадей масштаба 1:200000 на территории листов P-58-XI, XII, XVIII; P-59-XIII, проведённой Пенжинской ГСП в 1983-1987 гг. – 1987 г.

7. Карта полезных ископаемых Камчатской области м-ба 1:500000. Листы 2-8, 11. Ред. Литвинов А.Ф., Патока М.Г., Марковский Б.А. Редакторы-составители Фролов Ю.Ф. и др. – СПб.: Карт. фабрика ВСЕГЕИ, 1999. – 19 л.

8. Корнилов Б. А. Карта аномального магнитного поля СССР. Листы Р-58, 59. – М.: Центргеология, 1971. – 22 с.

9. Мороз Ю.Ф. Метод электроразведки в региональных исследованиях Камчатки // Изв. АН СССР. Геология и геофизика. – 1976. – № 7. – С. 63-70.

10. Тектоника континентов и океанов / Под ред. Ю. А. Косыгина, В. А. Кульдышева, В. А. Соловьёва. – Хбр. – 1976. – С. 511.

11. Шмелёв В. Л., Буланов А. Б. и др. Отчёт о результатах аэромагнитной съёмки масштаба 1:50000, проведённой в пределах листов Р-58–29, 30, 41, 42, 47, 48; Р-59–60, 70-72, 83, 84; Р-59–49, 61 в 1982-1983 гг. – 1983 г.

12. Яроцкий Г.П. Мегаблоки и металлогеническая зональность Корякского нагорья и Камчатки // Металлогения и новая глобальная тектоника. – Л.: Недра, 1973. – С. 93-95.

13. Яроцкий Г.П. Закономерности размещения вулканических серных месторождений Тихоокеанского рудного пояса (Корякия, Камчатка, Курилы, Япония). – П.-Камчатский: Изд-во Камчатского госуниверситета им. В. Беринга, 2006. – 138 с.

14. Яроцкий Г.П., Митрофанов М.О. Сереброрудная провинция северо-запада Корякии. Геолого-геофизическое обоснование выделения // Материалы конференции «Вулканизм и связанные с ним процессы». – П.-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2013. – С. 199-206.

15. Яроцкий Г.П. Феномен Хаилинского землетрясения 1991 г. на Юго-Западе Корякского нагорья. – П.-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, КамГУ им. Витуса Беринга, 2016. – 177 с.

16. Яроцкий Г.П. Глыбово-клавишная структура литосферы активной окраины континента на СВ Азии. Корякско-Камчатский регион // Геология и геофизика Юга России. – 2017. – № 2. – С. 135-151.

17. Яроцкий Г.П., Чотчаев Х.О. Ветроваямский вулканоген и его рудный район, Юго-Запад Юго-Восточно-Корякского пояса // Геология и геофизика Юга России. – 2018. – № 1. – С. 79-92.

NORTH-WESTERN-KORYAK VOLCANIC BELT AND ITS ORE-BEARING VOLCANOGENES

© 2018 G.P. Yarotsky, Sc. Cand. (Geol.-Min.)

Institute of volcanology and seismologies FEB RAS, Russia, 683006, Kamchatka Krai, Petropavlovsk-Kamchatsky, Piyp avenue, 9, e-mail: ecology@kscnet.ru;

We managed to reveal the North-Western-Koryak orogenic volcanic belt. Using the authors'methodology of block and key structure of lithosphere at the boundary of the regional downfold and the northern active margin of the continent we defined the mechanism of the belt volcanogenes formation. The local regional downfolds were formed at the intersection of the transverse intra-block deep faults of regional downfold lithospheric boundary and the Koryak microcontinent's northern margin. During Oligocene tectonic-magmatic activity rocks from the crustal granitic-metamorphic layer with ore columns of gold, mercury, hurricane silver, associated with Sn deposits in basement rocks were introduced in them.

The allocation of the tin-gold-silver ore regions in volcanogenic belts is proved. The trend of the belt within the margins and Chukotka gives the basis to determine the North-West Koryak metallogenic zone.

Keywords: volcanic belt, the North of the Koryak Highland, volcanogenes, transverse faults of the lithosphere, silver ore regions.

