



РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
Институт геологии
Дагестанского федерального
Исследовательского центра РАН

ISSN: 2541-9684

№ 4 (91), 2022
Ежеквартальный
Научный журнал

"ТРУДЫ ИНСТИТУТА ГЕОЛОГИИ ДАГЕСТАНСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН"

Издается по решению Ученого совета Института геологии ДФИЦ РАН
Журнал выходит 4 раза в год.
Зарегистрирован в федеральной службе по надзору в сфере связи и массовых коммуникаций Российской Федерации (Роскомнадзор) ПИ № ФС 77-67725 от 10 ноября 2016 года

Научно-редакционный совет:

д.т.н., ИПГ ДНЦ РАН,
академик РАН, Коми НЦ УрО РАН
д.г.-м.н., г.н.с., профессор ГИН РАН
академик РАН, ОНЗРАН
член-корреспондент НАН Азербайджана
д.ф.-м.н., профессор, Геофизический институт ВНИЦ РАН,
д.г.-м.н., профессор, ИГиИС НАН Армении
д.ф.-м.н., Чеченской академии наук
член-корреспондент РАН, д.ф.-м.н., профессор, ДФИЦ РАН
член-корреспондент РАН, ОНЗ РАН
д.ф.-м.н., профессор, ДГУ
Академик РАН, ГИН РАН

Алхасов А.Б.
Асхабов А.М.
Гаврилов Ю.О.
Глико А.О.
Алиева Э.Г.-М
Зааливили В.Б.
Карапетян Д.К.
Керимов И.А.
Муртазаев А.К.
Морозов Ю.А.
Рабаданов М.Х.
Федонкин М.А.

Редакционная коллегия:

д.г.-м.н., г.н.с., ДФИЦ РАН
к.т.н., в.н.с., ДФИЦ РАН
к.ф.-м.н., в.н.с., ДФИЦ РАН
к.г.н., в.н.с., ДФИЦ РАН
д.т.н., профессор, ДГУ
д.т.н., профессор, ДГУ
д.ф.-м.н., профессор, ДГУ
к.г.-м.н., в.н.с., ДФИЦ РАН
д.г.-м.н., г.н.с., ИПГ ВЭ – ИВТАН РАН
д.б.н., г.н.с., профессор, ДФИЦ РАН
к.ф.-м.н., ДФИЦ РАН
д.ф.-м.н., г.н.с., ДФИЦ РАН
к.г.н., в.н.с., ДФИЦ РАН
к.с.-х.н., с.н.с., ДФИЦ РАН
д.ф.-м.н., профессор, ДГУ
к.г.-м.н., в.н.с., (научный редактор), ДФИЦ РАН
д.г.-м.н., г.н.с., профессор, ИПГ ВЭ – ИВТАН РАН
к.ф.-м.н., ДФИЦ РАН
к.г.-м.н., ДФИЦ РАН
д.т.н., г.н.с., профессор, ДФИЦ РАН
к.г.-м.н., в.н.с., ДФИЦ РАН
к.ф.-м.н., доцент, ДГУ
н.с., ИГ ДФИЦ РАН
н.с., (ответственный секретарь), ДФИЦ РАН
н.с., (технический редактор), ДФИЦ РАН
инж., (составитель), ДФИЦ РАН

Черкашин В.И.
(главный редактор)
Мамаев С.А.
(зам. Главного редактора)
Алиев И.А.
Атаев З.В.
Ахмедов Г.Я.
Ахмедов С.А.
Ашурбеков Н.А.
Газалиев И.М.
Гусейнов А.А.
Залибеков З.Г.
Ибаев Ж.Г.
Идармачев Ш.Г.
Идрисов И.А.
Кондаков В.М.
Курбанисмаилов В.С.
Магомедов Р.А.
Маммаев О.А.
Таймазов Д.Г.
Темирбекова У.Т.
Тотурбиев Б.Д.
Юсупов А.Р.
Якубов А.З.
Мусаев М.А.
Гусейнова А.Ш.
Мамаев А. С.
Ахмедов А.С.

Материалы журнала отражают точку зрения авторов и не является официальной позицией Института.

При использовании материалов ссылка на журнал обязательна.

Адрес редакции: 367030, г. Махачкала, ул. М. Ярагского 75
наш сайт в интернете <http://www.igdificran.ru>, e-mail: dangeogis@mail.ru
Тел. 8(8722)62-93-95; факс: 8(8722)62-06-82

© НП Редакция Журнала «Труды института геологии Дагестанского научного центра РАН»

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

ТРУДЫ ИНСТИТУТА ГЕОЛОГИИ ДАГЕСТАНСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН

Научный журнал "Труды Института геологии ДНЦ РАН" издается Институтом геологии ДФИЦ РАН с 1956 г.

Рецензируемый научный журнал (включен в систему Российского индекса научного цитирования - РИНЦ) посвящен широкому спектру вопросов фундаментальной и прикладной геологии. Его отличие от других аналогичных журналов - в наибольшем охвате тематик в области геологии и геоэкологии. Обсуждаются проблемы, находящиеся на стыке науки и практики, использование современных ГИС-технологий в области наук о Земле.

Информация о журнале, правила для авторов располагаются на сайте <http://www.igdncran.ru>

Научное направление журнала - ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

- 25.00.01 Общая и региональная геология
- 25.00.02 Палеонтология и стратиграфия
- 25.00.03 Геотектоника и геодинамика
- 25.00.05 Минералогия, кристаллография
- 25.00.06 Литология
- 25.00.07 Гидрогеология
- 25.00.08 Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение
- 25.00.10 Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых
- 25.00.11 Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения
- 25.00.12 Геология, поиски и разведка нефтяных и газовых месторождений
- 25.00.23 Физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов
- 25.00.25 Геоморфология и эволюционная география
- 25.00.33 Картография
- 25.00.35 Геоинформатика
- 25.00.36 Геоэкология (по отраслям)

ISSN: 2541-9684

Журнал является рецензируемым.

Журнал выходит 4 раза в год.

Тираж - 200 экземпляров

<http://elibrary.ru/> (РИНЦ)

<http://www.igdficran.ru>

СОДЕРЖАНИЕ

МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ ФАНЕРОЗОЯ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА <i>Черкашин В.И., Богуш И.А., Рябов Г.В., Исаева Н.А.</i>	4
К ВОПРОСУ ПЕРСПЕКТИВ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ КАЙНОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ДАГЕСТАНСКОГО СЕКТОРА ТЕРСКО-КАСПИЙСКОГО ПРОГИБА <i>Шарафутдинов В.Ф., Соколов Д.В.</i>	10
ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ ЗАПАДНОЙ АНТИКЛИНАЛЬНОЙ ЗОНЫ ПРЕДГОРНОГО ДАГЕСТАНА <i>Меликов М.М., Гаджиева Т.Р.</i>	17
ОБЗОР ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ДИФФУЗИИ МЕТАНА УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ <i>Гайдаров Б.А.</i>	21
НАКОПЛЕНИЕ УГЛЕРОДИСТЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В РАЗНОФАЦИАЛЬНЫХ ОБСТАНОВКАХ МЕЗОЗОЙСКО-КАЙНОЗОЙСКИХ ПАЛЕОБАССЕЙНОВ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА (ВЛИЯНИЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ И ГЛОБАЛЬНЫХ ФАКТОРОВ) <i>Гаврилов Ю.О.</i>	32
КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ГРАНИЦЕ МЕЖДУ ВОСТОЧНЫМ И ЮГО-ВОСТОЧНОМ КАВКАЗОМ <i>Тульшева Е.В., Исаков С.И.</i>	41
ИССЛЕДОВАНИЕ БЕНТОНИТОВЫХ ГЛИН ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОЙ КОМПОЗИЦИИ <i>Тотурбиев Б.Д., Мамаев С.А., Тотурбиева У.Д.</i>	45
ПРИМЕНЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМИЧЕСКОГО ГРАНИТА <i>Журавлев М.М.</i>	51
УСТАНОВЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТЕЙ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОТ ДРУГИХ ПАРАМЕТРОВ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ГРУНТОВ <i>Харёбов К.С., Баскаев А.Н., Адрианова А.А., Козырев Е.Н.</i>	56
О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ САМОПОДОБИЯ СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ <i>Таймазов Д.Г.</i>	65
АНАЛИЗ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ДАГЕСТАНА И ПРИГРАНИЧНЫХ РАЙОНОВ ЗА ПЕРИОД 1995-2001 ГОДЫ <i>Исаев М.А.</i>	73
ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ БАЛОК ГОРЫ ДЖАЛГАН ДЛЯ ОБРАЗОВАНИЯ СЕЛЕВЫХ ПОТОКОВ <i>Сулейманов В.К., Идрисов И.А., Мамаев А.С.</i>	79
МИРЗОЕВ ДИМИР АБДУЛАЕВИЧ <i>Черкашин В.И., Меликов М.М.</i>	84

УДК 549.283:669.2(470.6)

DOI:10.33580/2541-9684-2022-91-4-4-9

МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ
ФАНЕРОЗОЯ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА*Черкашин¹ В.И., Богущ² И.А., Рябов² Г.В., Исаева¹ Н.А.**¹Институт геологии Дагестанского федерального исследовательского центра РАН**²Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова*

В статье рассматриваются вопросы металлогении группы благородных металлов Северного Кавказа. На основе полученных результатов и ранее проведенных работ была подтверждена ранее предложенная, геологическая поисковая модель благородных металлов (Au, Pt, Pd) охватывающая весь фанерозой. Детальный анализ имеющегося материала позволил определить практически весь период рудогенеза Северного Кавказа от каледонской до альпийской эпох. Первичным источником определены каледонские ультрабазиты Тырныауз-Пшекишской шовной зоны. Дальнейшая сепарация, рассеивание и концентрация золота и МПГ связаны как с эндогенными, так и с экзогенными процессами. Продукты разрушения ультрабазитов дали крупные региональные проявления золота, платины, палладия практически по всему фанерозою, а в четвертичное время указанные проявления благородных металлов дали россыпные месторождения в бассейнах рек Северного Кавказа (альпийская эпоха). Все это предопределяет наличие крупномасштабных рудных полей благородных металлов с субпромышленным содержанием Au, Pt, Pd. Учитывая сказанное, предлагается проведение крупномасштабных поисково-оценочных работ на территории Северного Кавказа.

Ключевые слова: Северный Кавказ, благородные металлы, металлогения, рудные объекты, специфика рудообразования, онтогенез, комментарии.

METALLOGENIC MODEL OF PHANEROZOI NOBLE METALS
OF THE NORTHERN CAUCASUS*Cherkashin¹ V.I., Bogush² I.A., Ryabov² G.V., Isaeva¹ N.A.**¹Institute of Geology, Dagestan Federal Research Center, Russian Academy of Sciences**²South Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platova*

The article deals with the issues of metallogeny of the group of noble metals of the North Caucasus. Based on the results obtained and previous work, the previously proposed geological prospecting model for precious metals (Au, Pt, Pd) covering the entire Phanerozoic was confirmed. A detailed analysis of the available material made it possible to determine almost the entire period of ore genesis in the North Caucasus from the Caledonian to the Alpine epochs. The primary source is the Caledonian ultramafic rocks of the Tyrnyauz-Pshekish suture zone. Further separation, dispersion and concentration of gold and PGM are associated with both endogenous and exogenous processes. The destruction products of ultramafic rocks produced large regional occurrences of gold, platinum, and palladium throughout almost the entire Phanerozoic, and in the Quaternary, these occurrences of noble metals gave placer deposits in the river basins of the North Caucasus (Alpine epoch). All this predetermines the presence of large-scale precious metal ore fields with subcommercial content of Au, Pt, and Pd. Given the above, it is proposed to conduct large-scale prospecting and evaluation work in the North Caucasus.

Key words: North Caucasus, precious metals, metallogeny, ore objects, specifics of ore formation, ontogeny, comments.

Актуальность и новизна.

Исследования благородных металлов Северного Кавказа, регулярно проводимые авторами с начала нынешнего столетия, привели к доказательству существования на Северном Кавказе новой в РФ провинции благородных металлов [5,7]. Авторы изучали распространение, возрастные, генетические позиции и формы благородных металлов (Au,Pt,Pd), устойчиво развитых территориально и в возрастном отношении (фанерозой) на территории Северного Кавказа. Итоговая, предполагаемая металлотрическая модель благородных металлов, разработанная авторами, приведена на рис. 1.

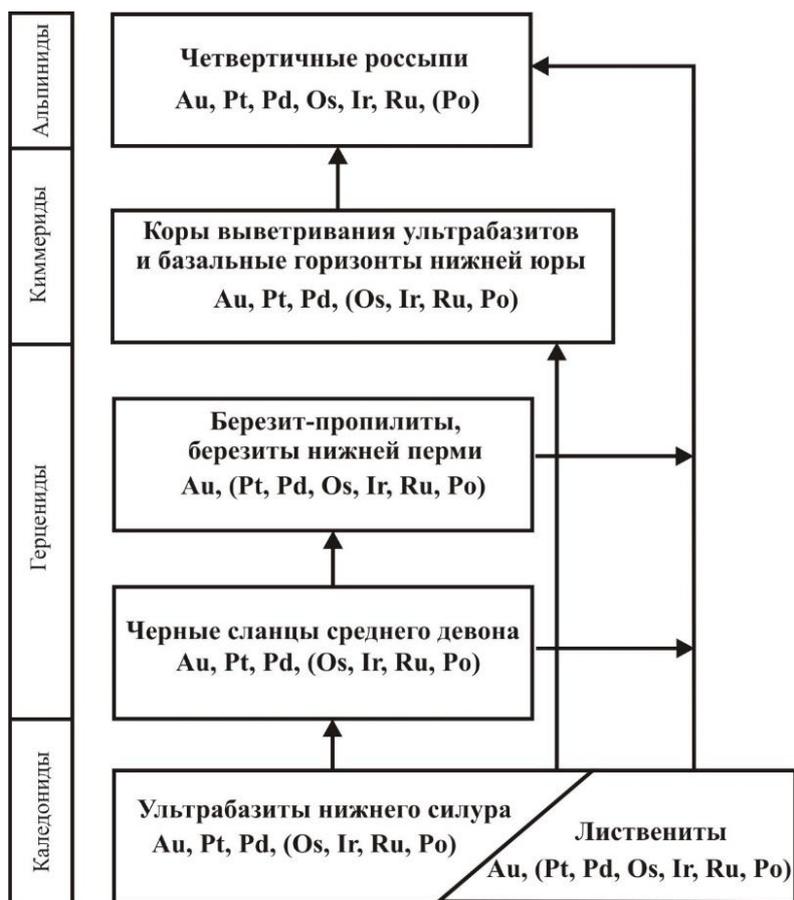


Рис. 1. Металлогеническая модель благородных металлов Северного Кавказа в фанерозое (в скобках указаны металлы неопробованные, т.е. предполагаемые, но обнаруженные в современных аллювиальных отложениях).

Основой металлотрической модели послужили материалы авторов, в течении многих лет исследовавших рудные богатства и геологию Кавказа, а также огромный, многолетний литературный и фондовый геологический материал коллективов кавказских геологов. Металлотрическая модель является первой попыткой обобщения и анализа образования благородных металлов на Северном Кавказе, впервые выделенных в этом регионе. Громадный рудный потенциал металлов в регионе обеспечен черносланцевой формацией, вопросы развития которой представляют первостепенный интерес. Практический промышленный интерес представляет разведанное Чучкурское месторождение золота (и платиноидов), самое крупное на Кавказе за всю историю его исследований. При составлении металлотрической модели основой служил фактический геологический материал Северного Кавказа, при минимуме теоретических гипотетических рассуждений, построений и предположений. По этой причине новые факты рудогенеза благородных металлов Северного Кавказа могут служить дополнением и уточнением сложнейшей теории благороднометалльного оруденения черных сланцев Северного Кавказа и, в первую очередь, золотом.

Благородные металлы на Северном Кавказе. Фактический материал и методика исследований.

Исследования благородных металлов, планомерно начатые авторами с началом нынешнего столетия, охватили весь рудоносный Северный Кавказ и прежде всего зону Передового хребта. Работы регулярно проводились в Урупо-Лабинском рудном районе, известном россыпным золотом и находками платины. Одновременно осуществлялись поисковые работы в Се-

верном Приэльбрусье (Худес-Чучкурский рудный узел). По этим территориям у авторов накопился обширный как собственный полевой материал, так и предшествующих работ по геологическому, минералогическому и геохимическому картированию (масштабы 1:10000-1:2000), изучению медноколчеданных месторождений и рудной нагрузки Северного Кавказа. Работы по благородным металлам начинались с исследования региональной полосы углеродсодержащих черных сланцев девона, аналоги которых содержат мировые гигантские месторождения благородных металлов. Черные сланцы Кавказа впервые были детально охарактеризованы авторами литологически, петрографически, минералогически и геохимически. Новым для Кавказа было площадное обзорное геохимическое исследование по выявлению благородных металлов, проведенное авторами и показавшее аномальную региональную зараженность металлами (Au, Pt, Pd) 200-километровой полосы черных сланцев. Для выяснения первичного источника металлов были изучены серпентинитовые массивы Северного Кавказа в полосе протяженностью более 300 км. Прослеживание благороднометалльного оруденения было продолжено в осадочных юрских толщах Кубань-Малкинской территории. Собранный материал авторами постоянно анализируется и обогащается новыми фактами, что привело в итоге к разработке первой металлометрической модели рудогенеза благородных металлов и выделению Северного Кавказа в качестве новой провинции благородных металлов.

В описываемой металлогенической модели впервые указываются первичные источники оруденения для конкретных рудных объектов. Предлагаемая модель существенно дополнена поисковыми критериями и рекомендациями для изучения конкретных проявлений благородных металлов. Спецификой методики, затрудняющей изучения минералогии благородных металлов, является их физическая размерность - отсутствие макроскопических форм минералов при тонкодисперсности их микроскопических форм. По этой причине благородные металлы визуально не фиксируются, а изучение их может быть проведено только геохимическим путем с применением особо точных методов спектрометрии.

Особенности рудогенеза и металлогении благородных металлов Северного Кавказа

Специфичными новыми положениями рудогенеза благородных металлов для металлогенической модели Северного Кавказа (рис.1) являются следующие геологические факты:

1. Непрерывный, унаследованный процесс рудообразования на протяжении всего фанерозоя, при общем первичном каледонском ультрабазитовом источнике металлов (Au+МПГ). Каждый последующий этап рудообразования содержит материал и предпосылки для рудообразования в последующих этапах, подчеркивая непрерывность и переходность рудообразования. Минералогический, геохимический, тектономагматический, онтогенический подходы к изучению рудного процесса и геологические обобщения позволяют проследить связь и изменения рудного процесса на протяжении каледонского, герцинского, киммерийского и альпийского геологических этапов.

2. Исторически рудогенные процессы заметно отличаются в палеозойский (каледониды, герциниды) от мезо-кайнозойский (киммериды, альпиды) периоды. Палеозойские события зарождения и трансформации рудных металлов и вмещающих пород обусловлены высоко энергетическими эндогенными процессами (магматизм, вулканизм, метаморфизм зеленокаменной фации). Мезо-кайнозойские процессы рудогенеза не связаны с магматизмом, резко изменяются в сторону экзогенных: седиментация, выветривание, перенос, переотложение терригенного материала.

3. Устойчивая ассоциативная связь двух групп благородных металлов Au – МПГ. Равные пропорции содержания Au, Pt, Pd в исходной рудной аномалии и в различных фациальных и генетических типах аномалий благородных металлов, в среднем составляя в сумме содержание металлов около 1,0 г/т. При дополнительных наложенных золоторудных источниках на графиках появляются новые точки разброса металлов на фоне первичной группировки их показателей.

Главная генетическая информация по вопросам типизации рудогенеза благородных металлов наглядно отражена на поисково-генетической рудной модели района Беденского ультрабазитового массива [1-3,5,6,13]. Она включает следующие основные положения:

1. По периферии массива выделен в минеральной форме в россыпях современного аллювия полный набор ассоциации металлов (Au, МПГ), свидетельствующий о присутствии комплекса благородных металлов на Северном Кавказе [1-3].

2. В серпентинитах Беденского массива выделен и доказан первичный базитовый источник рудообразования благородных металлов для всего фанерозоя Северного Кавказа [5].

3. Юрская кора выветривания ультрабазитов Беденского массива определила выделение нового типа оруденения благородных металлов – рудных кор выветривания ультрабазитов [6]. Коры выветривания и продукты их разрушения образуют субпромышленные крупные аномалии Au, Pt, Pd с содержаниями в сумме металлов до 1,5-2,0 г/т.

4. Герцинские девонские углеродсодержащие черносланцевые толщи Передового хребта [2,5,7] дали возможность детально изучить крупнейшие сланцевые продуктивные комплексы Кавказа, обосновать их металлоносность, условия образования и выявить тождество мировым продуктивным черносланцевым формациям [7].

В Худесс–Чучкурском рудном районе получены данные о позднегерцинском рудогенезе, подтвержденные разведкой крупного Чучкурского месторождения промышленных благородных металлов [4].

Дополнительным источником благородных металлов послужили руды герцинских медноколчеданных золоторудных месторождений гидротермально-осадочного генезиса, которые показали, наряду с промышленным золотом, присутствие примесной (0,2 г/т) платины в медных колчеданных рудах [14]. Эта минерализация связана с базальтоидными девонскими комплексами офиолитовой формации и по геологическим показателям не обнаруживает связи с ультрабазитовым источником основных масс благородных металлов Кавказа.

В мезозойских осадочных юрских толщах Кубань-Малкинского района, наряду с рудоносными корами выветривания, выделены благородные металлы в продуктах разрушения и переротложения первичных коровых рудоносных осадков [6].

К дискуссии о рудогенезе благородных металлов.

Приведенные геологические факты рудогенеза благородных металлов Северного Кавказа, наряду с установлением его особенностей, представляют большой интерес в глобальной проблеме происхождения металлов. Генетическая модель черносланцевого оруденения благородными металлами в настоящее время относится к наиболее сложным и дискуссионным теоретическим построениям в рудной геологии [8-13, 17-21]. Согласно общепринятым представлениям рудогенез благородных металлов черных сланцев относится к сложному многоэтапному процессу, что позволяет определить его как эндогенно-экзогенный [10], длительностью до целых геотектонических эпох [12,13]. Модель включает целый ряд событий от дисперсного рассеивания металлов до их сепарации и собирательной кристаллизации. В формировании рудных аномалий и месторождений благородных металлов последовательно выступают магматогенные экзогенные и седиментогенные факторы. Завершает процесс метасоматоз, как минимум зеленосланцевого уровня. Именно такие реперные события проявляются при формировании благородных металлов Северного Кавказа. Суть их следующая:

1. Всякое изучение рудного вещества сталкивается с вопросом его происхождения - мантийный? поверхностный? Геологический материал по благородным металлам Северного Кавказа указывает на их глубинный магматический базальтовый источник с последующим перемещением рудного вещества в тектоно-магматические эпохи через промежуточные вторичные источники с его обогащением и формированием аномальных скоплений.

2. Для рудоносных черносланцевых толщ очень важный вопрос заключается в аллогенном (привнесенном) или аутигенном (местном) характере рудного вещества? В черных сланцах

Северного Кавказа источник рудного вещества аутигенный, связанный с процессом накопления рудовмещающих толщ.

3. Какова природа первичной дисперсности рудных минералов? По материалам минералогических исследований авторов, для минералов благородных металлов Северного Кавказа типоморфна первичная тонкозернистая размерность. Диспергация зерен благородных металлов дальше увеличивается до молекулярной сорбционной при рассеивании и седиментации рудного материала в форме глинистых минералов, переработанных в гидрослюды при последующем региональном метаморфизме. Постметаморфические процессы сопровождались ростом зерен, сепарацией и собирательной кристаллизацией, особенно при наложении гидротермальных процессов.

Рекомендации для дальнейших работ. Комментарии

Вышеизложенные материалы и факты позволили впервые создать металлотрическую прогнозно-поисковую модель группы благородных металлов (Au+МПП) Северного Кавказа. Модель создана авторами на основе принципов исторического, онтогенетического, фациального и вещественного подхода к изучению благородных металлов, комплекс которых ранее на Кавказе не рассматривался. Главной целью проведенных авторами исследований является доказательство наличия на Северном Кавказе потенциально промышленного оруденения благородных металлов. Многочисленные находки геохимических аномалий, зоны минерализации, рудопроявления и месторождения показали наличие потенциально промышленных металлов на Северном Кавказе в масштабах новой рудной провинции. Приведенная металлогенетическая модель (рис.1) определяет общие направления поисков благородных металлов на Северном Кавказе. Конкретные указания и рекомендации поискового характера содержатся в серии статей авторов, дающих описание, генетическую типизацию и поисковые критерии. К сожалению, из более 40 работ авторов по этой тематике в нынешней статье упомянуто только 8 публикаций.

Дальнейшее исследование и освоение потенциала благородных металлов на Северном Кавказе заключается в охвате территории региона поисковыми и поисково-разведочными работами. Первоочередные поисково-разведочные работы, на взгляд авторов, следует проводить в пределах рудного поля Чучкурского месторождения. Промышленные запасы металлов, наличие коренных рудных проявлений и зон, недостаточная разведка на глубину рудных тел месторождения дают к этому обоснование. Кроме того, в Чучкурском рудном поле выделяются рудопроявления Придорожное, Перевальное, Водозаборное по своим масштабам и особенностям строения аналогичные рудопроявлению балки Лесной, давшее начало Чучкурскому месторождению.

Весьма перспективны для быстрого освоения рудные юрские коры выветривания ультрабазитов, уже имеющие субпромышленные содержания металлов, и совершенно не опробованные, кроме одной точки пересечения. При значительной мощности (до 30 м) и протяженности (2,8 км) кора выветривания только Беденского массива ультрабазитов дает от десятков (Pt, Pd) до сотни (Au) тонн благородных металлов. Металлоносные продукты разрушения кор выветривания нижней юры легко доступны и залегают практически на поверхности в Кубанском районе.

Однако главное богатство благородных металлов Северного Кавказа сосредоточено в углеродсодержащей девонской черносланцевой толще, аналоге мировых продуктивных толщ [1,4,7]. При протяженности сланцевой полосы в 200 км, мощности 1500 м, ширине 0,5-10 км и среднем содержании суммы металлов (Au, Pt, Pd) в 1 г/т общие запасы благородных металлов неисчерпаемы. Ближайшим аналогом оруденения черных сланцев Кавказа является гигантское месторождение Сухой Лог. Практически вся полоса черных сланцев представлена геохимической аномалией металлов, при невыясненном до сих пор характере ее зональности и наличии многочисленных обогащенных рудных участков. Черные сланцы на Чучкурском месторождении участвуют в рудном процессе и содержат промышленное оруденение [4].

Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания ИГ ДФИЦ РАН по теме НИР Рег. номер НИОКТР 1021060808457-2-1.5.6.

Литература

1. Богуш И.А., Черкашин В.И., Рябов Г.В., Абдуллаев М.Ш.. Новый тип оруденения благородных металлов на Северном Кавказе // ДАН. 2016. Т.466. № 2. С. 193-195.
2. Богуш И.А., Черкашин В.И. Источники благородных металлов (Au, Pt, Pd) на Северном Кавказе. ЛИТОСФЕРА, 2019, том 19, № 3. С.465-471.
3. Богуш И.А., Рябов Г.В. Топоминералогия металлов платиновой группы на Северном Кавказе // Современные проблемы теоретической, экспериментальной прикладной минералогии. Сыктывкар. Геопринт. 2020. С. 182-183.
4. Богуш И.А., Рябов Г.В., Черкашин В.И. Генезис и рудоносные структуры Чучкурского месторождения благородных металлов Северного Кавказа // Геология и геофизика Юга России. № 10(1). 2020. С. 81-95.
5. Богуш И.А., Рябов Г.В., Черкашин В.И., Исаева Н.А. Ультрабазиты и источники благородных металлов (Au, Pt, Pd) на Северном Кавказе // Геология и геофизика Юга России. Т. 11, № 4. 2021. С.15-29.
6. Богуш И.А., Рябов Г.В., Черкашин В.И. Юрская кора выветривания и источники благородных металлов в черных сланцах Северного Кавказа // Россыпи и месторождения кор выветривания XXI века: задачи, проблемы, решение. Воронеж. 2021. С. 147-149.
7. Гончаров В.И., Богуш И.А., Бурцев А.А., Васьяков И.М. Поисковые критерии и перспективы благородных металлов девонских черносланцевых толщ на Северном Кавказе // Вестник Владикавказского научного центра РАН. Т. 7. № 3, 2007. С. 19-24
8. Додин Д.А., Савицкий А.В. Платиноносные углеродсодержащие формации в геологической истории // Углеродсодержащие формации в геологической истории. Петрозаводск. 2000. С. 167-178.
9. Константинов М.М. Генетические системы золоторудных месторождений // Докл. АН СССР. 1984. Т. 275. №3. С. 696-699.
10. Курбанов Н.К. Особенности формирования экзогенно-эндогенных месторождений благородных металлов в углеродистых терригенных комплексах // Тр. ЦНИГРИ 1987. Вып. 219. С. 3-14.
11. Лазаренков В.Г., Смыслов А.А., Тихомиров Л.И. // Крупные и уникальные месторождения редких и благородных металлов. С-Пб. 1998. С. 210-230.
12. Нарсеев В.А. О генезисе золотосульфидного оруденения в черносланцевых толщах // Руды и металлы. № 5, 1999. С.70-75.
13. Парада С.Г. Предпосылки и признаки платиноносности гипербазитовых массивов Северного Кавказа // Наука Юга России. 2017. Т. 13. № 1. С. 59-73.
14. Рябов Г.В. Платиноносность руд колчеданных объектов Северного Кавказа (на примере Урупского месторождения) // Сб. науч. трудов «Геология, оценка и локальный прогноз месторождений цветных, редких и благородных металлов». Новочеркасск, ЮРГТУ(НПИ), 1994. С. 25-32.
15. Сазонов В.Н., Коротеев В.А., Огородников В.Н., Поленов Ю.А., Великанов А.Я. Золото в «черных сланцах» Урала // Литосфера. 2011, № 4. С. 70-92.
16. Созинов, Н.А., Горячкин Н.И., Ермолаев Н.П., Чиненов В.А., Хорошилов В.Л. Платиноиды в черных сланцах // Природа. 1997, № 8. С. 11-17.
17. Campbell I.H., Naldrett A.J., Barnes S.-J. A model for the origin of platinum-rich sulphide horizons in the Bushveld and Stillwater complexes. // Journal of Petrol. 1983. Vol. 24. Pp. 133-165.
18. Gurskaya L.I. Platinum-grjup element mineralization associated with the black shales a new stratiform type ort for PGE. Abstr // VI Internation. Platinymsemhjs. Perth, W.Australia, 1991, h. 23.
19. Holland H.D. 1979. Metals in black shales – a reassessment // Economic Geology V. p. 1676-1680.
20. J.Mao, B.Leman., A.Du, G.Zhang, D.Ma, Y.Wang, M.Zeng, R.Kerrich Re-Os Dating of Polymetallic Ni-Mo-ЗПУ-Au Mineralization in Love Cambrian Black Shalts of South Cina and Its Geologie Sinificanse // Economic Geol. Vol 97, 2002. Pp. 1051-1060.
21. Mungall J.E. Magmatic geochemistry of the platinum-group elements. // Exploration for Platinum-Group Element Deposits. / Mineralogical Association of Canada. 2005. Vol. 35. Pp. 1-34.

УДК: 552.5

DOI: 10.33580/2541-9684-2022-91-4-10-16

К ВОПРОСУ ПЕРСПЕКТИВ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ КАЙНОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ДАГЕСТАНСКОГО СЕКТОРА ТЕРСКО-КАСПИЙСКОГО ПРОГИБА

Шарафутдинов В.Ф., Соколов Д.В.

ГО ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» г. Москва, e-mail: Vadim.Sharafutdinov@lukoil.com

В пределах дагестанского сектора Терско-Каспийского прогиба, включая акваториальную часть Каспия, несмотря на вековую историю изучения, кайнозойские отложения имеют потенциал открытия новых залежей нефти и газа. Интерес представляют майкопские, караган-чокракские, сарматские и плиоценовые отложения. Особый интерес представляют майкопские и среднемиоценовые отложения. Наибольший потенциал открытия залежей нефти имеют караган-чокракские отложения в акваториальной части, где прогнозируются литологические и тектонически экранированные ловушки, выявленные по данным сейсморазведочных работ.

Ключевые слова: Терско-Каспийский прогиб, караган-чокракские отложения, тектонически-экранированные залежи.

ON THE ISSUE OF OIL AND GAS POTENTIAL OF CENOZOIC DEPOSITS OF THE EASTERN OF THE DAGESTAN SECTOR OF THE TERSKO-CASPIAN FOREDEEP

Sharafutdinov V.F., Sokolov D.V.

LLC «LUKOIL-Engineering», Moscow, e-mail: Vadim.Sharafutdinov@lukoil.com

Within the Dagestan sector of the Tersk-Caspian trough, including the offshore zone of the Caspian, despite the age-old history of study, Cenozoic deposits have the potential to open new oil and gas fields. The Maikop, Karagan-Chokrak, Sarmatian and Pliocene deposits are of interest. Of particular interest are the Maikop and Middle Miocene deposits. The Karagan-Chokrak fields in the offshore zone have the greatest potential for the discovery of oil fields, where lithological and tectonically shielded traps are predicted, identified according to seismic investigations.

Keywords: Tersko-Caspian foredeep, karagan and chokrak deposits, tectonic and screened traps.

Дагестан, являясь одним из старейших нефтегазодобывающих районов Северного Кавказа, не утрачивает интереса в отношении дальнейших перспектив своей нефтегазоносности. Помимо мезозойских отложений, интерес сохраняют кайнозойские отложения Дагестанского сектора Терско-Каспийского передового прогиба (ТКПП), включая его акваториальную часть. Кайнозойские отложения региона, характеризующиеся известными нефтегазопроявлениями по всему разрезу, изучались Н.И. Андрусовым, Б.А. Алфёровым, С.А. Благонравовым, И.О. Бродом, М.С. Бурштаром, Г.Д. Буториным, Н.Б. Вассоевичем, В.Л. Галиным, В.Д. Голубятниковым, Л.П.Гмид, В.А. Гроссгеймом, Б.П. Жижченко, П.П. Забаринским, Б.К. Лотиевым, Д.А. Мирзоевым, К.И. Микуленко, С.Э. Мусаевым, К.О. Соборновым, Н.Ю. Успенской, В.М. Пирбудаговым, В.И. Черкашиным, Л.В. Шалбузовой, В.Ф. Шарафутдиновым, Ф.Г. Шарафутдиновым, Н.С. Шатским, И.Г. Щербой и многими другими, внесшими большой вклад в изучение различных аспектов стратиграфии, литологии, тектоники, палеогеографии и нефтегазоносности. Промышленная нефтегазоносность здесь установлена в среднемиоценовых, палеогеновых, верхнемеловых, нижнемеловых и верхнеюрских отложениях на 15 месторождениях. Район исследований включает слабоизученную, но перспективную для поисков нефти и газа Терско-Сулакскую впадину, которая соответствует наиболее погруженной части ТКПП. Вековая история освоения нефтяных и газовых богатств республики позволяет еще раз оценить достижения и упущения, выявить неиспользованные резервы. На основании результатов анализа фактических геолого-геофизических материалов и сравнительной характеристики их с традиционными нефтегазоносными комплексами миоцена, мела и юры, авторами были выявлены специфиче-

ские условия палеоген-неогеновой толщи, требующие своеобразного подхода к оценке перспектив нефтегазоносности и поисков в них залежей нефти и газа.

Современное состояние геолого-геофизической изученности палеоген-неогеновых отложений Дагестанского сектора Терско-Каспийского передового прогиба позволяет положительно оценить перспективы нефтегазоносности кайнозойских отложений. В связи с этим, большой практический интерес представляет изучение опыта поисков, разведки и разработки залежей нефти и газа, как в пределах Дагестана, так и в соседних регионах, характеризующихся аналогичными геологическими условиями. Высокие перспективы кайнозоя акватории Дагестанского шельфа обосновываются промышленной нефтегазоносностью Предгорного Дагестана, а также получением нефти из чокракских отложений на месторождении Инче-море.

Первоочередного внимания заслуживают майкопские, среднемиоценовые, сарматские и плиоценовые отложения в условиях их неглубокого (до 3 км) залегания, по которым накоплен обширный разрозненный фактический материал, часть из которого (геофизические исследования, выполненные ПО «Грознефтегеофизикой») потеряна во время военных действий. При выполнении работ были использованы материалы многочисленных региональных и детальных геологосъемочных и тематических работ, результаты структурно-поискового, параметрического и глубокого бурения ПО «Дагнефть» и ПО «Грознефтегеофизика», ПАО «ЛУКОЙЛ» по акватории Каспийского моря. Методически тематические работы выполнялись путем изучения анализа и обобщения фактических, фондовых и литературных материалов. При расчленении отложений широко использовался метод геолого-геофизической корреляции естественных и скважинных разрезов, результаты которых были использованы для структурных построений, схем корреляции, профилей, структурных карт. Помимо этого, в небольшом объеме были проведены полевые наблюдения естественных разрезов перспективных отложений, которые в значительной степени позволили интерпретировать разрезы скважин по данным промыслово-геофизических исследований, а также увязать между собой многочисленные естественные и скважинные нефтегазопроявления.

Проведенный анализ геологоразведочных работ показывает, что даже на открытых по мезозойским отложениям месторождениях, вопрос перспективности палеоген-неогеновых отложений не решался. При поисково-разведочных работах не уделялось внимание изучению рассматриваемых отложений, они вскрывались, обсаживались колоннами и поскольку не считались перспективными, не освещались геофизическими исследованиями скважин (ГИС) и только случайно вскрывались пласты, при испытании которых получены притоки нефти. Несмотря на многочисленные сведения о нефтегазоносности никаких технологических решений по освоению перспективных отложений не было.

Поучительна история открытия залежей в майкопских отложениях на месторождении Русский Хутор, где после бурения 94-х глубоких мезозойских скважин (до 4700 м) одной специально пробуренной на майкопские отложения скв. 95 на глубинах от 1600 до 1800 м было выявлено шесть газовых залежей, из которых были получены притоки газа дебитом от 74 до 105 тыс. м³/сут. На месторождении Шамхал-Булак притоки нефти дебитом до 12 т/сут были получены при испытании олистолитов при возврате на верхние горизонты. При бурении структурных скважин в 50-60-х годах на глубинах от 700 до 1000 м в майкопских отложениях отмечались многочисленные признаки нефтегазоносности вплоть до промышленных притоков нефти от 5 до 40 т/сут. Однако, из-за отсутствия в разрезах хорошо выраженных песчаных коллекторов, они относились к случайным явлениям и скважины ликвидировались без освоения.

В основу оценки перспектив нефтегазоносности было положено сочетание в себе всех элементов материнских пород, резервуаров, ловушек и покрышек, литолого-фациальные особенности разреза и тектоно-стратиграфическая история эволюции бассейна, а также процессы

генерации, миграции и аккумуляции УВ, которые определяют объем потенциальных неразведанных ресурсов УВ.

Результаты детального анализа геолого-геофизической изученности, особенностей геологического строения и развития, а также процессов нефтегазообразования в регионе позволяют наметить основные перспективы нефтегазоносности на малых глубинах (до 3 км), (Рис.1).

