



РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
Институт геологии
Дагестанского федерального
исследовательского центра РАН

ISSN: 2541-9684

№ 2 (93), 2023
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
№ ФС77-67725 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, ОНЗ РАН
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.
Заалишвили В.Б.
Караетян 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, ДГТУ
д.т.н., профессор, ДГУ
д.ф.-м.н., профессор, ДГУ
к.г.-м.н., в.н.с., ДФИЦРАН
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.igdficran.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

К СЕЙСМОТЕКТОНИКЕ И СЕЙСМИЧНОСТИ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО СЕГМЕНТА ВОСТОЧНОГО КАВКАЗА <i>Магомедов Р.А.</i>	4
ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ЗАПАСОВ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ОСАДОЧНОЙ ТОЛЩИ КАЯКЕНТСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ <i>Маммаев О.А., Маммаев Б.О.</i>	10
ВОСТОЧНО-КАВКАЗСКАЯ КОЛЧЕДАНОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ КАК ПЕРСПЕКТИВНАЯ ПРОВИНЦИЯ НА СЕВЕРНОМ КАВКАЗЕ <i>Исаков С.И., Тулышева Е.В.</i>	16
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ДИФФУЗИИ МЕТАНА УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ <i>Гайдаров Б.А., Мостагхими П.</i>	20
ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ В РАЗВИТИИ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА РЕСПУБЛИКИ ДАГЕСТАН <i>Ахмедов С.А., Ахмедов А.С., Мамаев А.С.</i>	28
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ПО РАЗРЕЗУ В ЗЕМНОЙ КОРЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЛАБОРАТОРНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ НЕКОТОРЫХ МИНЕРАЛОВ И ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ <i>Гусейнов А.А.</i>	32
СВЯЗЬ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА НЕУСТОЙЧИВОМ СКАЛЬНОМ МАССИВЕ «ГУНИБ» В ДАГЕСТАНЕ С ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ <i>Идармачев Ш.Г., Магомедов А.Г., Идармачев А.Ш.</i>	38
НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВАРИАЦИЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ И ИХ ПРОЯВЛЕНИЕ В НАБЛЮДАЕМЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРАХ НА СЕТИ СТАНЦИЙ В 2022 г. <i>Алиев И.А., Магомедов А.Г., Алибеков М.С.</i>	46
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ТЕРСКО-КУМСКОГО АРТЕЗИАНСКОГО БАССЕЙНА <i>Самедов Ш.Г., Газалиев И.М., Ибрагимова Т.И.</i>	56
МНОГОЛЕТНЯЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ СЕВЕРО-ДАГЕСТАНСКОГО-АРТЕЗИАНСКОГО БАССЕЙНА– ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ <i>Черкашин В.И., Мамаев С.А., Газалиев И.М., Гусейнова А.Ш., Мамаев А.С. Курбанова Л.М., Самедов Ш.Г., Курбанисмаилова А.С.</i>	61
О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИАБАЗОВ КУРДУЛЬСКОЙ ПЛОЩАДИ В КАЧЕСТВЕ СТРОИТЕЛЬНО-ДЕКОРАТИВНОГО МАТЕРИАЛА <i>Сулейманов В.К., Юсупов А.Р.</i>	76

УДК 551.24

DOI: 10.33580/2541-9684-2023-93-2-4-9

К СЕЙСМОТЕКТОНИКЕ И СЕЙСМИЧНОСТИ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО СЕГМЕНТА ВОСТОЧНОГО КАВКАЗА

*Магомедов Р.А.**Институт геологии ДФИЦ РАН*

Проведен анализ сейсмичности с учетом сейсмотектоники северо-восточного сегмента Восточного Кавказа, в результате которого выявлено что, зоны возможных очагов землетрясений приурочены к субкавказским и поперечным к ним разломам, а также их пересечениям и продолжениям в сопредельные территории. Привлеченный для анализа, материал последних лет по сейсмичности региона, позволил подтвердить ранее сделанный вывод о приуроченности сейсмоопасных зон к узлам пересечения вышеназванных разломов и наличии за последние полвека продолжения снижения сейсмической активности по максимальным магнитудам, что может быть связано с периодичностью сильных землетрясений Восточного Кавказа.

Ключевые слова: региональная тектоника, сейсмотектоника, неотектоника, сейсмичность, исторические землетрясения, магнитуда, зона ВОЗ.

TO WARDS SEISMOTECTONICS AND SEISMICITY THE NORTH-EASTERN SEGMENT OF THE EASTERN CAUCASUS

*Magomedov R.A.**Institute of Geology of the Russian Academy of Sciences*

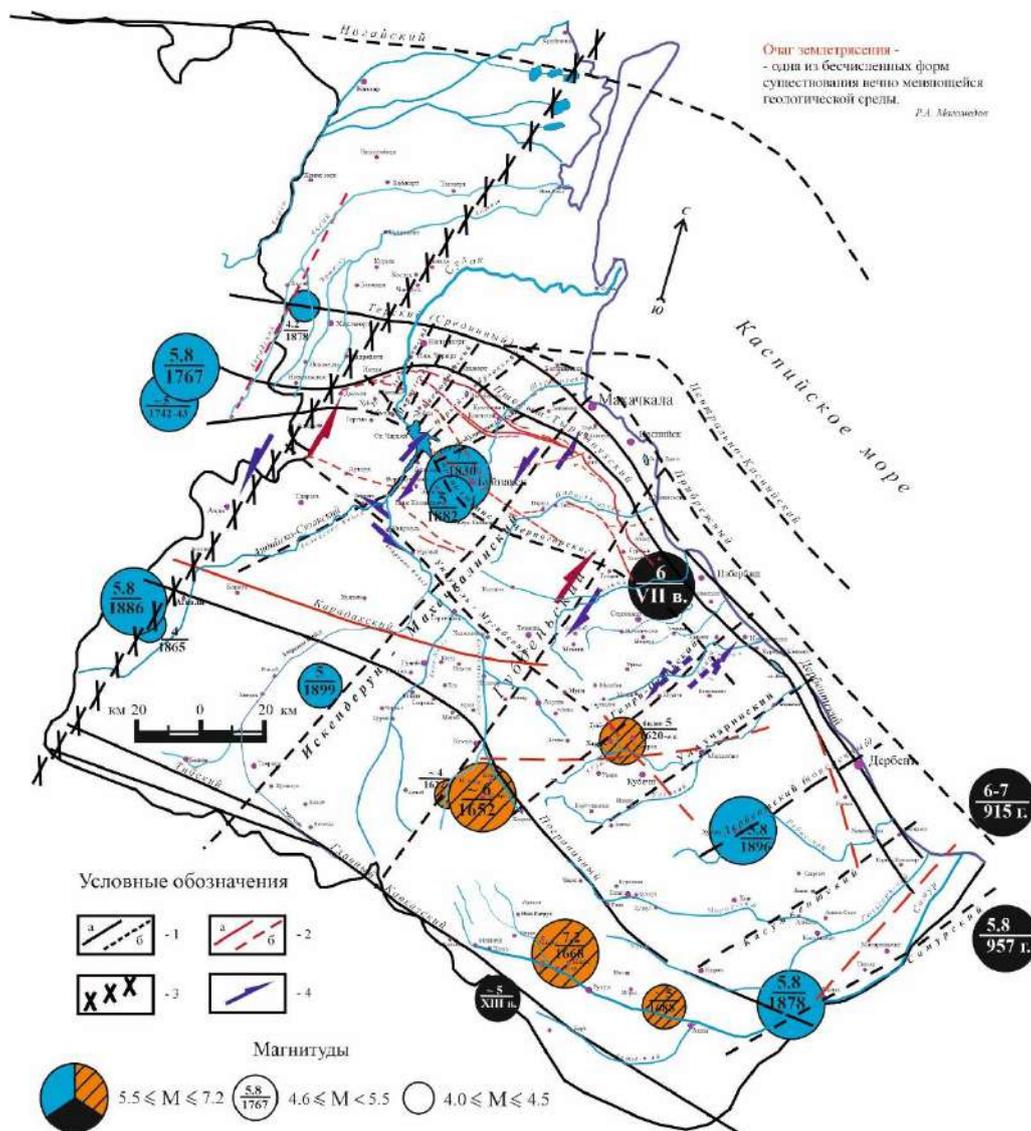
The seismicity analysis was carried out taking into account the seismotectonics of the northeastern segment of the Eastern Caucasus, as a result of which it was revealed that the zones of possible earthquake foci are confined to the Subcaucasian and transverse faults, as well as their intersections and extensions into adjacent territories. The material of recent years on the seismicity of the region attracted for analysis allowed us to confirm the previously made conclusion that seismic zones are confined to the intersection points of the above-mentioned faults and that there has been a continued decrease in seismic activity at maximum magnitudes over the past half century, which may be due to the frequency of strong earthquakes in the Eastern Caucasus.

Keywords: regional tectonics, seismotectonics, neotectonics, seismicity, historical earthquakes, magnitude, WHO zone.

В сейсмогеодинамическом отношении Восточный Кавказ принадлежит Иран-Кавказ-Анатолийскому региону Средиземноморско-Гималайского пояса, которому свойственны очень крупные землетрясения. Здесь зарегистрировано довольно много сильных землетрясений, в том числе: Дагестанское – 14.05.1970 г. (8-9 баллов); Буйнакское – 9.01.1975 г. силой в эпицентре равной 8 баллам; Кумторкалинское – 31.01. силой в 7 баллов; Закаталинские землетрясения (Грузия) – 7.05.2012 г. силой 7-8 баллов, 29.06.2014 г. - силой 8 баллов и 05.06.2018 – силой в эпицентре 8 баллов; в окрестности г. Лагодехи 14.10.2012 г. – силой 7-8 баллов; в окрестности г. Шеки (Азербайджан) 04.09.2015 г. – силой 8 баллов и многие другие. Разрушительными для города Шемаха оказались землетрясения 1806 и 1859 годов. Известный в те годы ученый Абих предсказал, что этот город рано или поздно будет уничтожен полностью. Мрачное пророчество почти сбылось в январе 1902 года, т.е. примерно через полвека. Шемахинское землетрясение магнитудой 6,9 баллов, произошедшее 31 января (13 февраля) 1902 года на территории Азербайджана, было самым сильным землетрясением за всю историю города Шемахи. Землетрясением был разрушен почти весь город и погребено под его развалинами свыше 3000 жертв. Около 4000 домов было разрушено. Спитакское землетрясение 1988 года магнитудой 6,8-7,2, произошедшее 7 декабря 1988 года на северо-западе Армянской ССР также оказалось катастрофическим. До основания был разрушен город Спитак и 58 сёл; частично разрушены города Ленинакан, Степанован, Кировакан – всего 21 город, и ещё более 300 населённых пунктов. В результате землетрясения

погибло, по меньшей мере, 25 тысяч человек (по другим данным – 45 тысяч), 140 тысяч стали инвалидами, 514 тысяч человек остались без крова [6-9, 13-14, 19-20 и др.].

По свидетельству данных сводного Каталога сильных землетрясений, составленного по совокупности исторических и инструментальных данных, еще в древние времена, в пределах исследуемой территории происходили сильные землетрясения. Исследователи Кавказа неоднократно отмечали признаки древних землетрясений в регионе [1, 10-11 и др.]. Макросейсмические данные о сильных землетрясениях Дагестана имеются с VII века нашей эры [8 и др.]. В доинструментальный период (VII-XIX вв.) имеются сведения о 18 землетрясениях, весьма существенно отличающихся по своей информативности. Несомненно, лишь то, что по описаниям они отражают последствия сильных и разрушительных землетрясений (рис. 1).



1 – глубинные разломы (а – достоверные, б – предполагаемые). 2 – разрывные нарушения в осадочном чехле (а – достоверные, б – предполагаемые). 3 – фрагмент Аграхано-Тбилиско-Левантийской левосдвиговой зоны 1-го порядка. 4 – направление смещения блоков. Цветом обозначены: синим – землетрясения XVIII-XIX вв., коричневым со штриховкой – землетрясения XVII века, черным – землетрясения VII-XIII вв. Дробь: в числителе – магнитуда, знаменателе – дата.

Рис. 1. Карта эпицентров исторических землетрясений с магнитудами более 5 на разломно-блоковой структуре северо-восточного сегмента Восточного Кавказа.

Сложное геолого-тектоническое строение отражается соответствующим образом и на сейсмическом режиме региона. Более подробно о разломно-блоковой тектонике и сейсмотектонике региона, с привлечением фондового и опубликованного материалов, изложено в работе [12]. В настоящем сообщении сделан акцент на сейсмичность региона с привлечением материала последних лет.

Характер протекания тектонических процессов, частным проявлением которых является сейсмичность, практически неизменен в сравнительно короткие отрезки времени имеющейся сейсмостатистики, а с периодом инструментальной регистрации в десятки лет - тем более.