References

1. Aprelkov S.E., Dekina G.I., Popruzhenko S.V. Osobennosti geologicheskogo stroenija Korjakskogo nagor'ja i bassejna r. Penzhiny [Features of the geological structure of the Koryak highland and the basin of the river. Penzhiny]. Tihookeanskaja geologija. 1997. Vol. 16. No. 2. Pp. 46-57. (in Russian)

2. Aprelkov S.E., Bogdan PS, Popruzhenko S.V. Paleo-volcanic-structures of Unnuvaimsky field in the Koryak Highland and their association with mineralization / geological and geophysical data // Tikhookeanskaya geologiya 2002. Vol. 21. No. 5. P. 51-61. (in Russian)

3. Basharkevich A.L., Dmitrieva V.K., Bochkov B.V. State geological map of the USSR. Scale 1: 200.000. Koryak series. P-59-VII (Mount Ostriy). 1981 Explanatory letter. 37 p. 1 gr. 1987 y. A. P. Karpinsky Russian Geological Research Institute GFS. (in Russian)

4. Belousov S.P., Kasyaniuk E.E., Zheltukhina S.F. et al. Explanatory note to the gravimetric map of Kamchatka region at a scale of 1: 500.000. Instruction manual. 1 book. – 16 sh., 11 gr. etc. FSUE "Elizovo Geophysical Expedition". Yelizovo, Kamchatka region. 2001 y. (in Russian)

5. State geological map of the Russian Federation in scale 1: 200000. Eropolskaya series. Sheet P-58-XI (Oklan). Koryak series. Sheets P-58-XII (Slautnoye), P-58-XVIII (Palmatkino), P-59-XIII (Essoveym River). Explanatory letter. M. 1998. 160 p. (MPR Rossia, Kamchatgeologiya). (in Russian)

6. Evglevsky N.L. Report on group geological survey and additional geological study of areas of 1: 200,000 scale in the territory of sheets P-58-XI, XII, XVIII; P-59-XIII, carried out by Penzhinsky GMP in 1983-1987. 1987 y. (in Russian)

7. Karta poleznyh iskopaemyh Kamchatsko joblasti m-ba 1:500000. Listy 2-8, 11. [Map of deposits of the Kamchatka region, m-ba 1: 500000. Sheets 2-8, 11.]. Red. Litvinov A.F., Patoka M.G., Markovskij B.A. Redaktory-sostaviteli Frolov Ju.F. i dr. SPb. Kart. Fabrika VSEGEI, 1999. 19 sheets, (in Russian).

8. Kornilov B.A. Map of the anomalous magnetic field in the USSR. Sheets P-58, 59. M.: Centrgeologiya. 1971. 22 p. (in Russian)

9. Moroz Y. F. The method of electrical exploration in regional studies of Kamchatka// News Academy of Sciences of the USSR. Geologija i geofizika Rossii. 1976. No. 7. Pp. 63-70. (in Russian)

10. Tektonika kontinentov i okeanov [Tectonics of continents and oceans]. Pod red. Ju. A. Kosygina, V.A. Kul'dysheva, V.A. Solov'jova. Habarovsk. 1976. pp. 511. (in Russian).

11.Shmelev V.L., Bulanov A.B. et al. Report on the results of aeromagnetic survey of 1:50000 scale, carried out within the limits of sheets P-58–29, 30, 41, 42, 47, 48; P-59–60, 70-72, 83, 84; R-59–49, 61 in 1982-1983. 1983 y. (in Russian)

12. Jarockij G. P. Megabloki i metallogenicheskaja zonal'nosf1 Korjakskogo nagor'ja i Kamchatki [Megablocks and metallogenic zoning of the Koryak highland and Kamchatka]. Metallogenija i novaja global'naja tektonika. L. Nedra, 1973. pp. 93-95. (in Russian)

13.Jarockij G.P. Zakonomernosti razmeshhenija vulkanicheskih semyh mestorozhdenij Tihookeanskogo rudnogo pojasa (Korjakija, Kamchatka, Kurily, Japonija). [Regularities in the location of volcanic sulfur deposits of the Pacific ore belt (Koryakia, Kamchatka, Kuriles, Japan)]. Petropavlovsk-Kamchatski], Izd-vo Kamchatskogo gosuniversiteta im. V. Beringa, 2006. 138 p. (in Russian)

14. Yarotsky G. P., Mitrofanov M. O. Silver ore province of the northwest Koryakiya. Geological and geophysical justification of the selection // Proceedings of the conference "Volcanism and associated processes." Publishing house IVIS FEB RAS. P.-Kamchatsky, 2013. Pp. 199-206. (in Russian)

15.Jarockij G.P. Fenomen Hailinskogo zemletrjasenija 1991 g. na Jugo-ZapadeKorjakskogo nagor'ja [The phenomenon of the 1991 Khaila earthquake in the South-West of the Koryak highland]. Petropavlovsk-Kamchatskij, Izd-vo IViS DVO RAN, KamGU im. V. Beringa,' 2016. 177 p. (in Russian)