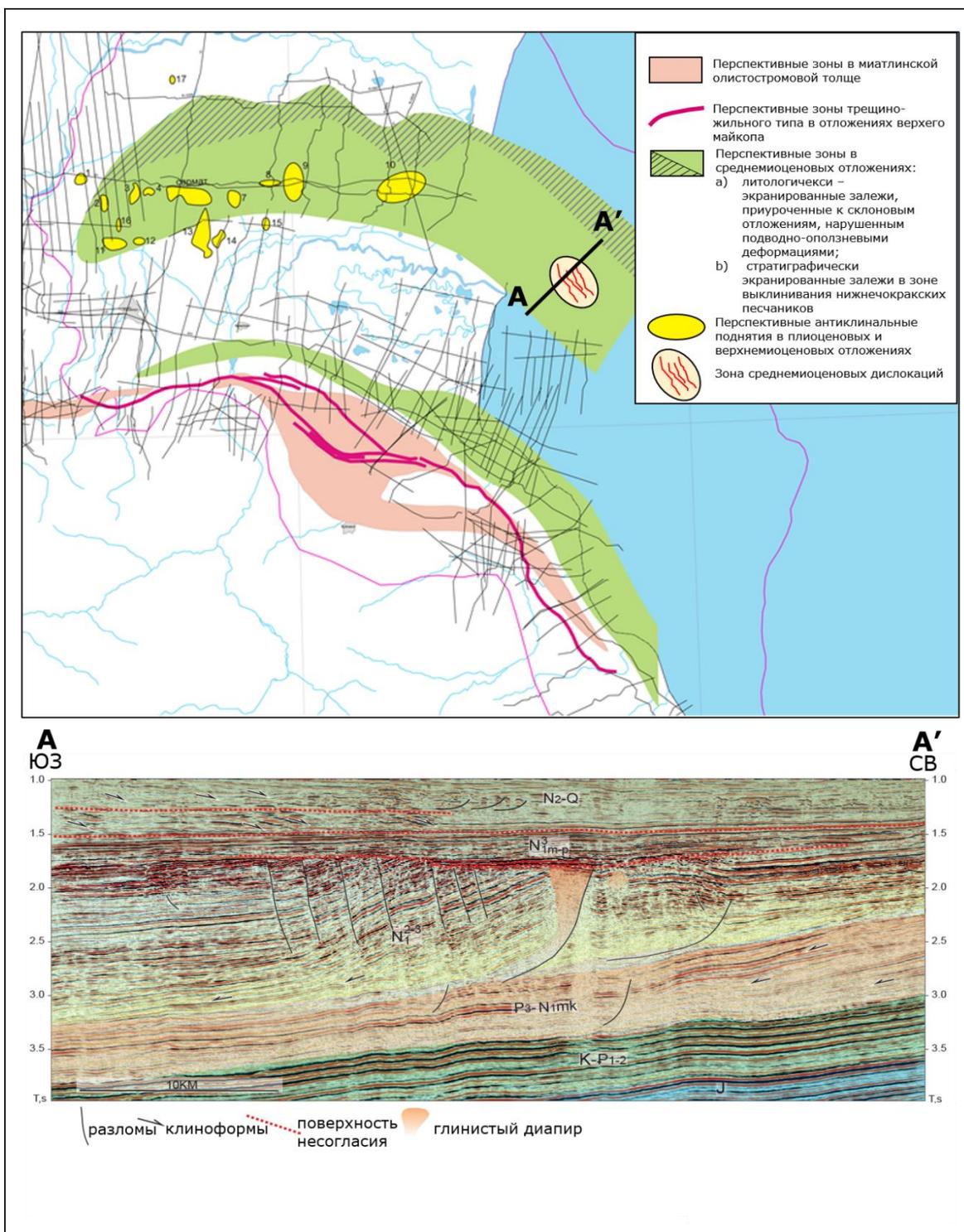


Рис. 1. Схема распространения перспективных зон для поиска залежей углеводородов в кайнозойских отложениях на малых глубинах в пределах Дагестанского сектора Терско-Каспийского передового прогиба

Олигоцен-нижнемиоценовые (майкопские и хадумские) отложения

Актуальные перспективы нефтегазоносности майкопских отложений были сформулированы в работах [1, 7, 8, 13, 15, 17 и др.]. К прогнозируемым залежам отнесены клиноформные, олистолитовые, трещинно-жильные, катагенетические, пластово-сводовые, врезовые, охватывающие весь разрез майкопских отложений, а пространственно каждый из типов приурочен к определенным структурным элементам ТКПП: клиноформные – к платформенному борту, олистолитовые – к восточной части, трещинно-жильные – к Нараттюбинской складчато-надвиговой зоне, пластово-сводовые – ко всему прогибу, врезовые – к локальным зонам платформенного борта прогиба. Для майкопских отложений региона прогнозируются преимущественно нетрадиционные природные резервуары, приуроченные к неструктурным типам ловушек, где перспективные участки связаны с различными по литологическому составу породами и зонами тектонических дислокаций.

Нетрадиционность открытых и предполагаемых залежей находит объяснение в специфических особенностях геологического строения и формирования, определявших образование в них различных генетических типов ловушек, в которых могли формироваться структурные и неструктурные залежи нефти и газа.

Наибольшие перспективы нефтегазоносности майкопских отложений связываются с поисками залежей нефти и газа в зонах тектонических нарушений вдоль Нараттюбинской складчато-надвиговой зоны трещинно-жильного типа. В указанных зонах, породы подвержены существенному разуплотнению, в результате чего перемятые раздробленные и сильно трещиноватые глины приобретают благоприятные емкостные и фильтрационные свойства. Другим объектом, заслуживающим пристального внимания, являются олистолиты Предгорного Дагестана. Морфологические признаки олистолитов определяют литологически замкнутую ловушку. Олистолитовые ловушки связаны с гигантскими ископаемыми включениями карбонатных пород фораминиферового возраста, внедренными в глинистую толщу миатлинской свиты. Эти олистолиты, часто достигающие огромных размеров (3-6 км в длину, 1-2 км в ширину и 100-150 м толщиной) соизмеримы с размерами локальных структур. Они обнаруживаются в глинистой толще майкопа в виде гидродинамически замкнутых резервуаров и могут быть приурочены к различным структурным элементам: антиклиналям, моноклиналям, синклиналям. При вскрытии скважинами олистолитов наблюдаются многочисленные нефтегазопроявления и поглощения бурового раствора.

Особый интерес представляют хадумские отложения в Буйнакской синклинали, где хадумский горизонт и миатлинская толща характеризуются кратным увеличением толщин, а результаты полевых и лабораторных исследований показывают высокий потенциал нефтеносности этих отложений. Хадумский горизонт представляет здесь интерес с точки зрения обнаружения сланцевой нефти (залежи катагенетического типа), подобного типа залежи открыты в пределах Журавского, Воробьевского, Прасковейского, Ачикулакского и других месторождений Восточного Предкавказья. Буйнакская депрессия характеризуется длительным устойчивым прогибанием, о чем свидетельствуют уникальные увеличенные толщины фораминиферовой серии, хадума и олистосторомовой толщи. Так отложения хадумского горизонта в пределах депрессии достигают толщины 300 м при обычной толщине в пределах Восточного Предкавказья 20-50м. Миатлинская олистосторомовая толща в пределах депрессии достигает толщины 700м, при суммарной толщине олистолитов 300 м. Анализ фактического материала свидетельствует о наличии необходимых геологических, геохимических и термобарических условий, которые создают благоприятные предпосылки обнаружения в миатлинской олистосторомовой толще и хадумском горизонте залежи нефти и газа.

При испытании скважин Чубарарка №1 и 2 из тонкослоистых пачек алевролитов были получены слабые притоки нефти. В скважине №3 площади Чубарарка и Буйнакской термаль-

ной скважине №2Т, пробуренной «Севкавказгеотермией», при вскрытии хадумского горизонта произошли газовые выбросы. Несмотря на столь интенсивные нефтегазопроявления, часто приводящие к пожарам, они относились к случайным явлениям, и скважины ликвидировались. В глубоких скважинах, которые бурились на мезозойские отложения, интервалы нефтегазопоявлений в майкопских отложениях обычно задавливались утяжеленным буровым раствором, а поглощения ликвидировались закачкой цемента.

Среднемиоценовые (карагано-чокракские) отложения

Промышленная нефтегазоносность среднемиоценовых отложений Предгорного Дагестана в основном связана с чокракским горизонтом, сложенным чередованием многочисленных пластов кварцевых песчаников и алевролитов, обладающих высокими значениями пористости и проницаемости, с разделяющими их пачками глин. При разведке миоценовых структур (Избербаш, Махачкала и др.) уже на первом этапе геологоразведочных работ (40-50-е) годы, наряду с открытием пластовых сводовых залежей были выявлены структурно-литологические залежи, а затем и типично литологически - экранированная залежь на площади Тернаир. Современные перспективы нефтегазоносности среднемиоценовых отложений могут быть связаны с акваторией Каспия, где прогнозируется зона нефтегазонакопления, приуроченная к области майкоп-миоценовых дислокаций [16], а также разрозненные участки с аномальной записью.

Ловушки здесь могут быть связаны с крупными песчаными телами среднего миоцена караган-чокракского возраста. Прогнозируемая толщина песчаников может достигать 150 и более метров (пористость до 30%), а покрывки характеризуются хорошими и высокими экранирующими свойствами. На сейсмических профилях выделяются обширные аномальные зоны на уровне чокракских отложений. В пределах аномальной зоны отмечается прерывистая бугристая запись, что интерпретируется как проявление системы крупных песчаных тел (баров), заключенных в толще преимущественно глинистых отложений. Эти тела способны представлять собой крупные ловушки углеводородов, размер отдельных аномалий достигает 100 км². Глубина залегания ~ 2000 м.

Помимо литологических ловушек в отложениях чокрак-караганского горизонтов в пределах Центрально-Каспийского лицензионного участка прогнозируется новая зона нефтегазонакопления, связанная с тектоническими дислокациями майкоп-среднемиоценовых отложений. Размер данной зоны дислокаций в плане составляет около 20*40 км. Здесь сейсморазведкой установлена блоковая структура майкоп-среднемиоценовых отложений, разбитая многочисленными сбросовыми нарушениями. Нарушения сплошности пород северо-запад юго-восточного простирания со смещениями амплитудой до 150 м, фиксируются по сейсмическим данным в интервале от среднемиоценовых до верхнемайкопских отложений включительно. Нарушения, как правило, сбросового типа, обусловленные проявлением диапировой тектоники, являются бескорневыми и не прослеживаются глубже майкопской серии.

Аналогичная по строению, но меньшая по размерам, зона дислокаций, явилась одним из основных объектов геологоразведочных работ и добычи углеводородов в Краснодарском крае в последние десятилетия - Прибрежно-Морозовский район [5, 10]. Здесь выявлено порядка двадцати залежей лёгкой нефти и газоконденсата, приуроченных к литолого-тектоническим ловушкам УВ.

При общей положительной оценке перспективности поисков литологически-экранированных залежей нефти в среднемиоценовых отложениях Нараттюбинской, Салтабакской и Кизилбулакской зон, Каранайаульской, Акташ-Аксайской и других депрессий, а также на фрагментах (крыльях и периклиналях) отдельных структур, выделяются наиболее перспективные участки, заслуживающие освоения. К последним относится юго-восточная часть Нараттюбинской моноклинали, включающая площади Тернаир, Тарки, Димитровскую, Ачису. В южной части Предгорного Дагестана для освоения рекомендуется восточная часть Каранайаульской депрессии в пределах Избербашской антиклинали и северной периклинали Каякентской структуры.

Верхнемиоценовые и плиоценовые отложения

Перспективы нефтегазоносности плиоцен-верхнемиоценовой толщи в пределах Сулакской впадины в целом оцениваются положительно [4, 6, 8, 12, 13], однако на сегодняшний день выявленные сейморазведкой структуры в верхнеэоценовом комплексе должным образом не оценивались. Наибольший поисковый интерес могут представлять сарматские, мэотические отложения, в меньшей степени перспективны континентальные отложения. На основании изучения материалов промыслово-геофизических исследований параметрических и поисковых скважин, пробуренных на территории Терско-Сулакской низменности, проведена корреляция и стратификация плиоценовых отложений, а также изучена их региональная структура. Изучены литофациальные особенности отдельных стратиграфических подразделений плиоцена (пontiческого яруса, континентальной толщи, ачкагыльского и апшеронских ярусов), а также развитие благоприятных коллекторов. Выявлены признаки тектонической нарушенности и нефтегазоносности плиоценовых отложений. Проведен сравнительный анализ геологического строения и нефтегазоносности плиоценовых отложений Дагестана с их аналогами по смежным регионам Азербайджана, Чечни, а также Краснодарского края, где установлена их промышленная нефтегазоносность. На основании обобщения литературных и фондовых материалов и с учетом совокупности геологических критериев дана оценка перспектив нефтегазоносности плиоценовых отложений. К числу перспективных земель относятся Терско-Сулакская низменность, соответствующая наиболее погруженной части Терско-Каспийского передового прогиба, а также прилегающая южная часть эпигерцинской платформы. К перспективной территории относится и прилегающая акватория Каспийского моря. Основные перспективы связываются с континентальной толщей (аналогами продуктивной толщи Азербайджана) и ачкагыльским ярусом в зоне развития благоприятных коллекторов, перекрытых нижеапшеронской глинистой толщей, играющей роль региональной покрывки. Прогнозируются преимущественно газовые залежи, приуроченные к малоамплитудным структурам, зонам литолого-стратиграфического выклинивания, зонам тектонических нарушений, а также к палеоруслу рек: Палеотерека и Палеосулака. В качестве первоочередных для постановки детализационных сейсмических исследований рекомендуются площади Шамхалянгиюрт, Аксай, Бабаюрт, Притеречная.

Учитывая разведанность всех структур на суше, пластовые сводовые залежи могут быть выявлены только в акватории Каспийского моря, где прогнозируются антиклинальные поднятия (включая открытое месторождение Инчхе-море). На суше же перспективы нефтегазоносности следует связывать только с поисками нетрадиционных (литологически и тектонически экранированных) залежей, где имеется значительный резерв поисков неглубокозалегающих залежей нефти как на территории суши, так и в смежной акватории Каспийского моря.

Авторы считают, что на смену многолетних геологических дискуссий о перспективах палеоген-неогеновых отложений пора перейти к целенаправленным поисково-разведочным работам на основе разработки и внедрения новых методов и технологий поиска, разведки и разработки. Геологоразведочные работы на олигоцен-нижнемиоценовые отложения должны определяться в самостоятельное направление. При их осуществлении может быть достигнута высокая геолого-экономическая эффективность на малых глубинах предполагаемых залежей и наличии ранее созданной инфраструктуры. Этому будет способствовать и накопленная геолого-сейсмическая информация, а также восстановление ликвидированного фонда ранее пробуренных на мезозойские отложения скважин, которые могут быть использованы для «возврата вверх» не только в Дагестане, но и во всем Восточном Предкавказье.

Литература

1. Агамов В.А., Мирзоев Д.А., Шарафутдинов Ф.Г., Шарафутдинов В.Ф. Нетрадиционные коллекторы и ловушки майкопских отложений Восточного Предкавказья – перспективный объект поиска нефти и газа. – «Геология нефти и газа», 2002, №3, с. 15-21.

2. Белоусов О.Н, Лохматова В.А., Багатаев Р.М., Шапиев Д.Ш., Шарафутдинов Ф.Г., Шарафутдинов В.Ф. Новые данные о региональной структуре Дагестанского клина и перспективы его нефтегазоносности. В кн.: Новые идеи в геологии и геохимии нефти и газа: Матер. 5-ой международной конференции. М., 2001, с. 45-47 (МГУ).
3. Галин В.Л., Гасангусейнов Г.Г., Шарафутдинов Ф.Г. Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности площади Инчхе-море в Дагестане. – «Нефтегазовая геология и геофизика», 1971, № 2.
4. Галина А.А. Анализ критериев нефтегазоносности плиоценовых отложений Дагестана. Диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук, 1977.
5. Губарев М.В. Секвенс-сейсмостратиграфическая модель чокракских отложений Западно-Кубанского прогиба в связи с их нефтегазоносностью. Автореферат. Краснодар, 2006. С. 26.
6. Даштиев З.К., Гусейнов Н.М., Бариева Д.И. Основные направления геологоразведочных работ на нефть и газ на малых глубинах в плиоценовых отложениях восточной части Предкавказья Сборник научных статей - Выпуск № 58 - Региональная геология и нефтегазоносность Кавказа Махачкала 2012.
7. Кунин Н.Я., Косова С.С., Блохин Г.Ю. Прогнозирование неантиклинальных ловушек нефти и газа на основе сейсмостратиграфического анализа (на примере Восточного Предкавказья). – В сб.: Обзорная информ. Сер. Геол. геоф. и разнефт. мест. М., «ВНИИОЭНГ», 1989.
8. Мирзоев Д.А., Шарафутдинов Ф.Г. Геология месторождений нефти и газа Дагестана. Махачкала, 1986.-312 с.
9. Милашин В.А., Трофимов В.Л. и др. Оценка перспектив нефтегазоносности чокрак-караганских отложений на участке Южно-Дагестанского шельфа методами ВРС-ГЕО и ДФМ. Технологии сейсморазведки 2009 №2 с. 82-98.
10. Мятчин К.М. Условия формирования песчаных тел в чокракских отложениях северного борта Западно-Кубанского прогиба и их нефтегазоносность. Автореферат. Москва, 2006.
11. Пирбудагов В.М., Дейнега Н.Г., Пирбудагова О.В., Шульгина Т.А. Естественные нефтепроявления в майкопских и чокракских отложениях Дагестана. – В сб.: Тр. ИГ Даг ФАН СССР. Махачкала, 1979, с. 22-29.
12. Сабанаев К.А. Перспективы выявления нетрадиционных ловушек нефти и газа в мезозойско-кайнозойском комплексе Российского сектора акватории Каспийского моря. – В сб.: Материалы Международ. науч.-практ. конф.: Актуальные проблемы нефтегазовой геологии. СПб., ВНИГРИ, 2007, с. 136–145.
13. Сабанаев К.А., Черкашин В.И. Геологическое строение и нефтегазоносность осадочного комплекса российского сектора Каспийского моря //Труды, Института геологии ДНЦ РАН.-Вып 53.- 208 с.
14. Шапиев Д.Ш., Зангиев Ш.Д. Ловушки нефти и газа неантиклинального типа в чокракских отложениях Предгорного Дагестана. Тезисы доклада к научно-технической конференции 21-25 апреля 1997 г. по проблеме «Малоизученные нефтегазоносные комплексы Европейской части России», 1997.
15. Шарафутдинов В.Ф. Перспективы нефтегазоносности олигостромовых образований олигоцен-Терско-Каспийского прогиба. – В сб.: Изв. СКНЦВШ. Ест.науки. 1989, № 2, с. 16-23.
16. Шарафутдинов В.Ф., Калабин В.В. Перспективы обнаружения тектонически экранированных залежей в среднемиоценовых отложениях Дагестанского шельфа Каспия. Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа (ГЕОКАВКАЗ 2021). Том XI, 2021г.
17. Шарафутдинов В.Ф., Шарафутдинов Ф.Г., Магомедов А.Х. Геология и перспективы нефтегазоносности олигоцен-нижнемиоценовых отложений Дагестана. Махачкала, «Даг. кн. изд-во», 1999, 244 с.

Шарафутдинов Вадим Фоатович – начальник отдела литолого-фациальных исследований и седиментационного моделирования, ГО ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» г. Москва, д-р геол.-минерал. наук (Vadim.Sharafutdinov@lukoil.com)

Sharafutdinov Vadim Foatovich – Head of the Department of Lithological and Facies Studies and Sedimentation Modeling, LLC «LUKOIL-Engineering», Moscow, Grand PhD in Geology and Mineralogy (Vadim.Sharafutdinov@lukoil.com)

Соколов Денис Валерьевич – геолог 1-ой категории отдела литолого-фациальных исследований и седиментационного моделирования, ГО ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» г. Москва (Denis.Sokolov@lukoil.com)

Sokolov Denis Valerevich – Category 1 petroleum geologist of the Department of Lithological and Facies Studies and Sedimentation Modeling, LLC «LUKOIL-Engineering», Moscow (Denis.Sokolov@lukoil.com)

УДК 553.9

DOI: 10.33580/2541-9684-2022-91-4-17-23

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ ЗАПАДНОЙ АНТИКЛИНАЛЬНОЙ ЗОНЫ ПРЕДГОРНОГО ДАГЕСТАНА

*Меликов М.М., Гаджиева Т.Р.
Институт геологии ДФИЦ РАН*

*Посвящается памяти
выдающегося ученого-нефтяника
Димира Абдуллаевича Мирзоева
и 90-летию со дня рождения*

В статье рассматриваются месторождения Селли и Гаши, в которых выявлены два газонефтяных месторождения еще 50-х г.г. прошлого столетия. Авторами рекомендуются провести ревизионные работы, в частности, геолого-геофизические не только в верхнемеловых отложениях но и в юрских с целью выявления остаточных ресурсов, поскольку в некоторых месторождениях Чечни и Дагестана наблюдалось восстановление залежей через 25-30 лет эксплуатации. Рекомендуется проведение реабилитационных работ, нагнетать в пласты углекислый газ с целью увеличения нефтеотдачи, а также вовлечения углерода в геохимический круговорот для возобновления их ресурсов согласно биосферной концепции нефтегазообразования.

Ключевые слова: брахиантиклиналь, поднадвиговая зона залежь, ловушка, модель, структура, концепция, биосфера нефтеотдача, ресурс, реабилитация, геохимический круговорот

PROBLEMS AND PROSPECTS OF HYDROCARBON DEPOSITS IN THE WESTERN ANTICLINAL ZONE OF PEDIGOR DAGESTAN

*Melikov M.M., Gadzhieva T.R.
Institute of Geology, Far Eastern Federal Research Center, Russian Academy of Sciences*

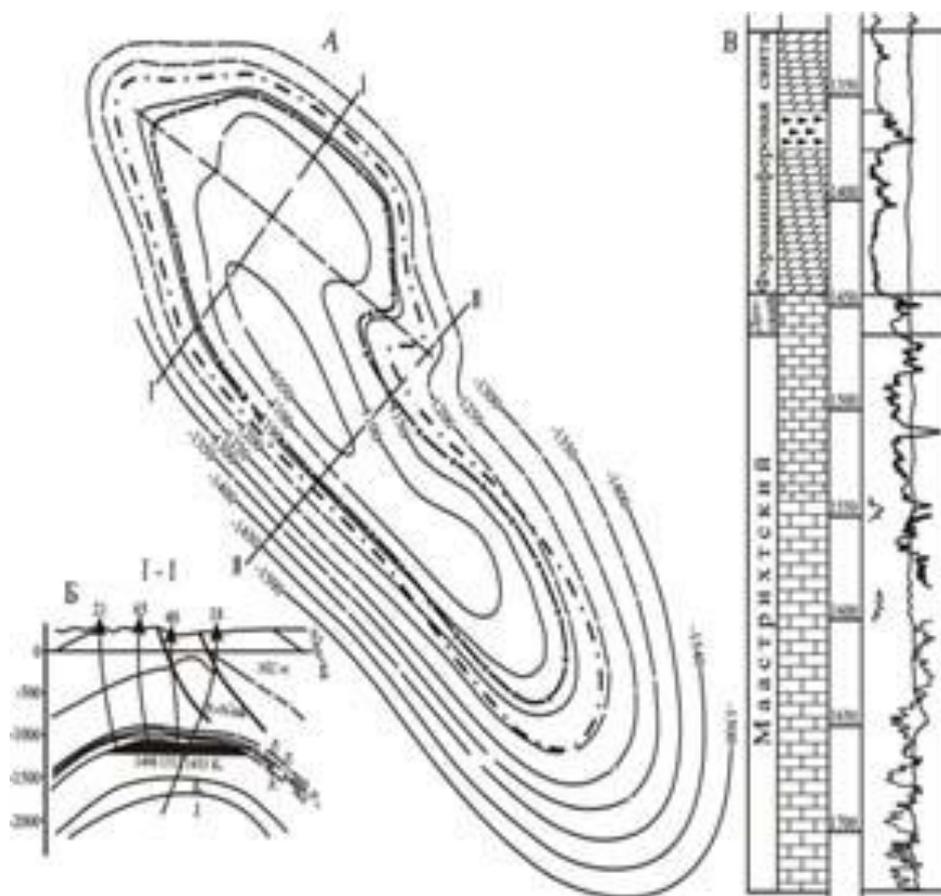
The article deals with the Selly and Gash fields, in which two oil and gas fields were discovered back in the 1950s. The authors recommend that revision work be carried out, in particular, geological and geophysical not only in the Upper Cretaceous but also in the Jurassic in order to identify residual resources, since in some fields of Chechnya and Dagestan, recovery of deposits was observed after 25-30 years of operation. It is recommended to carry out rehabilitation work, to inject carbon dioxide into the reservoirs in order to increase oil recovery, as well as to involve carbon in the geochemical cycle to renew their resources in accordance with the biospheric concept of oil and gas formation.

Keywords: brachianticline, underthrust zone deposit, trap, model, structure, concept, oil recovery, resource, rehabilitation, geochemical circulation

Дагестан является одним из старейших нефтегазодобывающих районов Восточного Предкавказья, практически, все месторождения находятся на последней стадии разработки и большей частью они обводнены, особенно, месторождения Прикумской зоны поднятий [9]. Предгорный Дагестан – не исключение (рис. 1).

В Предгорном Дагестане продуктивными являются верхнемеловые трещиноватые известняки и среднемиоценовые песчаники. Практически, все залежи заключены в классических (антиклинальных) ловушках. В настоящее время фонд неразбуренных антиклиналей практически исчерпан. В этой связи интересы нефтяной отрасли Дагестана требуют выявления новых перспективных объектов [11]. Такую возможность дают новые представления о строении этого региона, заключающиеся в признании существования системы погребенных, и покровно-надвиговых пластин, сложенных мезозойско-эоценовыми отложениями, на что акцентировали внимание и Дагестанские геологи в начале 2000-х (В.И. Черкашин, К.А. Сабанаев, Л.В. Шалбузова, 2013, и др.).

Промышленно-газонефтеносными в изученном разрезе являются фораминиферовые (кумский горизонт) и дат-маастрихтские отложения верхнего мела, представленные карбонатными породами (рис.2-3, В). Газонефтяная залежь, приуроченная к известнякам верхнего мела, является массивной водоплавающей. Размеры залежи в пределах установленного контура: по простиранию складки – 6400м, вкрест простирания – 2200м, высота залежи – 230м, причем газонасыщенной части максимум – 170м., а нефтенасыщенной – не более 100м. Эффективная мощность продуктивного горизонта определена с учетом процентного содержания нефтенасыщенных прослоев и составляет 55% от общей мощности (450-500 м)[13].

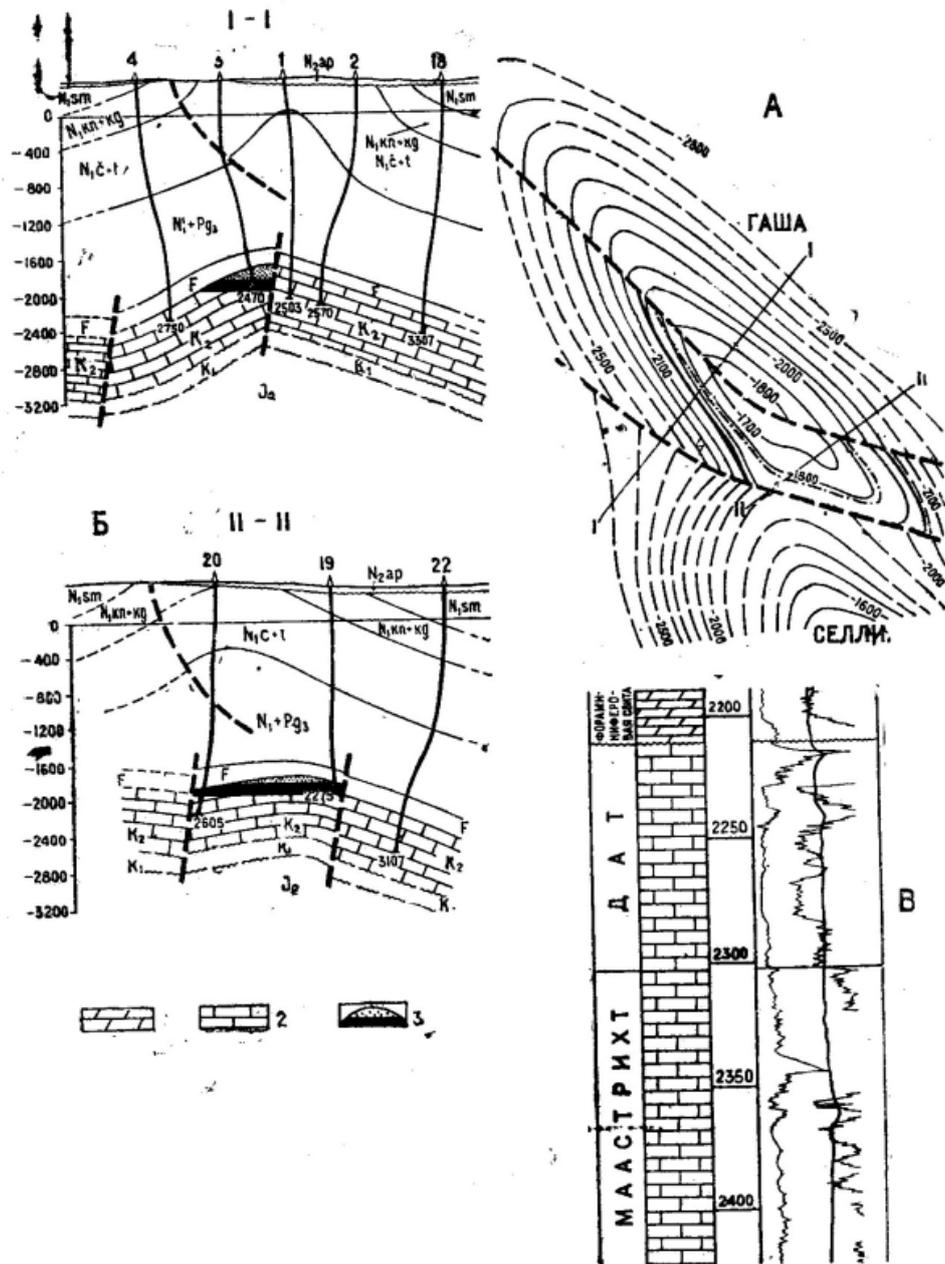


А– структурная карта по кровле верхнемеловых отложений; Б – профильный геологический разрез по линии I–I; В – геолого-геофизический разрез продуктивной части верхнемеловых отложений и фораминиферовой свиты (по В.Л. Галину) [3].

Рис.2. Двумерная геологическая модель месторождения Селли [3,13].

Одновременно с разведкой верхнемеловой залежи на Селлинском месторождении с целью поисков залежей в нижнемеловых юрских отложениях были получены отрицательные результаты в скважинах и буровые работы были прекращены в 1960г. К оценке нефтегазоносности среднеюрских отложений нефтяники вернулись в 1979 г., когда в своде структуры была заложена поисковая скважина проектной глубины 4400м с расчетом вскрытия песчано-алевролитовых пород. Эта скважина, пробуренная в 1981г., вскрыла среднеюрские отложения в интервале 1947-1406м, при опробовании которых отмечены при токиминерализованной воды с газом [3,13]. На наш взгляд, вполне возможно, что в юрских отложениях имеется залежь газа, а возможно, мигрировал в верхнемеловые отложения, А как же объяснить тот факт, что, как ранее нами отмечалось, что месторождения Чечни (Старогрозненское – конец XIX в., Карабулак-Ачалуки –XX в, 1956г) и Дагестана (Селли, Ачи-Су – газ, Гаша – нефть и др). наблюдалось

восстановление залежей, примерно через 25-30 лет после эксплуатации. В некоторых скважинах Ачи-Су, пробуренных в 80-90-х г.г., наблюдались восстановления до начальных пластовых давлений, несмотря на то, что несколько скважин до сих пор находятся в эксплуатации [10].



А – структурная карта по кровле верхнемеловых отложений; Б – профильный геологический разрез по линии I-I; В – геолого-геофизический разрез продуктивной части верхнего мела, 3 – нефтегазовая залежь. (по В.Л. Галину).

Рис.3. Двумерная геологическая модель месторождения Га́ша [3].

В процессе геологоразведочных работ большое значение имеют геолого-геофизические материалы, их анализ и соответствующий научный прогноз. В качестве примера прогнозно-геологических просчетов можно упомянуть попытки открытия «гигантского» месторождения Му́крук на шельфе Аляски недалеко от месторождения Пра́дхо-Бей. Разведочная скважина стоимостью 1 млрд долларов была пробурена в 1983 г. Но на глубине 2438 м в предполагаемом продуктивном пласте оказалась только соленая вода. «Мы правильно выбрали место для бурения, – сказал Ричард Брей, президент дочерней компании BritishPetroleum. – Просто мы опоз-

дали на 30 миллионов лет» [6]. Это происходило в конце XX века. Естественно, были использованы все прогностические методы и технологии крупнейшей нефтяной компании – British Petroleum.

Многие геофизические методы, безусловно, требуют совершенствования. Один из ведущих геофизиков ИНГГ (Новосибирск) В.С. Могилатов заметил: «Любая геофизическая интерпретация не на 100% достоверна. Она всегда делается с какой-то ошибкой» [5]. В связи с этим нами предлагается возобновить по всей площади и всему разрезу исследования на этом месторождении с целью поиска новых залежей, а также, с учетом истечения времени возможной реабилитации залежи, и месторождения, поскольку среди геологов-нефтяников бытует мнения, что залежам необходимо давать время на восстановление, т.е. на реабилитацию.

На необходимость применения реабилитационных циклов для восстановления энергетического потенциала систем указывает профессор Н.П. Запивалов (2002, 2015). Он указывает на то, что следует учитывать, что реабилитационный цикл – это не просто отдых, остановка системы. Должны быть предусмотрены методы и технологии активной реабилитации (как в медицине). Чтобы достичь эффективного и быстрого результата – восполнения активных запасов хотя бы в призабойной зоне и увеличения продуктивности скважины, нужны принципиально новые методы и технологии [8,2].

Особое внимание следует уделить проблеме восполняемости запасов углеводородов на разрабатываемых и законсервированных месторождениях [5].

Надо беречь и пополнять углеводородные ресурсы, т.к. они необходимы человечеству на далекую перспективу. Масштаб использования альтернативных энергетических источников (включая геотермальные) необходимо увеличивать с тем, чтобы на них приходилась основная доля энергетики [5].

В настоящее время, просто Американцы и наши соседи-недружественные страны этой зимой почувствуют, что значит объявить санкции на традиционные энергоносители против России, «выпустят пар» и обратятся к нам с просьбой о помощи на поставки энергоресурсов. Сторонники зеленой энергетики Греты Тумберг тоже успокоятся. Так что, по крайней мере, в нашем столетии, традиционные УВ будут весьма актуальны. В связи с этим необходимо беречь и восполнять ресурсы УВ [5].

По результатам анализа и обработки большого массива опубликованных и рукописных материалов по геолого-геофизической информации и материалов разработки, нами проведена типизация месторождений Дагестана, в результате которых выявлены ряд месторождений с доказанной их нефтегазоносностью, требующих дополнительных геолого-геофизических работ (табл.1), в частности, проведению высокочастотной сейсмики для однопластовых месторождений и залежей, поскольку применение в многопластовых, как показала практика, она не эффективна [8].

Ранее нами выше было указано на то, что месторождения Чечни (Старогрозненское – конец XIX в., Карабулак-Ачалуки – XX в, 1956г) и Дагестана (Селли, Ачи-Су – газ, Гаша – нефть и др.) наблюдалось восстановление залежей, примерно через 25-30 лет после эксплуатации. В некоторых скважинах Ачи-Су, пробуренных в 80-90-х г.г., наблюдались восстановления до начальных пластовых давлений, несмотря на то, что несколько скважин до сих пор находятся в эксплуатации. В этом же месторождении (скважина №124) даже после окончания срока эксплуатации до сих пор наблюдаются периодические проявления газа (выброс через клапанное устройство). Кроме того, с давних времен в Предгорном Дагестане известны многочисленные факты нефтегазопроявления на дневную поверхность, продолжающиеся и по настоящее время. Такие проявления известны в районе Дылыма, Миатлы, Талги, Уй-Таш, в пределах Нарат-Тюбинского хребта. А в Равнинном Дагестане – неглубокие артезианские скважины с газопроявлениями [10].

Современный этап поисково-оценочных работ на УВ на территории Дагестана осложнен многими объективными причинами, которые связаны, в частности, с необходимостью освоения больших глубин, сложно-построенных структурно-тектонических ловушек осадочного чехла и УВ-х скоплений, находящихся в сложных термобарических условиях [9].

Для решения этих проблем необходимо применение самой совершенной аппаратуры, широкой комплексности проводимых исследований и системного подхода в анализе и обобщении обширного фактического материала с использованием всех имеющихся данных по сейсморазведке и бурению.

Однако, Согласно А.А. Баренбаум, критерий системности носит многовариантный характер, отвечающий критерию системности в наиболее полной мере. Давно известно, что существуют два принципиально разных методологических приема решения естественнонаучных задач: 1) на основе предположений и 2) путем утверждений. Каждый исследователь, отдает он себе в том отчет или нет, пользуется ими обоими [5].

Первый – это выдвижение гипотез и построение моделей. Гипотезой (моделью мы называем некое предположение с отсутствующей или нечетко заданной областью некое предположение, т.е. совокупностью условий и ограничений, при которых гипотеза применима причем с рядом допущений и небольших погрешностей подхода заключается в том, что при объяснении некоего или процесса создают его теоретическую модель, а теоретическая модель строится на обширном комплексе материалов, т.к. требуется большой объем геолого-геофизической информации с целью математизации геологического объекта. Мы обычно ограничиваемся примитивными статическими одно- двумерными моделями (рис.2-3). Данные модели построены в прошлом столетии [4] на основе сейсмике и бурения скважин. Последовательно усложняя и совершенствуя модель, добиваются улучшения сходимости теории и наблюдений. При этом критерием правильности гипотезы выступает ее предсказательная сила – чем проще и точнее модель объясняет факты, тем больше шансов у нее на существование и в итоге оказаться верной [2].

За время существования нефтегазогеологической науки сменилось много гипотез и парадигм [5].

В нефтегазовой геологии, учитывая проблемы истощения ресурсов УВ Дагестана, как в Равнинной части, так и Предгорной, следует учитывать новые парадигмы, в частности парадигму А.А. Трофимука, который утверждал: «Нижняя граница зоны нефтеобразования должна быть понижена до глубины 8000-10000 м. Бурением глубоких скважин доказано, что на этих глубинах нефтеобразование происходит не только в условиях мезокатагенеза, но и в условиях апокатагенеза. Расширение границ зон нефтеобразования сопровождается существенным ростом прогнозной оценки ресурсов углеводородного сырья» [12, с. 333].

Но, однако, в условиях Предгорного Дагестана парадигма А.А. Трофимука не может иметь место до указанных им глубин, но глубины необходимо сократить и довести до 4500-5000 м, как указывалось выше т.к. в рассматриваемом месторождении на этих глубинах отмечались газопроявления с минерализованной водой, что косвенно указывает на наличие УВ. Понижение глубин поисков следует применять в Равнинном Дагестане, где перспективными являются глубокие горизонты, в частности, пермо-триасовые отложения.

Краткий анализ разработки двух месторождений и проведенные работы по ним показали, что в начальный период разведки господствующим было профильное размещение скважин. В последующие годы (1953-1960гг.) строгой системы в размещении скважин разведочных и эксплуатационных не было. На наш взгляд, необходимо было и поперечное размещение скважин, т.к. при смешанной направленности трещин в коллекторах необходимо было и этот фактор учитывать. Как было указано выше, через 25-30 лет эксплуатации наблюдались восстановления месторождений.

Проведенный анализ материалов указывает на, что в Предгорном Дагестане необходимо провести, так называемые «ревизионные» работы по проведению дополнительных геолого-геофизических исследований с целью выявления остаточных или «восполненных запасов» УВ.

Учитывая вышеизложенное, необходимо провести работы по восстановлению законсервированных скважин, в частности, нагнетать углекислый газ с целью увеличения нефтеотдачи, а также вовлечения углерода в геохимический круговорот для последующего восполнения их ресурсов согласно биосферной концепции нефтегазообразования А.А. Баренбаума [1-2] .

Таким образом, необходимо провести дополнительные геолого-геофизические работы в этих двух «месторождениях-близнецах» – Селли-Гаша, с применением высокоточной сейсмоки, в т.ч. и в юрских отложениях, а также наблюдать за восполнением ресурсов УВ.

Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания ИГ ДФИЦ РАН по теме НИРРег. номер НИОКТР1021060808457-2-1.5.6.