Как известно, альпийский этап тектогенеза характеризуется значительным максимумом своей активизации, с которым связаны современные геодинамические процессы и повышенная современная сейсмическая активность региона. Об активизации современных геодинамических процессов, выраженной в усилении горизонтального тектонического напряжения земной коры, свидетельствуют результаты высокоточных линейно-угловых геодезических измерений, проводившихся в 1991 г. [4-5 и др.]. Установлено относительное смещение в плане на северо-восток восточной части Дагестанского выступа, а величина средних скоростей горизонтальных перемещений геодезических пунктов за 24-летний период (1967-1991 гг.) достигает 2 см/год. Дагестанский выступ (особенно его северо-восточная часть) характеризуется и высокими скоростями современного подъема земной поверхности. В то же время Приморская равнина, являющаяся собственно побережьем Каспийского моря, испытывает на большей площади погружение. Современные скорости вертикальных опусканий здесь варьируют в пределах 2-5 мм/год [2-3]. Следует отметить, что указанные значения скоростей несколько занижены, так как они усредняются за весьма длительный период, а это приводит к недоучету знакопеременной направленности движений.

Карта эпицентров землетрясений за короткие промежутки времени, ввиду большой изменчивости сейсмического процесса, не может непосредственно служить надежной характеристикой сейсмичности рассматриваемого района. Трудность количественной оценки сейсмичности, той или иной территории, заключается в том, что сейсмический процесс представляет собой сочетание непрерывного накопления упругих напряжений в земной коре и верхней части мантии и дискретного процесса их сбрасывания. Поэтому наиболее важной характеристикой сейсмического поля были бы количественные показатели напряжения и прочности, дающие нам представление о вероятности возникновения землетрясений. Однако, пока характеристикой напряженного состояния геосреды остается распределение землетрясений в ней. С привлечением результатов исследования региональной геотектоники и материала сейсмического режима последних лет построена карта эпицентров сильных землетрясений с $M \geq 5$ на территории С-В сегмента Восточного Кавказа за период 1960-2023 гг. (рис. 2).

Проведенное исследование подтвердило что, зоны возможных очагов землетрясений приурочены к субкавказским и поперечным к ним разломам, а также их продолжениям в сопредельных территориях. Как известно «сейсмическую погоду» определяют сильные землетрясения, периодичность которых для региона Восточного Кавказа (точнее - квазипериодичность) по историческим данным превышает сто лет (примерно $90-120 \pm 10$ лет). Инструментальный период (с 1960-х годов) для определения периодичности сильных и сильнейших землетрясений слишком мал. Но, имеющийся материал инструментального периода, на основании которого построен график временного распределения землетрясений (рис. 3) и архив исторических сильных землетрясений позволяет предположить о наличии за последние полвека снижения сейсмической активности по максимальным магнитудам, что может быть связано с периодичностью сильных землетрясений Восточного Кавказа. В данном случае снижение активности связано с периодом ее спада продолжительностью $\sim 60 \pm 10$ лет.

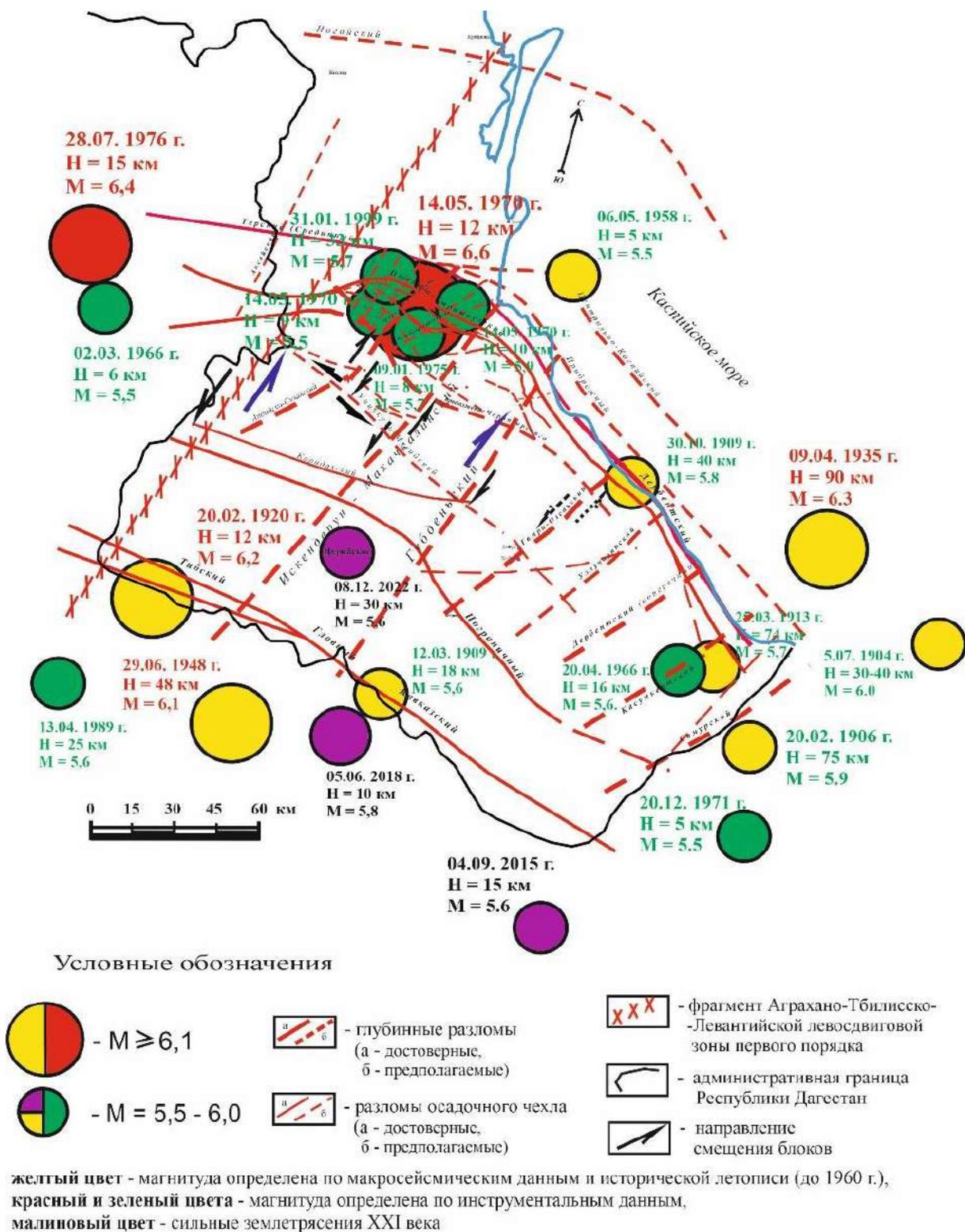


Рис. 2. Распределение эпицентров сильных землетрясений с $M \geq 5$ на территории С-В сегмента Восточного Кавказа за период 1960-2023 гг.

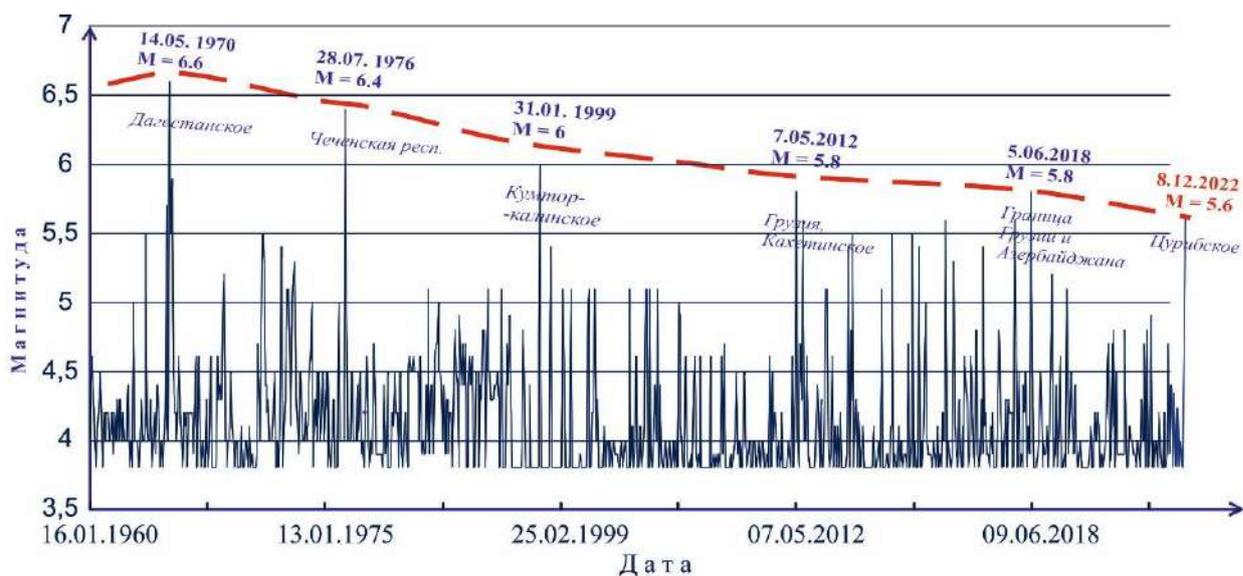


Рис. 3. График временного распределения землетрясений с $M \geq 3.8$ (с 1960 по 2023 гг.).

Таким образом, последующее повышение сейсмической активности следует ожидать в ближайшие 5-6 десятилетий с пиком активности в 2070 ± 10 лет. Это не означает, что в ближайшее десятилетие не может случиться подобное событие. Здесь действуют много факторов, в том числе, не познанные глубинные и не до конца осознанные исследователями космические, и нелинейность самых процессов протекающих в вечно меняющейся геологической среде. Все эти и другие, еще не познанные механизмы, действуя вместе, превращают литосферу в хаотичную нелинейную, вечно меняющуюся систему. В такой системе, как известно, прошлое не определяет будущее.

Выводы

Анализ сейсмичности с учетом сеймотектоники региона показал что, зоны возможных очагов землетрясений приурочены к субкавказским и поперечным к ним разломам, их пересечениям и продолжениям в сопредельных территориях. Привлечение для анализа материала последних лет по сейсмичности региона подтвердил ранее сделанный вывод о наличии за последние полвека продолжения снижения сейсмической активности по максимальным магнитудам, что может быть связано с периодичностью сильных землетрясений Восточного Кавказа.

Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания ИГ ДФИЦ РАН по теме НИР Рег. номер НИОКТР 1021060808491-6-1.5.6.

Литература

1. Гаврилов Ю.О. Отражение сейсмических палеособытий в мезозойско-кайнозойских терригенных толщах Северного Кавказа //Литология и полезные ископаемые. 2017. № I. С. 3-24.
2. Карта современных вертикальных движений земной коры Восточной Европы. М 1 : 2500000. М.: ГУГК СССР, 1973.
3. Карта современных вертикальных движений земной коры по геодезическим данным на территории СССР. М 1 : 5000000. М.: ГУГК СССР, 1989.
4. Касьянова Н.А. Современная пространственно-временная миграция тектонической напряжённости в земной коре Кавказа и Предкавказья //Общая и региональная геология, геология морей и океанов, геологическое картирование: Экспресс-информация АО «Геоинформмарк». 1994. Вып. 3. С. 1-15.
5. Касьянова Н.А., Абрамова М.А., Гайрабеков И.Г., 1995. О горизонтальных деформациях Восточного Кавказа на основе высокоточных геодезических измерений //Геотектоника. № 2.- С. 86-90.
6. Короновский Н.В. Аграхан-Тбилиско-Левантйская левосдвиговая зона - важнейшая структура Кавказского региона //Докл. РАН. 1994. Т. 337, № 1.- С.83-89.