16. Yarotsky G.P. Block and key lithospheric structure of the active Asian northeastern continental margin. Koryak-Kamchatka region. // "Geology and Geophysics of the South of Russia". 2017. No. 2. Pp. 135-151. (in Russian)

17. Yarotsky G.P., Kh.O. Chotchaev. The Vetrovayam volcanic rocrs and their ore district (southwestern part of south-estern Koryak belt) // "Geology and Geophysics of the South of Russia". 2018. No. 1. Pp. 79-92. (in Russian)

НАШИ ГОСТИ

VДК 549.351.355 (575.3) DOI:10.23671/VNC.2018.4.20169

БЛЕКЛЫЕ РУДЫ В СЕРЕБРЯНЫХ И СЕРЕБРОСОДЕРЖАЩИХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ТАДЖИКИСТАНА И ИХ СЕРЕБРОНОСНОСТЬ

© 2018 Ф.А. Файзиев, к. г.-м. н., А.Р. Файзиев, д. г.-м. н.

Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии Академии наук Республики Таджикистан, Республика Таджикистан, 734063, г. Душанбе, ул. Айни, 267, e-mail: foteh81@mail. ru, faiziev38@mail. ru

В статье приводятся сведения о блеклых рудах в серебряных и серебросодержащих месторождениях Таджикистана. Они в них распространены весьма неравномерно. Если в одних месторождениях блеклые руды встречаются в ничтожных количествах (Мушистон), то в других они образуют значительные скопления (Мирхант, Канджол, Большой Канимансур). Блеклые руды представлены рядом теннантит – тетраэдрит – фрейбергит, среди которых преобладают тетраэдриты. Из 191 химического анализа блеклых руд из месторождений Северного и Центрального Таджикистана, а также Памира всего 23 принадлежат к фрейбергиту, а 2 – к теннантиту. Содержание серебра в блеклых рудах всего региона в целом варьирует от 0,13 (Кансай) до 33,91 (Школьное) мас. %.

Ключевые слова: блеклые руды, сереброносность, рудо-формационный тип.

Блеклые руды характеризуются сложным и чрезвычайно непостоянным химическим составом среди класса сульфосолей. Они являются чуткими индикаторами рудогенеза, и их присутствие является положительным признаком сереброносности объекта [Спиридонов и др., 2008]. Химический состав блеклых руд индивидуален для разной рудной формации. Многообразие парагенезисов этих минералов отражает различие в геохимической обстановке их образования, т. е. изменение состава ассоциаций может указать на изменение условий образования руд.

Блеклые руды являются концентраторами и носителями ряда ценных металлов, в том числе и серебра. Содержание серебра, которое считается типоморфным примесным элементом блеклых руд, достигает 6,20-15,26 мас. % [Минералы, 1960] и даже больше – 11,20-17,71 мас. % [Дэна и др., 1951].

В данной статье сделана попытка систематизировать накопленный материал о блеклых рудах серебряных и серебросодержащих месторождений Таджикистана, в первую очередь, данные об их химическом составе и сереброносности.

Сведения о блеклых рудах в серебряных и серебросодержащих месторождениях Таджикистана можно найти в работах Г.С. Аверьянова, Ю.А. Арапова, С.К. Арбузовой, М.С. Безсмертной, М.М. Безуглого, Б.К. Брешенковой, М.М. Болдыревой, Ю.С. Бородаева, Н.С. Бортникова, С.Я. Клемперт, З.А. Королевой, Н.Н. Королевой, Л.М. Лурье, М.И. Моисеевой, Г.В. Моралева, Ю.С. Нестеровой, Г.Г. Павловой, В.С. Попова, А.Р. Файзиева, Ф.А. Файзиева, Т.И. Чвилевой и др.

В серебряных и серебросодержащих месторождениях Таджикистана блеклые руды являются одним из основных рудных минералов, содержание которых в отдельных рудных телах может быть выше концентрации других рудных минералов в целом. Например, в гигантском месторождении Большой Канимансур в отдельных рудных скоплениях содержание блеклых руд достигает 20% от суммы рудных минералов, а содержание серебра в них доходит до 20 мас. % [Файзиев, 2008].

Встречаются блеклые руды в виде редких мелких эвгедральных зерен (Кансай), идиоморфных выделений (Южная Дарбаза), каплевидных включений (Перевальное, Карамазар), округлых и нитевидных форм (Северный Зарнисор), неправильных и таблитчатых образований (Мирхант), таблитчатых кристаллов (Токузбулак), мономинеральных прожилков (Большой Канимансур) и т.д.