Литература

1. Баренбаум А.А. Научная революция в проблеме происхождения нефти и газа. Новая нефтегазовая парадигма. Ж-л Георесурсы, №4 (59), 2014, с. 9-15.
2. Баренбаум А.А. Биосферная концепция нефтегазообразования: решение проблемы происхождения нефти и газа на основе системного подхода. Электронный научный журнал, «Георесурсы. Геоэнергетика. Геополитика» // Материалы IV Всероссийской конференции, «Системный подход в геологии (теоретические и прикладные аспекты)», февраль-март 2010 г.
3. Буторин Г.Д., Галин В.Д. и др. Закономерности размещения и условия формирования залежей нефти и газа Предкавказья. Т.IV. Дагестанская АССР, М. Недра, 1980, С. 68-86.
4. Запивалов Н.П. Реабилитационные циклы – основа восполнения активных запасов на разрабатываемых месторождениях // Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды, нефть и газ: Материалы Междунар. конф. пам. ак. П.Н. Кропоткина, 20-24 мая 2002 года, г. Москва. – М.: ГЕОС, 2002. – С. 330-332.
5. Запивалов Н.П. фундаментальные основы нефтегазовой геологии. современные аспекты. neftegaz. ru. Вып. № 7 (103). 2020.
6. Запивалов Н.П.. Реабилитационные циклы – основа активного долголетия и высокой конечной нефтеотдачи нефтенасыщенных систем //Сборник трудов Международной научно-практической конференции «Новые идеи в геологии нефти и газа». – Москва: МГУ, 2015. – с. 85-87.
7. Интернет-ресурс «Все о нефти» <https://vseonefti.ru/upstream /Mukluk-story.html>
8. Меликов М.М. К вопросу типизации месторождений и залежей углеводородов мезозойских отложений Дагестана. Геология и ресурсы Кавказа //Тр. ИГ ДНЦ РАН, Махачкала, 2020. Вып. № 2 (80). С. 8-16.
9. Меликов М.М. К вопросу увеличения нефтеотдачи пластов разрабатываемых месторождений Дагестана на основе современных методов и технологий добычи углеводородов. Геология и ресурсы Кавказа //Тр. ИГ ДНЦ РАН, Махачкала, 2020. Вып. № 1 (80). С. 15-26.
10. Меликов М.М. К вопросу возобновляемости углеводородов с позиции концепций полигенеза их образования // Тр. ИПГ ДНЦ РАН, Махачкала, 2020. Вып. № 2 (80). С. 8-16.
11. Соборнов К.О. Поднадвиговые зоны нефтегазоаккумуляции – новый объект поисков нефти и газа в Предгорном Дагестане //Геология нефти и газа, 1988, №2, с. 8-12.
12. Трофимук А.А.. Сорок лет борьбы за развитие нефтегазодобывающей промышленности Сибири. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 1997.
13. Шарафутдинов Ф.Г., Мирзоев Д.А., Алиев Р.М. и др. Геология нефтегазовых месторождений Дагестана и прилегающей акватория Каспийского моря. Махачкала, 2001, 297 с.

УДК 553.9

DOI: 10.33580/2541-9684-2022-91-4-24-31

ОБЗОР ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ
ИЗМЕРЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ДИФфуЗИИ МЕТАНА УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ*Гайдаров Б.А.**Институт геологии ДФИЦ РАН**e-mail: batir.gaidarov@gmail.com*

Значительная часть месторождений угля, является так же источником большого количества метана угольных пластов (МУП). Этот метан генерируется в процессе образования угля и задерживается на поверхности угля в крошечных порах и трещинах. Многие угольные пласты также содержат большое количество воды; давление этой воды удерживает метан в теле угля. Добыча метана угольных пластов инициируется путем откачки воды, что снижает давление, позволяя газу отрываться от поверхности угля и переходить в скважину. Скорость перехода молекул метана из тела угля в трещины регулируется показателем диффузионности угля. Основные методы измерения коэффициента диффузии включают в себя метод частиц, метод индикаторов, метод рентгеновской микрокомпьютерной томографии (микро-КТ) и метод встречной диффузии

Ключевые слова: метан угольных пластов, угольный газ; коэффициент объемной диффузии; коэффициент локальной диффузии; метод контрдиффузии; рентгеновская компьютерная микротомография

REVIEW OF THE KEY CHARACTERISTICS OF EXPERIMENTAL METHODS FOR COALBED
METHANE DIFFUSION COEFFICIENT MEASUREMENT*Gaidarov B.A.**Institute of Geology, Far Eastern Federal Research Center, Russian Academy of Sciences**e-mail: batir.gaidarov@gmail.com*

Most of the coal reservoirs have methane, which is trapped in cleats of coal itself. This methane was formed in the process of coal generation and was trapped in the micropores. Coal reservoirs also contain high amount of water trapped, which is what is keeping the pressure high and does not allow methane to transport away from the coal matrix. Coalbed Methane is produced by first producing in situ water in order to decrease pressure and allow methane molecules to dissolve from the coal's matrix and move towards the wellbore. Main experimental ways of measuring diffusivity are particle method, tracer method, X-ray micro-computed tomography (micro-CT) method, and counter-diffusion method.

Keywords: coalbed methane; local diffusion coefficient; bulk diffusion coefficient; counter-diffusion method; X-ray micro-computed tomography.

Газ угольных пластов, также известный как метан угольных пластов, является важным ресурсом природного газа из-за его изобилия в природе и высокой плотности энергии. В процессе добычи газ десорбируется из угольной матрицы из-за снижения давления. Затем он диффундирует преимущественно в микропоры угольной матрицы по направлению к угольным трещинам, а затем мигрирует в ствол скважины. Таким образом, коэффициент диффузии играет важную роль в процессе добычи газа, и этот процесс необходимо охарактеризовать детально. Однако экспериментальные измерения диффузии газа обычно основаны на частицах угля, а не на объемных образцах угля, и, таким образом, влиянием трещин угля обычно пренебрегают. Это исследование направлено на изучение коэффициентов диффузии трещиноватых и плотных образцов угля, с целью получения представления о диффузии газа в различных порах и трещиноватых структурах.

Коэффициенты диффузии сыпучих образцов угля обычно измеряются в процессе диффузии на различных временных промежутках и давлении. Результаты показывают, что объемный коэффициент диффузии изменяется в зависимости от всестороннего давления и давления газа, что демонстрирует влияние внутренней структуры пор/трещин угля на коэффициент диффузии

зии. Результаты зависимости коэффициента диффузии от времени показывают, что коэффициенты диффузии становятся постоянными через 24 часа в пределах от 1×10^{-10} м²/с до 2×10^{-10} м²/с. Вариации коэффициентов локальной диффузии указывали на неоднородность угля, тем самым подтверждая важность измерений как локальной, так и объемной диффузии при характеристике угля.

Основные свойства метана угольных пластов

Метан угольных пластов (МУП) представляет собой нетрадиционный природный газ, добываемый из угля (Namawandetal., 2013). МУП стал важным источником энергии благодаря низким выбросам двуокиси углерода и высокой плотности энергии по сравнению с традиционными энергоресурсами, такими как уголь и нефть (Gamsonetal., 1993). В отличие от обычных газовых коллекторов, метан в углях в основном адсорбируется на поверхности угольной матрицы, что может составлять до 95% общего содержания газа (Gamsonetal., 1993; Caietal., 2014; Liuetal. др., 2020).

Соблюдение норм безопасности при добыче угля является главным приоритетом добывающих компаний. При добыче полезных ископаемых выбрасываются несколько типов газов, в том числе метан (СН₄), сероводород (Н₂С), окись углерода (СО), двуокись углерода (СО₂), двуокись серы (SO₂) и двуокись азота (N₂). Некоторые из выбрасываемых газов являются токсичными и легковоспламеняющимися, и если их не нейтрализовать надлежащим образом, это может привести к катастрофическим и фатальным последствиям, таким как взрыв (Kisselletal., 2006). Существует несколько влияющих факторов, вызывающих взрывы при добыче угля. К ним относятся диффузия газа, кинетические ограничения, скорость добычи, структура угля, глубина залегания, режим работы и скорость десорбции / адсорбции газа (Zhangetal., 2007; SalehandCummings, 2011; Zhaietal., 2016). Важным влияющим фактором является коэффициент диффузии газа, который может характеризовать расширение газа в угле, тем самым повышая вероятность и силу взрыва (Sobczyk, J., 2011; Jingetal., 2018).

Уголь имеет сложную многомасштабную внутреннюю структуру, включающую поры угольной матрицы с распределением пор по размерам и неоднородными трещинами. Трещины являются основными путями потока жидкости, а микропоры в угольной матрице обеспечивают емкость для хранения газа (Luetal., 2019). Моделирование переноса газа обычно предполагает, что поток газа в угольной матрице определяется градиентом концентрации в соответствии с законом Фика, тогда как миграция газа в трещинах определяется градиентом давления в соответствии с законом Дарси (ClarksonandBustin, 1999; Jingetal., 2020). Таким образом, понимание коэффициентов переноса газа матрицы и трещин имеет ключевое значение для построения прогностических моделей.

Коэффициент диффузии

Коэффициент диффузии является ключевым транспортным коэффициентом, характеризующим механизмы транспорта газа в угольной матрице. В угле происходят три типа диффузии: (1) преобладает объемная диффузия, когда диаметр пор значительно больше, чем длина свободного пробега молекул газа, при этом преобладают взаимодействия между молекулами газа (HarpalaniandOuyang, 1999); (2) Кнудсеновская диффузия возникает при частых столкновениях молекул газа со стенками пор, происходящих в микропорах (HarpalaniandOuyang, 1999); (3) Поверхностная диффузия происходит, когда молекулы газа адсорбируются угольной матрицей и диффундируют на поверхность угля под действием градиента концентрации (King etal., 1986; ClarksonandBustin, 2011). Поверхностной диффузией обычно пренебрегают из-за ее ограниченной роли при разработке МУП (Pillalamarryetal., 2011; Dongetal., 2017). Таким образом, считается, что в зависимости от размера пор объемная диффузия и диффузия Кнудсена играют важную роль в прогнозировании переноса газа в коллекторах метана угольных пластов (Dongetal., 2017; Yueetal., 2017).

Обычно используемые лабораторные методы измерения коэффициента диффузии угля включают метод частиц, метод индикаторов, метод рентгеновской микрокомпьютерной томографии (микро-КТ) и метод встречной диффузии.

Метод частиц является наиболее распространенным методом в МУП и горнодобывающей промышленности из-за простоты экспериментальной установки и пробоподготовки. Образец угля измельчается, а затем сжимается для устранения трещин и макропор в угле, так что можно измерить только коэффициент диффузии микропор. Были проведены тесты на диффузию частиц путем насыщения образцов измельченного угля метаном в закрытой ячейке. Предполагалось, что адсорбционное равновесие устанавливается через 12 ч, что является точкой начала диффузии. Затем измеряли объем газа, выведенного из измерительного цилиндра за счет диффузии, который был соединен с ячейкой для образца. Однако из-за высокой неоднородности угля измельченные частицы не могут отражать первоначальную структуру угля, что дает результаты, которые не обязательно являются репрезентативными (Xu et al., 2015).

В методе индикатора используется растворенный индикатор, который обеспечивает возможность измерения диффузии угля МУП. В методе индикатора используются различные кислые растворы, такие как тритированная вода (НТО), ион натрия (Na^+) и йодид-ион (I^-), которые закачиваются в скважинный интервал. Концентрация растворенного вещества контролируется в соседнем интервале той же скважины. Затем регистрируется изменение концентрации во время циркуляции индикатора в скважине для расчета коэффициента диффузии.

Метод растворенных меток требует значительно больше времени (Leupin et al., 2017). Этот метод также измеряет диффузию на значительно большем масштабе длины, чем метод частиц, тем самым предоставляя принципиально новую информацию. Технология визуализации микро-КТ используется для измерения локальных коэффициентов диффузии в угле, что позволяет визуализировать внутреннюю трехмерную структуру в образцах угля, включая системы трещин угля, поверхности трещин, микроструктуры, распределение минералов и поведение вытеснения жидкости (Jing et al. др., 2016; Mostaghimi et al., 2017). Lu et al. (2020) насыщали образцы угля газообразным криптоном, который представляет собой адсорбционный газ с высоким коэффициентом рентгеновского излучения, для визуализации диффузии газа в угле при рентгеновском микро-КТ сканировании. Путем сопоставления значений серой шкалы микро-КТ с концентрациями газа криптона был рассчитан коэффициент диффузии с использованием закона Фика, Chang et al. (2017) исследовали объемные и локальные коэффициенты диффузии газа в сланцах по изображениям микро-КТ путем насыщения образца CH_2I_2 . Затем образцы непрерывно сканировали для наблюдения за процессом диффузии. Затем для расчета коэффициентов диффузии для каждого вокселя использовалась серия изображений томограммы с последовательностью во времени (Zhang et al., 2018).

Помимо вышеперечисленных методов, еще одним широко используемым методом является метод встречной диффузии. В этом эксперименте два газа (метан и гелий) вводятся с обеих сторон образца угля. Давление газа поддерживается постоянным, чтобы молекулы газа могли проходить через диффузию, управляемую концентрацией, без адвективного потока, управляемого давлением. Через определенное время концентрации газов измеряются с помощью газовой хроматографии с детектором по теплопроводности (Guilluy et al., 1992; Lu et al., 2020). При измеренных концентрациях газа и времени диффузии обычно предполагается, что закон Фика описывает процесс переноса газа (Mejlbro, 1996; Dong et al., 2020; Lu et al., 2020). Однако установление режима течения без адвективного течения является сложной задачей для метода встречной диффузии (Xu et al., 2015). Дополнительные проблемы возникают, когда используется адсорбирующий газ, поскольку давление газа трудно стабилизировать. Поглощающая природа газа также может изменить структуру пор, что приведет к зависящему от времени коэффициенту диффузии (Lu et al., 2020).

Факторы определяющие коэффициент диффузии

На коэффициент диффузии могут влиять различные факторы, включая всестороннее давление, тип газа, давление газа, содержание влаги, пористую структуру, температуру, тип угля и т. д. Dongetal. (2020) высказали мнение, что коэффициенты диффузии, полученные с помощью испытаний на противодиффузию, сначала уменьшаются, а затем увеличиваются с давлением метана. Более того, коэффициенты диффузии, измеренные методом частиц, были ниже, чем коэффициенты диффузии, полученные в эксперименте по встречной диффузии. Если в методе частиц используются более крупные частицы угля, кажущиеся коэффициенты диффузии ближе к коэффициентам диффузии, полученным методом встречной диффузии (Dongetal., 2017). Harpalani и Ouyang (1999) провели тесты на диффузию во время переходного течения с использованием метана и гелия. Установлено, что коэффициент диффузии метана не является постоянным параметром и зависит от давления газа и времени.

Основным фактором, влияющим на уменьшение коэффициентов диффузии при снижении давления газа, является уменьшение пористости угля (HarpalaniandOuyang, 1999; Mengand Li, 2016). Общий коэффициент диффузии представляет собой сумму газовой диффузии и поверхностной диффузии, которая увеличивает общий коэффициент диффузии с давлением (HarpalaniandOuyang, 1999;Dongetal., 2017). MengandLi (2016) провели эксперименты по встречной диффузии с использованием метана и азота для образцов угля разного сорта при различных давлениях всестороннего сжатия, давлении газа, температуре и содержании влаги, обнаружив, что повышение температуры и давления газа приводит к увеличению коэффициент диффузии. Между тем, увеличение всестороннего давления приведет к более низкому коэффициенту диффузии из-за сжатия пространства пор/трещин для диффузии газа, а это означает, что коэффициент диффузии будет варьироваться в зависимости от глубины залегающего угольного пласта. Что касается сорта угля, измеренный коэффициент диффузии сначала быстро падает, а затем увеличивается с увеличением степени метаморфизма угля, образуя U-образную кривую. Эту тенденцию также наблюдали Xuetal. (2015). Тенденция формы «U» возникает из-за того, что поровая структура угля различается в зависимости от марки угля. В низкосортном угле имеется много трещин в основной массе, что приводит к более высокому коэффициенту диффузии по сравнению с среднесортным углем (Ganetal., 1972). Увеличение коэффициента диффузии в высокосортных углях было вызвано развитием матричной поверхности с коэффициентом диффузии 10 -11 –10 -9 м² /с (Mengand Li, 2016). Содержание воды или влаги также снижает газодиффузию угля, покрывая площадь поверхности, что приводит к снижению способности угля адсорбировать газ (Seidle, 2011). Поскольку содержание влаги в высокосортном угле ниже, чем у угля (Chengetal., 2017), коэффициент диффузии высокосортного угля выше.

Резюме

Для увеличения точности математического моделирования добычи месторождений МУП необходимо проведение исследований, направленных на изучение диффузии газа в угле в различных масштабах. Усовершенствованный эксперимент встречной диффузии позволяет измерять зависящий от времени коэффициент диффузии объемных образцов угля, где измеренный коэффициент диффузии сочетает в себе влияние сорбции газа и внутренней пористой и трещинной структуры угля. Для детального изучения коэффициентов газовой диффузии углей на разных глубинах в тесте на противодиффузию необходимо варьировать эксплуатационные ресурсы, всестороннее давление, давление газа и время диффузии. Коэффициенты локальной диффузии необходимо проанализировать с использованием покадровой рентгеновской микро-КТ для изучения диффузии газа через микропоры угольной матрицы в микрометровом масштабе. Результаты облегчат определение характеристик резервуаров МУП для моделирования процесса извлечения газа и повышения безопасности горных работ при дегазации.

Таблица 1.

Коэффициенты диффузии, полученные в рамках исследований.

Автор	T(°C)	P(MPa)	Метод	Газ	Коэффициент диффузии(m ² /s)
Dong (2017)	30	<4	Контр-диффузии	CH ₄ , He	$41 \times 10^{-12} - 83 \times 10^{-12}$
Meng(2016)	20-40	<3.6	Контр-диффузии	CH ₄ , N ₂	$1 \times 10^{-10} - 8.35 \times 10^{-8}$
Chen(2017)	30	2	Частиц	CH ₄	$1.98 \times 10^{-6} - 4.626 \times 10^{-5}$
Wang (2016)	-	<9	Частиц	CH ₄	$9.18 \times 10^{-15} - 7.22 \times 10^{-12}$
Dong (2017)	30	<4	Частиц	CH ₄	$8 \times 10^{-12} - 41 \times 10^{-12}$
Pillalamarry(2011)	-	1-7	Частиц	CH ₄	$2 \times 10^{-14} - 43 \times 10^{-14}$
Naveen(2017)	-	1-7	Частиц	CH ₄	$2.2 \times 10^{-10} - 9.72 \times 10^{-10}$
Busch(2004)	32, 45	<14	Объемный	CH ₄	$10^{-11} - 10^{-9}$
Zj(2010)	26	<4	Баланс массы	CH ₄	Микропоры: $1.3 \times 10^{-7} - 2.4 \times 10^{-5}$ Макропоры: $1 \times 10^{-4} - 1.1 \times 10^{-3}$
Saghafi(2007)	27	<6	Дисковый	CH ₄	$1.2 \times 10^{-10} - 10.2 \times 10^{-10}$
Naveen(2017)	-	1-7	Частиц	CO ₂	$13.7 \times 10^{-10} - 73.4 \times 10^{-10}$
Busch(2004)	32, 45	<14	Объемный	CO ₂	$10^{-11} - 10^{-9}$
Zhang (2017)	40	<0.5	Частиц	CO ₂	$1 \times 10^{-9} - 1 \times 10^{-3}$
Zj(2010)	26	<4	Баланс массы	CO ₂	Микропоры: $2.5 \times 10^{-6} - 4.6 \times 10^{-5}$ Макропоры: $1.5 \times 10^{-4} - 1.1 \times 10^{-3}$
Wang (2017)	-	<4	Частиц	N ₂	$6 \times 10^{-12} - 1.4 \times 10^{-11}$

Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания ИГ ДФИЦ РАН по теме НИРРег. номер НИОКТР 1021060808457-2-1.5.6.

Литература

1. Баррер Р.М., 1974. Молекулярные сита. Природа 249, 783–783. <https://doi.org/10.1038/249783a0>
2. Блейк, Г.М., Живанович, М.А., Блэкбер, Р.М., Файн, Д.Р., Макьюэн, А.Дж., Акери, Д.М., 1988. Терапия стронцием-89: измерение поглощенной дозы метастазов в скелет. Журнал ядерной медицины 29, 549–557.
3. Брек В.Г., Холмс Ф.В., 1967. Экспериментальный подход к закону идеального газа. Дж. Хим. Образовательный 44, 293. <https://doi.org/10.1021/ed044p293>
4. Бастин, Р.М., Кларксон, К.Р., 1998. Геологический контроль емкости резервуаров для метана угольных пластов и содержания газа 24.
5. Цай Ю., Пан З., Лю Д., Чжэн Г., Тан С., Коннелл Л., Яо Ю., Чжоу Ю., 2014. Влияние давления и температуры на диффузию газа и потока для первичного и расширенного извлечения метана из угольных пластов. Энергия, разведка и эксплуатация 32, 601–620. <https://doi.org/10.1260/0144-5987.32.4.601>
6. Чен, М.-Ю., Ченг, Ю.-П., Чжоу, Х.-С., Ван, Л., Тянь, Ф.-К., Джин, К., 2017. Воздействие магматических интрузий на уголь Структура пор, десорбция и диффузия метана в угле, газообразование. Экологические и инженерные науки о Земле 23, 191–207. <https://doi.org/10.2113/gsegeosci.23.3.191>
7. Кларксон, Ч.Р., Бастин, М., 2011 г. Метан угольных пластов: текущие полевые методы оценки. SPE Reservoir Evaluation & Engineering 14, 60–75. <https://doi.org/10.2118/131791-PA>
8. Кларксон, Ч.Р., Бастин, Р.М., 1999а. Влияние пористой структуры и давления газа на транспортные свойства угля: лабораторно-моделированное исследование. 2. Моделирование скорости адсорбции. Топливо 78, 1345–1362. [https://doi.org/10.1016/S0016-2361\(99\)00056-3](https://doi.org/10.1016/S0016-2361(99)00056-3)
9. Кларксон, Ч.Р., Бастин, Р.М., 1999б. Влияние пористой структуры и давления газа на транспортные свойства угля: лабораторно-моделированное исследование. 2. Моделирование скорости адсорбции. Топливо 78, 1345–1362. [https://doi.org/10.1016/S0016-2361\(99\)00056-3](https://doi.org/10.1016/S0016-2361(99)00056-3)

10. Cui, X., Vustin, RM, Dipple, G., 2004. Селективный перенос CO₂, CH₄ и N₂ в углях: результаты моделирования экспериментальных данных по адсорбции газа. *Топливо* 83, 293–303. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2003.09.001>
11. Касслер, Э.Л., Касслер, Эдвард Лансинг, 1997. Диффузия: массоперенос в жидких системах. Издательство Кембриджского университета.
12. Донг Дж., Ченг Ю., Лю К., Чжан Х., Чжан К., Ху Б., 2017. Кажущиеся и истинные коэффициенты диффузии метана в угле и их взаимосвязь с десорбционной способностью метана. *Энергетическое топливо* 31, 2643–2651. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.6b03214>
13. Донг, Дж., Ченг, Ю., Пан, З., 2020. Сравнение переходной и псевдостационарной диффузии метана в угле и последствия для контроля метана в угольных пластах. *Журнал нефтяной науки и техники* 184, 106543. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2019.106543>
14. Флеминг, Дж. С., 1989. Методика использования изображений КТ для коррекции затухания и количественного определения в ОФЭКТ. *Сообщения по ядерной медицине* 10, 83–97.
15. Гамсон П.Д., БимишБ.Б., Джонсон Д.П., 1993. Микроструктура и микропроницаемость угля и их влияние на добычу природного газа. *Топливо* 72, 87–99. [https://doi.org/10.1016/0016-2361\(93\)90381-B](https://doi.org/10.1016/0016-2361(93)90381-B)
16. Ган, Х., Нанди, С.П., Уокер, П.Л., 1972. Природа пористости американских углей. *Топливо* 51, 272–277. [https://doi.org/10.1016/0016-2361\(72\)90003-8](https://doi.org/10.1016/0016-2361(72)90003-8)
17. Глазго, Луизиана, 2010. Транспортные явления: введение в дополнительные темы. ДжонУайлисыновья.
18. Guilluy, R., Billion-Rey, F., Pachiaudi, C., Normand, S., Riou, JP, Jumeau, EJ, Brazier, JL, 1992. Он-лайн очистка и изотопный анализ углерода-13 диоксида углерода в дыхании: оценка он-лайн газовой хроматографии-масс-спектрометрии соотношения изотопов. *AnalyticaChimicaActa* 259, 193–202. [https://doi.org/10.1016/0003-2670\(92\)85368-G](https://doi.org/10.1016/0003-2670(92)85368-G)
19. Хамаванд, И., Юсаф, Т., Хамаванд, С.Г., 2013. Газ угольных пластов и попутная вода: обзорный документ. *Обзоры возобновляемых и устойчивых источников энергии* 22, 550–560. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.02.030>
20. Харпалани, С., Оуян, С., 1999. Новый лабораторный метод оценки газодиффузионных характеристик угля. Симпозиум по шахтной вентиляции США.
21. ХаббертМ.К., Уиллис Д.Г., *Механика гидроразрыва пласта* 16.
22. Исмаил, А.Ф., Хулбе, К.С., Мацуура, Т., 2015. Материалы и конструкции газоразделительных мембран, в: Исмаил, А.Ф., ЧандраХулбе, К., Мацуура, Т. (ред.), *Газоразделительные мембраны: полимерные и неорганические*. Springer International Publishing, Cham, стр. 37–192. https://doi.org/10.1007/978-3-319-01095-3_3
23. Джин, К., Ченг, Ю., Рен, Т., Чжао, В., Ту, К., Донг, Дж., Ван, З., Ху, Б., 2018. Экспериментальное исследование механизма образования и транспорта выброса угольно-газового потока: роль десорбции газа на стадии развития выброса. *Международный журнал угольной геологии* 194, 45–58. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2018.05.012>
24. Цзин Ю., Раббани А., Армстронг Р.Т., Ван Дж., Мостагами П., 2020. Модель гибридной сети трещин и микропор для мультифизического течения газа в угле. *Топливо* 281, 118687. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118687>
25. Джера, В., Зигенхалс, К., Шпеер, К., 2008. Метод газовой хроматографии-масс-спектрометрии (ГХ-МС) для определения 16 приоритетных европейских полициклических ароматических углеводородов в копченых мясных продуктах и пищевых маслах. *Пищевые добавки и загрязнители: часть А* 25, 704–713. <https://doi.org/10.1080/02652030701697769>
26. Кинг, Г.Р., Эртекин, Т., Шверер, Ф.С., 1986. Численное моделирование переходного режима скважин дегазации угольных пластов. *Оценка формации SPE* 1, 165–183. <https://doi.org/10.2118/12258-PA>
27. Киссел, Ф.Н., *Справочник по контролю метана в горнодобывающей промышленности* 188.
28. ЛеупенО.Х., Ван Лун Л.Р., Гимми Т., Версин П., Солер Дж.М., 2017 г. Изучение процессов диффузии и сорбции в горной лаборатории Мон-Терри (Швейцария): уроки, извлеченные из 20-летних полевых исследований. *Swiss J Geosci* 110, 391–403. <https://doi.org/10.1007/s00015-016-0254-z>
29. Леви, Дж. Х., Дэй, С. Дж., Киллингли, Дж. С., 1997. Метановые емкости углей бассейна Боуэн в зависимости от свойств угля. *Топливо* 76, 813–819. [https://doi.org/10.1016/S0016-2361\(97\)00078-1](https://doi.org/10.1016/S0016-2361(97)00078-1)

30. Лю, С., Харпалани, С., 2014. Оценка изменений напряжения на месте при обеднении газом метановых резервуаров угольных пластов. Журнал геофизических исследований: Solid Earth 119, 6263–6276. <https://doi.org/10.1002/2014JB011228>
31. Лю, З., Ченг, Ю., Ван, Л., Панг, Б., Ли, В., Цзян, Дж., 2020. Экспериментальное исследование постоянного и зависящего от времени коэффициента динамической диффузии: влияние на метод закачки CO₂. Топливо 267, 117283. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117283>
32. Лу, Х., Армстронг, Р.Т., Мостагими, П., 2020а. Анализ коэффициента диффузии газа в угле с помощью микрокомпьютерной томографии. Топливо 261, 116384. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116384>
33. Лу, Х., Армстронг, Р.Т., Мостагими, П., 2020b. Анализ коэффициента диффузии газа в угле с помощью микрокомпьютерной томографии. Топливо 261, 116384. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116384>
34. Мейлбро, Л., 1996. Полное решение второго закона Фика о диффузии с зависящим от времени коэффициентом диффузии и поверхностной концентрацией. Полное решение второго закона Фика о диффузии с зависящим от времени коэффициентом диффузии и поверхностной концентрацией 127–158.
35. Мэн, Ю., Ли, З., 2016. Экспериментальное исследование свойств диффузии газообразного метана в угле и факторов, влияющих на него. Топливо 185, 219–228. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.07.119>
36. Мостагими П., Армстронг Р.Т., Джерами А., Ху Ю., Цзин Ю., Камали Ф., Лю М., Лю З., Лу Х., Раманди Х.Л., Замани, А., Чжан Ю., 2017 г. Характеристика угля по клише: обзор. Журнал науки и техники о природном газе 39, 143–160. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2017.01.025>
37. Навин, П., Асиф, М., Ойха, К., Паниграхи, Д.С., Вуталуру, Х.Б., 2017. Кинетика сорбции диффузии CH₄ и CO₂ в угле: теоретическое и экспериментальное исследование. Энергетическое топливо 31, 6825–6837. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.7b00721>
38. Пэн, С., Фанг, З., Шен, Дж., Сюй, Дж., Ван, Г., 2017. Влияние набухания/усадки, вызванного сорбцией газа, на сжимаемость угля в кливажах при различных направлениях залегания. Научный отчет 7, 14337. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-14678-1>
39. Пиллаламарри М., Харпалани С., Лю С., 2011а. Газодиффузионное поведение угля и его влияние на добычу метана из угольных пластов. Международный журнал угольной геологии - INT J COAL GEOL 86, 342–348. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2011.03.007>
40. Пиллаламарри М., Харпалани С., Лю С., 2011b. Газодиффузионное поведение угля и его влияние на добычу метана из угольных пластов. Международный журнал угольной геологии 86, 342–348. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2011.03.007>
41. Цинь Ю., Сюй Х., Лю В., Лю Дж., Дуань В., 2020. Независимая от времени и давления характеристика транспорта газа в угольной матрице: разработка и совершенствование модели. Энергия и топливо. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.0c01182>
42. Сагафи, А., Фаиз, М., Робертс, Д., 2007. Хранение CO₂ и газодиффузионные свойства углей из Сиднейского бассейна, Австралия. Международный журнал угольной геологии, TSOP 2004 70, 240–254. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2006.03.006>
43. Салех, Дж. Х., Каммингс, А. М., 2011 г. Безопасность в горнодобывающей промышленности и незавершенное наследие аварий на шахтах: рычаги безопасности и эшелонированная защита для устранения опасностей, связанных с горными работами. Наука о безопасности 49, 764–777. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2011.02.017>
44. Смит, П.Г., Смит, Питер Джеффри, 2003. Введение в технологию пищевых процессов. Springer Science & Business Media.
45. Собчик, Дж., 2011. Влияние сорбционных процессов на газовые напряжения, приводящие к выбросу угля и газа в лабораторных условиях. <https://doi.org/10.1016/J.FUEL.2010.11.004>
46. Vandamme, M., Brochard, L., Lecampion, B., Coussy, O., 2010. Адсорбция и деформация: CO₂-индуцированное набухание угля. Журнал механики и физики твердого тела 58, 1489–1505. <https://doi.org/10.1016/j.jmps.2010.07.014>
47. Ван Г., Рен Т., Ци К., Лин Дж., Лю К., Чжан Дж., 2017. Определение коэффициента диффузии газа в угле: разработка численного решения. Топливо 196, 47–58. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.01.077>

48. Ван Ю., Лю С., 2016. Оценка диффузионной проницаемости угля в зависимости от давления с использованием коэффициента диффузии метана: лабораторные измерения и моделирование. Энергетическое топливо 30, 8968–8976. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.6b01480>
49. Сюй Х., Тан Д., Чжао Дж., Ли С., Тао С., 2015а. Новый лабораторный метод точного измерения коэффициента диффузии метана и влияющих на него факторов в угольной матрице. Топливо 158, 239–247. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.05.046>
50. Сюй Х., Тан Д., Чжао Дж., Ли С., Тао С., 2015b. Новый лабораторный метод точного измерения коэффициента диффузии метана и влияющих на него факторов в угольной матрице. Топливо С, 239–247. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.05.046>
51. Ян, М., Цзя, Г., Гао, Дж., Лю, Дж., Чжан, Х., Лу, Ф., Лю, Л., Патхак, А., 2021. Экспериментальное исследование влияния азрированного газа давление и всестороннее давление в процессе адсорбции низкосортного угольного газа Энергетическая разведка и эксплуатация 01445987211031037. <https://doi.org/10.1177/01445987211031037>
52. Чжай, С., Сян, Х., Сюй, Дж., Ву, С., 2016. Характеристики и основные влияющие факторы, влияющие на выбросы угля и газа в китайском горнодобывающем регионе Пиндиншань. Нат Хазардс 82, 507–530. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2195-2>
53. Чжан, Х., Ранджит, П.Г., Лу, Ю., Ранатунга, А.С., 2019. Экспериментальное исследование влияния адсорбции CO₂ и воды на механику угля при всестороннем давлении. Международный журнал угольной геологии 209, 117–129. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2019.04.004>
54. Чжан Ю., Мостагими П., Фогден А., Миддлтон Дж., Шепард А., Армстронг РТ, 2017а. Измерение локального коэффициента диффузии в сланцах с использованием динамической микрокомпьютерной томографии. Топливо 207, 312–322. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.06.050>
55. Чжан Ю., Мостагими П., Фогден А., Миддлтон Дж., Шепард А., Армстронг РТ, 2017b. Измерение локального коэффициента диффузии в сланцах с использованием динамической микрокомпьютерной томографии. Топливо 207, 312–322. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.06.050>
56. Чжан, Ю., Мостагими, П., Фогден, А., Шепард, А., Арена, А., Миддлтон, Дж., Армстронг, РТ, 2018. Покадровая визуализация и характеристика свойств диффузии сланца с использованием 4D X-лучевая микрокомпьютерная томография. Энергетическое топливо 32, 2889–2900. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.7b03191>
57. Чжан, Ю., Чжан, З., Цао, Ю., 2007. Структура деформированного угля и контроль выброса угольного газа. Мэй Тан СюэПао (Журнал Китайского угольного общества) 32.
58. Чжао В., Ченг Ю., Пан З., Ван К., Лю С., 2019. Диффузия газа в угольных частицах: обзор математических моделей и их приложений. Топливо 252, 77–100. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.04.065>

УДК 551.763.12

DOI: 10.33580/2541-9684-2022-91-4-32-40

НАКОПЛЕНИЕ УГЛЕРОДИСТЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В РАЗНОФАЦИАЛЬНЫХ ОБСТАНОВКАХ МЕЗОЗОЙСКО-КАЙНОЗОЙСКИХ ПАЛЕОБАССЕЙНОВ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА (ВЛИЯНИЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ И ГЛОБАЛЬНЫХ ФАКТОРОВ)

Гаврилов Ю.О.

*Геологический институт РАН, Москва, 119017 Москва, Пыжевский пер.,
7yugavrilov@gmail.com*

Образование обогащенных органическим веществом (ОВ) отложений в мезозойско-кайнозойских палеобасейнах Большого Кавказа на разных этапах их существования происходило в разных фациальных условиях и определялось различными факторами – как региональными, так и глобальными. Тип ОВ – бассейновое или принесенное с суши – в значительной мере определял геохимическую обстановку в осадках и наддонных водах. Наибольшие концентрации C_{org} характерны для углеродистых горизонтов, образовавшихся в результате всплеска биопродуктивности фитопланктона на фоне быстрых эвстатических трансгрессий; стратификация вод бассейна и развитие аноксидных обстановок также способствовали накоплению ОВ, но в существенно меньших количествах. Особый тип горючих сланцев формировался в зарифовых впадинах карбонатной платформы.

Ключевые слова: органическое вещество, биопродуктивность, эвстатическая трансгрессия, стратификация вод, аноксидные обстановки, палеобасейны, гумидный и аридный климат, наннопланктон.

ACCUMULATION OF CARBONATED DEPOSITS IN DIFFERENT FACIAL ENVIRONMENTS OF THE MESOZOIC-CAINOZOIC PALEOBASINS OF THE NORTHERN CAUCASUS (INFLUENCE OF REGIONAL AND GLOBAL FACTORS)

Gavrilov Yu.O.

Geological Institute, Russian Academy of Sciences

The formation of sediments enriched in organic matter (OM) in the Mesozoic-Cenozoic paleobasins of the Greater Caucasus at different stages of their existence occurred in different facies conditions and was determined by various factors, both regional and global. The type of OM, whether basinal or transported from land, largely determined the geochemical setting in sediments and bottom waters. The highest concentrations of C_{org} are characteristic of carbonaceous horizons formed as a result of a burst of phytoplankton bioproductivity against the background of rapid eustatic transgressions; stratification of the basin waters and the development of anoxic environments also contributed to the accumulation of OM, but in much smaller amounts. A special type of oil shale was formed in the back-reef basins of the carbonate platform.

Key words: organic matter, bioproductivity, eustatic transgression, water stratification, anoxic environments, paleobasins, humid and arid climate, nannoplankton.

Осадочные комплексы Большого Кавказа на протяжении альпийского этапа его развития (~200 млн лет) формировались под влиянием различных факторов, которые взаимодействуя и дополняя друг друга, определяли геохимическую специфику отложений и их разнообразие.

В мезозойско-кайнозойских разрезах Большого Кавказа и Предкавказья отложения разных стратиграфических уровней и разного фациального типа обогащены органическим веществом (ОВ). Состав, количество и источники ОВ не были одинаковыми, что в значительной степени обуславливало различия геохимических обстановок в палеобасейнах, влияло на характер диагенетических процессов в осадках. Можно выделить несколько осадочных комплексов, которые содержат ОВ, различающиеся по генетическим параметрам.

Особое место в структуре Б. Кавказа занимает многокилометровый (до 9 км) юрский терригенный комплекс (J_{1-2}) [3]. При кажущейся однородности толщи, разные его части характеризуются различными геохимическими особенностями, которые возникли под влиянием многих факторов. Эти факторы являются типичными при образовании крупных терригенных комплексов в сходных климатических и геодинамических обстановках других регионов. Осадоч-

ный комплекс J_{1-2} формировался в условиях отчетливо выраженного гумидного климата (наличие угленосных отложений, кор выветривания и др.). По периферии палеобассейна располагались прибрежные ландшафты с обилием расположенных на них озер и болот, в пределах которых в раннеюрское время произрастали влаголюбивые и теплолюбивые растения (беннеттитовые, цикадофиты и др.), на возвышенностях росли хвойные и гинкговые. Короткопериодные флуктуации уровня моря способствовали мобилизации и выносу в водоем больших масс растительного ОВ, как в твердом, так и в растворенном состоянии.

Растительное ОВ накапливалось, прежде всего, в областях, относительно приближенных к береговой линии. Обогащенность осадков принесенным с суши ОВ обусловило то, что здесь в осадках особенно интенсивно протекали диагенетические процессы, приводившие к образованию больших скоплений сидерита (Рис. 1).