7. Краснопевцева Г.В. и др. Результаты глубинного сейсмического зондирования земной коры Кавказа.- В кн.: Глубинное строение Кавказа. 1966. М.: Наука. С. 43-56.
8. Левкович Р.А., Магомедов А.М., Асманов О.А. К сейсмическому районированию Дагестанской АССР //Сб. Сейсмический режим территории Дагестана. ИГ Даг. ФАН СССР, 1977. № 1. С.31-40.
9. Магомедов Р.А. Дизъюнктивная тектоника и современная сейсмичность территории Восточного Кавказа //Отечественная геология, 2014. № 3. С. 69-77.
- 10.Магомедов Р.А. Следы палеосейсмособытий в разрезах осадочного чехла Восточного Кавказа //Юрская система России: проблемы стратиграфии и палеогеографии. Седьмое Всероссийское совещание. 18-22 сентября 2017 г., Москва, 2017. Научные материалы /В.А. Захаров, М.А. Рогов, Е.В. Щепетова (ред.). Москва: ГИН РАН, 2017. С. 119-122.
- 11.Магомедов Р.А., Маммаев О.А. Палеосейсмодислокации в осадочном чехле мезозойского комплекса Восточного Кавказа //Геология и геофизика Кавказа: современные вызовы и методы исследований. Материалы Международной научно-практической конференции. 22-24 сентября 2017 г. Владикавказ, 2017. ВНЦ РАН, С. 206-212.
- 12.Магомедов Р.А. Сейсмо тектоника и современная сейсмичность Восточного Кавказа //Тр. ИГ ДНЦ РАН, № 1 (88). 2022. Тип. «АЛЕФ». Махачкала, 2022. С. 16-36.
- 13.Маркус М.А. Долгоживущие структуры Восточного Кавказа //Сов. геология. 1986. № 10. С.63–69.
- 14.Милановский Е.Е. Новейшая тектоника Кавказа. 1968. «Недра». М. 484 с.
- 15.Сидоров В.А., Кузьмин Ю.О., 1989. Современные движения земной коры осадочных бассейнов. М.: ИГИРГИ. 183 с.
- 16.Синягина М.И., Орленка Л.П. Геодезия и картография. 1959. № 8.- С. 22.
- 17.Скарятин В.Д. Применение метода многоступенчатой генерализации при изучении геологических структур разного масштаба (на примере Северного Кавказа) //Исследование природной среды космическими средствами: Геология и геоморфология. 1976. М. Т.5.- С. 123-141.
- 18.Соборнов К.О. Формирование складчато-надвиговой структуры Дагестанского клина //Геотектоника. 1991. № 3.- С. 34-46.
- 19.Труды Геологического института /Геол. ин-т. - М.: Изд-во АН СССР, 1932-1964. - М.: Наука, т. 28 1964. ISSN 0002-3272 Вып. 593: Консолидированная кора Каспийского региона: опыт районирования /Леонов Ю.Г., Волож Ю.А., Антипов М.П., Быкадоров В.А., Хераскова Т.Н.; Отв. ред. Ю.Г. Леонов. - М : ГЕОС, 2010. - 64 с.
- 20.Хаин В.Е. Общая геотектоника. 1973. М.: Недра. 512 с.

УДК 38.53.29

DOI: 10.33580/2541-9684-2023-93-2-10-15

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ЗАПАСОВ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ОСАДОЧНОЙ ТОЛЩИ КАЯКЕНТСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Маммаев¹ О.А., Маммаев² Б.О.

*¹Институт проблем геотермии и возобновляемой энергетики – филиал
Объединенного института высоких температур РАН, Махачкала, Россия*

²Институт геологии ДФИЦ РАН

На основе собственных и фондовых геолого-физических материалов проводится оценка потенциальных запасов геотермальной энергии месторождения Каякент.

Ключевые слова. Геотермальные ресурсы, теплофизические параметры, горные породы, пластовые воды, геотермические данные.

POTENTIAL RESERVES OF GEOTHERMAL ENERGY OF THE KAYAKENT FIELD ARE ESTIMATED ON THE BASIS OF OWN AND STOCK GEOLOGICAL AND PHYSICAL MATERIALS

Mammaev¹ O.A., Mammaev² B.O.

*¹Institute of Geothermal Problems and Renewable Energy, branch of the Joint Institute
for High Temperatures RAS, Makhachkala, Russia,*

² Institute of Geology FERC RAS

Based on our own and stock geological and physical materials, an assessment of the potential geothermal energy reserves of the Kayakent field is carried out.

Keywords. Geothermal resources, thermophysical parameters, rocks, formation water, geothermal data.

Каякентское месторождение, известное с давних пор как район колодезной добычи нефти, расположено на Приморской низменности, в 4 км к юго-востоку от железнодорожной ст. Каякент, и в 2–3 км. от берега Каспийского моря. Каякентская площадь представляет собой крупную брахиантиклиналь, приуроченную к северо-западному погружению свода Восточной антиклинали Южного Дагестана [1].

На дневной поверхности в наиболее приподнятой части складка сложена отложениями чокракского и караганского горизонтов, по периферии развиты породы сарматского яруса. Далекие крылья слагаются известняками верхнего сармата, которые в рельефе образуют с юго-запада хр. Кулкан-тау, а с северо-востока – серию подводных гривок и гряд. хр. Кулкан-тау имея наивысшую абсолютную отметку 229м., обрамляет Каякентскую брахиантиклиналь с юго-запада на всем протяжении от широты северного окончания озера Аджи до хутора Арабляр. Этот хребет сложен на поверхности мощным известняковым пластом, предохраняющим от размыва глинистые нижележащие отложения. В поперечном сечении он характеризуется резко выраженным асимметричным строением. На севере к хребту примыкают гряды таких же известняков, которые на всем протяжении от Каякента до Избербаша образуют в рельефе уступ древнекаспийской террасы.

Подводные гривки и гряды составляют обрамление северо-восточного крыла антиклинали. Они представлены серией известняковых и песчаниковых пластов, возвышающихся на дне моря в виде асимметричных уступов среди глинистых отложений.

Изучение геологического строения месторождения и выявления его нефтеносности началось в советское время. В течение 1926–1932 гг. на Каякентской площади работают геолого-разведочные партии нефтяной секции Геологического комитета, реорганизованной в 1930 г. в Нефтяной геологоразведочный институт (НГРИ). Работы производились И.О. Бродом, Н.Н. Ро-

стовцевым и В.А. Знаменским. Н.Н. Ростовцевым была составлена геологическая карта, а на ее основе дан проект разведки опытной разработки месторождения.

Таким образом, Каякентское месторождение, являясь одним из старейших месторождений, практически в настоящее время не разрабатывается. Промышленная эксплуатация его продолжалась всего 6 лет.

Сводный нормальный геологический разрез месторождения Каякент представлен на рис. 1.

Для оценки потенциальной тепловой энергии петротермальных и гидротермальных ресурсов месторождения Каякент нами выбрана простая геолого-физическая модель осадочной толщи с известными теплофизическими параметрами горных пород и литолого-стратиграфическим строением [9].

Для каждого однородного литолого-стратиграфического слоя потенциальную петротермальную энергию сухой горной породы оценивали по формуле

$$Q_{c.n} = C \cdot t \cdot V_{п} (1-K) \cdot \rho, \quad 1.$$

где $Q_{c.n}$ – потенциальная тепловая петротермальная энергия сухой породы в Дж;

C – удельная теплоемкость горной породы, Дж/кг·°С;

$V_{п}$ – объем горной породы вместе с порами, м³;

ρ – удельная плотность породы, кг/м³;

t – средняя температура пласта, °С;

K – коэффициент пористости.

Объем однородного слоя горной породы определяется по выражению

$$V_{п} = \frac{100 - K_{п}}{100} \cdot V, \quad 2.$$

где V – полный объем, занимаемый породой вместе с порами;

$K_{п}$ – коэффициент пористости.

Объем для каждого пласта

$$V = a \cdot b \cdot h, \quad 3.$$

где a и b – длина и ширина пласта, м; h – мощность пласта.

Так как, в осадочной толще мы имеем дело с водонасыщенными породами, то отдельно определяли потенциальную тепловую энергию пластовых вод по формуле

$$Q_{n.v.} = C_v \cdot t \cdot V_{пор} \cdot K \cdot \rho, \quad 4.$$

где C_v – теплоемкость пластовых вод, нами принята равной $4,18 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}}$;

t – средняя температура пластовой воды, °С;

ρ – удельная плотность воды, нами принята равной $10^3 \cdot \text{кг/м}^3$;

$V_{пор}$ – объем пор,

$$V_{пор} = \frac{K_n}{100} \cdot V, \quad 5.$$

где V – полный объем породы вместе с порами.

Полную потенциальную петротермальную и гидротермальную энергию заключенную в осадочной толще определяли как суммарную по всем литолого-стратиграфическим слоям по всей расчетной глубине литологической колонки.

Расчетные величины потенциальной геотермальной (петротермальной и гидротермальной) энергии осадочной толщи пл. Каякент приведены в таблице 1 для расчетной ячейки площадью сечения в 1 км².

Общие значения потенциальной петротермальной, гидротермальной и суммарной геотермальной энергий соответственно равны: $Q_{c.п.} = 10849,93 \cdot 10^{14}$ Дж, $Q_{п.в.} = 3146,74 \cdot 10^{14}$ Дж, $Q_{п.г.} = 13996,67 \cdot 10^{14}$ Дж, что соответствует $36,82 \cdot 10^6$, $10,52 \cdot 10^6$ и $47,35 \cdot 10^6$ ТУТ.

Таблица 1.

Оценка величины потенциальной геотермальной энергии осадочной толщи пл. Каякент.

Возраст отложений	Литологический состав	Мощность пород, h , (м)	Плотность пород ρ , (г/см ³)	Средн. температура пласта, °С	Коэффициент пористости, %	Теплоемкость пород, $n \cdot 10^3$ (Дж/кг·°С)	Потенц. геотермальная энергия пород, $Q_{г.п.}$ $n \cdot 10^{14}$ (Дж)	Потенциальная гидро-термальная энергия пластовых вод, $Q_{п.в.}$ $n \cdot 10^{14}$ (Дж)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
N ₁ ² c+t	глина	20	2,07	21,25	6	1,13	9,45	1,8
	песчаник	25	1,95	21,75	20	1,01	8,6	4,9
	глина	15	2,07	22,25	6	1,13	7,4	1,5
	мергель гл.	15	2,37	22,75	13	0,98	6,9	2,3
	песчаник	25	1,95	23,5	20	1,01	9,3	5,4
	мергель гл.	30	2,37	24,5	13	0,98	15,1	4,9
	песчаник	15	1,95	25,25	20	1,01	5,9	3,8
	мергель гл.	10	2,37	25,5	13	0,98	5,3	2,2
	песчаник	10	1,95	25,75	20	1,01	4,1	2,8
	глина	15	2,07	26,75	6	1,13	8,8	1,6
	мергель	20	2,37	27,25	13	0,98	11,2	3,4
	глина	90	2,07	28,5	6	1,13	56,4	7,1
	песчаник	20	1,96	30,5	20	1,01	9,7	6,2
	глина	115	2,08	32,75	6	1,13	83,3	10,4
	песчаник	15	1,96	34,75	20	1,01	8,3	5,3
	глина	30	2,08	35,5	6	1,13	23,6	3,1
	песчаник	30	1,96	36,5	20	1,01	17,4	10,6
	глина	55	2,08	37,5	6	1,13	45,6	6,7
	песчаник	25	1,96	38,75	20	1,01	15,4	9,3
	глина	35	2,08	40	6	1,13	30,9	4,5
	мергель	15	2,39	41	13	0,98	12,7	4,3
	глина	40	2,08	42	6	1,13	37,2	5,2
	мергель	15	2,39	42,75	13	0,98	13,3	4,5
	глина	45	2,09	43,75	6	1,13	43,8	5,9
	мергель	50	2,39	45,25	13	0,98	46,6	13,4
	глина	10	2,09	46,25	6	1,13	10,3	2,2
	мергель	50	2,39	47	13	0,98	48,4	13,8
	глина	15	2,09	48	6	1,13	16,1	2,8
песчаник	70	2,03	49,5	20	1,01	55,2	30,1	
глина	30	2,09	51,25	6	1,13	34,2	4,9	
мергель	10	2,39	52,25	13	0,98	10,8	3,9	
глина	30	2,09	52,75	6	1,13	35,2	4,9	
песчаник	10	1,98	53	20	1,01	8,5	5,5	
глина	20	2,09	53,75	6	1,13	23,9	3,7	
N ₁ ² t	мергель	25	2,4	54	13	0,98	27,9	8,4
	песчаник	25	1,97	55	20	1,01	24,9	12,6
	глина	35	2,1	56	6	1,13	43,8	5,9
	песчаник	30	1,97	57	20	1,01	26,7	16,4
	глина	60	2,1	59,75	6	1,13	78,3	9,9
	мергель	10	2,4	60,5	13	0,98	12,5	5,3
	песчаник	35	1,97	61,25	20	1,01	34,3	18,8
	глина	15	2,1	61,75	6	1,13	20,6	5,4
	песчаник	10	1,98	62	20	1,01	10,5	6,3
	глина	10	2,1	64,25	6	1,13	14,6	3,6
	песчаник нф.	120	1,98	66,75	22	1,01	124,7	73,4
	глина	25	2,1	67,25	6	1,13	37,8	6,2
N ₁ ¹ +Pq ₃	песчаник	25	1,98	69,75	20	1,01	29,1	16,3
	глина	75	2,1	70,25	6	1,13	116,6	13,9
	алевролит	15	2,3	71,5	12	1,05	23,3	7,3
	глина	60	2,1	73,75	6	1,13	97,4	11,8
песчаник нф.	90	1,98	75,5	22	1,01	108,3	63,3	