Блеклые руды зафиксированы в проявлениях всех рудно-формационных типов серебра. Например, на серебро-полиметаллическом месторождении Большой Канимансур (Карамазар) они встречаются в ассоциации с серебро-висмутин-айкинитхалькопиритовыми и серебро-галенит-сфалеритовыми минеральными комплексами [Файзиев, 2008]. На серебро-полиметаллическом месторождении Канджол (Северный Таджикистан) блеклые руды по времени образования близки к халькопириту и образуют с ним взаимные прорастания (рис. 1). Здесь блеклые руды иногда обволакивают зерна халькопирита и галенита. В массивном галените они образуют угловато-округлые выделения размером до 3 см. В ряде случаев тетраэдрит с арсенопиритом образует скопления, причем в арсенопирите он находится в виде мелких включений удлиненной и округлой формы [Турлычкин, 1972]. В пустотах с шестоватым кварцем тетраэдрит образует относительно крупные кристаллы (3-4 мм). В блеклых рудах изредка видны выделения электрума. На рисунке 2 приводится изображение рисунка 1 в режиме BSE и рентгеновские карты распределения элементов в нем.



Рис. 1. Изображение участка шлифа в отраженных электронах (BSE): 1, 2 – тетраэдрит, 3 – халькопирит, 4 – арсенопирит, 5 – галенит, 6 – кварц.



Блеклые руды на серебро-полиметаллическом месторождении Токузбулак (Памир) встречаются совместно с галенитом, халькопиритом, пираргиритом [Аверьянов, 1982]. Здесь блеклые руды представлены тетраэдритом и фрейбергитом и образовались в двух генерациях.

На серебро-оловорудном месторождении Мирхант (Центральный Таджикистан) блеклые руды находятся в ассоциации с галенитом, тиманнит-клаусталитом, Fe-сфалеритом, халькопиритом, станнином, пиритом, сульфосолями серебра [Файзиев, 2013]. На рисунке 3 видны реликты раннего сфалерита в тетраэдрите. Трещины в нем выполнены кальцит-галенитовыми прожилками.

На месторождении Школьное (Северный Таджикистан), которое относится к серебро-золоторудной формации, встречаются три генерации блеклых руд [Моралев и др., 1988]. Ранняя генерация образовалась в золото-сульфосольную стадию и ассоциирует с халькопиритом, галенитом, сфалеритом, арсенопиритом, пиритом и электрумом. Их выделения обладают неправильной изометричной формой. Из жильных минералов присутствуют кварц, кальцит, сидерит, хлорит и адуляр. Бле-



Рис. 3. Изображение препарата в обратно-отраженных электронах (BSE): 1, 2, 8 – галенит, 3, 4 – пирит, 5, 6, 7 – тетраэдрит, 9, 10 – сфалерит.

клые руды второй генерации кристаллизовались в серебро-сульфидную стадию. Они находятся в виде изометричных или вытянутых выделений в галените. Кроме того они образуют полоски, вытянутые вдоль трещин спайности в галените. Третья генерация блеклых руд выделялась в барит-галенитовую стадию минералообразования. Встречается она с комплексом сульфоантимонитов и селенидов серебра, сурьмянистым серебром, алларгентумом и дискразитом. От ранних генераций к поздним уменьшаются размеры блеклых руд. Если в ранней генерации размеры их варьируют от 0,05 до 0,5 мм, то во второй 0,02-0,001 мм, а в третьей генерации – менее чем 0,005 мм.

На серебро-сурьмяных месторождениях Акджилгинского рудного поля (Памир) блеклые руды наблюдаются в ассоциации со сфалеритом, Sb-висмутином, андоритом, густавитом, станнином и халькопиритом [Павлова и др., 1990].

В серебросодержащих скарново-полиметаллических месторождениях Северного Таджикистана (Зарнисор, Такели) блеклые руды ассоциируют с пиритом, сфалеритом, халькопиритом, галенитом, арсенопиритом, кварцем, кальцитом, баритом и флюоритом. В Кансайском месторождении, кроме того, отмечается прустит.