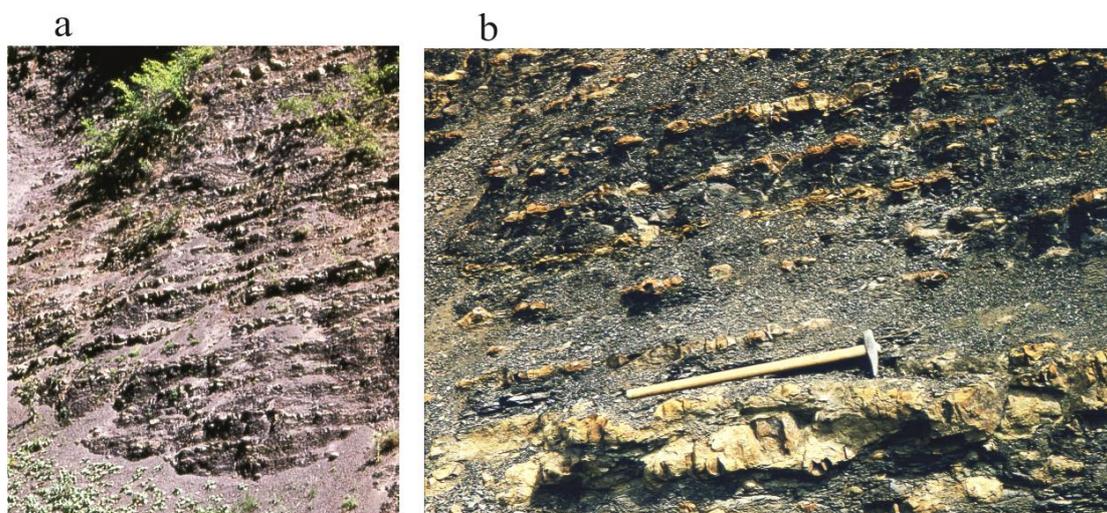


Рис. 1. Присамурская сидеритоносная толща (рудопроявление Филя)

Поскольку поступление ОВ в палеобассейн в наибольшей степени усиливалось во время развития трансгрессий, в это время формировались наиболее крупные сидеритовые рудопроявления [3, 14]. В этих отложениях установлены относительно низкие содержания $С_{орг}$ ($< 0,5\%$) и Fe ($\sim 1,5-2,5\%$). Однако, первоначальное содержание ОВ и Fe в осадках было заметно выше, но в дальнейшем резко сократилось в результате активных диагенетических процессов, обусловивших перераспределение соединений железа и стягивание их в конкреции. Расчеты показывают, что первоначальное содержание $С_{орг}$ в сидеритоносных отложениях могло быть существенно выше, достигая 4-5 %, т.е. это были первоначально достаточно высокоуглеродистые отложения. На значительное уменьшение в осадках в процессе сидеритообразования $С_{орг}$ и Fe указывала З.В. Тимофеева [14].

Если в осадках прибрежных зон доминировало наземное ОВ, то в направлении центральных частей бассейна возрастала доля бассейнового ОВ - количество $С_{орг}$ (1% и более) и Fe (до 5,5 %), что сопровождалось затуханием процессов сидеритообразования и ростом сульфидообразования. Литолого-геохимические характеристики отложений J_{1-2} не дают оснований предполагать существование устойчивых аноксидных обстановок в кавказском бассейне. Вместе с тем, следует иметь в виду, что поступление в водоем больших масс наземного ОВ (твердого и растворенного) могло, видимо, приводить к 1) появлению в морской воде значительного количества продуктов его окисления (CO_2 и др.), 2) активные диагенетические процессы сопровождались эвакуацией из осадков в морскую воду значительных количеств CO_2 . Эти явления могли вызвать появление (по крайней мере, в некоторых частях бассейна) углекислотного заражения вод и их ацидификацию, что оказывало неблагоприятное воздействие на известь выделя-

ющую биоту [3]. Возможно, с этим связана сравнительная бедность отложений J_{1-2} остатками карбонатных раковин макрофауны, а также известковой микрофауны.

Для оценки характера органического вещества в отложениях терригенного комплекса были проведены пиролитические исследования [12] серии образцов из наименее измененных вторичными процессами среднеюрских отложений разреза Чанты-Аргун. Полученные данные показывают, что из 10 образцов в 9 величина водородного индекса (НИ) очень низкая и варьирует в интервале – $<10-50$ мг УВ/г ТОС; только в одной пробе значения НИ достигают 260 мг УВ/г ТОС. Таким образом, в подавляющем большинстве образцов глинистых пород преобладает кероген III типа, и лишь в одном – кероген II–III типов, что свидетельствует о преобладании в отложениях ОВ наземного происхождения (снесенного с суши), и только изредка в отдельных горизонтах заметно возрастает доля бассейнового (планктоногенного) ОВ. Доминирование наземного ОВ было, видимо, одним из ведущих факторов, определявших геохимический облик как наддонных, так и иловых вод ранне- и среднеюрского палеобассейна Большого Кавказа.

В отличие от отчетливо выраженных гумидных обстановок ранне- и среднеюрского времени в **поздней юре** на территории юга России и сопредельных территорий произошла аридизация [13, 16]. Начало аридизации датируется средним келловеем. В аридных областях полностью исчезла лесная растительность, которую сменили ксерофильные редколесья и саванны, в глинистых породах появился палыгорскит. В это время на обширной территории Северного Кавказа и отчасти Предкавказья возникла карбонатная платформа, на которой местами происходило формирование соленосных и гипсоносных толщ [4, 11 и др.]. Область накопления отложений, обогащенных ОВ, в пределах центральных и западных частей Б. Кавказа тяготела к зарифовым частям водоемов, причем накопление углеродистых осадков происходило в непосредственной близости от рифов [1, 2 и др.]. Из-за высокого содержания Сорг (до 40 % и более) эти породы приобретают характер горючих сланцев. По данным Н.И. Бойко [1] микроскопическое изучение сланцев показало, что они представляют собой органо-глинисто-карбонатную породу, часто с остатками фауны и флоры. Вместе с тем, по его мнению, исходным материалом для высокоуглеродистых осадков являлось фитопланктоногенное органическое вещество, которое приносилось в зону биогермообразования направленными течениями, обусловленными падением уровня воды на шельфе за счет ее испарения в условиях аридного климата. Мощность интервалов отложений, содержащих слои горючих сланцев, может достигать нескольких десятков метров. Что касается протяженности горизонтов верхнеюрских горючих сланцев, то площадь их распространения скорее всего контролировалась размером локальных зарифовых впадин, в пределах которых накапливались углеродистые осадки, и скорее всего, были сравнительно небольшими (несколько километров).

В толщах берриаса-готерива заметного обогащения отложений ОВ нами не выявлено, хотя нижние горизонты осадочных ритмов, сложенные глинистыми породами, имеют темно-серую окраску, которую отложения приобретают при содержании Сорг – 0,5-2%.

Картина заметно меняется в апте-сеномане – в толщах появляются горизонты, существенно обогащенные ОВ.

Детальные исследования **меловых отложений** в разрезах Горного Дагестана последних лет [6 - 9, 15] позволили выявить в последовательность углеродистых горизонтов апта и альба, которые можно рассматривать как отражение глобальных “аноксических” событий. К ним относятся серии обогащенных ОВ горизонтов отложений, которые по результатам изучения наннопланктона (Е.А. Щербинина) соответствуют следующим возрастным интервалам: а) верхи апта и нижнего альба, коррелируются с аноксическим событием OAE1b (Jacob, Paquier, LeenhardtEvents); нижняя часть верхнего альба – OAE1c (ToolebukEvent), и верхи альба – событие OAE1d (BreistrofferEvent) (Рис. 2).

Микропалеонтологические характеристики отложений, соответствующих разным эпизодам события ОАЕ1b, в дагестанских разрезах существенно различны. Отложения, подстилающие битуминозные осадки, характеризуются довольно разнообразной микрофаунистической ассоциацией, в которой заметную роль играют тепловодные и эвтрофные наннопланктонные таксоны; полностью отсутствуют бореальные формы и гемипелагические олиготрофные наннокониды. Среди диноцист доминируют *Spiriferites* spp., *Cribroperidinium* spp.; отмечается большое количество спор, пыльцы и тканей наземной растительности (данные Е.А. Щербининой и Г.Н. Александровой [15]). Существующие ассоциации характеризует мелководные условия и стабильный привнос осадочного материала (в том числе, ОВ) с суши. Таким образом, формированию верхнеаптского сапропелитового горизонта (СГ), коррелирующегося с эпизодом Ясоб, предшествовали обстановки теплого бассейна с высоким содержанием питательных компонентов. Внутри СГ (C_{org} до 4,0%) происходит резкое сокращение количества и видового разнообразия наннопланктона и диноцист. Органический компонент представлен преимущественно аморфным веществом сапропелевого типа. Очевидно, в ходе позднеаптского палеоэкологического кризиса произошел обильный привнос наземного органического вещества, вызвавшего процессы стагнации, отрицательно повлиявшие на развитие бассейнового микропланктона. В отложениях, перекрывающих СГ, численность, видовое разнообразие и соотношение таксонов наннопланктона почти восстанавливаются. Примерно в 1,5 м выше СГ отмечен горизонт перемыва с обильным детритом раковин моллюсков, выше которого установлена наннопланктонная ассоциация подзоны NC8C (верхи нижнего альба). Перерыв в осадконакоплении (соответствует подзоне NC8A) свидетельствует о падении уровня моря в начале альбского века. По-видимому, новый этап характеризовался довольно крупной трансгрессией и некоторым похолоданием, поскольку в комплексе наннопланктона появляются наннокониды и увеличивают численность холодноводные виды.

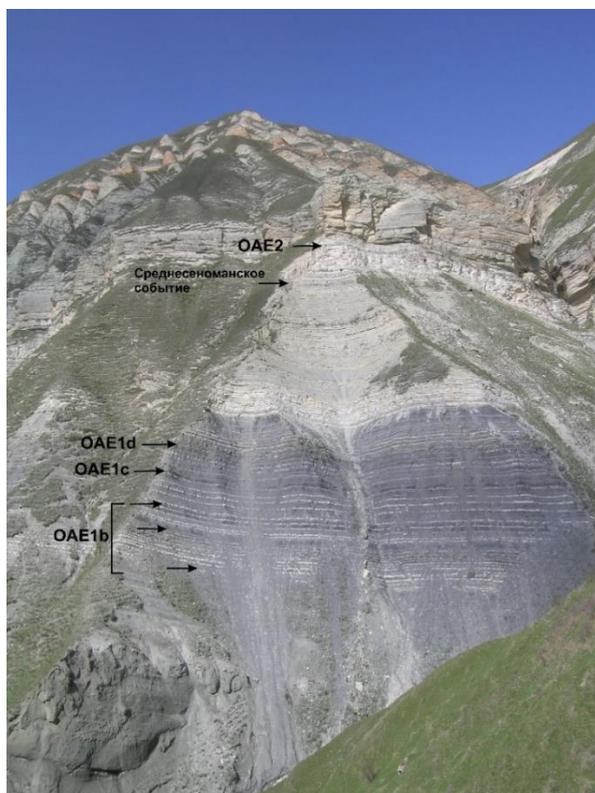


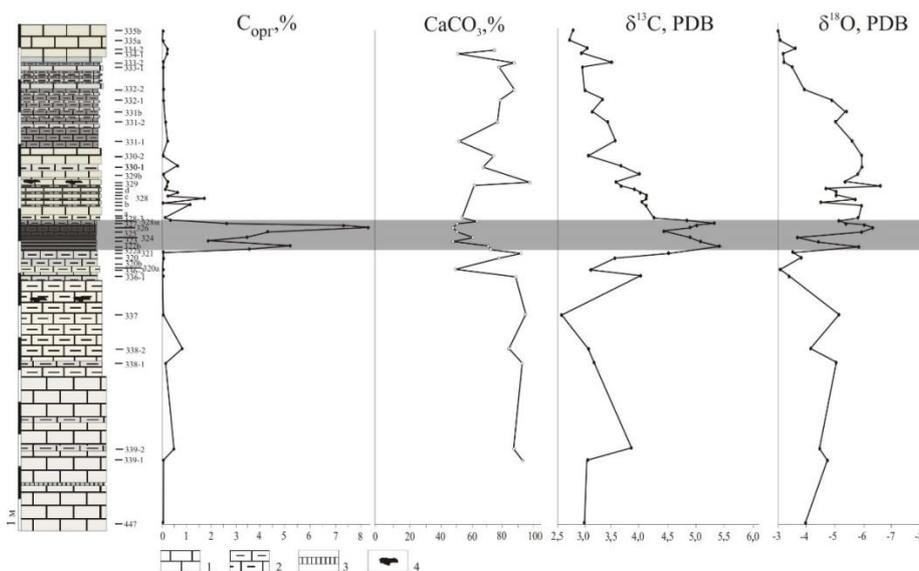
Рис.2. Углеродистые горизонты в отложениях апта – турона в разрезе Аймаки, Горный Дагестан (по Gavrilov, Shcherbinina, Aleksandrova, 2019)

Нижнеальбский СГ ($C_{\text{орг}}$ до 5%), видимо, соответствующий эпизоду PaquierOAE1b. Этот интервал в разрезе Восточного Кавказа, выглядит значительно “менее кризисным”, т.к. внутри него не происходит резких изменений в микропланктонных ассоциациях. Скорее всего, накопление обогащенных ОВ осадков происходило за счет общего увеличения продуктивности бассейна. Начиная с этого интервала, в меловом разрезе Дагестана значительно увеличивается содержание карбонатного материала, толща приобретает отчетливо ритмичный облик за счет чередования темноцветных мергелей с прослоями светлых известняков (см. рис. 2).

Таким образом, литологическими характеристиками переходного апт-альбского интервала и данные изучения микропланктона указывают на заметные изменения в бассейне палеоэкологических обстановок Восточного Кавказа. В позднеаптское время бассейн представлял собой теплый мелководный эвтрофный водоем, характеризующийся обильной поставкой терригенного материала. В ходе трансгрессии конца апта произошло накопление обогащенных органическим веществом осадков. После относительно кратковременного падения уровня моря в начале альба, по-видимому, начинается углубление бассейна, сопровождавшееся изменениями седиментационного режима, в котором существенно возрастает роль карбоната накопления. При этом значительно обновляются, становятся более многочисленными и разнообразными ассоциации микропланктона, что отвечает более олиготрофным обстановкам открытого моря.

Пиролитические исследования отложений апта и альба в разрезах Дагестана (разрезы Аймаки и Акуша) показали, отчетливую корреляцию между величиной НІ и содержанием в породах ОВ. Как правило, при $C_{\text{орг}} < 1\%$ значения НІ менее 100 мг УВ/г ТОС (~ 30-70, кероген III типа); в тех случаях, когда величина $C_{\text{орг}}$ достигает нескольких %, значения НІ возрастают до 250-350 мг УВ/г ТОС. Из этих данных можно сделать выводы о существенном возрастании в общем балансе ОВ доли бассейнового органического вещества по сравнению с поступившим в палеоводоем с суши (кероген II-III смешанного типа) во время формирования горизонтов углеродистых осадков.

В разрезах мела Дагестана установлено также присутствие высокоуглеродистых отложений, соответствующих позднесенманскому палеоэкологическому событию OAE2 [6 - 9]. В них выявлены изотопные аномалии – положительная $\delta^{13}\text{C}$ и отрицательная $\delta^{18}\text{O}$, характерные также для этого интервала в других районах мира (рис. 3).



Условные обозначения: 1 – известняки, 2 – глинистые известняки и мергели, 3 – прослои бентонита, 4 – черные кремневые конкреции.

Рис. 3. Литологическая колонка переходных отложений от сеномана к турону в разрезе «Аймаки» (Дагестан) и распределение в отложениях $C_{\text{орг}}$, CaCO_3 , $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ (по Гаврилов и др., 2013).

Породы обогащены широким спектром химических элементов, хотя концентрация некоторых из них (Mo, Se) меньше, чем в типичных осадках аноксидных водоемов. Литолого-геохимические характеристики этих отложений свидетельствуют о нестабильности и ограниченности развития аноксидных обстановок в палеоводоеме.

Содержание Сорг в породах ОАЕ 2 достигает 7-9 %. Причем рост концентраций происходит быстро, по резкой границе, отделяющей эти породы от подстилающих отложений. Однако распределение ОВ в отложениях ОАЕ 2 весьма неравномерное, что связано с их циклической структурой: нижние части циклитов интенсивно обогащены ОВ при относительно низких содержаниях CaCO_3 ; в верхних – напротив, концентрации CaCO_3 существенно возрастают, а содержания Сорг заметно уменьшаются вплоть до <1% (Рис. 4).

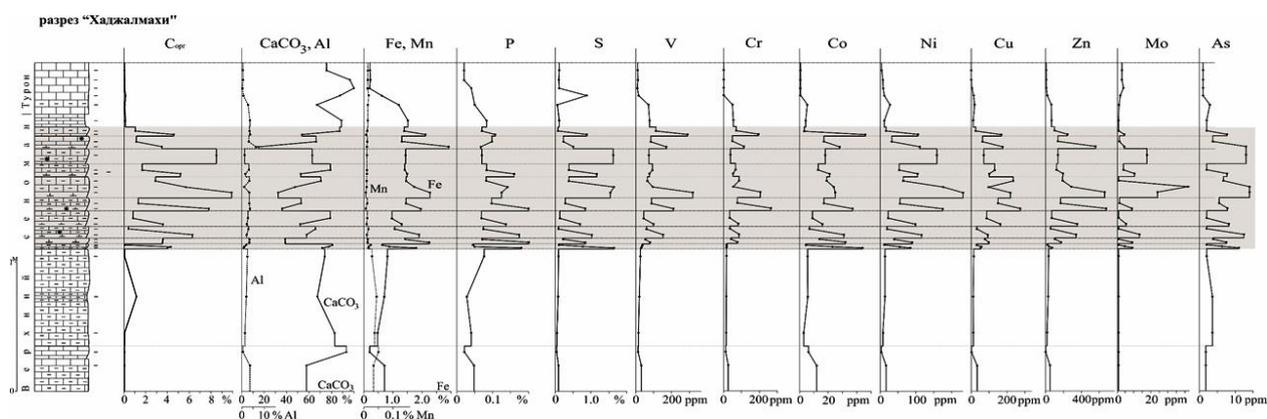


Рис. 4. Литологическая колонка переходных отложений от сеномана к турону в разрезе «Хаджалмахи» (Дагестан) и распределение в отложениях Сорг, CaCO_3 и химических элементов (по Гаврилов и др., 2013).

В разрезах ОАЕ 2 с наиболее отчетливо выраженной циклическостью хорошо видно, что толщина циклитов возрастает снизу вверх: с 4-5 см до 12-15 см; одновременно увеличивается толщина обогащенных ОВ прослоев – с 1-1,5 см до 5-10 см. При этом максимальные содержания Сорг отмечены в верхней половине горизонта – в наиболее мощных циклитах. Следует отметить, что в подстилающих ОАЕ 2 отложениях некоторые горизонты также обогащены ОВ. Так, в разрезах верхнего сеномана «Хаджалмахи» и «Карекадани» залегают пласты мергелей или глинистых известняков с содержанием Сорг до 2-3%, но более высоких концентраций не отмечается. В разрезе «Аймаки», в котором можно наблюдать распределение Сорг в перекрывающих углеродистый горизонт отложениях, в некоторых слоях содержания Сорг достигают 2%. В этом интервале отмечен известняковый пласт с линзами раннедиагенетических кремневых конкреций черного цвета. Эта окраска обусловлена присутствием на стадии диагенеза в иловых водах растворенного органического вещества. Поэтому даже в тех пластах известняков, в которых Сорг в настоящее время содержится в минимальных количествах или отсутствует вовсе, можно достаточно уверенно предполагать изначальное наличие в осадках ОВ, которое в дальнейшем (преимущественно в диагенезе) было окислено и содержание его резко сократилось вплоть до полного исчезновения.

Органическое вещество в породах верхнего сеномана присутствует в различной форме. В прозрачных шлифах образцов из углеродистых отложений видно, что преобладает бесструктурное ОВ, соответствующее коллоальгиниту [10]. ОВ часто образует тонкие слойки, уплотненные линзочки длиной от сотых долей до нескольких миллиметров, располагающиеся параллельно напластованию. Для бесструктурного ОВ характерна бурая окраска различных оттенков. Рост концентраций Сорг коррелируется с увеличением размера коллоальгинитовых сгустков. Для наиболее высокоуглеродистых разновидностей отложений характерны крупный

размер коллоальгинитовых выделений и их многочисленность. В породах присутствует также примесь мелкого детрита наземного ОВ в виде черных или темно-бурых обрывков растительных тканей. В подстилающих и перекрывающих углеродистый горизонт отложениях ОВ находится, как правило, в тонкодисперсном состоянии. Примесь тонкого растительного детрита в отложениях присутствует в сравнительно незначительных количествах, однако поскольку остатки морских организмов не сохранились, именно ОВ этого типа является доминирующим.

Результаты пиролитических исследований ОВ в разрезах «Аймаки» и «Леваши» показывают, что ОВ в высокоуглеродистых слоях события ОАЕ 2 отличается от ОВ из вмещающих этот горизонт отложений верхнего сеномана. В отложениях, образовавшихся до и после ОАЕ 2, величина водородного индекса в большинстве образцов менее 200 мг УВ/г ТОС и только в единичных образцах возрастает до более 340. Таким образом, кероген во вмещающей толще преимущественно относится к II–III типам [12]. В самих углеродистых породах ОАЕ 2 значения HI возрастают, достигая значений 500-700 мг УВ/г ТОС (кероген I–II типов). Вместе с тем в этом горизонте имеются прослои с низким содержанием Сорг и невысокой величиной HI, которая опускается до 130 (кероген III типа). Такие значения могут свидетельствовать о том, что при накоплении углеродистых осадков в них существенную роль играло бассейновое ОВ при резко подчиненной доле ОВ, поступавшего с суши; однако периодически, в течение некоторого относительно непродолжительного периода времени соотношение между ними менялось, и доля бассейнового ОВ падала, а наземного, напротив, существенно возрастала. Изучение выделенного из пород мацерата ОВ показало, что он целиком представлен аморфной формой, по-видимому, образовавшейся из водорослевой массы и бактериопланктона; органикостенный фитопланктон в СГ отсутствует (по данным Г.Н. Александровой). Учитывая состав ОВ в высокоуглеродистых слоях, его следует рассматривать как сапропелевое. Образование обогащенных ОВ отложений ОАЕ 2 происходило на фоне быстрой эвстатической трансгрессии вследствие резкого роста биопродуктивности фитопланктона в водоеме.

В более высоких горизонтах разреза меловых отложений Восточного Кавказа (турон-маастрихт) отложений, существенно обогащенных ОВ не отмечено. Вместе с тем, довольно частые находки в известняках сульфидных конкреций может свидетельствовать об изначальном присутствии в них ОВ, которое было окислено и почти исчезло во время диагенетических и постдиагенетических процессов, протекавших в осадках.

Сравнение мезозойских отложений, накопившихся в палеобассейнах различной климатической, палеогеографической и геодинамической позиции и в большей или меньшей степени обогащенных ОВ, показывает, что они существенно отличны по литолого-геохимическим характеристикам. Эти отложения различаются по типу седиментации – терригенный, смешанный терригенно-карбонатный, карбонатный. Для них был характерен также различный тип накапливавшегося и захоронявшегося органического вещества – доминирование терригенного (поступавшего с суши) или бассейнового (планктоногенного) ОВ. Соответственно различались и диагенетические преобразования в осадках этих палеобассейнов. Если восстановительный диагенез в нижне- и среднеюрских отложениях характеризовался прежде всего реакцией сидеритообразования, то в меловых углеродистых осадках преобладала реакция сульфидообразования. В частности, с этим обстоятельством могло быть связано в первом случае возникновение углекислотного заражения наддонных вод бассейна, а во втором – сероводородного (по крайней мере придонной части морских вод). Причем в обоих случаях, возникновение таких обстановок могло отрицательно воздействовать на существование бентосных, а при определенных условиях и планктонных организмов.

Образование обогащенных ОВ отложений ОАЕ2 (и аналогичных ему горизонтов) происходило на фоне быстрой эвстатической трансгрессии, которая обусловила поступление в водоем большого количества биофильных элементов, что вызвало резкий рост биопродуктивности фитопланктона (рис. 5).



Рис.5. Модель накопления углеродистых осадков во время «аноксических событий - ОАЕs» (по Гаврилов и др., 1997 и др.)

Другие две толщи углеродистых отложений — кумская свита (бартон) сложена карбонатными породами (40 м) и майкопская серия (олигоцен-нижний миоцен) представлена в основном глинистыми и в меньшей степени песчаными породами (1,2 км).

Отложения кумского (средний эоцен, бартон) и майкопского (олигоцен-нижний миоцен) бассейнов также обогащены ОВ. Однако основной причиной накопления в них ОВ была не вспышка биопродуктивности, а развитие в бассейнах обстановок дефицита кислорода. Аноксидные обстановки в обоих водоемах появились вследствие частичной их изоляции от Мирового океана и увеличения доли пресных вод в общем водном балансе бассейна и, соответственно, появления плотностной стратификации вод. Аноксия в бассейнах такого типа, хотя и предохраняла ОВ от интенсивного окисления, но не обеспечивала образование значительных его концентраций (обычно содержание Сорг 2-4%). Время существования бассейнов этого типа оценивается в несколько млн. лет. Эпизодически аноксия развивалась также в чокракском бассейне (средний миоцен).

Сравнение отложений, накопившихся в палеобассейнах разной палеогеографической и геодинамической позиции и в разной степени обогащенных ОВ, показывает, что они существенно различаются по литолого-геохимическим характеристикам: по типу седиментации – терригенный, смешанный терригенно-карбонатный, карбонатный; по типу накапливавшегося ОВ – доминирование поступавшего с суши или бассейнового ОВ. Соответственно различались и диагенетические преобразования в осадках этих бассейнов.

Таким образом, резюмируя, отметим следующее. Ведущими факторами, определявшими тип бассейнов седиментации в системе Большого Кавказа являлись:

- геодинамический режим развития палеобассейнов, климат в регионе, эвстатические колебания уровня моря. Газовый режим вод палеобассейнов Кавказского региона заметно менялся – в ранне- и среднеюрском водоеме аноксия гипотетически могла развиваться только временно и в локальных депрессиях морского дна; в эмбриональном виде аноксия начала проявляться в середине мела; достигла максимума и начала активно воздействовать на геохимические характеристики бассейна – в палеоген-неогеновое время. Все мезозойско-кайнозойские

палеобассейны Кавказского региона характеризовались индивидуальными фациальными и геохимическими чертами и в этом отношении их эволюция была необратимой.

Работа выполнена в соответствии с госзадаaniem Геологического института РАН.

Литература

1. Бойко Н.И. Верхнеюрские горючие сланцы Северного Кавказа и условия их образования // Сб. «Осадочные формации юга России и связанные с ними полезные ископаемые». 2011. С. 8-15.
2. Бойко Н.И., Пушкарский Е.М., Седлецкая Н.М. Горючие сланцы в верхнеюрских отложениях Северного Кавказа // Докл. АН СССР. 1989. Т. 305. № 6. С. 1455-1457.
3. Гаврилов Ю.О. Динамика формирования юрского терригенного комплекса Большого Кавказа: седиментология, геохимия, постдиагенетические преобразования. М.: ГЕОС, 2005. 301 с.
4. Гаврилов Ю.О. Архитектура южной краевой зоны верхнеюрско-валанджинской карбонатной платформы северо-восточного Кавказа (Дагестан, Шахдагский массив) // Литология и полезн. ископаемые. 2018. № 6. С. 507-520.
5. Гаврилов Ю.О., Кодина Л.А., Лубченко И.Ю., Музылев Н.Г. Позднепалеоценовое аноксическое событие в эпиконтинентальных морях Пери-Тетиса и образование сапропелитового горизонта: седиментология и геохимия // Литология и полезные ископаемые. 1997. № 5. С. 492-517.
6. Гаврилов Ю. О., Щербинина Е. А., Голованова О. В., Покровский Б. Г. Позднесеноманское палеоэкологическое событие ОАЕ 2 в восточно-кавказском бассейне северного Перитетиса. Литология и полезные ископаемые, 2013, № 6, с. 522–551.
7. Гаврилов Ю.О., Щербинина Е.А., Черкашин В.И. Отображение глобальных и межрегиональных событий мезозоя и кайнозоя в осадочных комплексах северо-восточного Кавказа (Дагестан) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Южного федерального округа. Сб. науч. трудов. 2006. Вып. 50. С. 15-24.
8. Гаврилов Ю.О., Щербинина Е.А., Щепетова Е.В., Голованова О.В., Покровский Б.Г. Позднесеноманское палеоэкологическое событие ОАЕ 2 в разрезах северного Пери-Тетиса (Крым, Восточный Кавказ): структура отложений, динамика формирования // Литология и полезн. ископаемые. 2022. № 6. С. 408–418.
9. Gavrillov Yu. O., Shcherbinina E. A., Aleksandrova G.N. Mesozoic and Early Cenozoic Paleoenvironmental Events in the Sedimentary Record of the Northern Peri-Tethys: An Overview // Lithology and Mineral Resources. 2019. N 6. P. 524-543.
10. Гинзбург А.И. Атлас петрографических типов горючих сланцев. Л: Недра, 1991. 116 с.
11. Леонов Г. П., Логинова Г. А. Основные черты геологического развития Дагестана в эпоху верхней юры и валанджина // Уч. зап. Моск. ун-та. 1956. Вып. 176. С. 87-103.
12. Лопатин Н.В., Емец Т.П. Пиролиз в нефтегазовой геохимии. М.: Наука, 1987. 144 с.
13. Синицын В.М. Древние климаты Евразии. Том 2. Л.: Изд-во ЛГУ, 1966. 191 с.
14. Тимофеева З.В. Фациально-геохимические условия образования диагенетических сидеритовых руд (на примере верхневаланджинских отложений Дагестана) // Литология и полезные ископаемые. 1963. № 1. С. 88-107.
15. Щербинина Е.А., Александрова Г.Н. Переходный апт-альбский интервал Восточного Кавказа по данным изучения наннопланктона и диноцист // Микропалеонтология в России на рубеже веков / Ред. Горева Н.В., Корчагин О.А. М.: ГЕОС, 2005. С. 154-155.
16. Ясаманов Н.А. Ландшафтно-климатические условия юры, мела и палеогена Юга СССР. М.: недра, 1978. 224 с.

УДК 551.432.22 (470.67)

DOI: 10.33580/2541-9684-2022-91-4-41-44

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ГРАНИЦЕ МЕЖДУ ВОСТОЧНЫМ И ЮГО-ВОСТОЧНОМ КАВКАЗОМ

*Тулышева Е.В., Исаков С.И.
Институт геологии ДФИЦ РАН. г. Махачкала*

Большой Кавказ разделен на пять областей – Северо-Западная, Западная и Центральная, Восточная и Юго-Восточная. На карте геоморфологического районирования Юго-Восточный Кавказ выделен в самостоятельную область [9]. Большинство исследователей придерживается такого же разделения. Кроме того выделена пассивная морфоструктура, разделяющая Главный и Боковой хребты, Бежтино-Самурская грабен-синклинальная котловина.

Ключевые слова: Большой Кавказ, Дагестан, разломы, тектоника, металлогения, хребты, геосинклинали, оруденение

BRIEF INFORMATION ABOUT THE BORDER BETWEEN THE EASTERN AND SOUTHERN CAUCASUS

*S.I. Isakov, E.V. Tulysheva
Institute of Geology, Dagestan Federal Research Center, RAS*

The Greater Caucasus is divided into five regions - Northwestern, Western and Central, Eastern and Southeastern. On the map of geomorphological zoning, the South-Eastern Caucasus is singled out as an independent region [Mountain countries of the European part of the USSR and the Caucasus. M.: "Nauka", 1974, 360 p.]. Most researchers adhere to the same division. In addition, a passive morphostructure was identified that separates the Glavny and Bokovoy ridges, the Bezhтино-Samur graben-synclinal basin.

Keywords: Greater Caucasus, Dagestan, faults, tectonics, metallogeny, ridges, geosynclines, mineralization

По характеру рельефа на востоке Кавказ разделяется на две провинции - Большой Кавказ и Предкавказье. Вдоль северных предгорий Большого Кавказа проходит между ними граница. Осевую зону последнего составляют Главный (Водораздельный) и Боковой хребты [1-3,7,8].

Считается, что современная тектоническая структура региона была сформирована в результате преимущественного субмеридионального сжатия поперечного по отношению к складчатым структурам.

Устанавливается явная активизация неотектонических движений на рубежах апшерон-ранний плейстоцен, ранний-средний плейстоцен, средний-поздний плейстоцен. В целом тектоническая активизация проявила себя в пределах разных структурных зон дифференцированно и с разной интенсивностью.

На основании неотектонического районирования в дагестанской части Восточного Кавказа с юга на север выделяются крупные, активно развивающиеся вплоть до голоцена, асимметричные зоны с юга ограниченные поднятиями, а севера - неотектоническими опусканиями. При общей вергентности к югу они одновременно поддвигаются друг под друга с образованием вдоль северной периферии Дагестанского клина «поддвиг» в сторону Терско-Каспийского прогиба [15-17].

Формирование структуры Дагестанского клина в целом относят к позднеплиоценовому и четвертичному времени. С плейстоценом связывают резкое возобновление движений по Тляртинскому разлому и сопряженного с ним формированием Бокового хребта. По-видимому, это характерно для всей зоны Главного Кавказского разлома, частью которой является Тляртинский.

При орогидрографическом, морфоструктурном, металлогеническом, неотектоническом, геоморфологическом районировании территории Восточного Кавказа возникают следующие моменты на которые хочется остановиться:

1. Положение оси ниже-среднеюрской геосинклинали. Она проходит севернее современного Главного (Водораздельного) Кавказского хребта, совпадая, примерно, с Самурским хребтом по данным Ч.М. Халифа-Заде и др. 1982, Т.Г. Жгенти и др. 1973. (рис.1) [20,22].

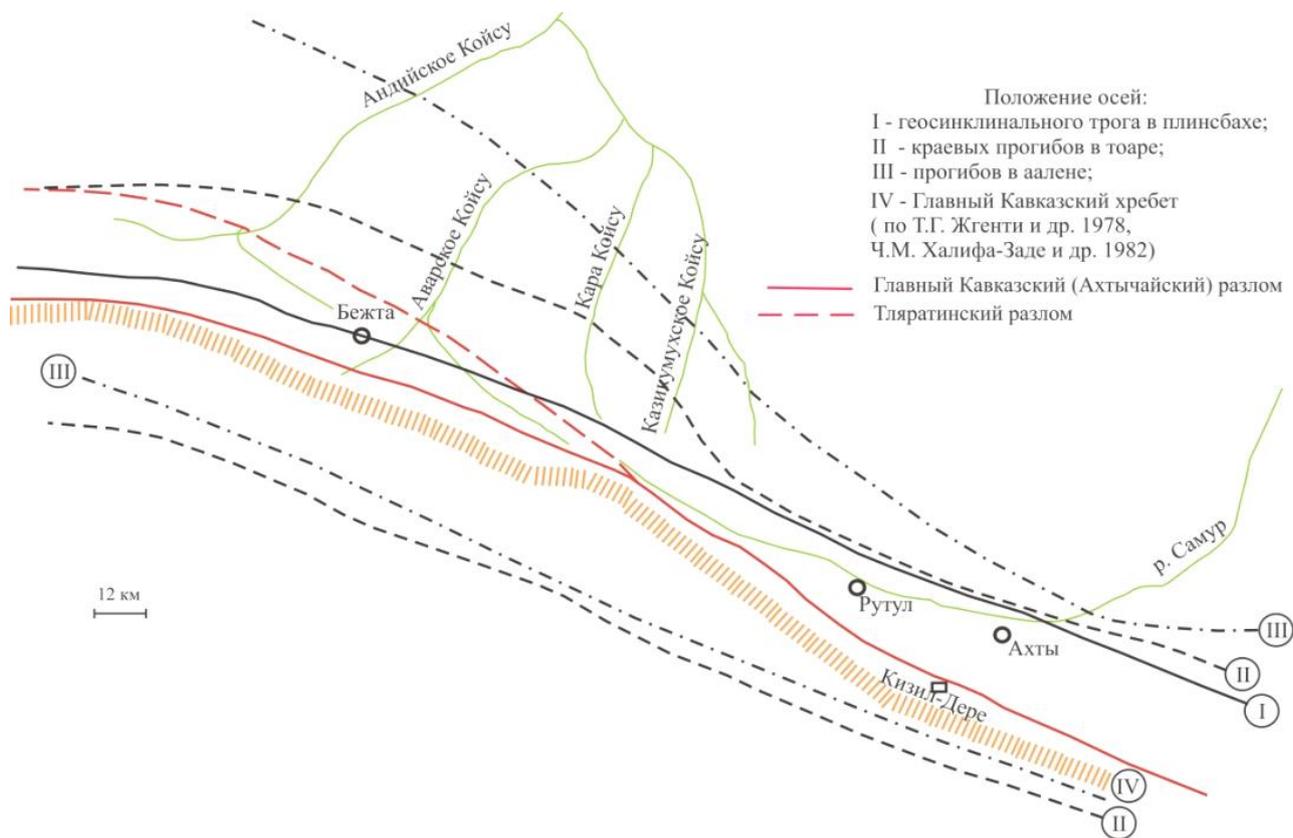


Рис. 1. Положение осей.

Поэтому все структуры, расположенные южнее Самурского хребта (Боковой, Главнй хребты, Бежтино-Самурская депрессия), относятся к южному крылу ниже-среднеюрской геосинклинали, где также расположены Ахтычайский (Главнй) разлом (надвиг) контролируемые им магматизм и металлогения. Осевая зона не контролирует здесь ни магматизм, ни металлогению, исключая западную часть (бежтинскую) территории, где трог геосинклинали и глубинный разлом сближаются. Поэтому большинство исследователей Северного Кавказа при районировании используют тектонические и металлогенические схемы увязанные с Главнм Кавказским разломом. К примеру, С.В. Савин (1978) выделяет в осевой части орогена Восточного Кавказа южный металлогенический пояс, состоящий из двух металлогенических зон: Приводораздельной с колчеданным медно-пирротиновым руденением и Самуро-Белореченской с жильным кварц-сульфидным руденением [18,12]. Уже в самом названии Приводораздельной зоны заложена морфоструктура Главного (Водораздельного) хребта, хотя это разделение и не соответствует общему районированию, основанному на положении осевой зоны ниже-среднеюрской геосинклинали Восточного Кавказа.

2. Осевая зона восточной части Большого Кавказа четко выражена Главнм хребтом, Самуро-Бежтинской депрессией и Боковым хребтом, расположенным на северном склоне мегантиклинория. В этом случае северный и южный склоны орогена неравнозначны понятию север-

ный и южный склоны нижнесреднеюрской геосинклинали. Поэтому при выборе схемы районирования нужно четко разграничивать эти понятия, во избежание терминологической путаницы. Так, например, южное крыло геосинклинали расположено на северном склоне орогена; на южном склоне геосинклинали реки текут в северном направлении. Южный склон нижнесреднеюрской геосинклинали имеет падение на север, северный склон – на юг, в отличие от склонов современного орогена. Молодое покровно-надвиговое строение Восточного Кавказа создало резкое несоответствие древнего и молодого структурного плана [4-6].

Вероятно, следовало бы давать названия южным и северным склонам геосинклинали не связанные с ориентировкой по сторонам света, как это, например, сделано азербайджанскими геологами для Юго-Восточного Кавказа, где они выделяют Тфанскую морфоструктуру (соответствующую водораздельной части Главного хребта), Шагдаг-Хизинскую (Боковой хребет), Закатало-Ковдаг-Сумгаитскую (Южный склон). Сейчас, когда в геологической литературе широко распространились и закрепились понятия южного и северного склонов Большого Кавказа, ранне-среднемезозойской геосинклинали при их использовании необходимо четко разграничивать, когда речь идет о геосинклинали, а когда об орогене [13,14].

Несовпадение неотектонических структур с геологическими представляется недостаточно обоснованным, прежде всего тем, что мы не видим геологических процессов, которые их обусловили. Ведь все структуры осевой зоны (в том числе и разломы) унаследованы в неотектоническом этапе от предыдущих периодов [23]. И для того чтобы произошло изменение этих границ в период неотектоники должны быть веские основания, вызванные магматизмом или тектоникой, чего мы не наблюдаем.