продолжение таблицы 5.4.10.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	глина	20	2,11	76,25	6	1,13	34,7	5,8
	мергель	10	2,41	77,5	13	0,98	16,4	6,1
	глина	85	2,11	78,75	6	1,13	147,8	17,6
	песчаник нф.	10	1,98	79,5	22	1,01	13,6	8,8
	глина	30	2,11	80,25	6	1,13	54,3	7,1
	песчаник нф.	10	1,98	81	22	1,01	14,8	8,4
	глина	25	2,11	81,75	6	1,13	47,8	6,1
	песчаник нф.	15	1,98	82,25	22	1,01	20,8	13,4
	глина	15	2,11	82,75	6	1,13	29,3	4,1
	песчаник нф.	15	1,98	84,5	22	1,01	23,1	13,5
	глина	550	2,11	91,75	6	1,13	1149,4	125,6
	мергель глин.	55	2,42	101,5	13	0,98	111,4	32,8
	мергель	95	2,42	103,75	13	0,98	196,1	55,9
	извест. глин.	10	2,39	105,25	4,5	1,03	26,3	3,9
	мергель	40	2,42	106,25	13	0,98	87,9	25,3
	извест. глин.	10	2,39	107	4,5	1,03	25,9	4,1
	мергель	15	2,42	107,25	13	0,98	36,3	9,7
	известняк	115	2,39	109,5	4	1,03	279,4	23,6
	мергель	20	2,42	111,75	13	0,98	48,1	15,2
	известняк	220	2,39	115,5	4	1,03	560,8	44,6
К ₂	глина	35	2,43	141	5,8	1,05	118,6	12,02
	известняк	20	2,46	142	13,6	0,85	51,3	16,22
	мергель	20	2,38	143	13,3	0,97	57,2	15,97
	известняк	20	2,47	144	13,6	0,85	52,2	16,45
	мергель	25	2,39	145	13,3	0,97	72,8	20,24
	известняк	40	2,48	146	13,6	0,85	106,3	33,35
	глина	130	2,46	148	5,8	1,05	468,1	46,86
	известняк	40	2,49	151	13,6	0,85	11,04	34,5
	глина	35	2,47	152	5,8	1,05	129,9	12,95
	мергель	20	2,41	152	13,3	0,97	61,6	16,98
	известняк	40	2,51	154	13,6	0,85	113,5	35,18
	глина	65	2,48	156	5,8	1,05	24,87	24,70
	известняк	40	2,53	157	13,6	0,85	116,6	35,87
	глина	50	2,49	159	5,8	1,05	195,7	19,36
	известняк	65	2,55	161	13,6	0,85	195,9	59,77
	мергель	40	2,42	163	13,3	0,97	132,6	36,42
	известняк	45	2,57	164	13,6	0,85	139,7	42,15
	мергель	20	2,43	165	13,3	0,97	67,4	18,43
	известняк	20	2,59	166	13,6	0,85	63,1	18,96
	мергель	60	2,44	167	13,3	0,97	205,6	55,97
известняк	70	2,61	169	13,6	0,85	226,7	67,57	
мергель	20	2,45	171	13,3	0,97	70,4	19,10	
К ₁	известняк	45	2,63	172	13,6	0,85	149,4	44,21
	мергель	25	2,46	173	13,3	0,97	89,4	24,15
	известняк	40	2,65	174	13,6	0,85	135,4	39,75
	изв. глин.	20	2,66	175	9,7	0,88	73,9	14,25
	мерг. глин.	25	2,47	176	9,6	1,01	99,2	24,57
	известняк	165	2,67	179	13,6	0,85	579,1	168,70
	мергель	20	2,48	181	13,3	0,97	75,5	20,22
	известняк	190	2,69	185	13,6	0,85	694,4	200,77
	аргиллит	55	2,67	189	14,7	0,79	187,0	64,17
	известняк	20	2,71	190	13,6	0,85	75,6	21,70
аргиллит	50	2,68	191	14,7	0,79	172,4	58,96	
						10849,93	3146,74	

Данные значения показывают, что геотермальная энергия является альтернативным и возобновляемым источником энергии значительной мощности и может быть использована наряду с другими ВИЭ в народном хозяйстве. Следует отметить, что эта величина потенциальной геотермальной энергии, заключенной в расчетной ячейке осадочной толщи, а извлекаемая возобновляемая часть этой энергии может быть на порядок раз меньше, в зависимости от применяемой технологии утилизации и освоения этой энергии.

Литература

1. Мирзоев Д.А., Шарафутдинов Ф.Г. Геология месторождений нефти и газа Дагестана. Махачкала. Даг. Кн. Изд-во. 1986. – 311с.
2. Гаджиев А.Г., Курбанов М.К., Суетнов В.В. и др. Проблемы геотермальной энергии Дагестана. М., Недра 1980. – 280с.
3. Баганник Н.С. Радиогенное тепло земной коры Русской платформы и ее складчатого обрамления. М., Наука. 1975. –160с.
4. Бондаренко С.С., Куликов Г.В. Подземные промышленные воды. М., Недра. 1984. –359с.
5. Амирханов Х.И., Суетнов В.В., Левкович Р.А., Гаирбеков Х.А. Тепловой режим осадочных толщ. Махачкала, 1972 –230с.
6. Х. Уонг. Основные формулы и данные по теплообмену для инженеров: Пер. с англ. / Справочник. М., Атомиздат, 1979. –216с.
7. Щербань А.Н., Бабинец А.Е., Цырульников А.С., Дядькин Ю.Д. Тепло Земли и его извлечение. Киев, 1974. –264с.
8. Курбанов М.К. Геотермальные и гидроминеральные ресурсы Восточного Кавказа и Предкавказья. М., Наука. 2001. –260с.
9. Маммаев О. А. Оценка теплоэнергетического потенциала геотермальных ресурсов осадочной толщи. / Актуальные проблемы освоения возобновляемых энергоресурсов // Материалы VI – Школы молодых ученых им. Э. Э. Шпильрайна. Махачкала, 2013, с. 114 – 117

УДК 553.435 (470.67)

DOI: 10.33580/2541-9684-2023-93-2-16-19

ВОСТОЧНО-КАВКАЗСКАЯ КОЛЧЕДАНОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ КАК ПЕРСПЕКТИВНАЯ ПРОВИНЦИЯ НА СЕВЕРНОМ КАВКАЗЕ

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

Ахтычайская рудоносная провинция отличается от сопредельных территорий аномальным геохимическим и гидротермальным фоном, проявляющимся в повышенном содержании ряда тяжелых металлов в горных породах, почвогрунтах, донных осадках и воде выходящих термальных источников.

Ключевые слова: полиметаллы, Дагестан, разломы, тектоника, рудопроявления, месторождения, зона, концентрация металлов, Самур

THE EASTERN CAUCASIAN SINTER PROVINCE AS A PROMISING PROVINCE IN THE NORTH CAUCASUS

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

The Akhtychay ore-bearing province differs from neighboring territories by anomalous geochemical and hydrothermal background, manifested in the increased content of a number of heavy metals in rocks, soil, bottom sediments and water of outcropping thermal springs.

Keywords: polymetals, Dagestan, faults, tectonics, ore occurrences, deposits, zone, metal concentration, Samur

Данная статья посвящена медно-пирротиновому месторождению Кизил-Дере, расположенному в долине р. Кизил-Дере (правый приток р. Ахтычай) в Ахтынском районе РД, близ селения Хнов [1].

Складчатая структура Большого Кавказа, по современным представлениям, считается сформированной в результате интенсивного глубинного тангенциального сжатия, вызванного, главным образом, продвижением к северу относительно жесткого Черноморско-Закавказского массива и поддвижением его под Большой Кавказ. Восточный сегмент Большого Кавказа, включающий Горный Дагестан, характеризуется складчато-разрывной тектоникой, обусловленной этим же тангенциальным сжатием, многолетним предметом дискуссий которых являются особенности формирования, геологическое строение и металлогения [3, 5, 10, 14]. Здесь развиты направленные к югу крупные тектонические покровы, которые рассматриваются как результат действия механизма горизонтальных сжимающих усилий [2]. Установлены многочисленные разрывные нарушения, большинство из которых являются сбросами и взбросами, реже проявлены надвиги. Помимо общекавказской направленности нарушений намечается и поперечная, которая улавливается при тщательном анализе мощностей и фаций и интерпретации геофизических данных [6].

Черницын в своей схеме металлогенического районирования Северного Кавказа (рис. 1) считает, что Горный Дагестан входит в состав Южной подзоны металлогенической зоны Главного хребта [13].

Южный металлогенический пояс Большого Кавказа, включающий Приводораздельную и Самуро-Белореченскую металлогенические зоны, разделены Ахтычайским разломом в пределах Дагестана. Оруденение территории представлено месторождениями и рудопроявлениями двух формаций: колчеданной (медно-пирротиновый Кизил-Деринский тип) и жильной кварц-сульфидной. Для Приводораздельной металлогенической зоны на Восточном Кавказе харак-

терно развитие мощных осадочных, преимущественно глинисто-алевролитовых толщ, среднеюрского возраста и проявления базальтоидного магматизма в виде покровов, силлов, даек.

Самуро-Белореченская металлогеническая зона (Дагестанская подзона) располагается севернее Ахтычайского разлома в пределах Бокового хребта. Представлена алевролитами, песчаниками, конгломератами; продуктами эндогенных процессов (дацит-риолитовым эффузивно-пирокластическим, гранит-порфировым комплексами) верхнететар-нижнеааленского возраста; жильного полиметаллического оруденения [12].

Ртутные рудопроявления отнесены к альпийской металлогенической эпохе и концентрируются в пределах Джуфидагской антиклинальной зоны [13].

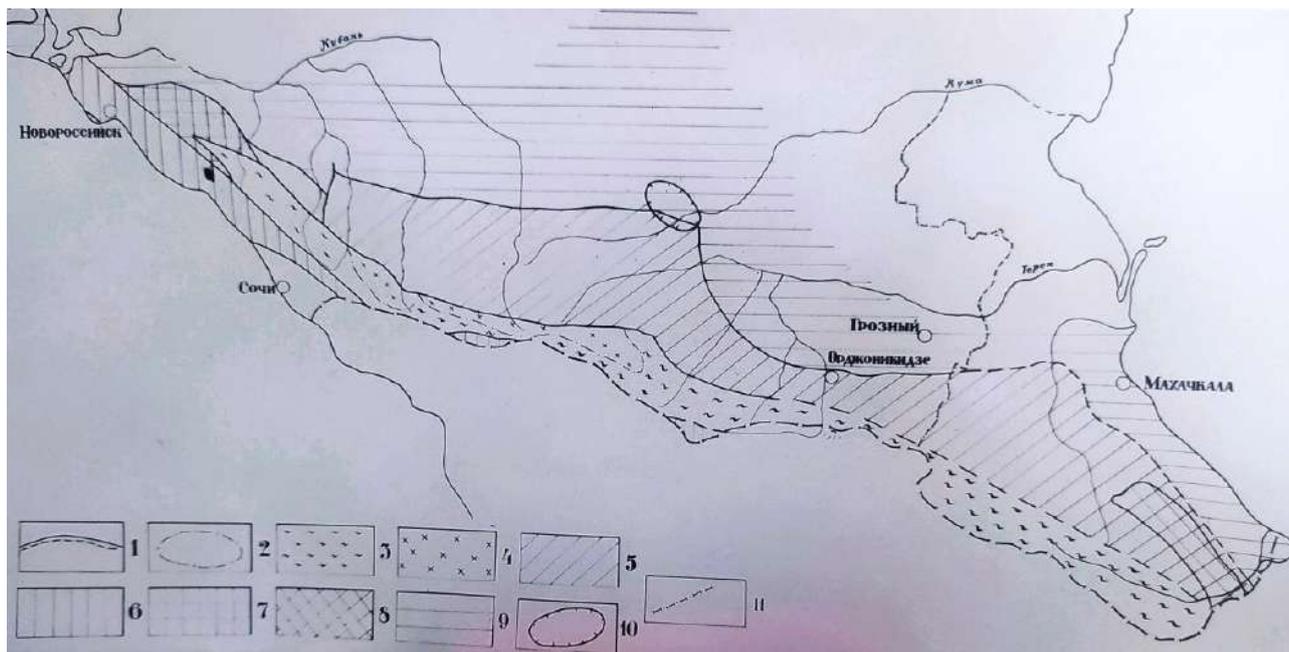


Рис. 1. Схема металлогенического районирования Северного Кавказа

Условные обозначения: 1 – Границы металлогенических зон; 2 – Границы металлогенических подзон. Металлогеническая зона Главного хребта с подзонами; 3 – южная с полиметаллическим и медно-пирротиновым (J_1 - J_2) оруденением; 4 – Северная с оруденением складчатой стадии; 5 – Предгорная минерагеническая зона (J_3); Альпийская складчатая эпоха. 6-8 – Районы развития ртутного оруденения (6 – Зоны во флишевых и субфлишевых прогибах, 7 – Бзельский рудный район, 8 – Джуфидагская антиклинальная зона); 9 – Предкавказская минерагеническая зона россыпных и осадочных проявлений Mn, Fe, Ti; 10 – Кавминводский рудный район; 11 – Территория Дагестана.