На основании изучения взаимоотношений блеклых руд с другими сульфидами, ассоциирующими с ними, можно сделать вывод о том, что блеклые руды являются более поздними образованиями. В процессе формирования руд они замещали сфалерит, галенит, пирит и др. Особенно часто блеклые руды образуются за счет замещения халькопирита. По данным [Спиридонов и др., 2008] при замещении халькопирита блеклыми рудами избыточное железо сбрасывается в виде пирита. Таким образом, блеклые руды являются реакционными минералами, возникающими в результате воздействия рудоносных растворов на ранее отложенные сульфиды. К настоящему времени по блеклым рудам серебряных и серебросодержащих месторождений Таджикистана имеется 191 химический анализ. Все пробы, за редкими исключениями, сереброносны. Концентрация серебра в них варьирует от 0,13 (Кансай) до 33,91 (Школьное) мас. %. Согласно классификации Н. Н. Мозговой и А. И. Цепина [Мозгова, 1983] они представлены рядом теннантит-тетраэдрит-фрейбергит, среди которых выделены 17 разновидностей, средний химический состав которых приведен в таблице. Как видно из этой таблицы, для месторождений Таджикистана наиболее широким распространением пользуются блеклые руды с преобладанием тетраэдритовой молекулы. Из всех анализов блеклых руд только 2 относится к теннантиту и 23 из них – к фрейбергиту. Это согласуется с мнениями [Лазаренко, 1956; Радкевич, 1940], согласно которым для серебро-полиметаллических и полиметаллических месторождений наиболее характерны тетраэдриты. В этих месторождениях преимущественно развиты серебросодержащие разности блеклых руд.

Изучение блеклых руд из месторождений различных формационных типов показывает на изменчивость их химического состава. Так, для серебросодержащих скарново-полиметаллических месторождений характерны Zn-теннантит и Pb-Agсодержащий Zn-теннантит-тетраэдрит (Кансай) и Zn-аннивит-тетраэдрит (Перевальное, Карамазар). На месторождении Северный Зарнисор блеклые руды представлены Ag-Fe-тетраэдритом, а блеклые руды из месторождения Гайнаккан (Такелийское рудное поле) – Zn-тетраэдритом.

С серебро-сурьмяной рудной формацией связаны Fe-теннантит-тетраэдритовые, Fe-тетраэдритовые и фрейбергитовые разности блеклых руд (Акджилгинское рудное поле, Памир). Концентрация серебра во фрейбергите варьирует от 23,58 до 33,91 мас. %, составляя в среднем 27,55 мас. %. Фрейбергиты встречаются также в месторождениях серебро-золотого (Школьное) и серебро-полиметаллического (Токузбулак) формационных типов.

Для серебро-полиметаллического типа минерализации характерны главным образом Ag-Zn-тетраэдриты (Большой Канимансур, Канджол). В этом типе также встречается Ag-содержащий Zn-тетраэдрит (Чукурджилга).

Висмутсодержащие разности блеклых руд обнаружены на серебро-полиметаллическом месторождении Тарыэкан. Содержание висмута в них колеблется от 3,87 до 13,61 мас. %. На этом месторождении встречаются также Ag-содержащий Znтетраэдрит и Ag-содержащий Zn-аннивит-теннантит. Висмут обнаружен и в блеклых рудах месторождения Большой Канимансур.

Для месторождений серебро-оловянного формационного типа характерны Znтетраэдриты и Zn-содержащие Ag-тетраэдритовые разности блеклых руд.

В составе блеклых руд, помимо основных компонентов – меди, серы, сурьмы, мышьяка и серебра, обнаружены цинк, железо, а также менее характерные – ртуть, висмут, селен, кадмий, олово, свинец. За редкими исключениями все блеклые руды сереброносны. Во всех проанализированных блеклых рудах обнаружен цинк. В 162 из них концентрация этого элемента больше 1 мас. %, а максимальное его содержание равно 20,7 мас. % (Кансай). В значительных количествах цинк содержится в 11 выделенных разновидностях блеклых руд.

В подавляющем большинстве проб блеклых руд обнаружено железо. Его содержание варьирует от 0,05 (Большой Канимансур) до 7,19 мас. % (Верхняя Акджилга). Таблица I.

ЫХ	ac. %
ребрян	ана, в м
уд из се	жикист
d XIAILM	ий Тад:
тав бле	рожден
кий сос	Mectol
имичесн	хишажс
едний хи	opocodel