Также хочется немного коснуться о границе между Восточным и Юго-Восточным сегментами Большого Кавказа. Считается, что этой границей является периклинальное погружение ниже-среднеюрского, песчано-сланцевого ядра мегантиклинория Большого Кавказа. Об этом погружении мы можем судить только по наблюдениям за осевой линией мегантиклинория, которую отражают осевые линии Главного и Бокового хребтов. Погружение последних под верхнеюрско-нижнемеловые карбонатно-сульфатные толщи происходит по долине р. Усухчай (правого притока р. Самур) для Бокового хребта, а для Главного хребта – несколько восточнее вершины Базар-Дюзи. Таким образом, границу между сегментами Большого Кавказа на востоке следует проводить по правобережью р. Самур в нижнем течении до впадения в нее р. Усухчай и далее по правобережью р. Усухчай до вершины г. Базар-Дюзи. Эта граница совпадает с поперечным разломом, проходящим по долине р. Усухчай [10]. Изменение границы с Самурского поперечного разлома на Усухчайский вполне допустимо по геологическим данным [14] и интерпретации геофизических материалов приведенных в литературе [16]. Именно так Д.А. Лилиенберг и др. [13] проводят границу между Восточным и Юго-Восточным Кавказом по Самурскому диагональному морфолинеаменту, отмечая, что по нему приподнята на 0,5 км осевая зона Юго-Восточного Кавказа и опущено Кубинское плато. Поднятие осевой зоны проходит в районе Шагдагского массива (г.г. Шалбуздаг, Ярыдаг, Базардюзи), это бассейн реки Усухчай. Следовательно, Самурский линеамент по Д.А. Лилиенбергу проходит по долине Усухчая.

Положение морфоструктур осевой зоны Восточного Кавказа, составляющей более половины орогена в поперечнике, имеет важное значение в различного вида районировании: неотектоническом, геоморфологическом, ландшафтно-географическом, ботаническом и др [11, 19]. При одном положении морфоструктур, например, как это приводят в своих работах Е.Е. Милановский, И.Н. Сафронов – это будет одна схема. При другом их положении, обосновываемом В.Е. Хайным, Н.Т. Романовым и др., схема районирования будет выглядеть кардинально отличающейся от первого варианта [20, 22]. Принятие той или иной схемы имеет принципиальное значение. В основе различного вида географо-биологического районирования лежат

геологические структуры, неотектонические и геоморфологические схемы. Поэтому нам представляется важным создание научно обоснованной морфоструктурной схемы региона, которая явилась бы основой при различных видах районирования.

Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания ИГ ДФИЦ РАН по теме НИР Рег. номер НИОКТР1021060808457-2-1.5.6.

Литература

1. Алахвердиев Ф.Д., Мацапулина Е.В. Рациональное природопользование на террасированных склонах Дагестана. // Наука и социальный прогресс Дагестана. Махачкала, 1997. С. 223-226.
2. Асоян А.С. Дистанционные методы изучения экзодинамики рельефа Известнякового Дагестана как фактора экологического состояния. – Геоморфология. № 4. 1993. С.26-35.
3. Б.А. Антонов, Н.А. Гвоздецкий, Н.В. Думитрашко и др. Общая характеристика и история развития рельефа Кавказа. Геоморфол. комис. Отд-ния океанологии, физики атмосферы и географии Секции наук о Земле Президиума АН СССР. Ин-т географии Аз ССР. Москва: Наука. 1977. 288 с.
4. Баранов Г.И., Греков И.И. Геодинамическая модель Большого Кавказа. М.: Наука. 1982. 120 с.
5. Белоусов В.В. Большой Кавказ: опыт геотектонического исследования // Тр. ЦНИГРИ 1939. Ч. 3. Вып. 126.
6. Белый В.Л. О некоторых закономерностях формирования речных долин Дагестана в неоген-антропогенное время // Известия ВУЗов Геология и разведка. №3. 1965. С. 29-36.
7. Гвоздецкий Н.А. Физическая география Кавказа // Курс лекций М.: Изд-во МГУ. 1956. 117 с.
8. Геология СССР, т. IX, Северный Кавказ. М.: «Недра». Ч. 1. Геологическое описание. 1968. с760.
9. Горные страны Европейской части СССР и Кавказа. М.: «Наука», 1974, 360 с.
10. Иванов Г.И., Долгих А.Г., Черницын В.В. Геологическое строение Юго-восточной (Дагестанской) подзоны. // Колчеданные месторождения Большого Кавказа. М.: Изд-во «Недра», 1973, с. 148-158.
11. Исаков С.И. История изучения морфоструктур Дагестана // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. 2008. № 52. С. 139-141.
12. Исаков С.И., Мацапулин В.У., Тулышева Е.В. Эндогенная активность обрамления Восточного Кавказа на территории Дагестана в позднекайнозойское время // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. 2020. № 3 (82). С. 9-12.
13. Лиленберг Д.А., Будагов Б.А., Алиев А.С. Морфотектоника Азербайджана и восточного Закавказья с позиции неомобилизма // Геоморфология. № 4. 1996. С. 31-50.
14. Магатаев К.С., Самедов С.С. К тектонике юрских отложений предгорного Дагестана и при самурской части Азербайджана. – Очерки геологии, гидрогеологии, геохимии и нефтегазоносности Дагестана. Тр. ИГ. Махачкала. 1966. Вып. 6. С. 45-82.
15. Милановский Е.Е. Новейшая тектоника Кавказа. М.: Изд-во «Недра». 1968. 483 с.
16. Никитин М.Ю. Неотектоника Восточного Кавказа. - Бюл. МОИП, отдел геол., 1987. Т. 62. № 3. С. 21-36.
17. Никитин М.Ю. Неотектоника горного Дагестана. // Геология и полезные ископаемые Большого Кавказа. Изд-во «Наука» М. 1987. С. 221-239.
18. Савин С.В. Геологическое строение Приводораздельной металлогенической зоны Большого Кавказа // Геология рудных месторождений. 1978. С. 13-23.
19. Сафронов И.Н. Геоморфология. // Геология СССР. Т. IX, ч. 1, Кавказ, Изд-во «Недра», М., 1968. С. 657-676.
20. Тулышева Е.В. Речные долины Дагестана и их неотектоническая обусловленность: Дисс. к.г.н., Махачкала, 2002, 163с.
21. Хаин В.Е. Основные принципы геоморфологического районирования горных стран в связи с особенностями развития их рельефа // Докл. АН СССР. Т. 74. 1950. № 3, С. 583-587.
22. Халифа-заде Ч.М., Магомедов А.М. Среднеюрские отложения Восточной части Большого Кавказа. М.: «Наука», 1982. 276с.
23. Шолпов В.Н., Рогожин Е.А., Гончаров М.А. Складчатость Большого Кавказа. М.: «Наука», 1993. 192 с.

УДК 666.974.2

DOI: 10.33580/2541-9684-2022-91-4-45-50

ИССЛЕДОВАНИЕ БЕНТОНИТОВЫХ ГЛИН ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОЙ КОМПОЗИЦИИ

Тотурбиев¹ Б.Д., Мамаев¹ С.А., Тотурбиева² У.Д.

¹ *Институт геологии ДФИЦ РАН, ² ФГБОУ ВПО ДГТУ, Махачкала*

В статье приводятся результаты лабораторных испытаний химического, минералогического состава и термического анализа бентонитовой глины Дагестанского месторождения. а также результаты исследований: разработки оптимальных составов бентонитовой композиции на основе бентонитовой глины и портландцементного клинкера полученного путем их совместного помола в шаровой мельнице до удельной поверхности 2500-3000 г/см²; технологических, физико-механических свойств композиционного теста и композиции в целом при твердения. Экспериментальными исследованиями установлена возможность получения теплоизоляционного пенобетона из бентонитовой композиции твердеющего как в естественных условиях так при тепловлажностой обработки при T=85-90 °C.

Ключевые слова: нерудное сырье, бентонитовые глины, портландцементный клинкер, теплоизоляционные материалы, композиции, пенобетон.

STUDY OF BENTONITE CLAYS TO OBTAIN HEAT-INSULATING COMPOSITION

Toturbiev¹ B.D., Mamaev¹ S.A., Toturbieva² U.D.

¹ *Institute of Geology, Far Eastern Federal Research Center, Russian Academy of Sciences,*

² *FGBOUVPODSTU, Makhachkala*

The article presents the results of laboratory tests of the chemical, mineralogical composition and thermal analysis of bentonite clay from the Dagestan deposit. as well as the results of research: development of optimal compositions of a bentonite composition based on bentonite clay and portland cement clinker obtained by their joint grinding in a ball mill to a specific surface of 2500-3000 g/cm²; technological, physical and mechanical properties of the composite dough and the composition as a whole during hardening. Experimental studies have established the possibility of obtaining heat-insulating foam concrete from a bentonite composition that hardens both in natural conditions and under heat and moisture treatment at T = 85-90 ° C.

Keywords: non-metallic raw materials, bentonite clays, portland cement clinker, thermal insulation materials, compositions, foam concrete.

К настоящему времени бентонитовые глины относятся к числу важнейших не металлических полезных ископаемых широко использующихся в различных отраслях промышленности – металлургическая, литейная, буровая, химическая, нефтехимическая, строительная, керамическая, пищевая, фармацевтическая, техническая экология и др.

Объем добычи бентонитовых глин в мире в последние годы стабильно составляет ежегодно более 15 млн. т. При этом ежегодный прирост мировое производство бентопродуктов (и соответственно потребление) увеличивается и в среднем составил 5,5 % [1,2,3].

В России добыча и производство бентонитовых глин значительно отстаёт от потребностей промышленности. Поэтому бентопродукты в России относятся к дефицитным видам минерального сырья. В последнее время наряду с необходимостью расширения российской МСБ бентонитового сырья особое внимание привлекают бентониты, характеризующиеся низкой стоимостью и большими запасами, которые могут использоваться в строительстве, в том числе производства строительных материалов [4].

В этом плане, большим подспорьем является неучтенные запасы бентонитовых глин Дагестанского месторождения. Результаты испытаний химического состава этих глин приведены в таблице 1.

Основными минералами являются: монтмориллонит, кварц и глины. При этом преобладает монтмориллонит. Поэтому рассматриваемые бентонитовые глины можно называть монтмориллонитовыми, а слагающие их минералы – минералами монтмориллонитовой группы. Чем больше в смеси монтмориллонита, тем выше ее гидрофильность, главное свойство этого сорта глины. Бентонит разбухает при попадании в него воды, гидратации. Также этот материал нетоксичен и обладает хорошей химической стойкостью, поэтому его часто применяют во многих сферах промышленности, в том числе при строительстве.

Таблица 1.

Результаты испытаний химического состава бентонитовой глины
Дагестанского месторождения

Наименование показателя	Бентонитовая глина
Массовая доля, %	
SiO ₂	51,00
Al ₂ O ₃	23,25
Fe ₂ O ₃	7,20
FeO	7,41
CaO	0,99
MgO	3,31
Na ₂ O	2,75
K ₂ O	4,06
п.п.п.	10,0

Был также проведен термический анализ на дериватографе типа, NetzschSTA 449C производства NETZSCH-Gerätebau GmbH (Selb, Germany) на образце воздушно-сухой навески глинистой фракции исследуемого материала.

По результатам термического анализа построена термограмма (рис.), на которой отмечены термоэффекты и изменение массы при увеличении температуры нагрева образца. Термический анализ показал, что эндотермический эффект у исследуемого образца бентонитовой глины Дагестанского месторождения возникает в интервале температур 50-200 °С с максимумом при 110-120 °С, что обусловлено удалением содержащейся в монтмориллоните и гидрослюде адсорбционной и межпакетной воды. Присутствие последней связано с высокой удельной поверхностью частиц, находящейся обычно в прямой зависимости от разупорядоченности структуры монтмориллонита. Потеря структурной воды монтмориллонитом и почти полное разрушение решетки происходит в пределах от 500 до 650 °С. Это также связано с выделением конституционной воды у минералов группы гидрослюды. На кривой дифференциального термического анализа наблюдаются очень слабые эндотермические максимумы, обусловленные удалением оставшейся гидроксильной воды и полным разрушением структуры гидрослюды.

Проведенные исследования физических свойств бентонитовой глины показали, что выход глинистого раствора вязкостью 25 сек. - 13-14 м. куб./м. Массовая доля влаги - 12-14 %. Плотность суспензии - 1,062 - 1,058 г/см. куб. Мокрый ситовой анализ суспензии, остаток на сите: номер 05 - 0 %, номер 0071 - 2 - 3 %. Показатель фильтрации - 14 см. куб. Модификатор - Na₂CO₃. Показатель седиментации - 0 %. Объемный вес - 0,85 - 0,9 г/см. куб.

Поскольку рассматриваемые нами бентонитовые глины относятся монтмориллонитовой группы (сметиты), следовательно, они обладают практически всеми свойствами природных наноразмерных частиц.

Косвенным подтверждением тому является показатели выше проведенного мокрого ситового анализа суспензии, а также чрезмерное разбухания рассматриваемого бентонита при введении воды.

Учитывая высокую дисперсность на уровне наночастиц и низкую плотность суспензии ($1,062 - 1,058 \text{ г/см}^3$), мы предположили, возможность получения безобжигового теплоизоляционного пенобетона из бентонитовой глины и портландцементного клинкера в качестве вяжущего.

Аналогичные исследования по разработке эффективных технологий получения теплоизоляционных материалов с использованием других видов нерудного сырья ранее были проведены в Институте геологии ДНЦ РАН [5,6,7].

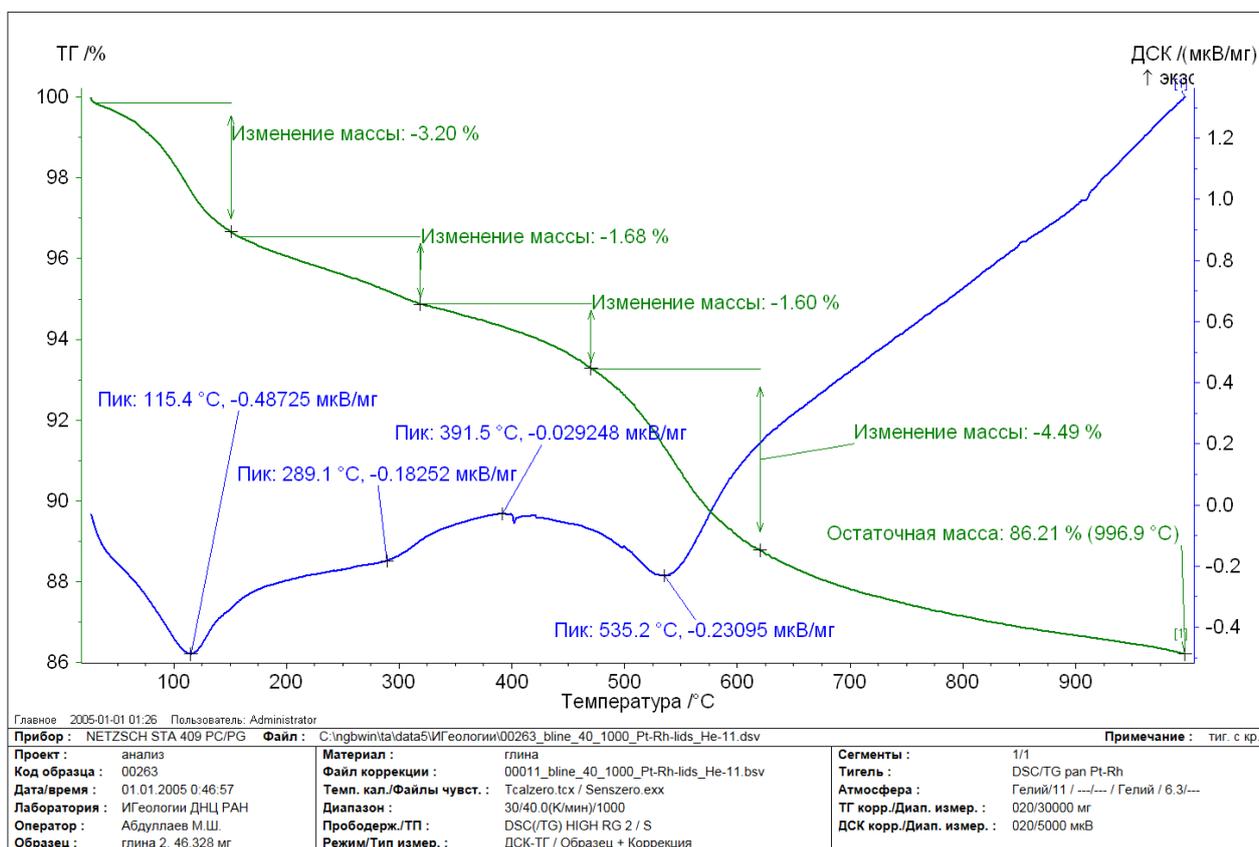


Рис. 1. Кривые дифференциально-термического анализа (ДТА) и дифференциально-термогравиметрического анализа (ДТГ), снятые с образца глинистой фракции бентонита

Проведенные исследования физических свойств бентонитовой глины показали, что выход глинистого раствора вязкостью 25 сек. - 13-14 м. куб./м. Массовая доля влаги - 12-14 %. Плотность суспензии - $1,062 - 1,058 \text{ г/см. куб.}$ Мокрый ситовой анализ суспензии, остаток на сите: номер 05 - 0 %, номер 0071 - 2 - 3 %. Показатель фильтрации - 14 см. куб. Модификатор - Na_2CO_3 . Показатель седиментации - 0 %. Объемный вес - $0,85 - 0,9 \text{ г/см. куб.}$

Поскольку рассматриваемые нами бентонитовые глины относятся монтмориллонитовой группы (сметиты), следовательно, они обладают практически всеми свойствами природных наноразмерных частиц.

Косвенным подтверждением тому является показатели выше проведенного мокрого ситового анализа суспензии, а также чрезмерное разбухания рассматриваемого бентонита при введении воды.

Учитывая высокую дисперсность на уровне наночастиц и низкую плотность суспензии ($1,062 - 1,058 \text{ г/см}^3$), мы предположили, возможность получения безобжигового теплоизоляционного пенобетона из бентонитовой глины и портландцементного клинкера в качестве вяжущего.

Аналогичные исследования по разработке эффективных технологий получения теплоизоляционных материалов с использованием других видов нерудного сырья ранее были проведены в Институте геологии ДНЦ РАН [5,6,7].

Сейчас особую актуальность приобретает создание новых технологий, прежде всего безобжиговых, при котором материал будет достаточно доступным по цене и отвечал бы по своим физико-техническим характеристикам.

С этой целью после сушки бентонитовой глины до постоянной массы совместно с портландцементным клинкером размалывали в лабораторной шаровой мельнице до удельной поверхности 2500-3000 г/см². Таким образом, полученную тонкомолотую композицию растворяли водой ГОСТ 23732-80 и перемешивали в мешалке принудительного действия с введением пластификатора с целью исключения агрегации наночастиц в растворе. Затем, в полученную растворную смесь вводили пенообразователь-ПО ПБ-1 (ТУ 2481-001-31820565-97) для приготовления пеномассы соответствующей плотности.

При разработке оптимальных составов бентонитовой композиции на портландцементном клинкере исследовались следующие технологические и физико-механические свойства теста и камня из композиционного вяжущего: сроки схватывания и твердения композиционного теста; пластическая прочность и подвижность; прочность при сжатии, изгибе и усадка композиции в процессе твердения.

По результатам этих исследований был принят следующие составы тонкомолотой композиции, % по массе: бентонит – 60.70: портландцементный клинкер– 40.30 соответственно.

В дальнейшем были проведены исследования влияния содержания пены на пенообразование и устойчивость пеномассы.

Результаты исследований влияния содержания пены на плотность теплоизоляционного пенобетона показали, что с увеличением количества пены в составе композиции его средняя плотность уменьшается пропорционально содержания пены, и, наоборот, с увеличением твердого составляющего (пеномассы) средняя плотность теплоизоляционного пенобетона растет. Следовательно, средняя плотность теплоизоляционного материала полностью регулируется количеством пены введенного в состав композиционной массы. При этом показатели пористости и прочности на сжатие при равных условиях получения теплоизоляционного пенобетона зависят от плотности материала. Оптимальные составы теплоизоляционного пенобетона в зависимости от средней плотности приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Оптимальные составы теплоизоляционного пенобетона в зависимости от плотности

1	2	3	4	5	6
Плотность (в сухом состоянии), кг/м ³	Бентонитовая композиция состава- бентонит: портландцементный клинкер масс % 60:40	Пенообразователь (конц.), кг	Вода, л (распылив смеси 13-14 см по прибору Сут-тарда)	Пена, л	Прочность на сжатие после пропарки 85-90 °С МПа
300	275	1,35	135	850	1,3
400	375	1,30	170	800	1,9
500	475	1,25	200	725	2,3
600	575	1,20	220	640	3,1

По результатам исследований разработана технология производства теплоизоляционного пенобетона из бентонитовой композиции и определены ее рациональные технологические параметры (табл.3).

По разработанной технологии были изготовлены теплоизоляционные пенобетонные изделия различной плотности со свойствами, представленными в таблице 4. Данные таблицы 4 отражают хорошее качество полученных теплоизоляционных пенобетонов, по прочностии удовлетворяют требованиям ГОСТ 25485-82.

Таблица 3.

Параметры технологии изготовления теплоизоляционного пенобетона

Наименование параметров	Оптимальная величина параметра при плотности пенобетона, кг/м ³			
	300	400	500	600
В/Т	0,50	0,53	0,5	0,45
ПО-ПБ1	1,35	1,30	1,25	1,20
Кратность пены к моменту минерализации	4,5	4 – 4,5	4	3
Кратность пеномассы	4	3,2	3	2,7
Температура воды, °С	20	20	20	20
Время мешивания, мин	6	5	5	4
Вызревание массива, мин	100	35	30	80
Время тепловлажностой обработки при Т=85-90 °С	5	6	7	8

Таблица 4.

Основные свойства теплоизоляционного пенобетона

Наименование показателей свойств	Норма марок		
	300	400	500
Плотность, кг/м ³	300 ± 25	400 ± 25-50	500 ± 25-50
Теплопроводность, Вт/(м К), не более при температуре (25±3) °С	0,086	0,098	0,105
Предел прочности при сжатии, МПа, не менее	1,2	1,8	2,2
Усадка после сушки, %, не более	0.63	0.38	0.26

Данные таблицы 4 отражают хорошее качество полученных теплоизоляционных пенобетонов, по прочностии удовлетворяют требованиям ГОСТ 25485-82.

Таким образом, экспериментальными исследованиями установлена возможность получения из бентонитовой глины и порландцементного клинкера теплоизоляционного пенобетона твердеющего как в естественных условиях так при тепловлажностой обработки при Т = 85-90 °С.

Технология производства пенобетона из разработанной композиции не предусматривает энерго- и трудоемких технологических операций, как автоклавная обработка и обжиг по специальному режиму, а включает в себе: изготовление композиции; приготовление пеномассы; разливка в соответствующие формы изделий; пропарка или естественное твердение изделий.

Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания ИГ ДФИЦ РАН по теме НИР Рег. номер НИОКТР 1021060808460-6-1.5.6.

Литература

1. Minerals Yearbook, 2007. U.S. Geological Survey, Washington.
2. The Economics of Bentonite. 11th Edition. Roskill Information Services, London, 2008.
3. Minerals Commodity Summaries. U.S. Geological Survey, January, 2009.

4. Сабитов А.А., Руселик Е.С., Трофимова Ф.А., Тетерин А.Н. Bentonиты России: состояние освоения и перспективы развития сырьевой базы "Центральный научно-исследовательский институт геологии нерудных полезных ископаемых", Казань)// Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2010. № 5. С.8–17.

5. Тотурбиев Б.Д. Природные цеолиты - эффективные минералы для изготовления строительных материалов//Труды Института геологии ДагНЦ РАН «Региональная геология и нефтегазоносность Кавказа», Научно-практическая конференция. Махачкала. 2012. С 53-56.

6. Черкашин В.И., Тотурбиев Б.Д. Глинистые сланцы - эффективное местное минеральное сырье для производства вяжущих //Труды Института геологии ДагНЦ РАН «Региональная геология и нефтегазоносность Кавказа», Научно-практическая конференция. Махачкала. 2012. С 47-51.14.

7. Тотурбиев А.Б., Абдулаев 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.

УДК 666.974.2

DOI: 10.33580/2541-9684-2022-91-4-51-55

ПРИМЕНЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМИЧЕСКОГО ГРАНИТА

Журавлев М.М.
ФГБОУ ВПО ДГТУ, Махачкала

Отмечается перспективность применение керамогранита в помещениях с интенсивным людским потоком: аэропортах, супермаркетах, ресторанах т.д. а также при реставрации старых зданий, нуждающихся в защите от влаги. Большое распространение получили вентилируемые фасады, в основе которых конструкция из металла, а для облицовки используется плитка фасадная, чаще всего из керамогранита, благодаря его высокой устойчивости к воздействиям окружающей среды. Технология производства керамического гранита в отличие от керамической плитки является высокотехнологичным процессом и одновременно сложным не только с точки зрения условий изготовления, но и с точки зрения организации. Включает в себя множество операций, причем для получения разных видов керамогранита эти операции и их количество будет разным. Приводятся недостатки производство керамогранита: высокая себестоимость состава вследствие высокого содержания дорогого обогащенного каолина и других сырьевых составляющих из-за высоких транспортных расходов, а также высокой энергоёмкости процесса получения готового изделия вследствие высокой температуры обжига. В этой связи перспективность и актуальность проведения научных исследований направленные на использования местного нерудного минерального сырья для АО «Керамогранит Дагестан», с целью снижения себестоимости керамической массы и готовых изделий из нее.\

Ключевые слова: керамогранит, применение, технология производства, подготовка сырья, замеса, формовка, обжиг.

APPLICATION AND PRODUCTION TECHNOLOGY OF CERAMIC GRANITE

Zhuravlev M.M.
FGBO UVPO DSTU, Makhachkala

It is noted that the use of porcelain stoneware in rooms with an intense human flow is promising: airports, supermarkets, restaurants, etc. as well as in the restoration of old buildings that need protection from moisture. Ventilated facades, which are based on a metal structure, are widely used, and facade tiles are used for cladding, most often from porcelain stoneware, due to its high resistance to environmental influences. The production technology of ceramic granite, unlike ceramic tiles, is a high-tech process and at the same time complex not only in terms of manufacturing conditions, but also in terms of organization. It includes many operations, and to obtain different types of porcelain stoneware, these operations and their number will be different. The disadvantages of the production of porcelain stoneware are given: the high cost of the composition due to the high content of expensive enriched kaolin and other raw materials due to high transportation costs, as well as the high energy intensity of the process of obtaining the finished product due to the high firing temperature. In this regard, the prospects and relevance of scientific research aimed at using local non-metallic mineral raw materials for JSCK eramogranit Dagestan, in order to reduce the cost of ceramic mass and finished products from it.\

Keywords: porcelain stoneware, application, production technology, preparation of raw materials, kneading, molding, firing.

В настоящее время керамогранитная плитка применяется в помещениях с интенсивным людским потоком: аэропортах, супермаркетах, ресторанах т.д. Этот перспективный материал, уже завоевавший популярность среди ценителей настоящего качества [1] отличается естественным рисунком и исключительной прочностью. А современные технологии позволяют создавать из камня настоящие произведения искусства, с различными поверхностями: глянцевыми и матовыми, рифлеными и полированными [2,3]. Керамогранит используется не только при строительстве новых, но и при реставрации старых зданий, нуждающихся в защите от влаги.

Основными поставщиками-изготовителями этого материала являются Италия и Испания. Керамогранит российского производства до сих пор не отвоевал лидирующих позиций на рын-

ках сбыта у импортных конкурентов, не смотря на стабильно растущий потребительский спрос.

Производство керамогранита обладает множеством сходств с изготовлением непосредственно керамической плитки. Во многом это обусловлено используемыми материалами – глиной, полевым шпатом, кварцевым песком, каолином. Второе сходство заключается в наличии обжига. Однако подвидом керамической плитки керамогранит считать не приходится, поскольку он является вполне индивидуальным вариантом.

Керамогранит представляет собой непористый материал, в этом заключается важное преимущество, поскольку при пористой структуре внутрь материала может проникать вода, что приводит к его разрыву. Поэтому производится удаление пор из керамогранита. Для удаления используется принцип обжига в условиях значительных температур, метод мощного прессования. На выходе получается непористый материал, характеризующийся низким уровнем влагопоглощения, при этом значительной морозостойкостью. В качестве другого преимущества, которое обеспечивается керамогранитом, отметить следует высокую степень износостойкости, особенно актуально это преимущество для напольного покрытия. На складах, в цехах, на вокзалах керамогранит может использоваться долго, при этом не портясь. Не будут со временем блекнуть и портиться краски материала, поскольку добавляется в массу краситель еще до стадии обжига, что позволяет получить рисунок не только на поверхности, но и по всей глубине – стираться он будет лишь непосредственно с самой плиткой, такие нагрузки являются невозможными в нормальных условиях эксплуатации. Помимо прочего, за счет технологии обеспечивается и равномерность рисунка, чем прочие натуральные камни похвастать не могут.

Керамогранит является крайне стойким в отношении воздействия кислот, благодаря чему возможно его использование на химических производствах. Однако не ограничены преимущества данного материала лишь эксплуатационными характеристиками – важное значение отводится и декоративным достоинствам. Сейчас производители керамической плитки предлагают керамогранит в целых стилистических сериях, стремясь имитировать натуральный камень, дерево, порой и кожу. Основой многообразия расцветов становится добавление различных натуральных красителей, при смешении с которыми возможно получение любого цвета. Большое распространение получили вентилируемые фасады, в основе которых конструкция из металла, а для облицовки используется плитка фасадная, чаще всего из керамогранита, благодаря его высокой устойчивости к воздействиям окружающей среды [3]. Такая плитка фасадная стильно выглядит и надолго сохранит стены от разрушения. Керамогранитные фасады скрывают все изъяны стен и придают поверхности стильный, привлекательный вид. Кроме того, керамогранитные фасады не требуют особого ухода: не теряют своего вида, не тускнеют, не меняют структуру со временем. Керамогранитные фасады не радиоактивны, экологически чистые, а также защищают здания от заморозков и огня.

Технология производства керамического гранита в отличие от керамической плитки является высокотехнологичным процессом [4,6]. Керамический гранит получают из белой специальной глины с добавлением полевых шпатов, кварца и минералов. Сначала тщательно перемешанная масса прессуется под сверхвысоким давлением (до 400 Н/см²) на современных гидравлических прессах, в результате чего формируются плиты, которые затем обжигаются опять же при очень высокой температуре (1200-1300 °С). В результате высокотемпературного обжига, необходимого для спекания мельчайших крупинок минералов, плитки керамического гранита становятся однородными, предельно прочными и стойкими к различным воздействиям. Изделие окрашивается на стадии изготовления: для придания керамограниту необходимого цвета в сырьевую массу вводят минеральные пигменты. Таким образом, цвет распределяется по всей толщине плитки, придавая ей однородную структуру, напоминающую природный гранит. Благодаря такой технологии производства свет и ультрафиолетовые лучи не оказывают

влияния на интенсивность цвета. Кроме того, возможно изготовление большого разнообразия цветов и рисунков. Первоначально не существовало технологий для украшения изделия из керамического гранита. Он был известен, прежде всего, как материал монокромный. Сегодня престижность керамического гранита с точки зрения эстетики значительно повысилась. Усовершенствованы технологии получения цветного тела плитки, черепка, разработаны новые методы подготовки массы и её прессования. В результате появилась возможность получать гранулярные зернистые цветные структуры тела плитки и поверхности, имитирующие некоторые виды природного камня. Были разработаны новые изделия, где в керамическую массу вводятся комплексные соли металлов, что дает нерегулярные узоры на поверхности. После глазуровки такие изделия приобретают еще большую привлекательность. Кроме того, все большее число производителей выпускает глазурованный керамический гранит, соединяющий в себе эксплуатационные качества материала высокой плотности с красотой настоящей глазури[3].

В зависимости от специфики производства и планируемых эстетических эффектов декоративные техники могут применяться на различных стадиях производственного процесса[5]. На начальной стадии, при перемалывании керамической массы, в неё могут добавляться пигменты. Затем, на стадии прессования, можно применить особые матрицы, позволяющие формировать фактуру поверхности. Система двойной подачи позволяет получать изделия, где база составляет лишь 75% конечного объема плитки, а оставшиеся 25% представляют собой слой другого цвета или материала, например гранул, зерен и окрашенных или бесцветных стекловатых частиц. Смесь порошков и окрашенных гранул дает изделия, известные под торговым наименованием "гранитов".

В других случаях при помощи технологии однократного прессования можно получать плитку с различными узорами, зависящими от закладываемого сырья, например при добавлении в массу кусочков разноцветной глазури, прошедших сушку совместно со связующими веществами и имеющих поэтому различную твердость [5].

На стадии глазурования можно получать крапчатость, наносить рисунок - по трафарету (шелкография) или растворимыми комплексными солями металлов, получать эффект остеклования.

На высушенные, а лучше бисквитные заготовки можно нанести последовательно 3-4 трафаретных рисунка с помощью цветных паст, содержащих растворы хромофорных солей, которые проникают в поверхностные слои изделия. Осаждающиеся окислы, реагируя с веществами массы, создают новые цветовые эффекты. Обычно керамика, украшенная таким способом, далее подвергается полировке, и приобретает блеск естественного камня.

Глазурь наносится влажным или сухим методом, в зависимости от того, зачищается ли изделие щетками или подвергается более жестким механическим воздействиям. Глазурь в рельефе полностью удаляется с поверхности, которая была структурирована на стадии прессования. Последний метод называется "предварительной полировкой" или "полированием необожженного изделия" и предназначен для сохранения текстуры основного материала на выступающих частях плитки и нанесения глазури лишь на понижения ее рельефа. Это позволяет достигать особого контраста между глазурованными и неглазурованными частями изделия.

Если наносится большое количество глазури - метод дорогой и престижный - то плитку обычно подвергают полировке после обжига. В этом случае создается "сверхплотный полируемый слой". Процесс плавки идет равномерно, в фазе размягчения и плавления пузырьки газов полностью выходят наружу, и на поверхности образуется совершенно однородный и плотный стеклообразный слой, хорошо поддающийся полировке. При этом законченные изделия имеют блестящие выпуклые участки, с эффектом "глубины" плотного стеклообразного слоя, защищающего лежащий под ним узор. На изделия из керамического гранита, обладающего всеми техническими преимуществами этого класса материалов, можно накладывать трафаретный узор в

4-5 слоев с использованием последнего слоя, который может быть отполирован в процессе повторного обжига. Этот метод позволяет делать вставки, цветовые акценты и декоративные бордюры, которые, однако, не предназначены для интенсивной эксплуатации. Керамический гранит можно разрезать на маленькие куски мозаики, резать под углом, перекрашивать и повторно обжигать для использования в украшении интерьеров и экстерьеров зданий. Метод повторного обжига применяют также для получения полированной гранитно-керамической плитки изогнутой формы, например для облицовки колонн.

Альтернативой традиционному методу нанесения рисунка трафаретным способом является технология так называемой "плитки Микеланджело". Здесь используется техника по типу аэрографа (или струйного принтера). Она позволяет с помощью компьютера переносить практически любые художественные изображения даже на сильно структурированные поверхности. Компьютерная система разбивает изображение на части, создавая репродукции от 60 x 60 см вплоть до 20 x 20 м, без ограничения размеров. Их можно использовать, например, для облицовки станций метрополитена. Работа ведется в четыре краски одновременно и выдает технически совершенные результаты в кратчайшие сроки. Причем безразлично, идет ли речь об изготовлении единичного экземпляра, или больших серий.

При изготовлении облицовочных материалов для полов и наружных поверхностей используются краски, устойчивые к атмосферным воздействиям и ультрафиолетовому облучению, кислотостойкие. В стадиях после обжига поверхность керамического гранита (как структурированную, так и полированную) можно подвергнуть легкой абразивной обработке. В результате чего получают эффект рельефа. Такая плитка отлично подходит для выкладки декоративных полос при облицовке пола или стен. Недавно была создана новая установка для механической обработки поверхности плитки, имитирующая эффект выветривания под влиянием времени. Установка может обрабатывать заготовки размером от 20 x 20 до 120 x 120 см и позволяет получать интересные эффекты от комбинации грубой поверхности до блестящей.

Производство керамогранита – сложный процесс не только с точки зрения условий изготовления, но и с точки зрения организации. Включает в себя множество операций, причем для получения разных видов керамогранита эти операции и их количество будет разным. Исходным сырьем для керамогранита служат: глина, кварцевый песок и полевой шпат. Производственный процесс подразделяется на отдельные этапы.

Первым этапом является предварительная обработка сырья, а именно его помол, смешивание и сушка. Затем идет процесс прессования полученной массы при различных давлениях. Именно в момент смены давлений пресса на изделие можно нанести смоляной слой, определяющий конечный рисунок. Кроме того, после прессования на поверхность наносится краска или глазурь. Следующим этапом идет сушка изделий, поскольку наличие влаги в керамограните недопустимо. Завершает основной производственный цикл – обжиг изделий. В процессе обжига происходит витрификация (остекленение) поверхности и закладываются его свойства. В конце, уже готовые изделия, прошедшие контроль и сортировку, шлифуют и полируют, придавая им привлекательный внешний вид.

Таким образом, керамогранит является самым перспективным и высокотехнологичным обжиговым строительным материалом. Свою популярность керамогранит завоевал благодаря своим качествам, таким как: влагостойкость, прочность, экологичность, водоотталкивающая поверхность, устойчивость к перепадам температур и прямому воздействию солнечных лучей, долговечность.

Недостатками производства керамогранита являются: высокая себестоимость состава вследствие высокого содержания дорогого обогащенного каолина и других сырьевых составляющих из-за высоких транспортных расходов, а также высокая энергоемкость процесса получения готового изделия вследствие высокой температуры обжига (1215-1220°C).

Поэтому, с целью снижения себестоимости керамической массы и готовых изделий из нее, а также снижения энергоемкости процесса получения готовых изделий, вызывает необходимость применения местных более доступных и дешевых сырьевых составляющих компонентов, которые одновременно позволяют снизить температуру обжига. В этой связи в Институте геологии ДФИЦ РАН теоретически и экспериментально обоснована возможность получения на основе нерудного и техногенного сырья и нанодисперсных полисиликатов натрия строительных материалов нового поколения различного функционального назначения по инновационной, наукоемкой, энерго-ресурсосберегающей, экологически чистой технологии [7-10]. Исходя из выше изложенного, опираясь на перспективность и актуальность проведения дальнейших научных исследований в этом направлении в настоящее время, ведутся исследования возможности использования местного нерудного минерального сырья для АО «Керамогранит Дагестан», с целью снижения себестоимости керамической массы и готовых изделий из нее.

Литература

1. ГОСТ 57141-2016 Плиты керамические (керамогранитные). Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2016 – 15 с;
2. Энциклопедия керамики, продажа керамики, фарфора, фаянса, хрусталь. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.keramika.peterlife.ru>. – Ангобы. Декорирование керамики. – (Дата обращения: 25.05.18);
3. Образовательная социальная сеть. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kazedu.kz>. Керамические глазурь. – (Дата обращения: 25.05.18)
4. Applied ceramic technology: ImolaSACMI, 2002 – 413 p;
5. Семериков И.С., Михайлова Н.А. Основы технологии художественной керамики: Учебное пособие. – Екатеринбург: ГОУВПО УГТУ-УПИ, 2005 – 264 с; т
6. Юшкевич М.О., Роговой М.И., Технология керамики, Изд.3-е, перераб и доп. М.: Изд-во литературы по стр-ву, 1969. – 350 с;
7. Б.Д. Тотурбиев, А.Б. Тотурбиев Полисиликаты щелочных металлов – уникальные связующие вещества для получения нанодисперсных полисиликатнатриевых композиций. //Промышленное и гражданское строительство, 2017. № 4. С. 72-76.
8. Тотурбиев Б.Д., Тотурбиев А.Б., Абдулаев М.Ш., Абдулганиева Т.И. Использование аргиллитовых глин для производства керамзита // Горный журнал: - Москва: 2018, № 3. С. 58-62.
9. Тотурбиев Б.Д., Мамаев С.А., Тотурбиев А.Б. Композиционные строительные материалы из нерудного сырья мезозойско-кайнозойских осадочных толщ // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. 2020. № 6 (49). С. 37-43.
10. Тотурбиев Б.Д., Мамаев С.А., Тотурбиев А.Б. Низкообжиговая, энергосберегающая, экологически безопасная технология производства керамических материалов на основе глинистых сланцев. Геология и геофизика Юга России. 2022. Т. 12. № 1. С. 148-161.