Выявленные в бассейне реки (месторождение Кизил-Дере) рудопроявления меди, свинца и цинка являются наиболее перспективными в Дагестане. Эти и другие предпосылки послужили основой постановки в 1964 году геологоразведочных работ, масштабы которых росли по мере подтверждения промышленной значимости Кизил-Деринского рудного поля. Местоорождение Кизил-Дере разведывалось порядка 20 лет. Это довольно длительный срок разведки подобного местоорождения, однако оно до сих пор не отрабатывается [8].

По местоорождению написан отчет с подсчетом запасов и утвержден в ГКЗ СССР. Местоорождение передано на баланс министерства цветной металлургии еще в советское время. Были намечены сроки его отработки. Местоорождение рассматривалось совместно с местоорождениями Азербайджана, расположенных на южном склоне Большого Кавказа – Филизчай, Кацдаг,

Катех, составлявших Восточно-Кавказскую зону полиметаллических руд с суммарными запасами порядка 4-5 млн. т. цинка, меди, свинца. Затем последовали политические события, что уменьшили перспективы отработки месторождения [4].

В процессе работ горными выработками были вскрыты обводненные рудоносные зоны. Это привело, отчасти, к ускорению естественных процессов водообмена и облегчению попадания загрязненных дренажных вод в поверхностные водотоки. Также на химический состав вод бассейна р. Самур активное воздействие оказывают существующие рудопроявления цветных металлов. Жильные рудопроявления характеризуются содержанием свинца от 0,05 до 52%, цинка – от следов до 22% и меди. В рудах, наряду с галенитом и сфалеритом, содержатся примеси олова, висмута, серебра, кадмия, индия, галлия, кобальта. В высокогорной части бассейна выявляются до восьми рудопоявлений мышьяка, в которых содержание мышьяка колеблется от 0,001 до 0,32%.

Потому пересчет кондиций должен проводиться геологами до передачи месторождения в эксплуатацию. Прорабатывается вопрос разработки медно-колчеданного месторождения Кизил-Дере. Согласно технико-экономическому обоснованию, годовой объем добычи руды составит 2,5 млн. т. Можно предположить, что образовавшиеся при этом хвосты отработанных пород с высоким содержанием серы (до 25-30 %) могут активно генерировать в воды р. Самур цинк, медь, олово, висмут, кадмий, кобальт и, что особенно опасно, мышьяк.

По данным предприятия ГУП «РЦ Дагестангеомониторинг» здесь также выявлено месторождение тонкопрожилковых кварцевых руд с промышленными и непромышленными запасами золота порядка 60 т. – это среднее по размерам месторождение золота по существующей классификации. Оработка его и обогащение руд будет связана с применением цианистых реагентов, т.е. бассейн р. Усухчай в Докузпаринском районе, р. Самур ниже впадения Усух-чая могут быть заражены цианидами. Уже на данной стадии необходимо задуматься над вопросами экологии. Поэтому прежде, чем проводить работы на рудное сырье (сульфидное, золотое и др., связанные с экологическими рисками) нужно хорошо продумать, проработать экологию этого сырья [4, 7, 11].

В настоящее время в водоохранной зоне реки Кизил-Дере остаточное содержание отвальных пород составляет свыше десятков тонн. Паводковыми водами в реки Кизил-Дере и Ахтычай (приток первого порядка реки Самур) смываются окисленные проходческие породы с высоким содержанием ионов тяжелых металлов. По данным химического анализа в отвальных породах присутствуют: алюминий, медь, цинк, кобальт, никель, свинец, хром, мышьяк и т. д. Кроме того, в реку Кизил-дере поступают штольневые сливы от плохо законсервированных разведочных скважин. С водами реки Кизил-дере в реку Ахтычай поступает 19 ПДК цинка, 58 ПДК меди, 28 ПДК марганца и т.д.

В целом, можно выделить следующие основные экологические проблемы бассейна р. Самур:

- забор воды большими объемами на нужды народного хозяйства и связанное с этим разрушение биоценозов в дельте р. Самур, маловодность дельты.
- в водах бассейна р. Самур превышающие ПДК загрязняющих веществ как природного, так и антропогенного характера, что может оказывать негативное влияние на население и биоту [9].

Промышленные месторождения Филизчай (проведена железнодорожная ветка от станции Евлах), Кацдаг, Катех в соседнем Азербайджане, как и в Дагестане Кизил-Дере, не отрабатываются. Хотя они по запасам больше, чем в Дагестане в 3-4 раза.

Оработка месторождения Кизил-Дере может привести к существенному загрязнению бассейна р. Самура, а потому более приемлемо будет проводить работы на экологически безопасные виды сырья – нерудное сырье – известняки, доломиты, гипс и др.

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

Литература

1. Алиев Н-К.К. О разработке месторождения Кизил-Дере. Экологический вестник №4. Махачкала, 1997. С. 73-75.
2. Багатаев Р.М., Бергер М.Г., Минералого-геохимические особенности золотоносных рудопроявлений в черносланцевых толщах Горного Дагестана // Геология и геофизика Юга России, № 4, 2012. С.8-24.
3. Большой Кавказ в альпийскую эпоху / Ред. Ю. Г. Леонов. М.: Геос, 2007. 368 с.
4. Мацапулин В.У., Тулышева Е.В., Исаков С. И. Т. И. Абдулганиева Экологические уроки месторождения Кизил-Дере // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2017. № 70. С. 56-58.
5. Геология и полезные ископаемые Большого Кавказа / Отв. ред. Е.Е. Милановский и Н.В. Коронковский. М.: Наука, 1987. 269 с.
6. Иванов Г.И., Долгих А.Г., Черницын В.Б. Геологическое строение юго-восточной (Дагестанской подзоны). В кн. «Колчеданные месторождения Большого Кавказа», Недра, М., 1973.
7. 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.
8. Курбанов М.М. Структура и некоторые вопросы генезиса колчеданного месторождения Кизил-Дере в Ю. Дагестане. - Тез. док. IV конф. по геол. и полезным ископ. Сев.Кавказа. Ессентуки. 1974. С.190.
9. Маммаев М. М., Абдусаламова А. М. Основные экологические проблемы бассейна реки Самур / // Неделя науки - 2015: Сборник тезисов докладов XXXVI итоговой научно-технической конференции преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет», Махачкала, 21–25 апреля 2015 года / Под ред. Т.А. Исмаилова. – Махачкала: Издательство КИТ, 2015. – С. 222-223.
10. Скрипченко Н.С., Пруцкий Н.И. Проблемы геодинамики и металлогении Большого Кавказа // Региональная геология и металлогения. 2005. №25. С. 39-51.
11. Тулышева Е.В., Исаков С.И. Краткая металлогеническая изученность Горного Дагестана // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа: Коллективная монография по материалам XI Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Том XII. Москва: Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН, 2022. С. 204-207.
12. Черкашин В.И. Минералогия оруденения мезо-кайнозойских отложений Восточного Кавказа. Дисс. на соиск. уч. ст. д.г.-м.н., Казань. 2007. 52 с.
13. Черницын В.Б. Некоторые особенности металлогении Северного Кавказа. В кн. «Проблемы металлогении и магматизма Кавказа». Наука, М., 1970. С. 30-42.
14. Шолпо В.Н. Альпийская геодинамика Большого Кавказа. М.: Недра, 1978. 176 с.

УДК 38.53.29

DOI: 10.33580/2541-9684-2023-93-2-20-27

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ДИФФУЗИИ МЕТАНА УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

Гайдаров^{1,2} Б.А., Мостагхими³ П.

¹*Институт геологии ДФИЦ РАН, ²Эрнст энд Янг (Саудовская Аравия),*

³*Университет Нового Южного Уэльса (Сидней, Австралия), e-mail: batir.gaidarov@gmail.com*

Коэффициент диффузии играет ключевую роль в процессе добычи метана угольных пластов (МУП), и требует точной характеристики. Тем не менее, обычная практика экспериментальных газодиффузионных измерений предполагает использование частиц угля вместо объемных образцов угля, что часто приводит к упущению эффектов разрушения угля. Данное исследование направлено на описание способа оценки коэффициентов диффузии как трещиноватых, так и непроницаемых объемных образцов угля, что позволит пролить свет на динамику газовой диффузии внутри различных конфигураций пор и трещин. Для этого описана методика эксперимента по встречной диффузии для измерения коэффициентов диффузии в объемных образцах угля при различных временах диффузии, всестороннем давлении и давлении газа.

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

EXPERIMENTAL METHOD OF COALBED METHANE DIFFUSION COEFFICIENT MEASUREMENT

Gaidarov^{1,2} Batyrkhan A., Mostaghimi³ Peyman

¹*Institute of Geology DFRC RAS, ²Ernst and Young (Saudi Arabia),*

³*University of New South Wales (Sydney, Australia), e-mail: batir.gaidarov@gmail.com*

Diffusivity holds a pivotal role in the gas production process, necessitating explicit characterization. Nevertheless, the usual practice in experimental gas diffusion measurements involves employing coal particles as opposed to bulk coal samples, often leading to the omission of coal fractures' effects. This study is geared towards assessing the diffusion coefficients of both fractured and impermeable bulk coal samples, thereby shedding light on gas diffusion dynamics within distinct pore and fracture configurations. To accomplish this, we conducted counter-diffusion experiments to measure diffusion coefficients in bulk coal samples under varying diffusion times, confining pressures, and gas pressures.

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

Методика измерения коэффициента диффузии метана угольных пластов основана на встречной диффузии. Уравнения 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. Локальные коэффициенты диффузии могут быть определены с использованием изображений рентгеновской компьютерной томографии газа криптона, диффундирующего через образец угля. Возможные вариации коэффициентов локальной диффузии укажут на высокую неоднородность угля, тем самым подтверждая важность измерений как локальной, так и объемной диффузии при характеристике угля.

1. Экспериментальная установка и методика

1.1 Экспериментальная установка и процедура проведения эксперимента

Тест на встречную диффузию основан на принципе свободной диффузии газов через образец угля при градиенте концентрации. В качестве экспериментальных газов предлагается использовать гелий и метан. В этой работе улучшен стандартный эксперимент по встречной

диффузии, чтобы обеспечить возможность многократного отбора проб при сохранении непрерывного процесса диффузии, управляемого концентрацией (

Рис. 1).

Процедура эксперимента, следующая:

1) Образец угля устанавливается на кернодержатель. Держатель керна может создавать ограничивающее давление, чтобы имитировать напряжение перекрывающих пород на месте и избежать байпасного потока.

2) После проверки герметичности система вакуумируется в течение 4–5 часов для удаления воздуха из закрытой системы.

3) Закрываются вентили 4 и открываются вентили 2 - для заполнения газовых камер, подключённых к газовым баллонам. Затем давление газа регулируют, чтобы обеспечить одинаковое давление газа с обеих сторон кернодержателя.

4) Клапаны 4 открываются одновременно с помощью газового привода для соединения пробы угля с двумя газовыми камерами.

5) Чтобы свести к минимуму падение давления со стороны метана, вызванное адсорбцией метана, газовые баллоны подключают к камерам на 3 часа, оставляя клапаны 2 открытыми, чтобы поддерживать постоянное давление в камере с помощью газовых регуляторов.

6) Клапаны 2 закрываются после 3 ч насыщения для сбора проб газа и измерения концентрации. Во избежание адвективного потока клапаны 4 во время отбора проб закрыты. Пробы газа отбираются в разное время диффузии (24 часа, 48 часов, 72 часа, 144 часа, 166 часов, 190 часов, 214 часов, 238 часов и 309 часов) для расчета зависящих от времени коэффициентов диффузии. Начальные концентрации газа – это концентрации, собранные за 24 часа диффузии.

7) Вышеуказанные шаги повторяются в различных экспериментальных условиях.