	% 	Месторождение		Кансай		Акджилгинское рудное поле		Акджилгинское рудное поле, Токузбулак, Школьное		Акджилгинское рудное поле		Мирхант, Гайнаккан		Большой Канимансур, Канджол		Северный Зарнисор		Тарыэкан		Канджол		Перевальное (Карамазар)		Тарыэкан		Кансай		Чукурджилга		Мирхант		Тарыэкан		Тарыэкан		Большой Канимансур	0,55 до 1,75, в среднем 1,15 мас. %. В пяти	22 до 0,84, в среднем 0,56 мас. %.
хічнвс	B Mac.	Сумма		99,31		98,97		99,70		99,17		99,71		100,84		100,82		99,69		101,68		100,5		98,36		95,55		99,68		99,44		101,84		101,20		101,35	x - Pb ot	TBe or 0,
sepeõl	тана,	Se	-	1		,		0,01	-	'		1		1		•	-	1		1		•	нит	1	r .	1		•		ı		0,15		0,11		•	, B ABY	оличес
и из (кикис	S		27,56		25,88		21,26		24,97		24,93		22,41		23,84		25,21	THO	24,7		23,15	-теннаі	22,59	гиддево	25,85		24,25		23,88	ИТ	23,96	ТИТ	23,85		24,03	мас. %	Mn B k
la vid	Тадж	Sn	-	1	рит	•		0,16		0,13		0,07	r	0,03		0,09	тицев		етраэдр		ТИС	•	тиддево	1	ит-тет]	1	аэдрит	•	аэдрит	ı	адеватр		-теннан	ı	тиддев	•	ем 0,2	новлен
блекл	дений	Bi	ІАНТИТ		-тетраэд	5,44	ергит	0,07	аэдрит	0,31	аэдрит	0,26	траэдри	0,06	траэдри	0.36	Zn-Terp		ий Zn-т	ı	тетраэд	18,85	вит-тет	10,44	-теннан		Zn-rerp	0,52	Ag-rerp		й Znт	5,55	аннивит	9,78	Ag-Terp:	2,79	в средн	ite ýctal
COCTAB	сторож	\mathbf{As}	Zn-Teh	15,64	ннантил	7,25	Фрейб	0,22	Fe-тетр	0,69	Zn-rerp	1,40	g – Zn-re	1,01	g – Fe-re	2,11	ожащий	1,01	одержан	2,71	ннивит-		Zn-анни	3,18	ший Zn	4,72	ржащий	3,24	ржащий	0,44	ержащи	3,31	ций Zn-а	5,39	ожащий	0,40	2 до 0,6,	траэдри
екий (их мес	Sb		5,18	Fe-re	15,85		26,27		27,07		25,78	Š.	26,63	V	24.33	Ag-code	27,87	(Hg) - c	26,65	Zn-a	15,0	жащий	17,14	-содержа	19,92	Ag-cone]	23,26	Zn-соде	27,07	- Bi-con	21,40	содержан	15,26	Bi-coge	26,11	е от 0,0	g – Zn-Te
эними	ржащ	Hg		ı		'		0,06		0,04		0,34		0,28		0,04			Ag	0,13		•) – содер		Pb - Ag.			0,26		0,11	Ag	0,1	Ag-c	0,11			ружен S	ура в Аg
ний х	осоде	Ъb		1		0,3		0,1		0,09		0,07		0,1		0,1		'		ı		•	(Ag	ı		9,17		ı		ı		0,59		0,40		•	о обнај	иманс
Среді	spe6p	Cd		'		'		0,24		0,10		0,27		0,55		0.35				1		•		1		1		0,17		ı		0,23		0,25		•	JOHAILO	го Кан
-	и со	Fe		3,13		6,2		4,32		5,96		1,97		3,22		5.37		0,95		2,67				I		1,84		1,62		4,55		0,36		0,48		3,13	из Шкс	ольшо
		Zn		5,69		0,58		2,01		0,53		5,62		3,86		1,06		6,96		4,30		7,45		6,58		13,25		6,91		2,14		7,31		6,90		3,53	разцах	азцах Б
		Чg		0,13		1,76		27,54		2,43		3,72		17,02		13,44		0,35		5,86				6,42		2,05		4,21		10,82		4,50		4,35		13,26	ести об	ubyx o6p
		Cu		41,98		35,71		17,44		36,85		35,28		25,67		29.73		37,34		34,66		36,05		32,01		18,75		35,24		30,43		34,38		34,43		28,1	tue: B II	жола и д
		Кол-во анализов		2		5		23		10		51		47		13		3		ŝ		2		3		2		5		С		8		7		4	нинечан	ах Канд:
		NoNo		1		2		ю		4		5		9		7	-	8		6		10		11		12		13		14		15		16		17	Ш	образц

Геология и геофизика Юга России, № 4, 2018

231

Висмут определен в составе 80 образцов блеклых руд. Концентрация его колеблется от следов до 13,61 мас. % (Тарыэкан) и 19,7 мас. % (Перевальное).