УДК: 50.347.097

DOI: 10.33580/2541-9684-2022-91-4-56-64

УСТАНОВЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТЕЙ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОТ ДРУГИХ ПАРАМЕТРОВ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ГРУНТОВ

Харегов К.С., Баскаев А.Н., Адрианова А.А., Козырев Е.Н.

Геофизический институт – филиал

ФГБУН ФНЦ «Владикавказский научный центр Российской академии наук»

Актуальность работы. Большая часть исследователей придерживается той точки зрения, что грунты вносят существенный вклад в проявление сейсмического эффекта. Частота внешних воздействий оказывает значительное влияние на работу зданий и сооружений. Вследствие этого представляется интересным определить зависимости между частотными характеристиками грунтов и другими параметрами сейсмических событий. **Цель исследования.** Изучение влияния магнитуды, логарифма гипоцентрального расстояния, логарифма ускорения, отношения максимального ускорения к максимальной скорости, длительности воздействия на частотные характеристики сильных грунтовых движений для различных видов грунтов. **Методы исследования.** Исследования проводились на основе данных японской системы K-NET. В базу данных этой системы входят инструментальные записи, полученные на одной тысяче сейсмических станций. Использовалась выборка, содержащая трехмерные записи, полученные за период с 11/05/1996 по 31/12/2021 включительно. **Результаты работы.** Установлено, что частотные характеристики значимо увеличиваются по линейному закону при возрастании отношения пиковой скорости к пиковому ускорению. При возрастании магнитуды частотные характеристики линейно убывают. Значения частотных характеристик линейно уменьшаются с увеличением логарифма гипоцентрального расстояния. Для скалы и гравия частотные характеристики имеют тенденцию к линейному росту с увеличением логарифма ускорения. На песке средневзвешенная и средняя частоты линейно убывают с ростом логарифма ускорения. Частотные характеристики линейно уменьшаются с увеличением длительности воздействия. На слабых грунтах эти зависимости более значимы, чем на плотных грунтах.

Ключевые слова: база данных сильных движений, K-NET, гипоцентрального расстояние, магнитуда, ускорение, частота максимума спектра Фурье, средневзвешенная частота, средняя частота.

ESTABLISHMENT OF DEPENDENCES OF FREQUENCY CHARACTERISTICS ON OTHER PARAMETERS OF SEISMIC EVENTS FOR VARIOUS SOILS

Kharebov K.S., Baskaev A.N., Adrianova A.A., Kozyrev E.N.

Geophysical Institute - branch of the Federal State Budgetary Institution Federal Scientific Center "Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences"

The relevance of the work. Most researchers adhere to the point of view that soils make a significant contribution to the manifestation of the seismic effect. The frequency of external influences has a significant impact on the operation of buildings and structures. As a result, it seems interesting to determine the relationship between the frequency characteristics of soils and other parameters of seismic events. Purpose of the study. Study of the influence of magnitude, logarithm of hypocentral distance, logarithm of acceleration, ratio of maximum acceleration to maximum speed, duration of impact on the frequency characteristics of strong ground movements for various types of soils. Research methods. The studies were carried out on the basis of data from the Japanese K-NET system. The database of this system includes instrumental records obtained at one thousand seismic stations. We used a sample containing three-dimensional records obtained for the period from 05/11/1996 to 12/31/2021 inclusive. Work results. It has been established that the frequency characteristics increase significantly according to a linear law with an increase in the ratio of peak speed to peak acceleration. As the magnitude increases, the frequency characteristics decrease linearly. The frequency response values decrease linearly as the logarithm of the hypocentral distance increases. For rock and gravel, the frequency response tends to increase linearly with increasing logarithm of acceleration. On sand, the weighted average and average frequencies decrease linearly with increasing logarithm of acceleration. The frequency characteristics decrease linearly with increasing duration of exposure. On soft soils, these dependences are more significant than on dense soils.

Keywords: strong motion database, K-NET, hypocentral distance, magnitude, acceleration, frequency of Fourier spectrum maximum, weighted average frequency, average frequency.

ВВЕДЕНИЕ

Достаточно простейшего анализа для того, чтобы убедиться в частотной зависимости зданий и сооружений, таких, например, как здания, мосты, земляные сооружения.

Любое периодическое движение может быть выражено с помощью Фурье-анализа в виде суммы простых гармонических колебаний с различной частотой, амплитудой и фазой. Обычно используется амплитудный спектр Фурье – зависимость амплитуды коэффициентов Фурье от частоты.

Спектр Фурье может быть широким или узким. Узкий спектр показывает, что движение имеет преобладающую частоту (или период), которая описывается гладким, почти синусоидальным временным рядом. Широкий спектр приводит к движениям, состоящим из множества частот, образующих нерегулярный спектр с флюктуациями.

В качестве исходных данных в работе использовались инструментальные данные сейсмических воздействий в цифровом виде, зарегистрированных в различных грунтовых условиях, а именно записи K-NET [15].

К частотным характеристикам сильных грунтовых движений относятся: частота максимума спектра Фурье, средневзвешенная частота, средняя частота. Для этих характеристик сильны связи с магнитудой, логарифмом расстояния, логарифмом ускорения, отношением максимального ускорения к максимальной скорости, длительностью воздействия. От частотных характеристик зависит интенсивность проявления сейсмического эффекта.

Оценка сейсмической интенсивности является мерой эффекта воздействия сейсмических колебаний на различные объекты, и, в первую очередь, на здания и сооружения, последствия от которых приводят к разрушениям и соответствующим ущербам. В этой связи макросейсмическая интенсивность является параметром, напрямую оценивающим сейсмические риски (как статистические распределения степени и количества повреждений зданий различного типа) [10;12;17;19;20;22].

Известно большое число различных сейсмических шкал. Наиболее часто используемыми из них являются шкала MSK-64 и ее актуализированная версия ШСИ-17 и др. [10;11;17;18]. Большинство шкал имеет двенадцать уровней от I до XII, но соответствующие значения пикового ускорения грунта (PGA) и пиковой скорости грунта (PGV) в шкалах значительно различаются между собой [11;18]. Одна из основных причин этого различия заключается в том, что пиковые параметры движения грунта характеризуются значительной региональной зависимостью, в том числе от механизма источника сейсмического разлома, скоростного разреза слоев грунтовой толщи и др., т.е. характеризуется целым рядом локальных условий в различных регионах [1–6;9;13]. Это обуславливает заметное различие в уравнениях макросейсмической интенсивности. В настоящее время созданы собственные региональные регрессионные модели в разных странах и регионах, например, в Калифорнии, восточной части Северной Америки, Италии, Греции, Японии, да и в России (напр. Дальний Восток и Северный Кавказ), которые рассматриваются в качестве основ для соответствующих макросейсмических шкал. Кроме того, макросейсмические шкалы непосредственно основаны на оценках повреждений зданий и сооружений, которые в разных регионах также могут сильно отличаться [7;8]. В то же время инструментальные величины сейсмической интенсивности, рассчитанные на основе регрессионных моделей, могут обеспечить быстрое получение данных об интенсивности проявленных сейсмических воздействий после разрушительного землетрясения. Это предполагает доступность записей колебаний грунта, полученных с помощью приборов для сейсморазведки и сильных колебаний грунта. Например, система ShakeMap в Калифорнии и Италии, как и система оперативной отчетности JMA о сейсмической интенсивности в Японии, основаны именно на инструментальной сейсмической интенсивности.

Традиционно сейсмические воздействия в практике сейсмостойкого строительства оцениваются величиной пикового горизонтального ускорения грунта. Такой подход, являясь простым и удобным для практического использования, отражен в строительных нормах для сейсмостойкого проектирования и строительства в сейсмически опасных районах большинства стран мира.

Движение грунта, вызванное землетрясением, является сложным, и для количественного отражения характеристик движения грунта используется несколько параметров. Амплитуда, частотный состав и продолжительность ускорений колебаний грунта являются наиболее важными характеристиками в воззрениях инженерного сообщества [16; 14]. Много моделей построено также для пиковой скорости колебаний грунта. В зависимости от категории ответственности объектов в специальных Нормах могут быть также использованы скорости и смещения колебаний. В частности, в американской ShakeMap инструментальной оценке используются статистические данные для ускорений, скоростей и смещений в зависимости от их интенсивности [21]. Очевидно, что каждый из вышеперечисленных показателей «работает» в разных диапазонах в силу различного частотного состава приходящих колебаний.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Расчеты проводились в статистической системе «Statistica-13». Были исследованы зависимости частоты максимума спектра Фурье, средневзвешенной частоты, средней частоты от магнитуды, логарифма гипоцентрального расстояния, логарифма ускорения, отношения максимального ускорения к максимальной скорости, длительности воздействия. Исследовались следующие типы грунтов: скала, песок, гравий, ил, глина.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Получены следующие зависимости частотных характеристик от отношения максимального ускорения к максимальной скорости (табл. 1).

Таблица 1

Зависимость частотных характеристик от отношения максимального ускорения к максимальной скорости

Тип грунтов	Зависимость частоты максимума спектра Фурье от отношения максимального ускорения к максимальной скорости	R ²	Зависимость средневзвешенной частоты спектра Фурье от отношения максимального ускорения к максимальной скорости	R ²	Зависимость средней частоты спектра Фурье от отношения максимального ускорения к максимальной скорости	R ²
Скала	$F_{ma} = 0,56 + 0,17 \cdot Acc/V$	0,47	$F_{wm} = 5,05 + 0,17 \cdot Acc/V$	0,63	$F_{me} = 3,06 + 0,17 \cdot Acc/V$	0,60
Песок	$F_{ma} = 0,03 + 0,15 \cdot Acc/V$	0,59	$F_{wm} = 4,35 + 0,14 \cdot Acc/V$	0,65	$F_{me} = 2,36 + 0,15 \cdot Acc/V$	0,68
Гравий	$F_{ma} = -0,89 + 0,20 \cdot Acc/V$	0,61	$F_{wm} = 6,49 + 0,13 \cdot Acc/V$	0,67	$F_{me} = 4,36 + 0,15 \cdot Acc/V$	0,68
Ил	$F_{ma} = -0,42 + 0,18 \cdot Acc/V$	0,69	$F_{wm} = 3,38 + 0,16 \cdot Acc/V$	0,59	$F_{me} = 1,44 + 0,17 \cdot Acc/V$	0,67
Глина	$F_{ma} = -0,27 + 0,17 \cdot Acc/V$	0,60	$F_{wm} = 3,75 + 0,18 \cdot Acc/V$	0,60	$F_{me} = 1,45 + 0,19 \cdot Acc/V$	0,64
Все	$F_{ma} = 0,04 + 0,174 \cdot Acc/V$	0,66	$F_{wm} = 4,068 + 0,157 \cdot Acc/V$	0,73	$F_{me} = 2,03 + 0,17 \cdot Acc/V$	0,75

Из таблицы 1 следует, что для скалы, песка и гравия при возрастании отношения пиковой скорости к пиковому ускорению частота максимума спектра Фурье, средневзвешенная частота и средняя частота линейно возрастают с одинаковым наклоном. При этом средняя частота выше частоты максимума спектра Фурье на 2,5 Гц, а средневзвешенная частота выше частоты максимума спектра Фурье на 4,5 Гц. Для грунтов, содержащих более 65% ила и более 60% глины при возрастании отношения пикового ускорения к пиковой скорости частота максимума спектра Фурье, средневзвешенная частота и средняя частота линейно возрастают с почти одинаковым наклоном. При этом средняя частота выше частоты максимума спектра Фурье на 2 Гц, а средневзвешенная частота выше частоты максимума спектра Фурье на 4 Гц (рис. 1).

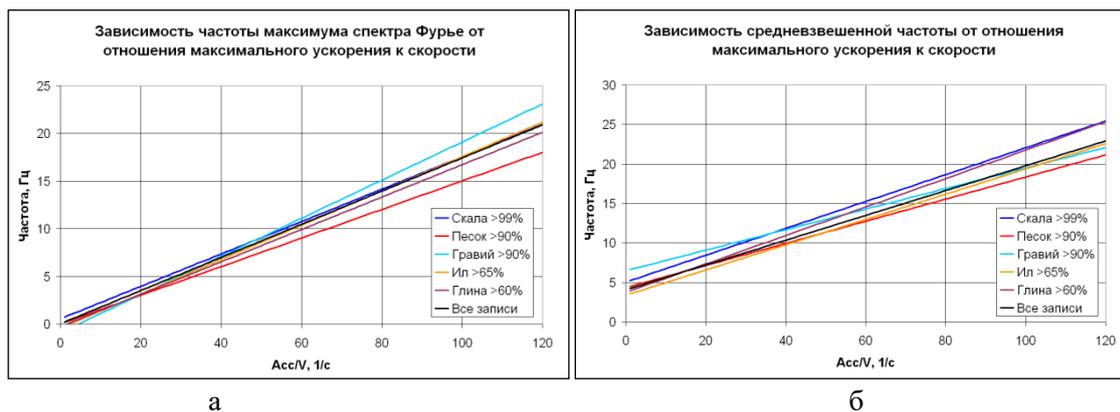


Рис. 1. Зависимости частотных характеристик: а) Зависимость частоты максимума спектра Фурье от отношения максимального горизонтального ускорения к максимальной горизонтальной скорости; б) Зависимость средневзвешенной частоты от отношения максимального горизонтального ускорения к максимальной горизонтальной скорости.

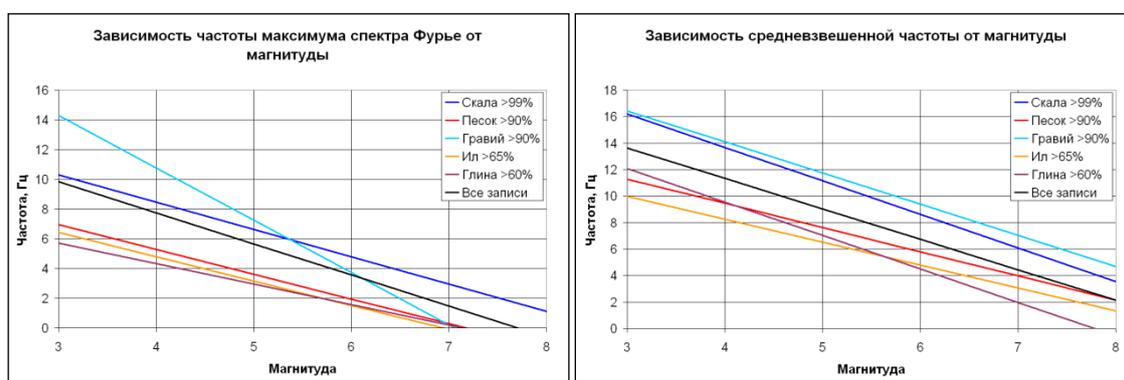
В результате проведенных исследований установлены представленные ниже соотношения (табл. 2).

Таблица 2

Зависимость частотных характеристик от магнитуды

Тип грунтов	Зависимость частоты максимума спектра Фурье от магнитуды	R ²	Зависимость средневзвешенной частоты спектра Фурье от магнитуды	R ²	Зависимость средней частоты спектра Фурье от магнитуды	R ²
Скала	$F_{ma} = 15,83 - 1,84 \cdot M$	0,10	$F_{wm} = 23,79 - 2,53 \cdot M$	0,25	$F_{me} = 21,58 - 2,46 \cdot M$	0,21
Песок	$F_{ma} = 11,97 - 1,67 \cdot M$	0,31	$F_{wm} = 16,77 - 1,83 \cdot M$	0,47	$F_{me} = 13,79 - 1,59 \cdot M$	0,35
Гравий	$F_{ma} = 24,85 - 3,52 \cdot M$	0,21	$F_{wm} = 23,48 - 2,35 \cdot M$	0,25	$F_{me} = 23,16 - 2,55 \cdot M$	0,22
Ил	$F_{ma} = 11,30 - 1,63 \cdot M$	0,23	$F_{wm} = 15,17 - 1,73 \cdot M$	0,27	$F_{me} = 12,75 - 1,60 \cdot M$	0,25
Глина	$F_{ma} = 9,86 - 1,38 \cdot M$	0,20	$F_{wm} = 19,67 - 2,53 \cdot M$	0,56	$F_{me} = 16,56 - 2,31 \cdot M$	0,45
Все	$F_{ma} = 16,10 - 2,09 \cdot M$	0,18	$F_{wm} = 20,53 - 2,3 \cdot M$	0,29	$F_{me} = 18,6 - 2,24 \cdot M$	0,25

Из таблицы 2 следует, что для скалы, песка и гравия при возрастании магнитуды частота максимума спектра Фурье, средневзвешенная частота и средняя частота линейно падают (рис. 2). При повышении магнитуды разница между частотами спадает. Около магнитуды 5 средняя частота выше частоты максимума спектра Фурье на 2,5 Гц, а средневзвешенная частота выше частоты максимума спектра Фурье на 4,5 Гц. Для грунтов, содержащих более 65% ила при возрастании магнитуды частота максимума спектра Фурье, средневзвешенная частота и средняя частота линейно падают. При повышении магнитуды разница между частотами спадает. Около магнитуды 5 средняя частота выше частоты максимума спектра Фурье на 1,5 Гц, а средневзвешенная частота выше частоты максимума спектра Фурье на 4 Гц. Для грунтов, содержащих более 60% глины при возрастании магнитуды частота максимума спектра Фурье, средневзвешенная частота и средняя частота линейно падают. При повышении магнитуды разница между частотами спадает. Около магнитуды 5 средняя частота выше частоты максимума спектра Фурье на 2 Гц, а средневзвешенная частота выше частоты максимума спектра Фурье на 4 Гц.



а

б

Рис. 2. Зависимости частотных характеристик: а) Зависимость частоты максимума спектра Фурье от магнитуды; б) Зависимость средневзвешенной частоты от магнитуды.

Результаты исследования зависимостей частотных характеристик от логарифма гипоцентрального расстояния сведены в таблицу 3.

Таблица 3

Зависимость частотных характеристик от логарифма гипоцентрального расстояния

Тип грунтов	Зависимость частоты максимума спектра Фурье от логарифма расстояния	R ²	Зависимость средневзвешенной частоты спектра Фурье от логарифма расстояния	R ²	Зависимость средней частоты спектра Фурье от логарифма расстояния	R ²
Скала	$F_{ma} = 13,7 - 3,37 \cdot \lg(h)$	0,04	$F_{wm} = 18,1 - 3,33 \cdot \lg(h)$	0,05	$F_{me} = 17,0 - 3,7 \cdot \lg(h)$	0,06
Песок	$F_{ma} = 7,1 - 1,67 \cdot \lg(h)$	0,04	$F_{wm} = 12,4 - 2,30 \cdot \lg(h)$	0,10	$F_{me} = 9,08 - 1,55 \cdot \lg(h)$	0,04
Гравий	$F_{ma} = 19,7 - 5,69 \cdot \lg(h)$	0,12	$F_{wm} = 20,1 - 3,84 \cdot \lg(h)$	0,14	$F_{me} = 19,2 - 4,00 \cdot \lg(h)$	0,12
Ил	$F_{ma} = 7,9 - 2,22 \cdot \lg(h)$	0,07	$F_{wm} = 12,2 - 2,70 \cdot \lg(h)$	0,11	$F_{me} = 9,8 - 2,41 \cdot \lg(h)$	0,09
Глина	$F_{ma} = 5,24 - 0,96 \cdot \lg(h)$	0,02	$F_{wm} = 14,6 - 3,61 \cdot \lg(h)$	0,26	$F_{me} = 11,0 - 2,79 \cdot \lg(h)$	0,15
Все	$F_{ma} = 12,2 - 3,03 \cdot \lg(h)$	0,06	$F_{wm} = 17,1 - 3,77 \cdot \lg(h)$	0,13	$F_{me} = 15,0 - 3,53 \cdot \lg(h)$	0,10

В соответствии с таблицей 3 можно сделать вывод о том, что для всех типов грунтов значения частотных характеристик линейно уменьшаются с увеличением логарифма гипоцентрального расстояния. На плотных грунтах этот процесс происходит быстрее, чем на рыхлых. Зависимость от логарифма гипоцентрального расстояния носит второстепенный характер по сравнению с зависимостью от магнитуды.

Исследования зависимостей частотных характеристик от логарифма ускорения, привели к следующим результатам (табл. 4).

Таблица 4

Зависимость частотных характеристик от логарифма ускорения

Тип грунтов	Зависимость частоты максимума спектра Фурье от логарифма ускорения	R ²	Зависимость средневзвешенной частоты спектра Фурье от логарифма ускорения	R ²	Зависимость средней частоты спектра Фурье от логарифма ускорения	R ²
Скала	$F_{ma} = 4,19 + 2,85 \cdot \lg(\text{Acc})$	0,05	$F_{wm} = 8,64 + 2,97 \cdot \lg(\text{Acc})$	0,08	$F_{me} = 6,67 + 3,07 \cdot \lg(\text{Acc})$	0,08
Песок	-	-	$F_{wm} = 9,05 - 1,18 \cdot \lg(\text{Acc})$	0,04	$F_{me} = 6,87 - 0,84 \cdot \lg(\text{Acc})$	0,02
Гравий	$F_{ma} = 3,66 + 4,67 \cdot \lg(\text{Acc})$	0,13	$F_{wm} = 9,58 + 2,84 \cdot \lg(\text{Acc})$	0,13	$F_{me} = 7,71 + 3,49 \cdot \lg(\text{Acc})$	0,15
Ил	-	-	-	-	-	-
Глина	-	-	-	-	-	-
Все	$F_{ma} = 5,19 + 0,95 \cdot \lg(\text{Acc})$	0,01	$F_{wm} = 8,89 + 0,70 \cdot \lg(\text{Acc})$	0,01	$F_{me} = 7,18 + 0,76 \cdot \lg(\text{Acc})$	0,01

Из таблицы 4 можно сделать следующие выводы. Частота максимума спектра Фурье имеет тенденцию к росту с логарифмом ускорения для скалы и гравия. На рыхлых грунтах зависимость не значима. На всех записях зависимость весьма слабая, но значимая. На гравии частоты выше, чем на скале (рис. 3а). С ростом ускорения, разница между частотами на скале и гравии увеличивается. Средневзвешенная частота имеет тенденцию к росту с логарифмом ускорения для скалы и гравия. На песке частота падает с логарифмом ускорения линейно. На всех записях зависимость весьма слабая, но значимая. На гравии частоты выше, чем на скале (рис. 3б). С ростом ускорения, разница между частотами на скале и песке увеличивается. При ускорениях около 10 гал разница между частотами на песке и скале составляет около 4 Гц, при 100 гал – около 6 Гц, при 1000 гал – около 12 Гц. Зависимость от логарифма ускорения носит второстепенный характер по сравнению с зависимостью от магнитуды. Средняя частота имеет тенденцию к росту с логарифмом ускорения для скалы и гравия. На песке частота падает с логарифмом ускорения линейно. На всех записях зависимость весьма слабая, но значимая. При одинаковых логарифмах ускорения частоты на гравии выше, чем на скале. С ростом ускорения, разница между частотами на скале и песке увеличивается. При ускорениях около 10 гал разница между частотами на песке и скале составляет около 4 Гц, при 100 гал – около 8 Гц, при 1000 гал – около 12 Гц.

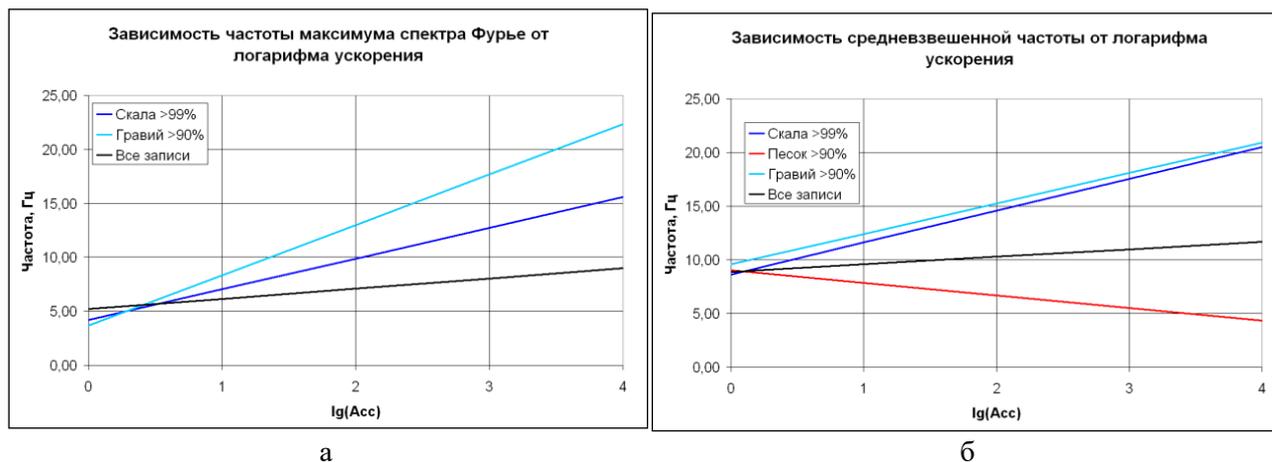


Рис. 3. Зависимости частотных характеристик: а) Зависимость частоты максимума спектра Фурье от логарифма ускорения; б) Зависимость средневзвешенной частоты от логарифма ускорения.

Получены следующие зависимости частотных характеристик от длительности воздействия (табл. 5).

Таблица 5

Зависимость частотных характеристик от длительности воздействия

Тип грунтов	Зависимость частоты максимума спектра Фурье от длительности воздействия	R ²	Зависимость средневзвешенной частоты спектра Фурье от длительности воздействия	R ²	Зависимость средней частоты спектра Фурье от длительности воздействия	R ²
Скала	$F_{ma} = 8,79 - 0,08 \cdot T$	0,03	$F_{wm} = 13,29 - 0,08 \cdot T$	0,03	$F_{me} = 11,01 - 0,06 \cdot T$	0,02
Песок	$F_{ma} = 6,41 - 0,08 \cdot T$	0,20	$F_{wm} = 10,41 - 0,08 \cdot T$	0,25	$F_{me} = 8,09 - 0,06 \cdot T$	0,15
Гравий	$F_{ma} = 11,73 - 0,13 \cdot T$	0,09	$F_{wm} = 14,7 - 0,09 \cdot T$	0,10	$F_{me} = 13,39 - 0,08 \cdot T$	0,07
Ил	$F_{ma} = 6,03 - 0,08 \cdot T$	0,20	$F_{wm} = 9,75 - 0,09 \cdot T$	0,26	$F_{me} = 7,45 - 0,08 \cdot T$	0,19
Глина	$F_{ma} = 4,94 - 0,05 \cdot T$	0,11	$F_{wm} = 10,50 - 0,09 \cdot T$	0,29	$F_{me} = 7,92 - 0,07 \cdot T$	0,18
Все	$F_{ma} = 9,10 - 0,11 \cdot T$	0,12	$F_{wm} = 12,58 - 0,11 \cdot T$	0,17	$F_{me} = 10,72 - 0,10 \cdot T$	0,13

Из таблицы 5 можно сделать следующие выводы. Частота максимума спектра Фурье, средневзвешенная частота и средняя частота уменьшаются с длительностью воздействия. На слабых грунтах (песке, иле, глине) эти зависимости более значимы, чем на плотных грунтах (скала, гравий).

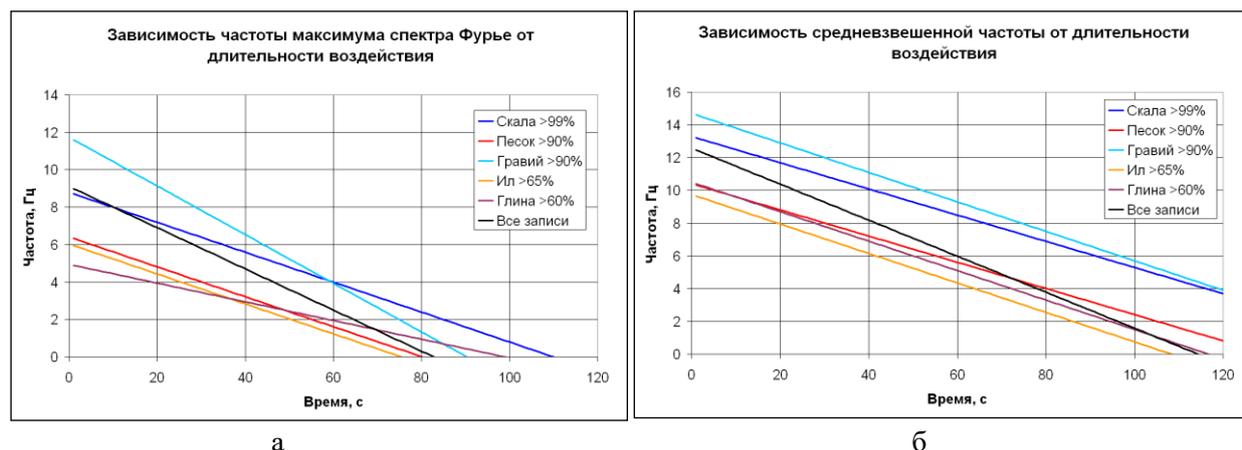


Рис. 4. Зависимости частотных характеристик: а) Зависимость частоты максимума спектра Фурье от длительности воздействия; б) Зависимость средневзвешенной частоты от длительности воздействия.

При одинаковых длительностях частоты на скале и гравии выше, чем на песке, глине и иле (рис. 4).

ВЫВОДЫ

1. Частотные характеристики значительно увеличиваются по линейному закону при возрастании отношения пиковой скорости к пиковому ускорению.
2. При возрастании магнитуды частотные характеристики линейно убывают.
3. Значения частотных характеристик линейно уменьшаются с увеличением логарифма гипоцентрального расстояния.
4. На скале и гравии частотные характеристики имеют тенденцию к линейному росту с увеличением логарифма ускорения. На песке средневзвешенная и средняя частоты линейно убывают с ростом логарифма ускорения.
5. Частотные характеристики линейно уменьшаются с увеличением длительности воздействия. На слабых грунтах эти зависимости более значимы, чем на плотных грунтах.

Литература

1. Аптикаев Ф. Ф. О вероятности превышения воздействий в строительных нормах // Геология и геофизика Юга России. 2021. 11 (3): 55–62. DOI: 10.46698/VNC.2021.11.83.005.
2. Дмитриева И. Ю., Саяпина А. А., Багаева С. С., Горожанцев С. В. Макросейсмические и инструментальные исследования Верхне-Фиагдонского землетрясения 26 января 2020 года // Геология и геофизика Юга России. 2020. 10 (4): 113–123. DOI: 10.46698/VNC.2020.64.38.007.
3. Етирмишли Г. Д., Исмаилова С. С., Казымова С. Е. Исмаиллинское землетрясение 5 февраля 2019 // Геология и геофизика Юга России. 2021. 11(4): 58–69. DOI: 10.46698/VNC.2021.13.46.005.
4. Заалишвили В. Б., Мельков Д. А., Никонова Н. В., Смирнова Л. Н., Уздин А. М. Характеристики пространственной неоднородности поля ускорений дневной поверхности // Геология и геофизика Юга России. 2022. 12 (1): 75–88. DOI: 10.46698/VNC.2022.74.27.006.
5. Заалишвили В. Б., Мельков Д. А., Габараев А. Ф., Мерзликин Т. И. Нелинейные колебания грунтовой толщи по инструментальным и численным данным // Геология и геофизика Юга России. 2021. 11(4): 70–82. DOI: 10.46698/VNC.2021.77.59.006.
6. Казымова С. Е. Уточнение гипоцентров землетрясений методом двойной разности. Геология и геофизика Юга России. 2021. 11 (1): 52–68. DOI: 10.46698/VNC. 2021.42.74.005.
7. Карапетян Дж. К., Айрапетян О. Ю., Матевосян Г. М., Карапетян Р. К. Сравнительный анализ динамических характеристик зданий различных типов при микросейсмических колебаниях // Геология и геофизика Юга России. 2021. 11 (3): 103–114. DOI: 10.46698/VNC.2021.70.17.009.

8. Мамаев С.А., Дорофеев В.М., Мамаев А.С. Определение динамических параметров моделей зданий и сооружений на основе инженерно-сейсмометрической информации. Геология и Геофизика Юга России. 2019. 9(4): 111–125. DOI: 10.23671/VNC.2019.4.44493.
9. Эртелева О. О., Аптикаев Ф. Ф., Редди Картик К. С. К., Чанда С., Сомала С. Н. Землетрясение Монте Кристо Рэйндж, 15 мая 2020 г.: расчетная интенсивность и макросейсмическое поле // Геология и геофизика Юга России. 2022. 12 (1): 62–74. DOI: 10.46698/VNC.2022.92.93.005.
10. Caprio M., Tarigan B., Worden C. B., Wiemer S., Wald D. J. Ground motion to intensity conversion equations (GMICES): A global relationship and evaluation of regional dependency. Bull. Seismol. Soc. Am. 2015, 105, 1476–1490.
11. Du K., Ding, B., Luo H., Sun J. Relationship between peak ground acceleration, peak ground velocity, and macroseismic intensity in western China. Bull. Seismol. Soc. Am. 2018. 109. 284–297.
12. Gutenberg B., Richter C. F. Earthquake magnitude, intensity, energy, and acceleration // Bull. Seismol. Soc. Am. 1956. 46. 105–145.
13. Jyun-Yan Huang, Zaalishvili V. B., Melkov D. A., Chun-Hsiang Kuo, Kuo-Liang Wen, Chun-Te Chen. Progress of Soil Nonlinearity Researches of Recent Years in Russia and Taiwan // Geology and Geophysics of Russian South. 2020. 10 (2): 95–112. DOI: 10.46698/VNC.2020.28.93.007.
14. Karimzadeh S., &Askan A. Collection of microseismic intensity data: a model for Turkey. Arabian Journal of Geosciences. 2021. 14(5). Article 396. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-06812-1>.
15. Kinoshita S. Kyoshin Net (K-NET), Japan. Int. Handbook of Earthquake and Engineering seismology, v. 81B, 2003, pp.1049-1056.
16. Kramer S. L. Geotechnical Earthquake Engineering, 1st ed. Prentice Hall: Upper Saddle River, NJ, USA, 1996; pp. 65–84.
17. Musson R. M. W., Grünthal G., Stucchi M. The comparison of macroseismic intensity scales. J. Seismol. 2009. 14. 413–428.
18. Sun B. T., Yan J.Q., Li S. Y. The development of macroseismic intensity and the evolution of its use. Earthq. Eng. Eng. Vib. 2019. 39. 1–8. (In Chinese)
19. Trifunac M. D.; Brady A. G. On the correlation of seismic intensity scales with the peaks of recorded strong ground motion // Bull. Seismol. Soc. Am. 1975. 65. 139–162.
20. Wald D.J., Quitoriano V., Heaton T.H., Kanamori H. Relationships between peak ground acceleration, peak ground velocity, and modified Mercalli intensity in California. Earthq. Spectra 1999, 15, 557–564.
21. Wei Li, Shanyou Li, Liang Li and Jinglong Han. Computational Research on Seismic Intensity Based on Ground Motion Parameters Advanced Materials Research. 2014. Vol. 838–841. P. 1595–1599.
22. Zaalishvili V. B., Pinar A., Erdik M., Burdzieva O. G, Melkov D. A. Issues of seismic risk assessment of Vladikavkaz city // Geology and Geophysics of Russian South. 2020. 10 (3): 94–113. DOI: 10.46698/VNC.2020.47.51.006.

УДК 550.343.6

DOI: 10.33580/2541-9684-2022-91-4-65-72

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ САМОПОДОБИЯ СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Таймазов Д.Г.

*Единая геофизическая служба РАН, Россия, г. Обнинск;
Институт геологии ДФИЦ РАН, Россия, г. Махачкала*

Приводится описание предложенного автором алгоритма прогноза места, силы и времени сильных землетрясений на основе самоподобия сейсмического процесса в широком энергетическом диапазоне. Основным анализируемым параметром является определяемые по сейсмическому каталогу векторы признаков, характеризующие распределение эпицентров слабых землетрясений представительных классов в зонах подготовки прогнозируемых землетрясений. При наличии достаточной информации, к ним добавляются параметры тензоров средних механизмов очагов для каждой зоны подготовки с учетом их весовых коэффициентов. Предусмотрена разработка для реализации алгоритма программы с машинным обучением.

Ключевые слова: энергетический класс землетрясений, зона подготовки, сейсмический цикл, вектор признаков, фокальный механизм, весовые коэффициенты, ретропрогноз, машинное обучение.

ON THE POSSIBILITY OF USING THE SEISMIC PROCESS SELF SIMILARITY FOR EARTHQUAKE PREDICTION

D.G. Taymazov

*Unified Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences, Russia, Obninsk;
Institute of Geology DFRC RAS, Russia, Makhachkala*

A description of the algorithm proposed by the author for predicting the location, strength and time of strong earthquakes based on the self-similarity of the seismic process in a wide energy range is given. The main analyzed parameter is the feature vectors determined from the seismic catalog that characterize the distribution of epicenters of weak earthquakes of representative classes in the zones of preparation of predicted earthquakes. If sufficient information is available, the parameters of the tensors of the average focal mechanisms for each preparation zone are added to them, taking into account their weight coefficients. Development is provided for the implementation of the program algorithm with machine learning.

Keywords: earthquake energy class, preparation zone, seismic cycle, feature vector, focal mechanism, weight coefficients, retroprediction, machine learning.

Введение

Прогноз землетрясений является самой актуальной проблемой сейсмологии и над ее решением работают в разных регионах мира. Несмотря на это проблема по сей день остается нерешенной. К примеру, многолетний опыт прогнозирования землетрясений на территории Камчатки по более чем двадцати методам среднесрочного и краткосрочного прогноза показывает невысокую эффективность всех использованных методов [1].

В работе [2] мы предложили способ прогнозирования землетрясений, включающий многолетние детальные сейсмологические наблюдения на контролируемой территории, поиск закономерностей в пространственно-временном распределении слабых землетрясений (микросейсмической эмиссии) и определение по ним координат очагов, а с использованием известных соотношений между параметрами землетрясений – также магнитуд и времени, оставшейся до реализации ожидаемых землетрясений.

Недостатком этого подхода является то, что он базируется на одной из теоретических моделей подготовки землетрясений и ввиду неоднородности и изменчивости во времени физико-химических и реологических свойств земной коры не может быть в равной мере применен ко всем сейсмоопасным регионам и эпохам, что существенно уменьшает эффективность прогноза.

В предлагаемом в настоящей работе алгоритме прогноза землетрясений используются только сейсмические наблюдения и самоподобие сейсмического процесса в широком диапазоне энергетических масштабов. Суть алгоритма заключается в выявлении, путем статистической обработки прошедших землетрясений, характерных закономерностей в пространственном распределении и эволюции во времени параметров слабых землетрясений в зонах подготовки относительно сильных землетрясений-«образцов» для последующего сопоставления найденной совокупности признаков (вектора признаков) с таковыми для предполагаемых областей подготовки прогнозируемых на перспективу землетрясений.

Описание алгоритма

В кратком изложении, предлагаемый алгоритм прогноза землетрясений можно представить в виде следующей последовательности шагов.

1. Выделение из каталога землетрясений, составленном по многолетним наблюдениям на контролируемой территории, выборки V_N прошедших землетрясений-«образцов» с энергетическими классами K_v , где N – ихобщее число, а $v \in [1; N]$ – порядковый номер землетрясения в выборке, для их последующего сопоставления с прогнозируемыми землетрясениями, и введение такой фиксированной величины интервала энергетических классов $\Delta K = const$, чтобы число землетрясений с энергетическими классами от $(K_v - \Delta K) \geq K_0$ до K_v , где K_0 – их представительный класс, в зоне подготовки каждого «образца» с радиусом [3]

$$R(K) = 10^{0,289K-4,116} \cdot (10^{-6})^{-1/3} = 10^{0,289K-2,116} \text{ (км)}, \quad (1)$$

соответствующим заданному уровню относительной деформации, например $\varepsilon = 10^{-6}$, за последнюю десятину его сейсмического цикла [3]

$$\Delta T(K) = 0,1T(K) = 10^{0,333K-4,417} \text{ (лет)}, \quad (2)$$

было достаточным для статистического анализа.