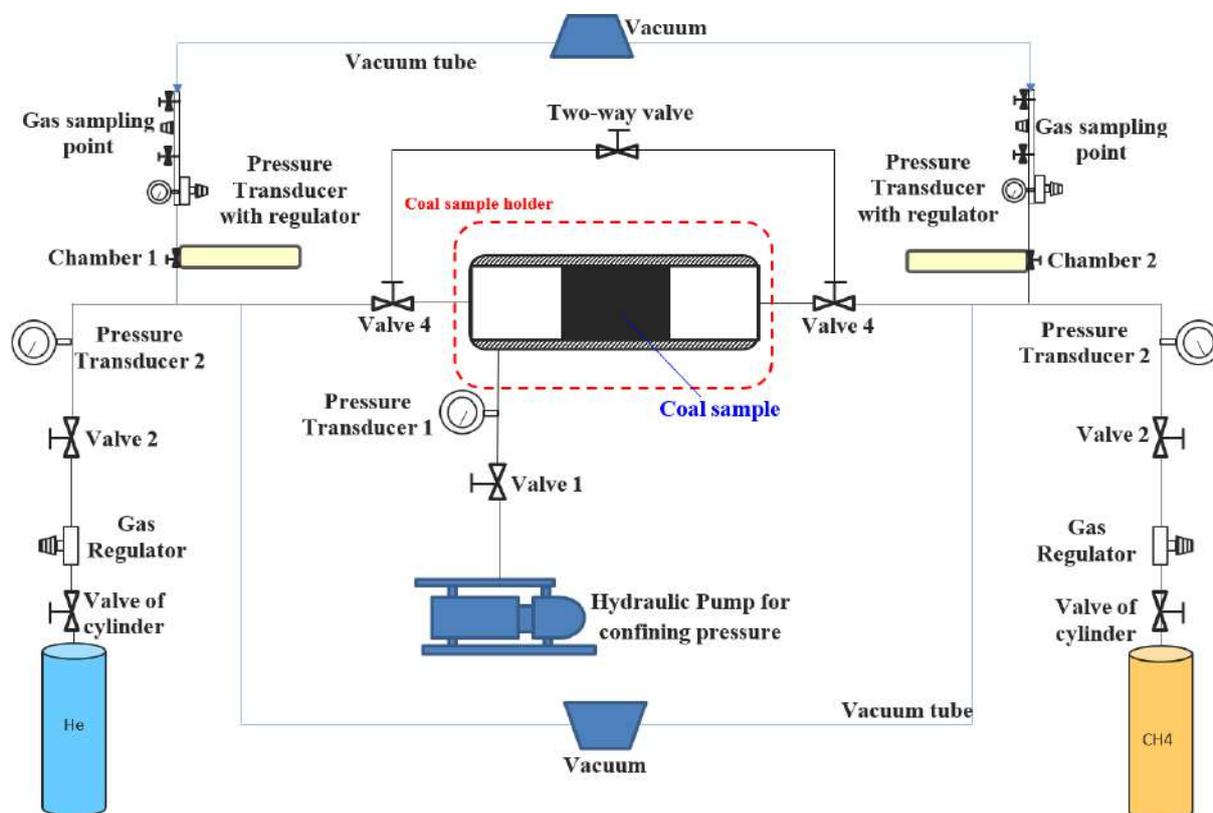


Рис. 1. Схема установки для эксперимента по встречной диффузии

1.2 Расчет коэффициента объемной диффузии

В эксперименте по встречной диффузии концентрация газообразного метана/гелия линейно уменьшается вдоль направления диффузии, что, как обычно считается, следует закону Фика. Используя результаты концентрации, полученные с помощью GC-TCD, коэффициент диффузии был определен на основе второго закона Фика с использованием следующих уравнений, установленных Менг (2016):

$$D = \frac{\ln(\Delta C_0/\Delta C_t)}{E(t-t_0)}, \quad (1)$$

где D – коэффициент диффузии газа в пробе угля ($\text{м}^2 \text{с}^{-1}$), C – молярная концентрация газа (%), t – время диффузии (с), ΔC_0 – начальная разность концентраций газа между двумя камерами (%), ΔC_t – разность концентраций между двумя камерами после определенного t диффузии (%), а E – геометрический фактор, связанный с размером диффузионной камеры и пробы угля (м^2):

$$E = S(1/V' + 1/V'')/L_0, \quad (2)$$

где S – площадь поперечного сечения образца угля перпендикулярно направлению диффузии (м^2), L_0 – длина образца (м), V' и V'' – объемы газовых камер (м^3).

Для измерения коэффициента диффузии в разное время диффузии требовалось несколько проб газа. Таким образом, произошло небольшое снижение давления газа за счет объема газа, отбираемого из камер. Чтобы компенсировать падение давления, измеренную концентрацию газа можно откалибровать следующим образом:

$$C_{c,t} = C_{M,t} \frac{P_{M,t}}{P_0}, \quad (3)$$

где $C_{c,t}$ – калиброванная концентрация газа в момент времени t (%), $C_{M,t}$ – измеренная концентрация газа в момент времени t (%), $P_{M,t}$ – измеренное давление газа в момент времени t (МПа), P_0 – начальное давление газа при t_0 , МПа. В уравнении (3) C_M смещает на 100% концентрацию газа через 24 часа, чтобы учесть любую адвекцию и/или адсорбцию после того, как две камеры были открыты. Величина компенсации затем применялась ко всем показателям концентрации в любой момент времени t . Предполагалось, что изменение концентрации в течение первых 24 ч было вызвано факторами, отличными от чистой диффузии (Мишалет, 2012), и, следовательно, массы, обмениваемые за этот период, не учитывались.

Эксперимент по встречной диффузии представляет собой закрытую систему, в которой ограничивающее давление, давление газа и температура оставались постоянными. Этот тип системы обычно называют эквимольной противодиффузией (EMD) (Смит, 2003). При EMD общая концентрация (c) представляла собой сумму концентраций двух газов.

$$c = c_{\text{He}} + c_{\text{CH}_4}, \quad (4)$$

Дифференцируя уравнение (4), мы пришли к следующему:

$$\partial c_{\text{He}} = -\partial c_{\text{CH}_4}, \quad (5)$$

где c_{He} и c_{CH_4} – концентрации гелия и метана соответственно.

При ЭМД диффузионные потоки равны и противоположны:

$$J_{\text{He}} = -J_{\text{CH}_4}, \quad (6)$$

куда J_{He} и J_{CH_4} – диффузионные потоки гелия и метана соответственно. На основании закона Фика:

$$J_{\text{He}} = -D_{\text{He-CH}_4} \frac{\partial c_{\text{He}}}{\partial z}, \quad (7)$$

$$J_{\text{CH}_4} = -D_{\text{CH}_4-\text{He}} \frac{\partial c_{\text{CH}_4}}{\partial z}, \quad (8)$$

где $D_{\text{He-CH}_4}$ – коэффициент диффузии гелия в метане, а $D_{\text{CH}_4-\text{He}}$ – коэффициент диффузии метана в гелии. Уравнения (5), (6), (7) и (8) показывают, что, $D_{\text{He-CH}_4} = D_{\text{CH}_4-\text{He}}$ следовательно, измерения концентрации как гелия, так и метана можно использовать для определения коэффициента диффузии.

1.3 Метод микрокомпьютерной томографии

Технология рентгеновской микрокомпьютерной томографии позволяет визуализировать миграцию газа в 3D с использованием газа, ослабляющего рентгеновское излучение, такого как криптон. Изменения концентрации газа из-за диффузии могут быть представлены значениями изображений в оттенках серого, чтобы можно было рассчитать локальные коэффициенты диффузии.

Установка визуализации микро-КТ показана на рисунке 2. Внутри ячейки рядом с образцом находятся две камеры для подачи газов для встречной диффузии. Две камеры заполняются 100% криптоном и 100% гелием при одинаковом давлении газа 2,48 МПа. Всестороннее давление должно составлять 3,45 МПа, а температура 22 °С. Держатель активной зоны подключен к источникам газа на 3 часа, чтобы свести к минимуму снижение давления из-за адсорбции криптона на угле. Затем кернодержатель отсоединяется от источников газа и поддерживается то же ограничивающее давление и давление газа путем закрытия клапанов. Затем образец угля сканируется через 0ч., 24ч. и 48ч. для визуализации процесса диффузии газа.

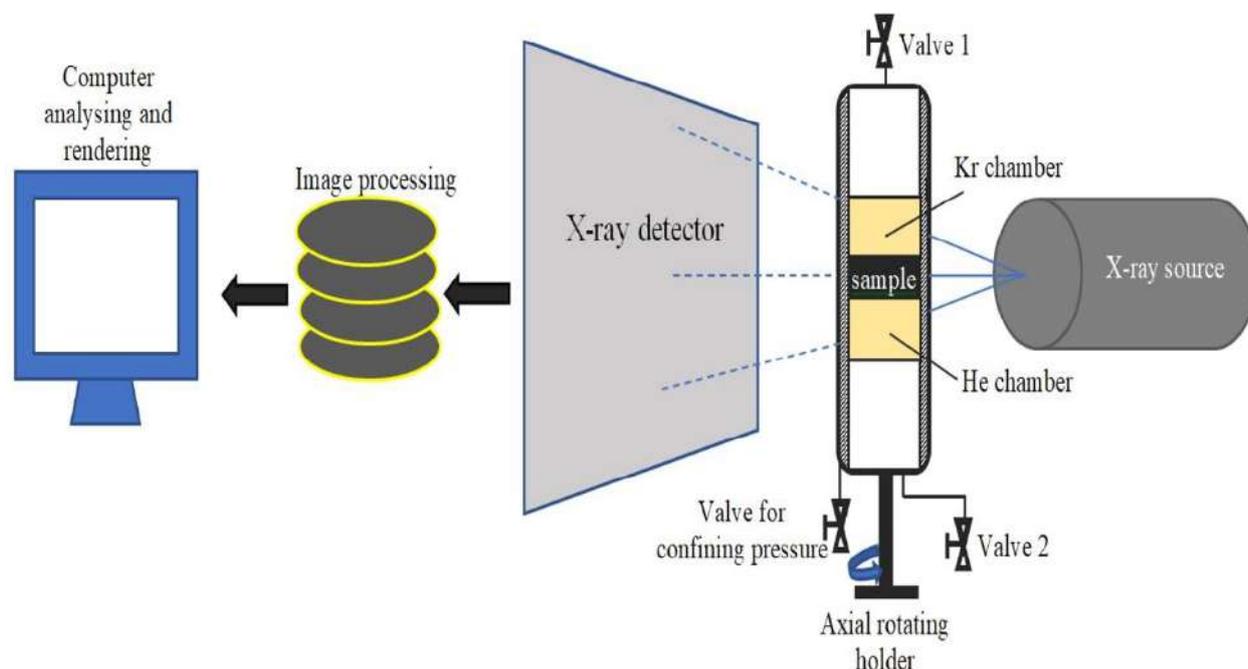


Рис. 2. Схема установки для проведения микрокомпьютерной томографии

Основными компонентами установки являются источник рентгеновского излучения, аксиально вращающийся держатель образца, детектор и компьютер. Из источника испускается рентгеновское излучение, которое затем проходит через образец. Затем рентгеновское излучение, проникшее из образца, улавливается детектором и передается на компьютер для обработки изображения. Внутри кернодержателя есть две газовые камеры для подачи газообразного криптона и гелия во время визуализации.

Чтобы исследовать изменения локальной диффузии, для анализа выбираются различные области, прилегающие к поверхностям разрушения, из изображений микро-КТ. Локальные коэффициенты диффузии можно получить на основе изображений микро-КТ с использованием метода Юаня (2021). Путем присвоения референтного значения чистому газообразному криптону, может быть получена линейная зависимость между общими концентрациями метана и значениями криптона. Учитывая большую разницу между плотностями свободного и адсорби-

рованного криптона, концентрацию газа по числам микро-КТ необходимо рассчитывать с учетом свободной и адсорбированной фаз криптона:

$$c = c_g + c_s, \quad (9)$$

где c – полная концентрация криптона ($\text{кг}/\text{м}^3$), c_g – газовая концентрация криптона ($\text{кг}/\text{м}^3$), а c_s – поверхностная концентрация криптона ($\text{кг}/\text{м}^3$). Изотерма Ленгмюра применяется к соотношению давления газа и объему адсорбированного газа. Применяя закон идеального газа, рассчитываем соотношение между свободным и адсорбированным газом. Из коррелированного профиля концентрации рассчитывается локальный коэффициент диффузии с использованием одномерного второго закона Фика:

$$\frac{\partial c_g(x, t)}{\partial t} = D \nabla^2 c_g(x, t), \quad (10)$$

$$D = D_g + D_s, \quad (11)$$

где D – коэффициент диффузии газа ($\text{м}^2/\text{с}$), x – диффузионное расстояние (м), t – время диффузии (с), D_g – коэффициент свободной диффузии газа ($\text{м}^2/\text{с}$), D_s – коэффициент поверхностной диффузии ($\text{м}^2/\text{с}$).

2. Резюме

Это исследование направлено на описание метода точного измерения коэффициента диффузии угольных пластов. Усовершенствованный эксперимент по встречной диффузии позволяет измерять зависящий от времени коэффициент диффузии объемных образцов угля, измеренный коэффициент диффузии сочетает в себе влияние сорбции газа и внутренней пористой и трещинной структуры угля. В данной работе для изучения коэффициентов газовой диффузии углей на разных глубинах в тесте на противодиффузию предлагается варьировать всестороннее давление, давление газа и время диффузии. Коэффициенты локальной диффузии анализируются 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.

Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания ИГ ДФИЦ РАН по теме НИР Рег. 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., Блэкьер, 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., Bustin, R.M., 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., Бимиш Б.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. Джон Уайли и сыновья.
18. Guilluy, R., Billion-Rey, F., Pachiaudi, C., Normand, S., Riou, J.P., Jumeau, E.J., Brazier, J.L., 1992. Он-лайн очистка и изотопный анализ углерода-13 диоксида углерода в дыхании: оценка он-лайн газовой хроматографии-масс-спектрометрии соотношения изотопов. *Analytica Chimica Acta* 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. Хабберт М.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., Чандра Хулбе, 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., Мостагхми 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. Леупен О.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., Киллинг, 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., 2020б. 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 квиважах 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., 2011б. 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 аэрированного 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., Мостагхими П., Фогден А., Миддлтон Дж., Шеппард 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., Мостагхими П., Фогден А., Миддлтон Дж., Шеппард 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., Мостагхими, П., Фогден, А., Шеппард, 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 Сюэ Пао (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 556.38

DOI: 10.33580/2541-9684-2023-93-2-28-31

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ В РАЗВИТИИ
НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА РЕСПУБЛИКИ ДАГЕСТАН*Ахмедов¹ С.А., Ахмедов² А.С., Мамаев² А.С.**¹Дагестанский государственный университет, ²Институт геологии ДФИЦ РАН*

Использование термальных вод выдвигают проблемы экологического и техноэкономического характера. Вопросы максимального использования теплового потенциала и сброса минерализованных термальных вод, можно решить путем закачки обратно в пласт использованной термальной воды.

Ключевые слова: скорость фильтрации, гидротермальные ресурсы, коэффициент продуктивности, пластовое давление, объёмная теплоемкость, теплопроводность, скорость движение теплового фронта

POSSIBILITIES OF USING GEOTHERMAL RESOURCES IN THE DEVELOPMENT
OF THE NATIONAL ECONOMY OF THE REPUBLIC OF DAGESTAN*Akhmedov¹ S.A., Akhmedov² A.S., Mamaev² A.S.**¹Dagestan State University,**²Institute of Geology of the Far Eastern Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences*

The use of thermal waters raises environmental and techno-economic problems. The issues of maximizing the use of thermal potential and the discharge of mineralized thermal waters can be resolved by pumping used thermal water back into the reservoir.

Keywords: filtration rate, hydrothermal resources, productivity coefficient, reservoir pressure, volumetric heat capacity, thermal conductivity, speed of thermal front movement

Развитие энергетики в предстоящее столетие характеризуются постепенным уходом от использования углеводородных источников энергии и переходом на энергию солнца, ветра и гидротермальных ресурсов. Гидротермальные ресурсы, наряду с солнечной и ветровой энергией, являются возобновляемыми источниками энергии. Природные условия и многочисленные источники термальных вод привлекает внимание к недрам Дагестана.

Институтами геологии, геотермии ДНЦ РАН и объединением «Дагнефть», были проведены большое количество исследований по разведке как нефтяных, так и геотермальных месторождений. Следует отметить, что толчком к открытию геотермальных месторождений послужили гидрогеологические исследования в процессе поиска, разведки и эксплуатации залежей нефти и газа. Так в процессе добычи нефти были использованы методы закачки в пласт термальной воды для поддержания пластового давления и температуры.

В последние годы в республике интенсивно развивается парниковое хозяйство, где в качестве источника тепла используется дорогой газ. В тех районах где имеются большие запасы термальных вод с высокой температурой, можно рекомендовать использовать термальные воды, особенно там где большое количество разведанных месторождений, но и законсервированные скважины. Это возобновляемый источник дешевых ресурсов для развития экономики Дагестана.

Региональная оценка эксплуатационных прогнозных ресурсов по некоторым месторождениям была произведена проф. М.К. Курбановым по методике Биндемана Ф.М. и Бочевера Ф.М. Были рассчитаны прогнозные эксплуатационные дебиты (сроком на 25 лет) по основным месторождениям: Махачкала-Тарнаир, Избербаш, Кизляр, Хасавюрт, Сухокумск и др.

Расчетные дебиты колеблются от 300 до 3000 м³/сут. Суммарные прогнозные эксплуатационные ресурсы термальных вод среднемиоценового комплекса в Предгорном Дагестане и Терско-Сулакском прогибе составляют 4,3 млн. м³/сут, или более 1,5 млрд м³/сут [1].

Приток жидкости к забою скважины можно представить в виде:

$$Q = \eta(P_{\text{пл}} - P_3) \quad (1)$$

где, η - коэффициент продуктивности. Пластовое давление ($P_{\text{пл}}$) можно выразить в виде суммы давления на устье простаивающей скважины (P_{y0}) и массы гидростатического столба жидкости:

$$P_{\text{пл}} = P_{y0} + \rho gH \quad (2)$$

где, H - глубина интервала притока, м;

ρ - среднее значение плотности по стволу скважины, кг/м³;

g - ускорение свободного падения м/с²;

P - давление измеряется (н\м²).

значение температуры можно определить формулой

$$T = \frac{2}{3} T_{\text{пл}} + \frac{1}{3} T_y, \quad (3)$$

где T_y – температура на устье скважины.

Главным достоинством геотермальной энергии является ее практически неиссякаемость и полная независимость от условий окружающей среды, времени, суток и года.

Основное направление использование геотермальных ресурсов – теплоснабжение, разлив минеральных вод и выработка электроэнергии. Для передачи в систему отопления 1Квт тепловой энергии требуется 0,2-0,35 Квт электроэнергии. Следует отметить что топливо не сжигается нет вредных выбросов, а срок окупаемости не превышает 2-3 года.

Практический интерес представляет прогнозирование изменения температуры добываемой воды и сроков разработки данного участка месторождения. При освоении глубинного тепла Земли, для воспроизводства геотермальных ресурсов, следует закачивать использованную термальную воду обратно в пласт. Если водоносный пласт по мощности более 80 м, то приток тепла с кровли и подошвы не влияет на температурный режим. Если пласт маломощный, то необходимо учитывать приток тепла с кровли и подошвы

При фильтрации жидкости распространение тепла в однородной и изотропной сплошной среде описывается уравнением [3].

$$\frac{\delta(C T)}{\delta t} + \text{div}(C_{\text{ж}} \bar{V} T) = \text{div}(\lambda \text{grad } T), \quad (4)$$

где, C, λ – объёмная теплоемкость и теплопроводность пластовой системы, коллектор + жидкость; $C_{\text{ж}}$ - объёмная теплоемкость жидкости; \bar{V} – скорость фильтрации; T - температура пластовой системы.

Пренебрегая кондуктивной теплопроводностью, уравнения (4) можно представить в виде [4]:

$$C \frac{\delta T}{\delta t} + C_{\text{ж}} V \frac{\delta T}{\delta x} = 0, T(x, 0) = T_0, T(0, t) = T_B \quad (5)$$

Решение (5) имеет вид:

$$T = T_0 \text{ при } x > \frac{c_{ж}V}{C}; T = T_B \text{ при } x < \frac{c_{ж}V}{C} \quad (6)$$

Скорость движение теплового фронта (V_T) можно представить в виде:

$$V_T = \frac{C_{ж}}{C} * V = \frac{mC_{ж}}{C} * V_{и}, \quad (7)$$

где, m – пористость; $V_{и} = m * V$.

При пористости $m = 0,2 \div 0,22$, $C_{ж} = 4,2 \text{ Дж/см}^3 \text{ } ^\circ\text{C} \sim C = 2,7 \text{ Дж/см}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$ скорость фильтрации примерно 5÷6 раз меньше истинной скорости движения частиц, а скорость теплового фронта 3,3 раза меньше истинной скорости движения частиц. Это означает, что по пласту можно прокачать примерно три поровых объема воды, прежде чем возмущение температуры достигнет эксплуатационный галерей [1, 4].

Если пласт маломощный, то перенос тепла принимается происходящим только в вертикальном направлении. Математическая формулировка задачи для температур горной породы и пласта с учетом теплообмена приведена [1,4]:

$$\left. \begin{aligned} C \frac{\delta T}{\delta t} &= \lambda \frac{\delta^2 T}{\delta z^2}, & z > 0 \\ C \frac{\delta T}{\delta t} + C_{ж}V \frac{\delta T}{\delta t} &= \frac{2\lambda}{h} \frac{\delta T}{\delta t}, & z = 0 \\ T(x, z, 0) &= T_0, & T(0, 0, t) = T_B \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Решение уравнения (8) операционным методом можно представить в виде [1,5]

$$\frac{T_{э} - T_0}{T_B - T_0} = \text{erfc} \frac{\sqrt{\lambda c} * t_{\delta}}{ch\sqrt{t - t_{\delta}}}, t_{\delta} = \frac{cl}{c_{ж}V} \quad (9)$$

Здесь, t_{δ} - время, за которое температурное возмущение достигает эксплуатационной галереи. Приведем несколько примеров расчета динамики изменения температуры добываемой воды для различных длин галереи, мощности пласта приняв:

$C=2,7$;

$C_{ж}=4,2 \text{ Дж/см}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$;

$V=0,15 \text{ м/сут}$;

$T_0=70 \text{ } ^\circ\text{C}$;

$T_B= 40 \text{ } ^\circ\text{C}$ – температуры пластовой и закачиваемой воды.

При длине пласта $L=550\text{м}$, мощности пласта $h=50\text{м}$, $a^2 = 3,2*10^{-7} \text{ м}^2\text{с}$ (глина слюдистая) температура добываемой воды снизится от 70°C до 45°C за 12 лет.

Если длина пласта (галереи) 1100, то температура добываемой воды изменится от 70°C до 45°C за 30 лет. На практике добыча и нагнетание воды ведется в скважинах, около которых фильтрационный поток является осесимметричным, а не поступательным. Приведем результаты при $L= 600\text{м}$; $h=30\text{м}$ $Q= 1500 \text{ м}^3/\text{сут}$, $T_0= 90 \text{ } ^\circ\text{C}$. При этом время достижения возмущения

температуры до эксплуатационной скважины составило 13 лет. Только после 13 лет начинается снижения температуры добываемой воды. Так по достижении 40 лет температура снизилась от 90°С до 48°С.

Результаты исследования показывают, что срок службы эксплуатации галереи зависит от многих факторов: мощности пласта, теплопроводности окружающих пород и коллектора, температуры как пластовой, так и закачиваемой воды, проницаемости, пористости и теплофизических свойств породы. Проведенные исследования показывают, что геотермальные месторождения можно рекомендовать для использования нужд народного хозяйства РД.

Литература

1. “Проблемы геотермальной энергетики Дагестана”, ред. Х.И. Амирханова и С.Н.Ятрова, М. “Недра”, 1980. -208 с.
2. Биндеман Н.Н., Бочеввер Ф.М. Региональная оценка эксплуатационных запасов пресных подземных вод. – Сов.геол. 1964, № 1, С. 65-78.
3. Лыков Л.В. Теория теплопроводности // Издательство "Высшая школа" Москва 1967 г.- 600 с.
4. Ахмедов С.А., Магомедова М.С. Термодинамические расчеты подземной циркуляционной системы // Труды международной конференции “Инноватика”, 2011, , Ульяновск, 2011г.
5. Тихонов А.Н., Самарский А.А. “Уравнение математической физики”, М.-736 с.

УДК 550.3+549.623.5

DOI: 10.33580/2541-9684-2023-93-2-32-37

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ПО РАЗРЕЗУ В ЗЕМНОЙ КОРЕ
ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЛАБОРАТОРНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ НЕКОТОРЫХ МИНЕРАЛОВ
И ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Гусейнов А.А.

*Институт проблем геотермии и возобновляемой энергетики – филиал
Объединенного института высоких температур РАН, Махачкала, Россия
e-mail: guseinov_abdulla@mail.ru*

На основании результатов лабораторного исследования температурной зависимости удельной электропроводности биотитов и флогопитов построена геоэлектрический разрез для «сухой» модели земной коры, для которой характерно плавное увеличение электропроводности с глубиной. Полученные результаты хорошо согласуются с известными данными электромагнитных зондирований литосферы. Характерное значение величины электропроводности исследованных минералов 10^{-4} Ом⁻¹см⁻¹ при 1000°C является важным электрическим репером границы между литосферой и астеносферой.

Ключевые слова: электропроводность, температура, биотит, флогопит, геоэлектрический разрез, земная кора.

THE DISTRIBUTION OF ELECTRICAL CONDUCTIVITY ALONG THE SECTION
IN THE EARTH'S CRUST ACCORDING TO THE RESULTS OF LABORATORY STUDIES
OF SOME MINERALS AND ROCKS AT HIGH TEMPERATURES

Gusetinov A.A.