Свинец определен не во всех блеклых рудах. В обнаруженных образцах его содержание измеряется десятыми и сотыми долями мас. %. Только в Pb-Agсодержащем Zn-теннантите-тетраэдрите его концентрация в среднем равна 9,17 мас. %.

Ртуть также обнаружена не во всех выделенных разновидностях блеклых руд. Наибольшее ее количество (0,85 мас. %) зафиксировано в Zn-содержащем Адтетраэдрите и Fe-тетраэдритах.

В ряде проб блеклых руд обнаружен кадмий, среднее содержание которого достигает 0,85 мас. % в Zn-содержащем Аg-тетраэдрите. В некоторых пробах определены олово, селен и марганец, содержание которых не превышает десятых долей процента.

Литература

1. Аверьянов Г.С. Гипогенная минералогия месторождения Токузбулак // В сб.: Минералогия Таджикистана. Вып. 5. – Душанбе: Дониш, 1982. – С. 55-63.

2. Дэна Дж. Д., Дэна Э. С., Пэлач Э. и др. Система минералогии. Т. 1, полутом 1. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1951. – 608 с.

3. Лазаренко Е.К. О блеклых рудах // Минерал. сб. Львов. геол. о-ва. – 1956. – № 10. – С. 172-211.

4. Минералы // Справочник. Т. 1. – М.: Изд-во АН СССР. – 1960. – 618 с.

5. Мозгова Н. Н., Цепин А. И. Блеклые руды (особенности химического состава и свойств). – М.: Наука, 1983. – 280 с.

6. Моралев Г.В., Бортников Н.С., Малов В.С. Химический состав блеклых руд в связи с условиями рудообразования месторождения // Геология рудных месторождений. – 1988. – № 4. – С. 116-121.

7. Павлова Г.Г., Морцев Н.К., Борисенко А.С., Дыщук М.Ю., Боровиков А.А. Минеральный состав и стадийность формирования серебро-сурьмяного оруденения Акджилгинского рудного поля (Юго-Восточный Памир) // В кн.: Гранитоидный магматизм и оруденение Базардаринского горно-рудного района (Юго-Восточный Памир). – Новосибирск: Изд. ИГиГ СО АН СССР, 1990. – С. 124-159.

8. Радкевич Е. А. Блеклые руды // В кн.: Минералы СССР. Т. 2. – М.: Изд-во АН СССР, 1940. – 497 с.

9. Спиридонов Э. М., Филимонов С. В., Куликова И. М. и др. Минералы группы блеклых руд – индикаторы рудогенеза // В кн.: Проблемы геологии рудных месторождений, минералогии, петрологии и геохимии. – М. – 2008. – С. 356-359.

10. Турлычкин В.М. Канджольское рудное поле // В кн.: Геология и минеральные комплексы Западного Карамазара. – М.: Недра, 1972. – С. 368-382.

11. Файзиев А.Р. Минералогия и условия образования многометального месторождения Большой Канимансур (Срединный Тянь-Шань). – Душанбе: Дониш, 2008. – 416 с.

12. Файзиев Ф.А. Типоморфные особенности блеклых руд на олово-сереброполиметаллическом месторождении Мирхант (Центральный Таджикистан) // Мат. 21-й межд. научной конференции имени ак. В.И. Усова. – Томск. – 2013. – С. 211-212.

FAHL ORES FROM SILVER AND SILVER CONTAINERS OF DEPOSITS OF TAJIKISTAN

© 2018 F.A. Fayziev, Sc. Candidate (Geol.-Min.), A.R. Fayziev, Sc. Doctor (Geol.-Min.)

Institute of Geology, Earthquake Engineering and Seismology Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan, Republic of Tajikistan, 734063, Dushanbe, Ayni Str., 267, e-mail: foteh81@mail. ru, faiziev38@mail. ru

The article contains information on faded ores in silver and silver-bearing deposits in Tajikistan. They are very unevenly distributed in them. If in some deposits faded ores occur in insignificant quantities (Mushiston), while in others they form significant clusters (Mirkhant, Kanjol, BolshoyKanimansur). Faded ores are represented by a series of tennantite – tetrahedrite – frejbergite, among which tetrahedrites predominate. Of the 191 chemical analyzes of faded ores from the deposits of Northern and Central Tajikistan, as well as the Pamirs, only 23 belong to freibergit, and 2 to tennantite. The silver content in faded ores of the whole region as a whole varies from 0,13 (Kansai) to 33,91 mass. % (Shkolnoe).

Keywords: faded ore, silver-bearing, ore-formation type.