2. Приведение известных теоретических соотношений для радиусов зон подготовки землетрясений (1) и длительности последних десятин их сейсмических циклов (2) к масштабнo-инвариантному виду, приняв за единицы длины и времени радиусы зон подготовки и время подготовки землетрясений класса $(K_v - \Delta K)$:

$$r(\Delta K) = \frac{R(K_v)}{R(K_v - \Delta K)} = 10^{0,289\Delta K}, \quad (3)$$

$$\Delta t(\Delta K) = \frac{\Delta T(K_v)}{T(K_v - \Delta K)} = 10^{0,333\Delta K-1}; \quad (4)$$

разбивка каждой из зон подготовки на L равных по площади ячеек, например 32, а последней десятины сейсмического цикла – на Λ этапов равной длительности, например 10, определение в каждой ячейке $l \in [1; L]$ зоны подготовки каждого v -го землетрясения относительного числа $q_l^\lambda(\Delta K, K_v) = n_l^\lambda / n_{max}^\lambda \in [0; 1]$ землетрясений в диапазоне классов от $K_v - \Delta K$ до K_v , произошедших с начала последней десятины сейсмического цикла $\Delta t(\Delta K)$ до конца каждого его этапа $\lambda \in [1; \Lambda]$.

3. Введение в параметр $q_l^\lambda(\Delta K, K_v)$ еще одной переменной – угла поворота Ψ_ω в горизонтальной плоскости всей зоны подготовки землетрясения-«образца» относительно таковой для прогнозируемого землетрясения при их сопоставлении, например с шагом 5° в диапазоне от 0 до 360° , где $\omega \in [1; \Omega]$, $\Omega = 72$, вследствие чего он приобретает вид $q_{l_w} = q_l^\lambda(\Delta K, K_v, \Psi_\omega)$ (при каждом повороте разбивка на ячейки зоны подготовки землетрясений класса K_v проводится заново).

4. Представление набора из L параметров q_{l_w} в виде «образца» вектора признаков $Q_w = \{q_{1_w}, \dots, q_{l_w}, \dots, q_{L_w}\}$ размерности L с компонентами q_{l_w} , где каждому $w \in [1; W]$ соответствует одно из сочетаний индексов λ, v, ω , и формирование из всех Q_w множества V_W «образцов» векто-

ров признаков с максимально возможным числом элементов $W = N\Lambda\Omega$ (произведение максимальных значений индексов).

5. Задание шага, например 0,5, и интервала, например $12,5 \div 17$ ($M \cong 5,1 \div 8,1$), изменений значений энергетических классов K_z землетрясений, подлежащих прогнозу, где $z \in [1; Z]$, а Z – максимальное число шагов в нем (в нашем случае $Z = 10$); определение для каждого значения K_z радиуса зоны подготовки и длительности последней десятины сейсмического цикла землетрясения, используя в качестве единиц соответственно радиус зоны подготовки и длительность последней десятины сейсмического цикла землетрясения класса $K_z - \Delta K$, в результате чего получим для них выражения

$$r(\Delta K) = \frac{R(K_z)}{R(K_z - \Delta K)} = 10^{0,289\Delta K} \quad (5)$$

и

$$\Delta t(\Delta K) = \frac{\Delta T(K_z)}{T(K_z - \Delta K)} = 10^{0,333\Delta K - 1}, \quad (6)$$

которые в силу масштабной инвариантности совершенно идентичны их аналогам для «образцов» $r(\Delta K)$ и $\Delta t(\Delta K)$ в (3) и (4).

6. Введение масштабно инвариантных единиц длины $e(z)$ и времени $\vartheta(z)$ в виде фиксированных долей, например $1/10$, соответственно от радиуса зоны подготовки прогнозируемого землетрясения

$$e(z) = R(K_z)/10 = 10^{0,289(K_z) - 3,116} \text{ (км)} \quad (7)$$

и последней десятины его сейсмического цикла

$$\vartheta(z) = \Delta T(K_z)/10 = 10^{0,333(K_z) - 5,417} \text{ (лет)} \quad (8)$$

и создание на контролируемой территории для каждого значения K_z своей прямоугольной координатной сетки с квадратными ячейками и ребрами, равными $e(z)$, сторонами $A \cdot e(z)$ и $B \cdot e(z)$, где A и B – целые числа, и текущими координатами узлов x_a, y_b , где $a \in [1; A]$ и $b \in [1; B]$, а также своей шкалы отсчета времени с шагом $\vartheta(z)$ от начала последней десятины сейсмического цикла прогнозируемого землетрясения на заданное число шагов Λ вперед, так что некоторое число $c = \Lambda - \lambda$ этапов переходит в будущее и время, оставшееся до прогнозируемого землетрясения, будет равно $\vec{\theta}_c = c \cdot \vartheta(z)$.

7. Формирование множества V_Φ векторов признаков виртуальных землетрясений $Q_\Phi = \{q_{1\Phi}, \dots, q_{l\Phi}, \dots, q_{L\Phi}\}$ с компонентами $q_{l\Phi} = q_l^\lambda(\Delta K, K_z, x_a, y_b)$, в которых каждому значению индекса $\Phi \in [1; \Phi]$ соответствует определенное сочетание индексов λ, z, a, b , для их последующего сопоставления соответственно с «образцами» векторов признаков $Q_w = \{q_{1w}, \dots, q_{lw}, \dots, q_{Lw}\}$ и их компонентами $q_{lw} = q_l^\lambda(\Delta K, K_w, \Psi_\omega)$, задавая для этого значения индекса энергетического класса z в промежутке $[1; Z]$, стадию в сейсмическом цикле λ в промежутке $[1; \Lambda]$ и располагая мысленно эпицентры и время в очагах предполагаемых в будущем виртуальных событий поочередно в каждом из пространственно-временных узлов с текущими координатами x_a, y_b и $\vec{\theta}_c$.

8. Определение для каждого виртуального землетрясения, также, как и для «образцов», по соотношениям (3-6) в безразмерном виде, площади зоны его подготовки $s(\Delta K) = \pi \cdot [R(K_z)/R(K_z - \Delta K)]^2 = \pi \cdot 10^{0,578\Delta K}$, которая делится на L равновеликих ячеек, длительности последней десятины сейсмического цикла $\Delta t(\Delta K) = \Delta T(K_z)/T(K_z - \Delta K) = 10^{0,333\Delta K - 1}$ и его текущего этапа λ в этом промежутке, а с использованием каталога землетрясений – компонентов вектора признаков – относительных чисел $q_{lw} = q_l^\lambda(\Delta K, K_w, \Psi_\omega)$ землетрясений в диапазоне классов от $K_z - \Delta K$ до K_z в каждой ячейке области подготовки виртуального землетрясения в течение интервала времени $\vartheta(z)\lambda$ (от начала первого до конца последнего этапа λ).

9. Преобразование соотношений для виртуальных векторов признаков вместе с «образцами» соответственно к виду

$$Q_\phi = \{q_{m_\phi}, \dots, q_{l_\phi}, \dots, q_{n_\phi}\} \text{ и } Q_w = \{q_{m_w}, \dots, q_{l_w}, \dots, q_{n_w}\}, \quad (9)$$

включающим только те ячейки $\Delta L_\phi = n_\phi - m_\phi + 1$ и $\Delta L_w = n_w - m_w + 1$ зон их подготовки, которые попадали на контролируемую территорию в течение этапов $\Delta\lambda = (\lambda - \lambda_0 + 1)$ (от начала первого входившего целиком в период наблюдений этапа λ_0 до конца последнего этапа λ), при этом $n_\phi = n_w, m_\phi = m_w, \Delta L_\phi = \Delta L_w \geq L/2, \Delta\lambda \geq \Lambda/2$.

10. Определение по соотношению

$$(\Delta Q_g)^2 = \frac{1}{n_g - m_g + 1} \sum_{l=m_g}^{n_g} [q_l^\lambda(\Delta K, K_z, x_a, y_b) - q_l^\lambda(\Delta K, K_v, \Psi_\omega)]^2 \quad (10)$$

средних значений квадратов разностей $(\Delta Q_g)^2$ соответствующих друг другу компонентов каждой пары сопоставляемых векторов признаков виртуальных землетрясений и «образцов» (п.9) и объединение их в множество $V_G(\Delta Q_g)^2$, где $G = \Lambda ZAB\Omega N$ – число элементов в нем, а индекс $g \in [1; G]$ соответствует одному из сочетаний индексов $\phi\lambda, z, a, b, \omega, v$.

11. Введение дополнительно в число анализируемых величин нормированных параметров средних фокальных механизмов [4] для зон подготовки виртуальных землетрясений и «образцов» – азимутов осей растяжения $(\varphi T)_\phi^n, (\varphi T)_w^n$ и сжатия $(\varphi P)_\phi^n, (\varphi P)_w^n$, углов их наклонов к горизонту $(\beta T)_\phi^n, (\beta T)_w^n$ и $(\beta P)_\phi^n, (\beta P)_w^n$, интенсивностей тензоров средних механизмов κ_ϕ, κ_w , коэффициентов Лоде-Надаи μ_ϕ^n, μ_w^n , коэффициентов подобия k_ϕ^n, k_w^n ; определение квадратов разностей этих параметров для виртуальных землетрясений и «образцов» и объединение их вместе с $(\Delta Q_g)^2$ (10) в систему множеств

$$\left\{ \begin{array}{l} V_G(\Delta Q_g)^2, V_G[\Delta(\varphi T)_g^n]^2, V_G[\Delta(\varphi P)_g^n]^2, V_G[\Delta(\beta T)_g^n]^2, \\ V_G[\Delta(\beta P)_g^n]^2, V_G(\Delta\kappa_g)^2, V_G(\Delta\mu_g^n)^2, V_G(\Delta k_g^n)^2. \end{array} \right. \quad (11)$$

12. Разделение временного интервала на эпоху сейсмических наблюдений (I эпоха) и равную ей по длительности эпоху, на которую осуществляется прогноз (II эпоха), приравнивание в первом приближении числа землетрясений D в диапазоне энергетических классов 12,5÷17, подлежащих прогнозированию на вторую эпоху по наблюдениям в первую, числу произошедших в первую эпоху \hat{D} в том же диапазоне энергетических классов ($D \approx \hat{D}$), выделение из всех множеств (11) подмножеств

$$\left\{ \begin{array}{l} V_U(\Delta Q_u)^2, V_U[\Delta(\varphi T)_u^n]^2, V_U[\Delta(\varphi P)_u^n]^2, V_U[\Delta(\beta T)_u^n]^2, \\ V_U[\Delta(\beta P)_u^n]^2, V_U(\Delta\kappa_u)^2, V_U(\Delta\mu_u^n)^2, V_U(\Delta k_u^n)^2 \end{array} \right. \quad (12)$$

с одинаковым числом элементов U в каждом, заведомо превышающим D ($U \gg D$), с одновременным определением энергетических классов землетрясений, соответствующих их элементам, наклона графика их повторяемости для каждого подмножества системы и использованием для этого комбинированного критерия

$$\frac{(\Delta f_U)^2 + [\Delta\gamma_f(U)]^2}{2} \rightarrow \min,$$

в который вместо $(\Delta f_U)^2$ поочередно вставляются средние арифметические квадратов разностей элементов этих подмножеств, а вместо $[\Delta\gamma_f(U)]^2$ – квадраты разностей наклонов графиков повторяемости землетрясений, соответствующих элементам подмножеств, и наклона графика повторяемости землетрясений $\gamma(\hat{D})$, произошедших в диапазоне классов 12,5÷17 в I эпоху; оценка среднеквадратичных погрешностей и весовых коэффициентов элементов этих подмножеств [5]

$$p_Q = \frac{\sigma^2}{[\sigma(\Delta Q_u)^2]^2}, p_{\varphi T} = \frac{\sigma^2}{\{\sigma[\Delta(\varphi T)_u^n]^2\}^2}, p_{\varphi P} = \frac{\sigma^2}{\{\sigma[\Delta(\varphi P)_u^n]^2\}^2}, p_{\beta T} = \frac{\sigma^2}{\{\sigma[\Delta(\beta T)_u^n]^2\}^2}, \quad (13)$$

$$p_{\beta P} = \frac{\sigma^2}{\{\sigma[\Delta(\beta P)_u^n]^2\}^2}, p_{\kappa} = \frac{\sigma^2}{[\sigma(\Delta \kappa_u)^2]^2}, p_{\mu} = \frac{\sigma^2}{[\sigma(\Delta \mu_u^n)^2]^2}, p_{k} = \frac{\sigma^2}{[\sigma(\Delta k_u^n)^2]^2},$$

13. Выделение средневзвешенных значений $(\Delta F_u)^2$ элементов с одинаковыми индексами из совокупности подмножеств $V_U(\Delta f_U)^2$ по комбинированному критерию [5]

$$(\Delta F_u)^2 = \frac{\left(p_Q(\Delta Q_u)^2 + p_{\varphi T}[\Delta(\varphi T)_u^n]^2 + p_{\varphi P}[\Delta(\varphi P)_u^n]^2 + p_{\beta T}[\Delta(\beta T)_u^n]^2 + p_{\beta P}[\Delta(\beta P)_u^n]^2 + p_{\kappa}(\Delta \kappa_u)^2 + p_{\mu}(\Delta \mu_u^n)^2 + p_k(\Delta k_u^n)^2 \right)}{p_Q + p_{\varphi T} + p_{\varphi P} + p_{\beta T} + p_{\beta P} + p_{\kappa} + p_{\mu} + p_k} \rightarrow \min, \quad (14)$$

с использованием весовых коэффициентов (13), определение энергетических классов соответствующих им виртуальных землетрясений и формирование из $(\Delta F_u)^2$ нового объединенного подмножества с тем же числом U элементов $V_U(\Delta F_u)^2$, используя для этого комбинированный критерий

$$\frac{(\Delta F_U)^2 + [\Delta \gamma_F(U)]^2}{2} \rightarrow \min,$$

где $(\Delta F_U)^2$ – среднее арифметическое элементов $(\Delta F_u)^2$ объединенного подмножества, $[\Delta \gamma_F(U)]^2$ – квадрат разности наклона графика повторяемости землетрясений, соответствующих этим элементам $\gamma_F(U)$, и $\gamma(\dot{D})$ из п.12.

14. Выделение из объединенного подмножества V_U выборки V_D элементов $(\Delta F_d)^2$, соответствующих прогнозируемым землетрясениям, с использованием для этого комбинированного критерия отбора

$$\frac{(\Delta F_D)^2 + (\Delta D)^2 + [\Delta \gamma_F(D)]^2}{3} \rightarrow \min,$$

включающего в себя варьирование D с одновременным перебором всевозможных сочетаний отбираемых из $V_U(\Delta F_u)^2$ элементов $(\Delta F_d)^2$, определение для каждого их сочетания среднего арифметического $(\Delta F_D)^2$, наклона графика повторяемости $\gamma_F(D)$ землетрясений, соответствующих их элементам, а также квадрата разности $\gamma_F(D)$ и $\gamma(\dot{D})$ по п. 13.

15. Выбор по сейсмическому каталогу для тестирования алгоритма 2-х смежных и равных по длительности (например, по 10 лет) эпох с таким расчетом, чтобы конец II эпохи отставал от текущего момента на заданный временной интервал, например 5 лет, и для самого сильного из подлежащих прогнозированию землетрясений ($K_Z = 17$) выполнялось условие $\Delta \Lambda \geq \Lambda/2$, означающее, что в эпоху укладывается не менее половины всех этапов последней десятины его сейсмического цикла; выявление среди землетрясений, произошедших во II эпоху, тех, для которых не менее 5 этапов последней десятины сейсмического цикла попадают в I эпоху, определение их числа \dot{D}_1 , энергетических классов $K(\dot{d}_1)$, координат эпицентров $x(\dot{d}_1)$ и $y(\dot{d}_1)$ в географической системе координат, времен в очагах $\tilde{t}(\dot{d}_1)$ по реальной шкале, глубин очагов $h(\dot{d}_1)$ (см. п.18) и наклона графика их повторяемости $\gamma(\dot{D}_1)$.

16. Составление по землетрясениям, произошедшим в I эпоху, виртуальных равномошных (с одинаковым числом элементов G) множеств V_G землетрясений, ретроспективно «прогнозируемых» на II эпоху по каждому из параметров ΔQ_g , $\Delta(\varphi T)_g^n$, $\Delta(\varphi P)_g^n$, $\Delta(\beta T)_g^n$, $\Delta(\beta P)_g^n$, $\Delta \kappa_g$, $\Delta \mu_g^n$, Δk_g^n с идентичными индексами $g \in [1; A] \times [1; Z] \times [1; A] \times [1; B] \times [1; N] \times [1; \Omega]$ соответствующих друг другу элементов (здесь "x" – знак Декартова произведения), выделение из них подмножеств V_{U_1} элементов $(\Delta f_{u_1})^2$ в количестве, заведомо превышающем \dot{D}_1 (например $U_1=100$), по комбинированному критерию

$$\frac{(\Delta f_{U_1})^2 + [\Delta \gamma_f(U_1)]^2}{2} \rightarrow \min,$$

в который вместо

$$(\Delta f_{U_1})^2 = \frac{\sum_{u_1=1}^U (\Delta f_{u_1})^2}{U_1},$$

поочередно вставляются средние арифметические $(\Delta Q_{U_1})^2$, $[\Delta(\varphi T)_{U_1}^n]^2$, $[\Delta(\varphi P)_{U_1}^n]^2$, $[\Delta(\beta T)_{U_1}^n]^2$, $[\Delta(\beta P)_{U_1}^n]^2$, $(\Delta \kappa_{U_1})^2$, $(\Delta \mu_{U_1}^n)^2$, $(\Delta k_{U_1}^n)^2$ квадратов разностей элементов этих подмножеств, а вместо $[\Delta \gamma_f(U_1)]^2$, где

$$\Delta \gamma_f(U_1) = \frac{\gamma_f(U_1) - \gamma(\dot{D}_1)}{\gamma(\dot{D}_1)},$$

– соответственно квадраты разностей наклонов графиков повторяемости $\gamma_Q(U_1)$, $\gamma_{\varphi T}(U_1)$, $\gamma_{\varphi P}(U_1)$, $\gamma_{\beta T}(U_1)$, $\gamma_{\beta P}(U_1)$, $\gamma_{\kappa}(U_1)$, $\gamma_{\mu}(U_1)$, $\gamma_k(U_1)$ землетрясений, соответствующих элементам подмножеств, и $\gamma(\dot{D}_1)$: $[\Delta \gamma_Q(U_1)]^2$, $[\Delta \gamma_{\varphi T}(U_1)]^2$, $[\Delta \gamma_{\varphi P}(U_1)]^2$, $[\Delta \gamma_{\beta T}(U_1)]^2$, $[\Delta \gamma_{\beta P}(U_1)]^2$, $[\Delta \gamma_{\kappa}(U_1)]^2$, $[\Delta \gamma_{\mu}(U_1)]^2$, $[\Delta \gamma_k(U_1)]^2$, оценка среднеквадратичных погрешностей элементов этих подмножеств $\sigma(\Delta Q_{u_1})^2$, $\sigma[\Delta(\varphi T)_{u_1}^n]^2$, $\sigma[\Delta(\varphi P)_{u_1}^n]^2$, $\sigma[\Delta(\beta T)_{u_1}^n]^2$, $\sigma[\Delta(\beta P)_{u_1}^n]^2$, $\sigma(\Delta \kappa_{u_1})^2$, $\sigma(\Delta \mu_{u_1}^n)^2$, $\sigma(\Delta k_{u_1}^n)^2$ и определение по ним их весовых коэффициентов p_Q , $p_{\varphi T}$, $p_{\varphi P}$, $p_{\beta T}$, $p_{\beta P}$, p_{κ} , p_{μ} , p_k по соотношениям (13).

17. Определение, средневзвешенных значений элементов $(\Delta F_{U_1})^2$ всех подмножеств V_{U_1} с одинаковыми индексами по комбинированному критерию (см. 14)

$$(\Delta F_{U_1})^2 = \frac{\left(p_Q (\Delta Q_{u_1})^2 + p_{\varphi T} [\Delta(\varphi T)_{u_1}^n]^2 + p_{\varphi P} [\Delta(\varphi P)_{u_1}^n]^2 + p_{\beta T} [\Delta(\beta T)_{u_1}^n]^2 + p_{\beta P} [\Delta(\beta P)_{u_1}^n]^2 + p_{\kappa} (\Delta \kappa_{u_1})^2 + p_{\mu} (\Delta \mu_{u_1}^n)^2 + p_k (\Delta k_{u_1}^n)^2 \right)}{p_Q + p_{\varphi T} + p_{\varphi P} + p_{\beta T} + p_{\beta P} + p_{\kappa} + p_{\mu} + p_k} \rightarrow \min$$

и энергетических классов соответствующих им виртуальных землетрясений; формирование из $(\Delta F_{u_1})^2$ объединенного подмножества $V_{U_1} (\Delta F_{U_1})^2$ по комбинированному критерию

$$\frac{(\Delta F_{U_1})^2 + [\Delta \gamma_F(U_1)]^2}{2} \rightarrow \min,$$

где $(\Delta F_{U_1})^2$ – среднее арифметическое элементов $(\Delta F_{u_1})^2$ объединенного подмножества, а $\gamma_F(U_1)$ – наклон графика повторяемости соответствующих им виртуальных землетрясений, определение координат эпицентров и времен в очагах этих землетрясений, а также порядковых номеров «образцов», с которыми сопоставляется каждое из них.

18. Выделение из объединенного подмножества V_{U_1} выборки V_{D_1} элементов $(\Delta F_{d_1})^2$, соответствующих ретроспективно «прогнозируемым» землетрясениям, где $d_1 \in [1; D_1]$, $D_1 \approx \dot{D}_1$, по комбинированному критерию

$$\frac{(\Delta F_{D_1})^2 + (\Delta D_1)^2 + [\Delta \gamma_F(D_1)]^2}{3} \rightarrow \min,$$

оценка вероятных значений глубин очагов h_{d_1} «прогнозируемых» землетрясений по формуле

$$h_1(K_z) \approx h_1(K_v) \cdot \frac{R_1(K_z)}{R_1(K_v)},$$

где $h_1(K_v)$ – глубина очага землетрясения-«образца», $R_1(K_z)$ и $R_1(K_v)$ – радиусы зон подготовки сравниваемых землетрясений.

19. Перемещение эпохи вместе с границами вперед с шагом, например в 3 месяца, до тех пор, пока конец II эпохи не совпадет с текущим моментом, повторяя на каждом шаге все операции по формированию выборки V_{D_1} (всего $J = 20$ сеансов ретропрогноза), оценка по итогам всех 20 сопоставлений выборок V_{D_i} и $V_{\hat{D}_i}$, где $i \in [1; J]$, среднеквадратичных погрешностей определения квадратов разностей $\sigma(\Delta F_D)^2, \sigma(\Delta D)^2, \sigma[\Delta \gamma_F(D)]^2$, а по ним – их весовых коэффициентов p_F, p_D, p_γ ; определение погрешности ретропрогноза энергетических классов $\sigma K(d)$, координат эпицентров $\sigma x(d)$ и $\sigma y(d)$, времен в очагах $\sigma \vec{\theta}(d)$ и глубин очагов $\sigma h(d)$, выявления доли удачных «прогнозов», ошибок типа «пропуск цели» и «ложный прогноз».

20. Выделение из объединенного подмножества V_U , полученного по сейсмическим наблюдениям во II эпоху, выборки V_D элементов $(\Delta F_d)^2$, соответствующих прогнозируемым на перспективу (на следующие 10 лет) землетрясениям, где $d \in [1; D]$, $D \approx \hat{D}$, по комбинированному критерию

$$\frac{p_F \cdot (\Delta F_D)^2 + p_D \cdot (\Delta D)^2 + p_\gamma \cdot [\Delta \gamma_F(D)]^2}{p_F + p_D + p_\gamma} \rightarrow \min, \quad (15)$$

с энергетическими классами $K(d)$, координатами эпицентров $x(d)$ и $y(d)$, временами в очагах $\vec{\theta}(d)$, глубинами очагов $h(d)$ и полученными в ходе тестирования оценками погрешностей определения этих параметров.

Заключение

В заключение перечислим основные ожидаемые преимущества предложенного алгоритма прогнозирования землетрясений по сравнению с существующими аналогами.

1. Алгоритм базируется на общеизвестных законах самоподобия сейсмического процесса на всех масштабных уровнях и для его реализации достаточно иметь данные по многолетним площадным сейсмическим наблюдениям, которые и так с нарастающей детальностью проводятся в большинстве сейсмоактивных регионов мира.

2. При реализации алгоритма не требуется каких-либо дополнительных сведений или предположений о модели подготовки землетрясений или степени анизотропии в распределении анализируемых событий из диапазона энергетических классов ΔK в зоне подготовки прогнозируемого землетрясения – вся эта информация в неявном виде содержится в наборе параметров «образца», с которым наблюдаются наилучшие совпадения параметров прогнозируемого землетрясения.

3. В отличие от известных аналогов, предлагаемый алгоритм включает в себя одновременный прогноз всех сильных землетрясений в заданном интервале энергетических классов (в нашем случае $K_z = 12,5 \div 17$), координат их эпицентров $x(d)$ и $y(d)$, энергетических классов $K(d)$, времени реализации каждого из них $\vec{\theta}(d)$, вероятностную оценку глубин залегания их очагов $h(d)$, а также оценку погрешностей определения всех перечисленных параметров по результатам тестирования согласно пп. 15-19.

4. В алгоритм заложена возможность создания для его реализации программы с машинным обучением путем многократных повторений шагов алгоритма с последовательным уточнением при этом коэффициентов в показателях степеней в базовых соотношениях (1-4), а также весовых коэффициентов $p_Q, p_{\Phi T}, p_{\Phi P}, p_{\beta T}, p_{\beta P}, p_x, p_y, p_k$ – в комбинированном критерии отбора (14) и p_F, p_D, p_γ – в комбинированном критерии (15).

5. Высокие требования к густоте сети сейсмических наблюдений, продиктованные необходимостью уменьшения представительного класса K_0 для обеспечения нужной статистики при определении параметров тензоров средних механизмов очагов, частично нивелируется тем, что

при отсутствии информации об этих параметрах можно реализовать алгоритм и по одному параметру $(\Delta Q_g)^2$ (10). С другой стороны, если тестирование критерия (10) в регионах с достаточно густой сетью наблюдений подтвердит эффективность алгоритма, то повсеместное уплотнение наблюдательных сетей станет одной из актуальных задач обеспечения сейсмической безопасности, а это та область, где цель оправдывает средства.

На завершающем этапе – этапе краткосрочного и оперативного прогноза – для уточнения времени реализации прогнозируемого сильного землетрясения могут быть использованы также и другие наблюдения, проводимые на контролируемой территории – геофизические, геодезические, гидрогеодинамические, геохимические и др.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания ФИЦГС РАН № 075-01471-22 и государственного задания ИГ ДФИЦ РАН по теме НИР Рег. номер НИОКТР 1021060808491-6-1.5.6).

Литература

1. Чебров В.Н., Салтыков В.А., Серафимова Ю.К. (2011) Прогнозирование землетрясений на Камчатке / Отв. ред. Николаев А.В. М.: Светоч Плюс. 304 с.
2. https://www.emsd.ru/static/library/2011_prognoz/book.pdf
3. Таймазов Д.Г., Таймазов М.Д. Способ прогнозирования тектонических землетрясений / Пат. № 2660771 Российская Федерация, МПК G01V 1/00, G01V 9/00, заявитель и патентообладатель ФИЦ Единая геофизическая служба РАН – № 2016146897, заявл. 29.11.2016, опубл. 09.07.2018 Бюл. № 19.
4. <https://www.fips.ru/ofpstorage/Doc/IZPM/RUNWC1/000/000/002/660/771/%D0%98%D0%97-02660771-00001/document.pdf>
5. Прогноз землетрясений, № 3. Душанбе – Москва: ДОНИШ, 1984. 216 с.
6. Лукк А.А., Нерсесов И.Л., Юнга С.Л. Временные вариации механизма очагов землетрясений Гармского района // Физика земли, 1980. № 2. С.10-21. <https://www.researchgate.net/publication/303228415>
7. Агемян Т.А. Основы теории ошибок для астрономов и физиков. М., Наука, 1972. 172с.
8. <https://www.studmed.ru/agekryan-ta-osnovy-teorii-oshibok-dlya-astronomov-i-fizikov>

УДК 550.343.6

DOI: 10.33580/2541-9684-2022-91-4-73-78

АНАЛИЗ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ДАГЕСТАНА И ПРИГРАНИЧНЫХ РАЙОНОВ ЗА ПЕРИОД 1995-2001 годы

Исаев М.А.
Дагестанский Филиал ФИЦ ЕГС РАН

Рассматривается пространственно-временное распределение сейсмической активности Дагестана, приграничных зон и акватории Каспийского моря за период 1995-2001 годы. Построена карта распределения эпицентров землетрясений, вычислены выделившиеся сейсмические энергии в каждой зоне за рассматриваемый период. Дан анализ сейсмической обстановки за этот период.

Ключевые слова: землетрясение, сейсмичность, акватория, энергия, эпицентр.

ANALYSIS OF SEISMIC ACTIVITY IN DAGESTAN AND BORDER REGIONS FOR THE PERIOD 1995-2001

Isaev M.A.
Dagestan Branch of FRC EGS RAS

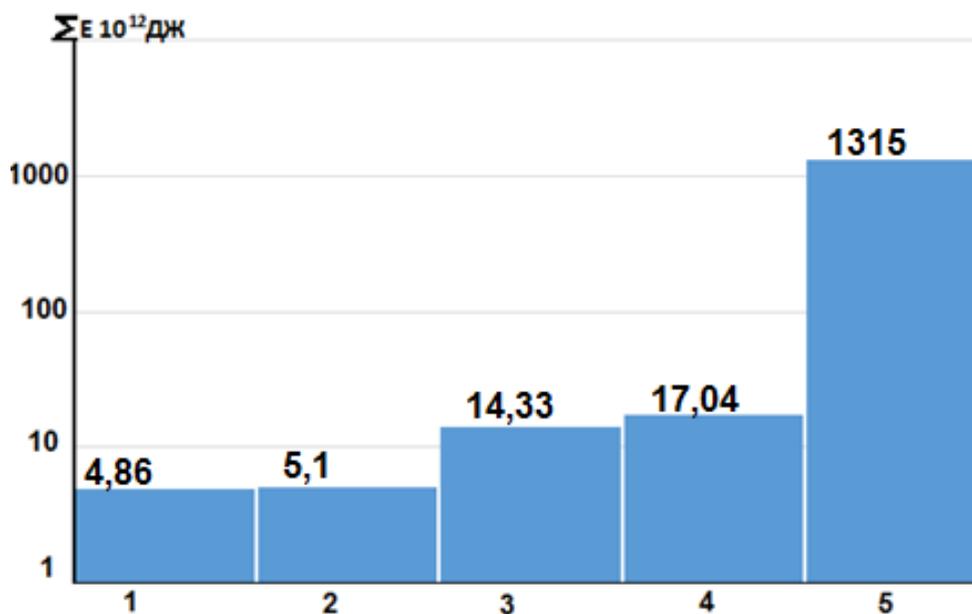
The spatial-temporal distribution of seismic activity of Dagestan, border zones and waters of the Caspian Sea for the period 1995-2001 is considered. A map of the distribution of earthquake epicenters was made, the released seismic energy in each zone during the period under review was calculated. The seismic situation for this period has been analyzed.

Keywords: earthquake, seismicity, waterarea, energy, epicenter.

Сейсмическая сеть станций, расположенная на территории Дагестана, позволяет изучать сейсмичность Дагестана и прилегающих районов начиная с энергетического класса $K_{\min}=6$, для которого можно получить неискаженное представление о пространственном расположении эпицентров землетрясений для всего региона в пределах координат $\varphi=41,00^{\circ}-45,00^{\circ}$ с.ш., $\lambda=45,00^{\circ}-49,00^{\circ}$ в.д. В данной статье проведен анализ сейсмических наблюдений сети сейсмических станций ДФ ФИЦ ЕГС РАН по землетрясениям с энергетическими классами $K \geq 9$ за период 1995-2001 годы. За этот период на рассматриваемой территории, условно разделенная на 5 зон: территория Дагестана, акватория Каспийского моря, приграничные к Дагестану части Чечни, Грузии и Азербайджана произошло 656 сейсмических событий с энергетическим классом $K=9-14$. На рисунке 1 приведены величины выделившейся суммарной энергии $\sum E$ в джоулях, рассчитанные по формуле $K=1,8M_{\Gamma H}+4$ в рассматриваемых пяти зонах [3,4].

По выделенной энергии землетрясений видно, что территория Дагестана самая активная сейсмическая зона. Хотя в приграничной Чеченской зоне произошло событий больше, чем в других зонах кроме территории Дагестана, там выделившаяся суммарная энергия самая минимальная.

Пространственное распределение этих ($K \geq 9$) землетрясений в рассматриваемых зонах представлено на рисунке 2 [2]. Карта распределения эпицентров построена на подложке тектонической карты Дагестана под редакцией Ю.Г. Леонова [6]. По карте распределения землетрясений отчетливо видно, что по количеству произошедших землетрясений пять зон сейсмически активны по разному. В Дагестанской зоне произошло 8 событий представительного класса. Одно событие с энергетическим классом $K=14$, два – с $K=13$ произошли на Срединном Разломе, и шесть событий с $K=12$ на Владикавказском и Дербентском разломе. В зоне Каспийского моря произошло одно событие с энергетическим классом $K=12$ и одно событие с $K=12$. Одно событие с $K=12$ произошло в Азербайджанской зоне. В остальных зонах землетрясений с энергетическим классом $K=12-14$ не произошло. Землетрясения с $K=9-11$ произошли в каждой рассматриваемой зоне, их количество показано в таблице 1.



1. Чеченская зона. 2. Грузинская зона. 3. Азербайджанская зона.
4. Зона Каспийского моря. 5. Территория Дагестан.

Рис. 1. Величины выделившейся суммарной энергии ΣE по зонам.

Из карты распределения эпицентров землетрясений видно, что вся территория Дагестана и приграничных районов за период 1995-2001гг. сейсмически активны по-разному. Самая активная зона среди названных зон – это территория Дагестана (суша). Большое количество землетрясений сфокусированы в Срединном Разломе, где произошло одно землетрясение с энергетическим классом $K=14$. В этой же зоне произошли два события с энергетическим классом $K=13$ [1,4]. Второе событие 13 класса произошло 15 апреля 1999 года в 11 часов 16 минут. и шесть землетрясений с $K=12$. Особенно сейсмически активны Владикавказский, Срединный разломы. По этим разломам на территории Дагестана распределены более 400 землетрясений с $K=9-11$. Также по этим же разломам в приграничной к Дагестану Чеченской зоне произошло землетрясения с $K=11$ два землетрясения, и большое количество землетрясений с $K \leq 10$. Разлом Главного Кавказского хребта, где распределены более 400 землетрясений с энергетическим классом $K=9-11$ в направлении юга сейсмическая активность была слабая, по сравнению с территорией Дагестана. В приграничной Азербайджанской зоне произошло одно землетрясение с энергетическим классом $K=12$ и три события с $K=11$. В приграничной Грузинской зоне произошли четыре землетрясения с энергетическим классом $K=11$, а количество произошедших землетрясений меньшего энергетического класса в этих зонах за рассматриваемый период примерно одинаковы. В Центральном-Каспийском и Прибрежном разломах сейсмическая активность большая. Эта зона акватории Каспийского моря, где произошло одно событие энергетического класса $K=12$ и 5 событий с $K=11$ и более 60 землетрясений с энергетическим классом $K=9-10$.

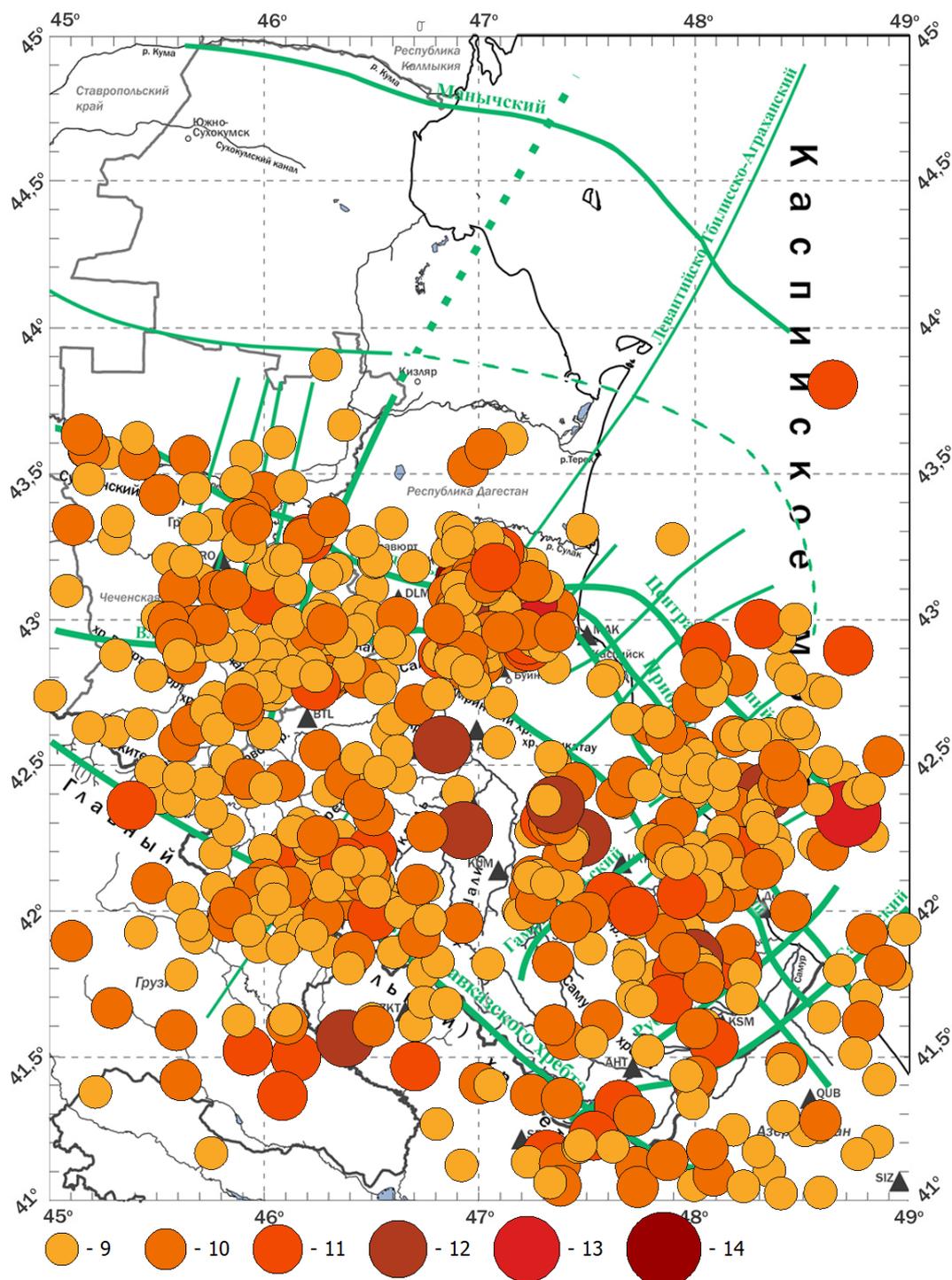


Рис. 2. Карта эпицентров землетрясений Дагестана и прилегающих зон за период 1995-2001 годы с $K \geq 9$.

Общее количество землетрясений по всем зонам и энергетическим классам дано в таблице 1.

На рисунке 3 показано изменение суммарной сейсмической энергии ΣE за время 1995-2001 годы для пяти сейсмоактивных зон: Центральная, акватория Каспийского моря и приграничных к Дагестану зон Чечни, Грузии и Азербайджана.