References

1. Aver'janov G.S. Gipogennaja mineralogija mestorozhdenija Tokuzbulak [Hypogenic mineralogy of the Tokuzbulak deposit]. V sb.: Mineralogija Tadzhikistana. No. 5. Dushanbe. Donish, 1982. Pp. 55-63. (in Russian)

2. Dena Dzh. D., Dena Je. S., Pjelach Je. i dr. Sistema mineralogii [The system of mineralogy]. Vol. 1, half-bore 1. M. Izd-vo inostrannoj literatury, 1951. 608 p. (in Russian)

3. Lazarenko E. K. O bleklyh rudah. – [About faded ores]. Mineralogical sb. L'vov. geol. o-va. 1956. No 10. Pp. 172-211. (in Russian)

4. Mineraly [Minerals.]. Reference book. Vol. 1. M. Izd-vo AN SSSR. 1960. 618 p. (in Russian)

5. Mozgova N.N., Cepin A.I. Bleklye rudy (osobennosti himicheskogo sostava i svojstv) [Faded ore (features of the chemical composition and properties)]. M. Nauka. 1983. 280 p. (in Russian)

6. Moralev G.V., Bortnikov N.S., Malov V.S. Himicheskij sostav bleklyh rud v svjazi s uslovijami rudoobrazovanija mestorozhdenija [The chemical composition of fahl ores to the conditions of mineralization of the deposit]. Geologija rudnyh mestorozhdenij. 1988. No 4. Pp. 116-121.

7. Pavlova G.G., Morcev N.K., Borisenko A.S., Dyshhuk M.Ju., Borovikov A.A. Mineral'nyj sostav i stadijnost' formirovanija serebro-sur'mjanogo orudenenija Akdzhilginskogo rudnogo polja (Jugo-Vostochnyj Pamir) [Mineral composition and staging of the silver-antimony mineralization of the Akdzhilga ore field (South-Eastern Pamir)]. V kn.: Granitoidnyj magmatizm i orudenenie Bazardarinskogo gorno-rudnogo rajona (Jugo-Vostochnyj Pamir). Novosibirsk. Izd. IGiG SO AN SSSR. 1990. Pp. 124-159.

8. Radkevich E.A. Bleklye rudy [Faded ore]. V kn.: Mineraly SSSR. T. 2. M. Izd-vo AN SSSR. 1940. 497 p.

9. Spiridonov Je. M., Filimonov S. V., Kulikova I. M. i dr. Mineraly gruppy bleklyh rud – indikatory rudogeneza [Minerals of the faded ore group are indicators of ore genesis].

V kn.: Problemy geologii rudnyh mestorozhdenij, mineralogii, petrologii i geohimii. M. 2008. Pp. 356-359.

10. Turlychkin V. M. Kandzhol'skoe rudnoe pole [Kandzhol ore field]. V kn.: Geologija i mineral'nye kompleksy Zapadnogo Karamazara. M. Nedra. 1972. Pp. 368-382.

11. Fajziev A.R. Mineralogija i uslovija obrazovanija mnogometal'nogo mestorozhdenija Bol'shoj Kanimansur (Sredinnyj Tjan' – Shan') [Mineralogy and conditions of formation of the Bolshoi Kanimansur multimetal deposit (Middle Tien-Shan)]. Dushanbe. Donish. 2008. 416 p.

12. Fajziev F.A. Tipomorfnye osobennosti bleklyh rud na olovo-serebropolimetallicheskom mestorozhdenii Mirhant (Central'nyj Tadzhikistan) [Typomorphic features of faint ores at the tin-silver-polymetallic deposit Mirkhant (Central Tajikistan)]. Mat. 21-j mezhd. nauchnoj konferencii imeni ak. V.I. Usova. Tomsk. 2013. Pp. 211-212.

ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА ЮГА РОССИИ (№ 4. 2018 г.)

Подписано в печать 10.12.2018 г. Формат 60×84 1/8. Дата фактического выхода 12.12.2018 г. Усл. печ. лист 27,2. Гарнитура «Times». Бумага офсетная. Печать цифровая. Тираж 100 экз. Заказ № 118. Свободная цена.

Издание зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство ПИ № ФС77-72125 от 29 декабря 2017 г.

Издатель: **Геофизический инситут Владикавказского научного** центра Российской академии наук Адрес издателя и редакции: 362002, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркова 93а тел. 8 (8672) 764084; факс 8(8672) 764056 е-mail: southgeo@mail.ru http://cgiras.ru/southgeo

> Отпечатано ИП Цопановой А.Ю. 362000, г. Владикавказ, пер. Павловский, 3