Сопоставив карту распределения землетрясений и график выделившейся энергии по годам, можно утверждать, что наиболее сейсмически активна за рассматриваемый период зона территории Дагестан. Наиболее завышенный участок графика приходится на 1999 год, в котором произошло землетрясение 31 января 1999 года в 5 часов 8 минут с энергетическим классом

$K=14$, и сотрясаемостью $I_0=7$ баллов [1]. Эпицентр его находился вблизи селения Кульзеб. В селениях Кульзеб, Стальское, Новый Чиркей и Шушановка землетрясение ощущалось с интенсивностью $I_0=7$ баллов. В городе Кизилюрт с интенсивностью 6-7 баллов, в Махачкале 5-6 баллов. В том же году в этой зоне произошли два события с энергетическим классом $K=13$. Одно землетрясение с магнитудой $M_s=5,1$ произошло 21 февраля в 18 часов 14 минут. Сотрясаемость в эпицентре $I_0=6$ баллов [1]. Это афтершок землетрясения 31 января 1999 года проявился силой в 6 баллов в селении Учкент и в городе Кизилюрт [5]. Второе событие 13 класса произошло 15 апреля 1999 года в 11 часов 16 минут. Также в этой зоне за рассматриваемый период произошло 6 землетрясений с энергетическим классом $K=12$. Два землетрясения произошло в 1997 году, и по одному землетрясению в 1998 и 2001 году. В этой зоне за рассматриваемый период выделившаяся энергия составляло $1315,98 \times 10^{12}$ Дж.

Таблица 1.

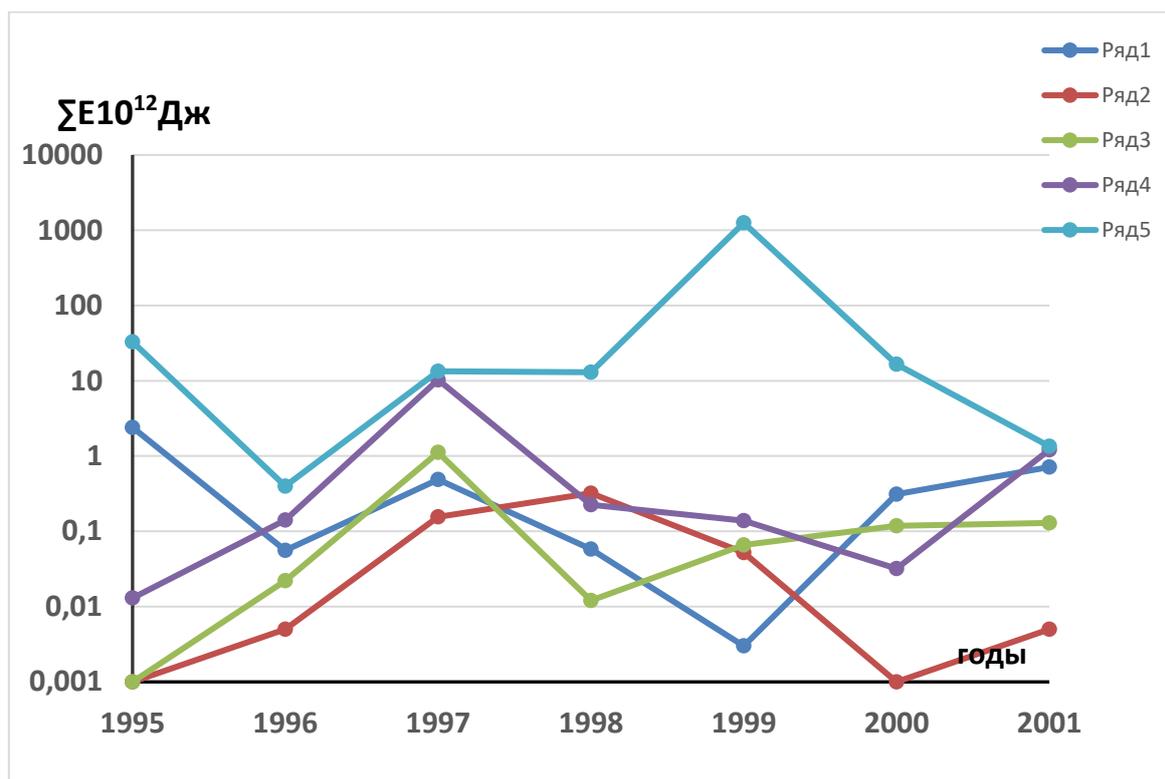
Количество землетрясений по зонам и энергетическим классам.

N	K					
	9	10	11	12	13	14
Чеченская зона	66	28	2	0	0	0
Приграничная Грузинская зона	25	11	4	0	0	0
Приграничная Азербайджанская зона	34	13	3	1	0	0
Зона акватории Каспийского моря	42	20	5	1	1	0
Территория Дагестана	240	130	42	6	2	1
Всего:	407	202	56	8	2	1

Второй по активности зона за рассматриваемый период является зона акватории Каспийского моря, где произошло два ощутимых события с энергетическим классом $K=13$ и $K=12$. В 20 километрах от города Дербента в Каспийском море, 5 июня 2001 года в 15 часов 33 минуты произошло землетрясение, магнитуда которого составляла $M_s=4,7$, и ощущаемость на суше составляло 4-5 баллов. 28 января 1997 года 10 часов 57 минут произошло землетрясение в 15 километрах от Новокаякента, с сотрясаемостью в эпицентре 6 баллов. Глубина эпицентра 18 километров, магнитуда $M_s=4,6$ [2]. На графике выделившейся энергии по годам (ряд.4) наиболее завышенный участок графика приходится на это землетрясение. Средняя выделившаяся сейсмическая энергия в этой зоне за рассматриваемый период $\sum E_{cp}=17,2 \times 10^{12}$ Дж. Также в рассматриваемый период в зоне акватории Каспийского моря произошло пять землетрясений с $K=11$ и более 60 землетрясений с энергетическим классом $K=9-10$.

В следующей сейсмически активной приграничной Азербайджанской зоне произошли четыре ощутимых землетрясения. Сейсмическое событие энергетического класса $K=12$ произошло на границе Азербайджана и Грузии западнее от Закаталы 14 января 1999 года в 22 часа 45 минут. На юге Дагестана землетрясение не ощущалось.

Землетрясение с $K=11$ произошло в 15 часов 53 минуты 2 декабря 1997 года на границе Азербайджана и Дагестана в горной местности по Главному Кавказскому разлому. Еще одно землетрясение в этом же районе произошло 9 марта 2000 года в 14 часов 29 минут, а второе 30 октября 2001 года 4 часа 31 минуту по Гринвичу. Ощущаемость обоих землетрясений на территории Дагестана не наблюдалось. Самое большое значение по выделившейся энергии в зоне приграничного Азербайджана приходится на 1999 год, потому что в этом году в этой зоне произошло максимальное количество землетрясений с $K=9-12$. Минимальное количество землетрясений (одно событие с $K=9$) произошло в этой зоне в 1995 году, и выделившаяся энергия минимальна. Средняя величина выделившейся сейсмической энергии за период 1995-2001 гг в приграничной с Дагестаном Азербайджанской зоне составляла $14,33 \times 10^{12}$ Дж.



Ряд 1. –Чеченская (приграничная) зона. Ряд 2.- Грузинская (приграничная) зона.
Ряд 3.- Азербайджанская (приграничная) зона. Ряд 4. -Акватория Каспийского моря
Ряд 5. –Центральная зона (Территория Дагестана)

Рис. 3. Изменение суммарной сейсмической энергии ΣE за время 1995-2001 годы для пяти сейсмоактивных зон.

В приграничной Грузинской зоне произошло 4 землетрясения с энергетическим классом $K=11$. Одно событие произошло на Главном водораздельном хребте и три события в юго-восточной части Грузии. Суммарная выделившаяся сейсмическая энергия в этой зоне составило $5,12 \times 10^{12}$ Дж.

В приграничной Чеченской зоне за период 1995-2001 годы произошло 96 сейсмических события. Из них ощутимыми были два события с $K=11$, которые произошли 29 марта 1995 года в 17 часов 48 минут, с магнитудой $M_s=3,9$, сотрясаемость в эпицентре $I_0=5$ баллов и 19 августа 1995 года 4 часа 21 минуту [2]. Суммарная выделившаяся сейсмическая энергия в этой зоне составляло $4,86 \times 10^{12}$ Дж.

Заключение

В сейсмических зонах знание геодинамики, сейсмичности и напряженного режима помогает в оценке сейсмической опасности и риска. В данной статье был проведен обзор сейсмических событий, рассмотрена сейсмичность Дагестана, приграничных зон и акватории Каспийского моря за период 1995-2001 годы. Вычислена выделившаяся сейсмическая энергия в каждой зоне за рассматриваемый период. Систематический анализ сейсмической обстановки за определенный период способствует научному пониманию геофизических процессов в регионе, улучшит оценку сейсмической опасности и приведет к уменьшению риска стихийных бедствий на территории Дагестана.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках государственного задания ФИЦ ЕГС РАН № 075-01471-22 и с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны

и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира» (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>)

Литература

1. Даниялов М.Г., Левкович Р.А., Асманов О.А., Амиров С.Р., Абдуллаева А.Р., Мусалаева З.А., Сагателова Е.Ю., Гамидова А.М., Мирзалиев М.М. Каталог землетрясений северо-восточного Кавказа и акватории Среднего Каспия. Махачкала, изд. Эпоха, 2008. - С.462
2. Каталог землетрясений Дагестана за 1995-2001 гг. Махачкала, фонды ДФ ФИЦ ЕГС РАН, 2021г.
3. Раутиан Т.Г. Об определении энергии землетрясений на расстоянии до 3000 км // экспериментальная сейсмика. Тр. ИФЗ АН СССР; №32 (199). М.: Наука. 1964. С. 88-93.
4. Кизилюртовское землетрясение 31 января 1999 года с $M_s=5.5$, $J_0=76$ (Дагестан) - Асманов О.А., Амиров С.Р., Даниялов М.Г., Левкович Р.А., Мирзалиев М.М., Осокина А.Ш., Габсатарова И.П. В сб. «Землетрясения Северной Евразии в 1999 году. – Обнинск, ФОП, 2005, С.254-263.
5. Раутиан Т.Г. Энергия землетрясений / Методы детального изучения сейсмичности (тр. ИФЗ АН СССР, №9 (176) – М.: ИФЗ АН СССР, 1960 г. – С.75-114.
6. Черкашин В.И., Сабанаев К.А., Гаврилов Ю.О., Панов Д.И. Тектоника Дагестана (объяснительная записка), Труды ДНЦ РАН. Выпуск 60. Отв. редактор Ю.Г. Леонов – Махачкала 2012. – 86 с.

УДК: 551.3

DOI: 10.33580/2541-9684-2022-91-4-79-83

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ БАЛОК ГОРЫ ДЖАЛГАН ДЛЯ ОБРАЗОВАНИЯ СЕЛЕВЫХ ПОТОКОВ

Сулейманов В.К., Идрисов И.А., Мамаев А.С.
Институт геологии ДФИЦ РАН

В статье рассматриваются инженерно-геологические условия, слагающие склоны г. Джалган и влияющие на формирование селевых потоков в балках горы. Охарактеризован рельеф, породы и отложения слагающие склоны селевых балок. Дана характеристика рельефа, гидрографической сети и кратко охарактеризован климат района. Рассмотрен сейсмический фактор в образовании селевых процессов.

Ключевые слова: селевые потоки, рельеф, геологические отложения, уклон, расчлененность, разрушение пород.

ENGINEERING AND GEOLOGICAL CONDITIONS OF JALGAN MOUNTAIN BEAMS FOR THE FORMATION OF DERBODOW FLOWS

Suleimanov V.K., Idrisov I.A., Mamaev A.S.
Institute of Geology DFRC RAS

The article discusses the engineering and geological conditions affecting the formation of mudflows in the gullies of Mount Jalgan. The relief and rocks composing the slopes of mudflow beams are characterized. The characteristic of the relief, river network is given and the climate of the area is briefly characterized. The seismic factor in the formation of mudflow processes is considered.

Keywords: mudflows, relief, geological deposits, slope, fragmentation, destruction of rocks.

Рекреационно-туристическое направление развития г. Дербента предполагает освоение территорий не только на берегу Каспийского моря, но и на склонах горы Джалган, где предполагается ведение строительства различных объектов. В этой связи возникает вопрос инженерной оценки природных условий территории.

Дербент расположен между горой Джалган с запада и Каспийским морем с востока и занимает полосу морской равнины, сформированной террасами позднего плейстоцена, занимающими высоты ниже 50 м.

Восточный склон горы Джалган уступом около 100 м. высотой обрывается в сторону равнины. Равнина в целом приурочена к Дербентской структурной террасе с горизонтальным залеганием пород. Переход от г. Джалган к равнине осложнен системой разломов. Предполагается что разломы являются малоамплитудными надвигами с северо-востока на юго-запад. Гора занимает восточное крыло Рукельской антиклинали, что определяет ее наклон в восточном направлении. В этом же направлении направлен и сток с горы и с ее подножья.

Гора Джалган прорезается с запада на восток сухими логоми-балками (рисунок 1) из которых 6 крупные, которые и несут селевую опасность для города.

Площадь селевых бассейнов составляет около 30 кв. км.

Селевые потоки, периодически сходящие по балкам горы Джалган, угрожают нормальной жизнедеятельности города и, поэтому инженерно-геологическая оценка территории и современное состояние экзогенных геологических процессов, их прогноз и возможное развитие становится актуальной задачей.

Инженерно-геологические условия района обуславливаются особенностями климата, рельефа, высокой сейсмической активностью, активной неотектоникой и распространением горных пород различного генетического происхождения.

Климат района переходный от умеренно-морского к субтропическому полусухому без резких перепадов суточных и годовых температур. Лето жаркое с небольшим количеством осадков.

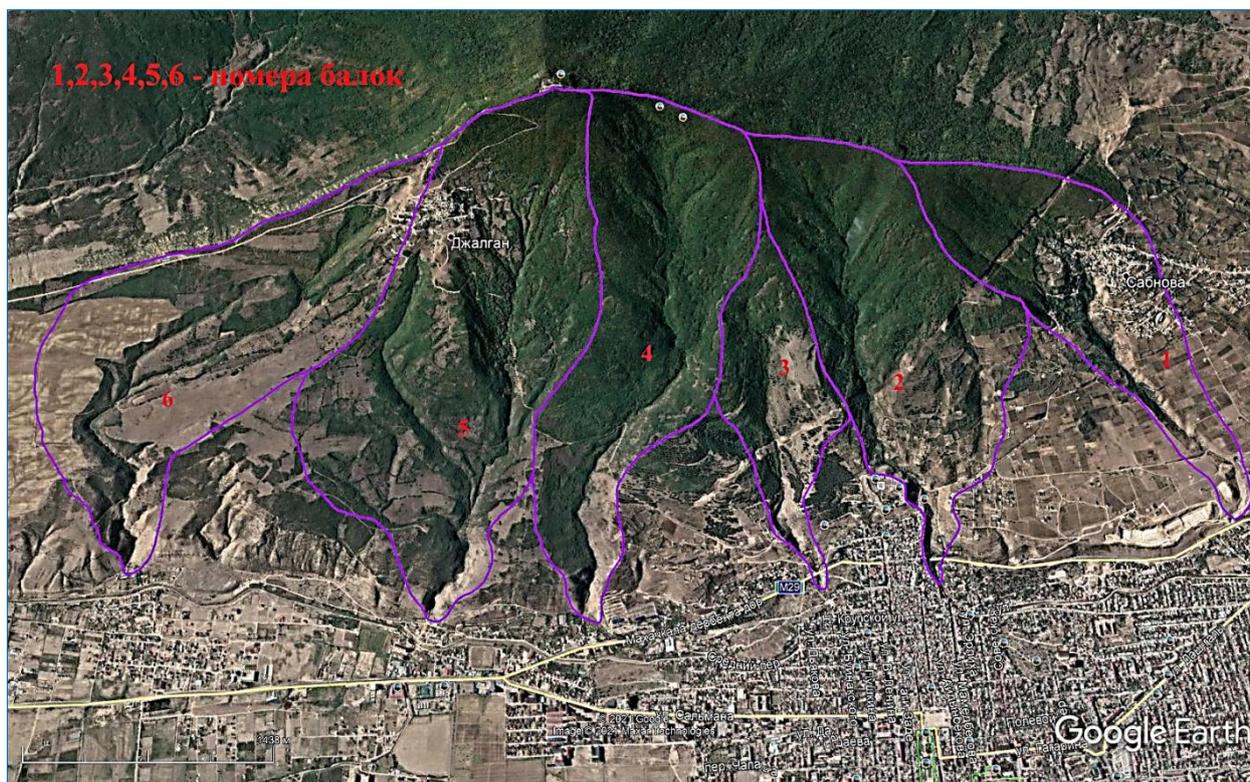


Рис.1. Селевые балки горы Джалган

Постоянной речной сети на исследуемой территории нет. Искусственным водотоком в районе является Самур-Дербентский канал с широко развитой оросительной системой. Канал регулируется механизмами затворов и на процессы селеобразования в селевых балках горы Джалган не влияет.

Существенных резервов для пропуска избыточных количеств воды с селевыми потоками в объеме до нескольких кубометров в секунду у канала нет. Более того канал подходит к городу с юга и по пути дренирует воду, поступающую по балкам 6, 5, 4, 3 и, доходя до самой селеопасной балки 2 русло канала уже переполняется стоками, поступившими из этих балок.

Влияние особенностей рельефа на селевой процесс многосторонне. Можно выделить следующие характеристики рельефа, через которые это влияние реализуется: абсолютная высота, глубина и густота расчленения, яростность. На более крутых склонах возрастает движущая сила водных потоков и, соответственно, их размывающая способность. С увеличением высоты увеличивается и средний уклон постоянных и временных водотоков, что создает более благоприятные условия для формирования селей.

Абсолютные высоты на исследуемой территории варьируют в пределах от 45-50 м. у автодороги «Кавказ» и до 708 м на горной части. Глубина и густота современного расчленения рельефа на территории различна. На лесистой стороне балок прослеживается редко, но имеются ярко выраженные крупные эрозионные врезы. На безлесной стороне ярко выражены постоянные и временные водотоки.

Распределение селевых рытвин и врезов подчиняется закономерностям высотной поясности. На крутых (более 15°) склонах селевых бассейнов в основном распространены селевые

рытвины, прорезающие задернованные и залесенные склоны, сложенные делювиально-элювиальными отложениями.

Селевые рытвины отличаются небольшой протяженностью. Длина, т.е. расстояние от водораздела или вершины селевой рытвины до ее устья, не превышает 60-450 м на различных участках. Крутизна склонов различна. Она варьирует в пределах от 15° до 47° в некоторых местах и более 47° . Средний уклон по протяженности 19° . Максимальный в верховьях балок – более 47° . В некоторых местах русла балок имеют отвесные склоны высотой от 2-3 до 10 м.

Крутизна северного склона под крепостью Нарын-Кала составляет от 58 до 77° . Сложен он уплотненными сцементированными глинами, куда в очень малых количествах происходит инфильтрация выпадающих осадков. Он прорезан частыми промоинами от водотоков, которые бурным потоком скатываются в русло балки, неся с собой мелкие камушки и частицы глины.

При определенных гидрометеорологических условиях и с учетом геоморфологического строения по руслам балок происходит прохождение селей.

В геологическом строении территории принимают участие инженерно-геологические формации осадочных пород неогеновой и четвертичной систем.

Неогеновая система представлена породами сарматского яруса ($N_1^3S_3$). Отложения сарматского яруса представлены чередованием темно-серых, иногда синевато-серых, реже, желтовато-серых ожелезненных аргиллитоподобных слоистых глин в нижней части, и желтовато-бурыми малопрочными пористыми известняками и песчаниками в верхней части разреза. Местами сарматские известняки выходят на дневную поверхность.

В составе четвертичных отложений, слагающих склоны балок и перекрывающих коренные породы, преобладают рыхлые отложения разного генезиса, сложенные супесями, суглинками, лессами.

Четвертичные отложения склоновых, делювиально-осыпных фаций и фаций временных водотоков распространены по всей площади склонов балок.

Природные особенности территории определяют и развитие разнообразных экзогенных геологических процессов, среди которых наиболее заметное проявление имеют: выветривание, осыпи, оползни, эрозия, сели и аккумуляция.

Некоторые процессы могут воздействовать как непосредственно на инженерные сооружения, осложняя их эксплуатацию, так и опосредованно, участвуя в селеформировании. В последнем случае их роль заключается в питании твердой фазы селей, образовании запруд и т. п.

Выветривание – начальный этап экзогенных процессов и основа для формирования поверхностных отложений.

Главная причина разрушения горных пород заключается в резких внутрисуточных колебаниях температуры воздуха. На исследуемой территории степень обнаженности коренных пород мала и поэтому процессы физического выветривания происходят медленно как по скорости, так и по результатам. Коренные породы здесь не подвергаются влиянию резких колебаний температур. Также на этот процесс оказывает существенное влияние покрытие поверхности склонов балок как лесной, так и травянистой растительностью, которая задерживает интенсивное проявление процессов выветривания. В прямой связи с залесенностью находится эрозия склонов и твердый сток. Часть поверхности балок покрыта травянистой растительностью с различной проективной покрытием, что также влияет на скорость поверхностного стока на этих площадях и смыву поверхностных отложений.

Разрушение горных пород на исследуемой территории в основном происходит за счет химического выветривания (растворение и окисление минеральных частиц внутрипочвенными и грунтовыми водами), а также за счет органического выветривания под воздействием микро- и макроорганизмов.

За счет большой крутизны склонов и гравитационных процессов происходит смещение и накопление масс рыхлообломочного материала, которые формируют селевые очаги в основании и днищах склонов балок.

На исследуемой территории имеют место также осыпи и мелкие оползни в лесистой части склонов. Осыпи развиты, где имеются обнажения коренных пород вдоль подножья крутых скальных бортов в русле балок.

Подвижность осыпей и оползней на исследуемой площади определяется степенью увлажненности их на контакте с коренными породами за счет высокой нормы атмосферных осадков, ослабляющих силу сцепления рыхлообломочного материала с коренными породами.

Материал осыпей и мелких оползней находится в постоянном движении и пополнении. Осыпи и мелкие оползни, расположенные по бортам русел балок и временных водотоков, являются одним из источников, пополняющих запасы селевого материала.

В пределах исследуемого района сели являются самым разрушительным явлением природы. Склоны горы Джалган отличаются благоприятными условиями для возникновения селей – повышенное увлажнение, благоприятные условия для стока и накопления образовавшегося рыхлого материала, повышенная сейсмичность.

Селевые потоки формируются во время выпадения дождей повышенной интенсивности в заключительной их стадии и классифицируются как русловые. Основным источником в пополнении рыхлообломочным материалом являются склоновые процессы. Источником твердой фазы здесь служат аллювиальные отложения, конусы выноса боковых притоков и временных склоновых потоков.

Важнейшим показателем селевой активности района является повторяемость селей. По данным археологических изысканий, проводимых на территории г. Дербента, фиксируются селевые отложения различной мощности, что свидетельствует об интенсивности селевых процессов за время существования города [1].

Высокая сейсмическая активность характеризует проявление эндогенных геологических процессов. Район находится в зоне с активностью от VIII до X баллов. Площади с максимальной возможной активностью до X баллов приурочены к основному – сейсмо-генерирующему разлому, вытянутую вдоль подножия Джалганского хребта, который представляет собой сегмент региональной тектонической границы между горным сооружением Большого Кавказа и протяженной системой Предкавказских передовых прогибов [3-5].

Сейсмический фактор в селевых процессах может выражаться в увеличении скорости накопления рыхлообломочного материала в очагах твердого питания селей.

Сейсмические факторы являются дополнительными факторами, способными привести к активизации селевого процесса.

Для данной территории прогнозирование селей является сложной задачей. Это обусловлено отсутствием достаточно длительных рядов регулярных наблюдений. Изучение селевых процессов не проводились или носили эпизодический характер и, в этой связи, понимание инженерно-геологических условий, слагающих склоны горы Джалган, становится актуальным при дальнейшем прогнозировании селевых процессов в балках горы и туристско-рекреационного освоения ее склонов.

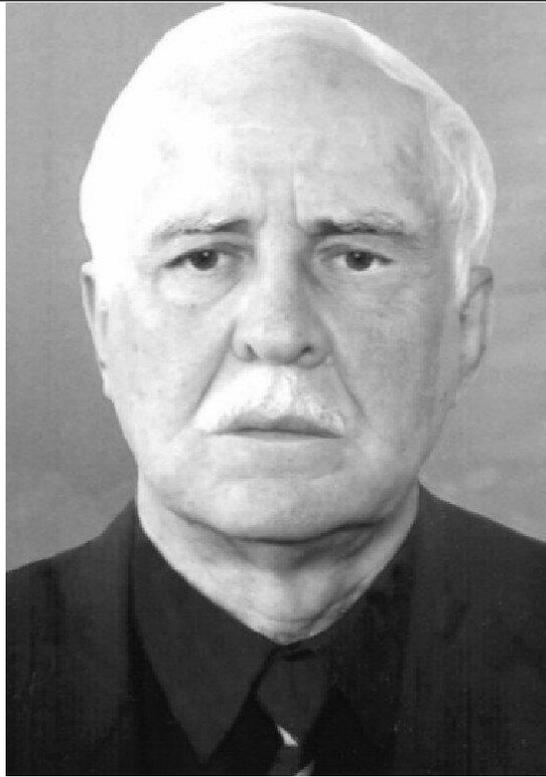
Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 19-29-05205.

Литература

1. Идрисов И.А., Сулейманов В.К., Черкашин В.И. Опасные геологические (природные) процессы в районе г. Дербент (причина и следствие) // Труды института геологии ДНЦ РАН № 4 (78), 2019. С. 90-99.

2. Сулейманов В.К., Идрисов И.А., Черкашин В.И., Мамаев А.С. Численная оценка селевой опасности балок горы Джалган // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. 2022. № 2 (89). С. 63-67.
3. Овсяченко А. Н., Корженков А. М., Гаджиев М. С., Ларьков А. С., Рогожин Е.А. О сейсмо-тектонической деформации раннесредневековой крепостной стены г. Дербент (Дагестан)// Доклады российской академии наук. Науки о земле, 2020, том 493, № 1, с. 63–67.
4. Сулейманов В.К., Юсупов А.Р., Мамаев С.А., Алимагомедов А.А., Ахмедов А.М. Некоторые особенности экзогенных геологических процессов, протекающих у с. Ташкапур Левашинского района Республики Дагестан //Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. 2022. № 3 (90). С. 47-51.
5. Сулейманов В.К., Идрисов И.А. Насчетные параметры селевых потоков балок горы джалган в пределах города Дербент // В книге: Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Керимов И.А., Гуня А.Н., Парада С.Г., Черкашин В.И., Абдуллаев М.Ш., Абдулмутаимова Т.О., Абубакарова Э.А. и др. Коллективная монография по материалам XI Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Москва, 2022. С. 561-566.

ПАМЯТЬ



**Мирзоев Димир Абдулаевич
(1932–2003)**

Димир Абдулаевич Мирзоев – выдающийся ученый в области нефтяной геологии, кандидат геолого-минералогических наук, Заслуженный геолог Российской Федерации, Заслуженный деятель науки Республики Дагестан, действительный член РАЕН. Уроженец села Ахты Ахтынского района Дагестана.

Мирзоев Д.А. был крупным специалистом в области нефтегазовой геологии, внесший большой вклад в развитие нефтегазовой отрасли Дагестана – базовой отрасли республики. Димир Абдулаевич ученый с большой буквы, автор более 300 научных публикаций, в том числе двух монографий - «Геология месторождений нефти и газа Дагестана» и «Геология нефтегазовых месторождений Дагестана и прилегающей акватории Каспийского моря», которые стали настольной книгой-справочником для многих поколений геологов-нефтяников как в самой Республике, так и далеко за ее пределами. Широкий кругозор и огромный багаж знаний предопределил его участие в работе над разным типом карт (геологических, тектонических и др.) как территории Дагестана, так и всего Кавказа, а также и прилегающих областей.

Димир Абдулаевич начал свою трудовую деятельность в Дагестане в 1953 году, еще будучи студентом геологического факультета МГУ, участвовал в геолого-съёмочных работах, в структурном бурении, проводимом КЮГЭ АН СССР под руководством профессора И.О. Брода. Димир Абдулаевич получил блестящее геологическое образование. Говоря о себе, благодарил судьбу за то, что она свела его с такими крупными исследователями как профессором И.О. Бродом, членом-корреспондентом АН СССР Н.Б. Вассоевичем, академиком Аз. академии наук А.А. Али-Заде и Ш. Мехтиевым, член-корреспондентом Аз. академии наук А.Г. Алиевым, профессором М.С. Бурштаром и другими. После окончания Московского государственного университета в 1955 году он был зачислен старшим лаборантом в отдел геологии и нефти Дагестанского филиала АН СССР, а с 1956 года стал младшим научным сотрудником созданного

в этом же году Института геологии. Димир Абдулаевич прошел путь от научного сотрудника, заведующего отделом геологии нефти и газа, заместителя директора по научной работе до директора Института геологии, который возглавлял более 15 лет.

Всю свою жизнь Димир Абдулаевич посвятил изучению геологического строения и нефтегазоносности Восточного Кавказа и Предкавказья. Им лично и под его руководством в сотрудничестве с учеными и производственниками разработаны научно обоснованные направления геологоразведочных работ на нефть, газ и другие виды природных энергоносителей на территории Восточного Кавказа и прилегающей акватории Каспия, получившие подтверждение открытием месторождений углеводородов. Хорошо известны его работы в области стратиграфии, тектоники, геохимии, формирования, размещения и прогноза скоплений углеводородов, методики их поисков и других вопросов нефтегазовой геологии региона, которые хорошо освещены в его трудах.

Сфера деятельности Димира Абдулаевича как ученого-геолога обширна по охвату различных отраслей геологической науки и конкретно при обосновании рекомендаций для внедрения в практику геологоразведочных работ на нефть и газ. Отличительной особенностью его исследований является тесная связь с производственными и научно-исследовательскими организациями Северного Кавказа и России (Дагнефть, Грознефть, ВНИГНИ, ИГиРГИ и др.), выразившаяся в творческом сотрудничестве при решении важнейших геологических задач и внедрении их результатов в практику геологоразведочных работ. Это, в частности, проявилось при обосновании поисково-разведочных работ в степных районах Восточного Предкавказья. Можно без преувеличения подчеркнуть, что Димир Абдулаевич стоял у истоков разворота (60-80 гг.) геологоразведочных работ на нефть и газ в платформенной части Дагестана, внесший существенный вклад в открытие и становлении на севере республики – Ногайского (Сухокумского) нефтегазодобывающего района. За счет месторождений северного Дагестана годовая добыча углеводородов в семидесятые годы достигла рекордной отметки за всю историю нефтегазовой промышленности республики - 3,8 млн ТУТ. Это, несомненно, явилось результатом тесной связи науки и производства. Кроме того, Димир Абдулаевич проводил значительную работу по истории развития геологических знаний в республике, составлению и редактированию томов "Геологическая изученность СССР", многих монографий, тематических сборников, издании карт, активно участвовал во всесоюзных и региональных совещаниях. Ряд совещаний и совместных экспедиций с приглашением ученых из зарубежных стран были организованы по его инициативе и успешно проведены в Дагестане. Его монографические исследования по нефтегазовой геологии являются настольными книгами не только для начинающих молодых геологов, но и геологов старшего поколения.

Будучи руководителем Института геологии ДНЦРАН Димир Абдулаевич уделял большое внимание научной и научно-производственной деятельности института в области нефтегазовой отрасли не только на континенте, но и разработке единой концепции вовлечения нефтегазового потенциала российского шельфа Каспия в производственную деятельность. Наряду с этим он способствовал и развитию других научных направлений в институте, в частности способствовал развитию сейсмологического направления, исследований по прогнозу землетрясений и других опасных геологических процессов, а также охране окружающей среды.

В условиях острого дефицита финансовых средств в 90-х годах, стихийного бедствия, постигшего институт – пожара в главном корпусе ДНЦ РАН (1995 г.), Димиру Абдулаевичу удалось сохранить научный потенциал, направить его на решение практических задач по использованию различных видов минерального сырья региона, пополнить институт молодыми специалистами, увеличить число сотрудников с ученой степенью и, в частности, докторов наук. По его инициативе началось изучение основ наук о Земле и подготовка специалистов геолого-геофизического профиля на базе ВУЗов РД.

Д.А. Мирзоев пользовался авторитетом среди геологической общественности, являлся руководителем межотраслевых региональных программ, являлся членом Президиума ДНЦ РАН, входил в состав межведомственного стратиграфического Комитета России (МСК), состоял в Российской академии естественных наук (РАЕН), Международной академии минеральных ресурсов (МАМР), Азербайджанской, Американской ассоциаций геологов-нефтяников.

За свою активную трудовую и научную деятельность Димир Абдулаевич награжден медалями "За доблестный труд в ознаменование 100 лет В.И. Ленина", ВДНХ, грамотами Верховного Совета РД, АН СССР, РАН. Знаком "Отличник разведки недр СССР", удостоен почетного звания "Заслуженный геолог России". В апреле 2003 года, Указом Государственного совета Республики Дагестан Димиру Абдулаевичу Мирзоеву присвоено почетное звание «Заслуженный деятель науки Республики Дагестан». Но он не успел получить эту награду, и мы ее передали в музей Ахтынского района, где организован раздел посвященный его отцу и ему.

Димир Абдулаевич был прекрасным человеком и собеседником. С ним можно было обсуждать любую тему, поскольку он был высоко интеллектуальным и эрудированным во многих областях человеком. Наряду с широким кругозором в области наук о Земле он хорошо знал историю, культуру и традиции народов, практически, всех народов Кавказа.

Димир Абдулаевич не только крупный ученый, труды которого имеют огромное масштабное и значительное по своей ценности теоретическое и практическое значение, но и обаятельный человек, чуткий товарищ и воспитатель целого поколения молодых ученых, активно работающих как в республике Дагестан, Северо-Кавказском регионе, так и за их пределами.

В этом году ему исполнилось бы 90 лет! К сожалению, в 2003 году жизнь Димира Абдулаевича оборвалась.

Жизненный путь Димира Абдулаевича Мирзоева является замечательным примером беззаветного служения Родине, преданности науке, идеалам чести, добра и справедливости. Вклад в науку Д.А. Мирзоева будет преумножен усилиями его учеников и последователей, а светлая память об этом восхитительном человеке останется навечно в сердцах всех, кто знал его и работал с ним.

Черкашин В.И., Меликов М.М.

Информация для авторов

Материалы для опубликования в журнале направлять по адресу: 367030, г. Махачкала, ул.М.Ярагского 75. Институт геологии ДФИЦ РАН.

Статьи необходимо направлять в редакцию в двух бумажных экземплярах, подписанных всеми авторами, а также в электронном виде (CD-диск или др. накопитель, либо отправка электронной версии статьи по e-mail: dangeogis@mail.ru).

К рукописи необходимо приложить разрешение на публикацию от учреждений, в которых выполнены исследования.

Правила оформления рукописи в журнале

Название журнала: "Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН".

1. В журнале публикуются оригинальные статьи теоретического и методического характера по вопросам геологии, геофизики, географии, геохимии, результаты изучения состава и строения коры и мантии Земли, процессов формирования и закономерностей размещения полезных ископаемых, исследования по разработке и применению новых методов геологических исследований. Для работ регионального характера предпочтение отдается статьям по различным вопросам сравнительной геологии Кавказа и сопредельных регионов.

2. Статьи, соответствующие профилю журнала, принимаются к опубликованию после рецензирования. Автор представляет два внешних отзыва, подготовленных докторами наук из сторонней организации. Отзывы также могут быть подготовлены специалистами, отобранными редакцией Журнала, за дополнительную плату.

3. Авторы представляют статьи на русском или английском языках. Необходимо указать официальное название организации, в которой выполнена работа, в том числе на английском языке, а также места работы авторов их должности и адреса электронной почты.

3. Название статьи должно строго соответствовать ее содержанию. Текст статьи, как правило, разбивается на разделы: а) введение и постановка проблемы, б) методика исследования, в) результаты исследований, г) обсуждение результатов, д) заключение, е) список литературы.

4. Аннотация объемом до 100 слов, ключевые слова (3-7), индекс УДК.

5. Название, данные об авторах, аннотация, ключевые слова и список литературы дублируются на английском языке.

6. Основные структурные элементы статьи:

- Заголовок (Название) статьи
- Аннотация
- Ключевые слова
- Введение
- Материалы и методы
- Результаты и обсуждение
- Выводы (иногда Заключение)
- Список литературы

Тексты статей будут проверяться на плагиат на специальных сайтах. Рукопись должна быть окончательно проверена, датирована, подписана всеми авторами. Допускается отправка по электронной почте отсканированных листов публикации с подписями авторов.

Технические требования

1. Статьи, в том числе приложения, примечания, список литературы, подписи к рисункам, таблицы, представляются в электронном виде по адресу dangeogis@mail.ru.

2. Формат текста: полуторный интервал, шрифт 14. Сжатие текста не допускается. Значимые слова выделяются жирным шрифтом или курсивом. Поля сверху 2см, снизу 2см, слева 3см, справа 2см. Объем статьи не должен превышать одного авторского листа (40000 знаков с пробелами), включая таблицы и список литературы. Исключение составляют заказные и обзорные статьи. Текст статьи должен быть также представлен в электронном виде. Текст представляется в файле с любым из расширений doc, docx, rtf.

3. В текстах статей можно размещать рисунки, таблицы, графики и схемы. Эти элементы статьи печатаются на отдельных листах. На рисунках должен быть минимум буквенных и цифровых обозначений, при масштабировании рисунков эти надписи будут не видны. Название рисунков и информация по ним должны приводиться в подрисуночных подписях.

При необходимости рекомендуется представлять рисунки в цветном варианте. Печать цветной графики является платной. Если автор не согласен оплачивать цветную печать, представляемая графика должна быть переработана в системе градаций серого таким образом, чтобы обеспечить ясность изображения и избежать необходимости допечатной коррекции. При этом рекомендуется присылать оба варианта рисунка с пометкой, что для печати автор просит использовать черно-белый вариант графики.

Разрешение растровых иллюстраций должно быть не менее 300 dpi.

4. При использовании в тексте сокращенных названий следует давать их расшифровку при первом применении или ограничиваться общепринятыми сокращениями.

5. Список используемой литературы дается в конце статьи в алфавитно-хронологическом (по первому автору) порядке: вначале на русском, а затем на английском и

6. Список литературы других иностранных языках. Авторский коллектив приводится полностью. В списке литературы даются только опубликованные работы. Ссылка в тексте на литературу дается в квадратных скобках или в круглых скобках (автор, год); ссылки на рисунки и таблицы также даются в круглых скобках. оформляется с абзацем. Для книг: фамилии и инициалы авторов, полное название источника, город, издательство, год издания, число страниц. Статья из сборника: фамилии и инициалы авторов, полные названия как статьи, так и сборника в целом, место и год издания источника и номера страниц статьи. Статья из журнала: фамилии и инициалы авторов, название статьи и журнала, год издания, том, номер, страницы.

7. Упомянутые в статьях единицы измерения должны соответствовать Международной системе единиц СИ.

8. Занумерованные формулы обязательно выделяются красной строкой, номер формулы ставится у правого края. Желательно нумеровать лишь те формулы, на которые имеются ссылки.

Рукописи, оформленные с нарушением правил, возвращаются без рассмотрения.

Адрес редакции:

Россия, 367030, Махачкала, ул. М.Ярагского 75

© Институт геологии ДФИЦ РАН

© Коллектив авторов

ISSN: 2541-9684

Научное издание

*Зарегистрирован в федеральной службе по надзору в сфере связи
и массовых коммуникаций Российской Федерации (Роскомнадзор).*

ПИ № ФС 77-67725 от 10 ноября 2016 года

Ежеквартальный научный журнал
"Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН"
Выпуск № 4 (91) 2022

Сборник набран, сверстан и отредактирован на компьютерной
базе ГИС-центра Института геологии ДФИЦ РАН.

Дизайн – Черкашин В.И.

*Верстка – Ахмедов А.С., Мамаев А.С., Ибаев Ж.Г., Идрисов И.А.
Набор – Гусейнова А.Ш., Курбанисмаилова А.С.*

Подписано в печать 20.12.2022 г. Формат 60×84¹/₈.
Гарнитура «Таймс». Бумага офсетная. Печать ризографная.
Усл. п. л. 10,46. Уч.-изд. л. 6,4. Тираж 200 экз. Заказ №22-20-12.



Отпечатано в типографии АЛЕФ
367002, РД, г. Махачкала, ул. М. Гаджиева 64
Тел.: +7 (8722) 935-690, 599-690, +7 (988) 2000-164
www.alefgraf.ru, e-mail: alefgraf@mail.ru