*Institute of Geothermal Problems and Renewable Energy, branch of the Joint Institute
for High Temperatures RAS, Makhachkala, Russia, e-mail: guseinov_abdulla@mail.ru*

Based on the results of a laboratory study of the temperature dependence of the specific electrical conductivity of biotites and phlogopites, a geoelectric section was constructed for a "dry" model of the earth's crust, which is characterized by a gradual increase in electrical conductivity with depth. The results obtained are in good agreement with the known data of electromagnetic sounding of the lithosphere. The characteristic value of the electrical conductivity of the studied minerals is 10^{-4} ohms⁻¹ cm⁻¹ at 1000°C is an important electrical reference point of the boundary between the lithosphere and the asthenosphere.

Keywords: electrical conductivity, temperature, biotite, phlogopite, geoelectric section, earth's crust.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема исследования термодинамики недр Земли находится в центре внимания широкого круга исследователей. Важность этой проблемы обусловлена необходимостью повышения информативности получаемой информации о глубинном строении земных недр геофизическими методами.

Одним из вариантов исследований в этой области является метод электромагнитных зондирований для контроля распределения электропроводности горных пород с глубиной и сопоставление его с результатами экспериментальных исследований зависимости электропроводности минералов и горных пород от температуры и давления.

Применительно к земной коре модели глубинной электропроводности необходимы для изучения проблем термодинамического и геодинамического состояния земных недр и определения их вертикальной зональности. Также необходимо также отметить все возрастающую роль геофизических методов при решении конкретных народнохозяйственных задач [3].

В предположении монотонного возрастания электропроводности минерального вещества Земли с глубиной и изменения её величины на внутренних границах раздела разработаны мо-

дели стандартного (нормального) геоэлектрического разреза по данным магнитотеллурического зондирования [1,2].

Вертикальное распределение электропроводности горных пород геосфер Земли определяется рядом факторов, главными из которых являются удельная электропроводность геологической среды, температура, флюидный режим и т.д. Для интерпретации результатов нормального геоэлектрического разреза большое значение имеет геоэлектрический разрез для «сухих» моделей земной коры. При рассмотрении «сухих» моделей на первое место выступает стандартный геоэлектрический разрез, который предполагает плавное увеличение электропроводности с глубиной.

Основанием для использования данных по электропроводности слюдястых минералов при высоких температурах для построения модели указанного геоэлектрического разреза является тот факт, что для этих минералов «некоторые структурные особенности, в первую очередь, термостимулируемые, при извлечении керна из скважины не изменяются, что обеспечивает сохранение информации о состоянии кристаллического вещества на глубинах вскрытого скважиной архейского комплекса» [4]. Используемый нами в работе параметр, электропроводность слюдястых минералов, является термостимулируемым свойством, что позволяет использовать для построения геоэлектрического разреза.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе получены данные по электропроводности 19 образцов биотита, 20 образцов флогопита из различных месторождений, а также 10 образцов изверженных пород, гранит-порфира и диабазы из сложной дайки, исследование проведено в интервале температур 100-1000°C. Электропроводность образцов минералов и пород измерялась на постоянном токе, установка и методика исследования описана ранее в работе [5]. Изготовленный образец в виде плоскопараллельного диска диаметром 10 мм и толщиной 1 мм помещался в измерительную ячейку, расположенную в камере из кварцевого стекла, в которой создавался вакуум порядка 0.10 Па, что предотвращало окисление образца и блока электродов, а также устраняло, согласно [6], главную причину поверхностной проводимости – наличие сорбированной влаги. Электросопротивление измерялось тераомметром Е6-13А и высокоомным мостом Р-4053 с погрешностью, не превышающей 3%. Нагрев образца в интервале 100-1000°C осуществлялся посредством трубчатой электропечи с бифилярной намоткой нагревателя, температура измерялась термопарой хромель-алюмель. Для получения надежных, воспроизводимых результатов измерения производились при стабилизированной в течение 5-10 мин. температуре образца. Для устранения влияния поляризационных эффектов электропроводность исследуемых минералов определялась по двум значениям, полученным при прохождении тока в двух взаимно противоположных направлениях.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Типичные результаты исследования удельной электропроводности σ для нескольких образцов биотитов в зависимости от абсолютной температуры T в интервале 100-1000 °С, как пример, представлены на рис. 1 в виде функций $\lg \sigma = f(1/T)$. Как видно из полученных результатов, графики $\lg \sigma = f(1/T)$ представляют собой семейство прямых, проявляющих изломы при характерных температурах, то есть наблюдается спектр значений энергии активации электропроводности. Прямолинейный характер зависимостей $\lg \sigma = f(1/T)$ на каждом из температурных участков свидетельствует о выполнении экспоненциального закона зависимости удельной электропроводности σ от температуры T

$$\sigma = \sigma_0 \exp(-E_0 / kT), \quad (1)$$

где σ_0 – предэкспоненциальный множитель, E_0 – энергия активации электропроводности, k – постоянная Больцмана, T – абсолютная температура. Согласно полученным результатам, наблюдается дисперсия значений электропроводности исследованных биотитов: диапазон значений σ от 8.71×10^{-15} до 3.98×10^{-9} Ом $^{-1}$ см $^{-1}$ при 100°C и от 7.94×10^{-5} до 5.24×10^{-3} Ом $^{-1}$ см $^{-1}$ при 1000°C.

Отметим, что для исследованных нами образцов флогопитов и изверженных пород температурная зависимость электропроводности также подчиняется экспоненциальной зависимости вида (1). Полные характеристики зависимости электропроводности исследованных нами биотитов, флогопитов и изверженных пород от температурного и кристаллохимических факторов представлены в работах [5,7,8].

Полученные значения удельной электропроводности σ исследованных нами биотитов в интервале температур 100-1000°C мы сопоставили с зависимостью удельной электропроводности земной коры, построенной авторами [1] с использованием стандартного разреза и платформенной геотермы.

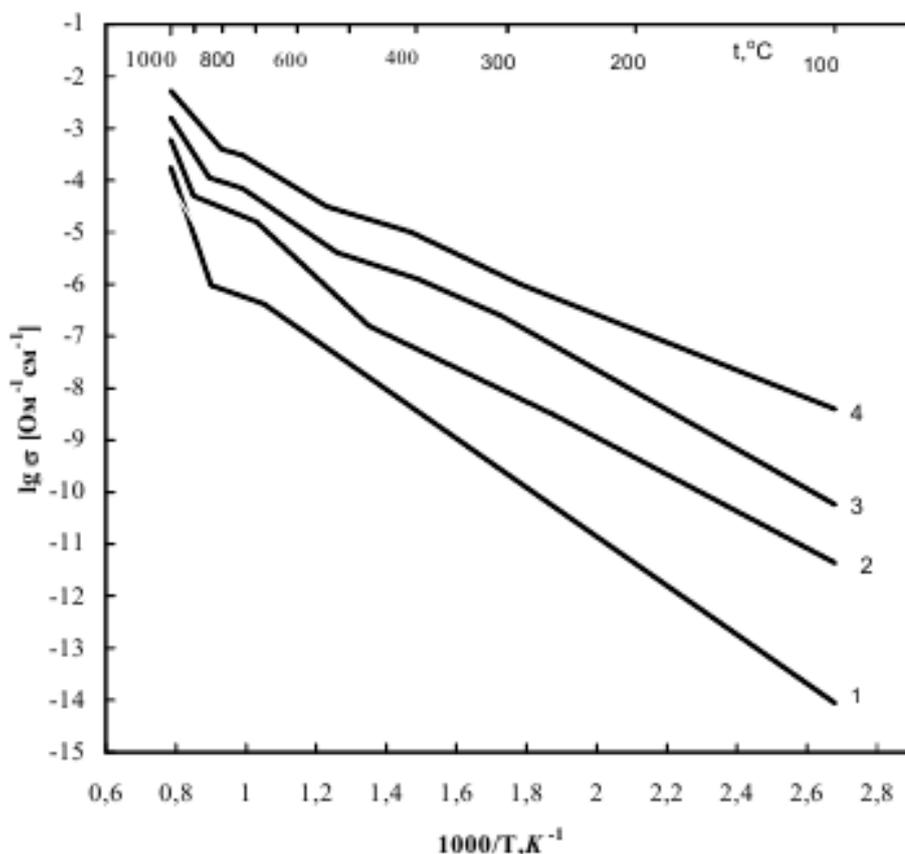


Рис. 1. Зависимость удельной электропроводности σ биотитов от абсолютной температуры T в виде функций $\lg \sigma = f(1/T)$.

Результаты проведенного нами сопоставления представлены на рис. 2. Для наглядности картины на рисунке приведены соответствующие температурам в земной коре глубины. Распределение температуры с глубиной соответствует данным [9, 10]. Как видно, наблюдается согласие электропроводности биотитов с электропроводностью земной коры.

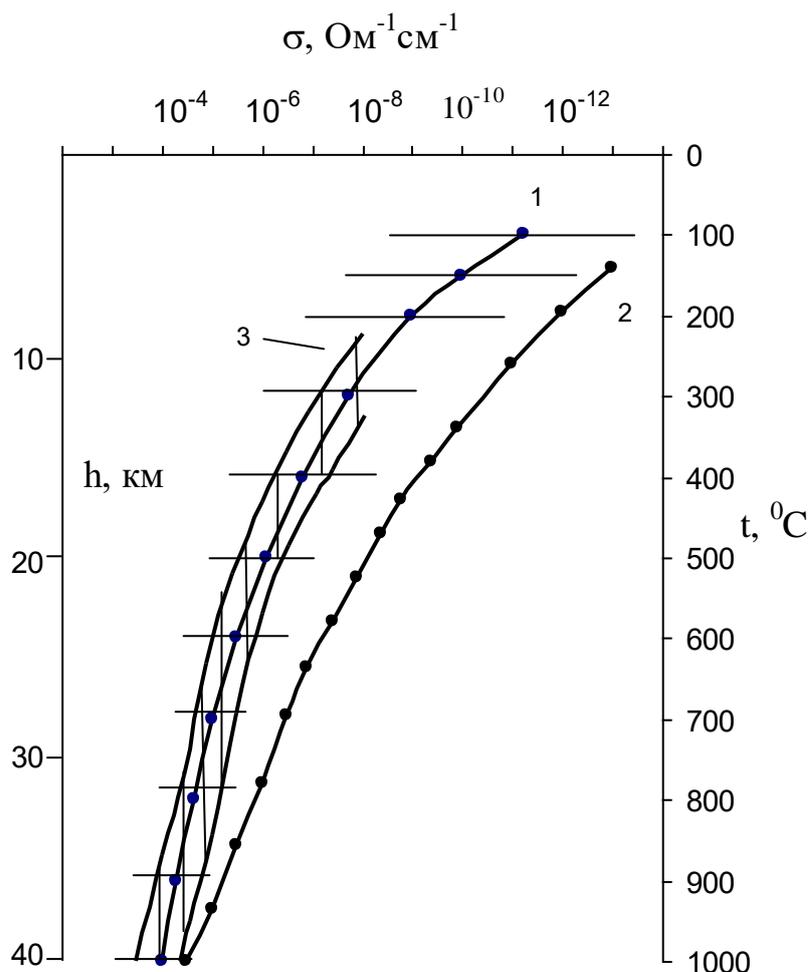


Рис. 2. Сопоставление данных по электропроводности биотитов (1) и флогопитов (2) с зависимостью электропроводности кристаллического вещества литосферы (3), построенной авторами [Ваньян, Шиловский, 1983] с помощью стандартного геоэлектрического разреза

Значения электропроводности биотитов взяты как средние по всем исследованным образцам при фиксированных температурах в интервале 100-1000°C, поэтому изменение электропроводности с глубиной на рисунке даётся в виде зоны, обозначенной горизонтальными линиями, ширина зоны учитывает диапазон значений электропроводности исследованных минералов, которая обусловлена, согласно результатам нашего исследования [7], вариациями содержания главных петрогенных элементов и особенностями структуры. Аналогичные результаты распределения электропроводности по температурному разрезу земной коры были получены и авторами [1] при использовании данных по электропроводности лерцолитов, измерения которых проводились при нормальном давлении.

На этом же рисунке приведены данные и для образцов флогопита, который является менее проводящим минералом, чем биотит. Линия изменения электропроводности с глубиной отражает в этом случае средние значения проводимости для серии образцов минерала. Как видно из этих результатов, близкую к реальной картину изменения электропроводности с температурой в условиях разреза земной коры отражает породообразующий минерал с более высокой проводимостью.

Как нами было установлено ранее [5, 7], значения электропроводности при температурах порядка 1000 °C, полученные для большинства образцов исследованных биотитов и наиболее проводящих флогопитов, составляет примерно $10^{-4} \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$. Этот параметр соответствует

условиям, близким к нижней границе литосферы, где температура близка к солидусу. Согласно [1], это значение электропроводности является важным электрическим репером границы между литосферой и астеносферой.

Хотя интервалу изменения температуры от 400 до 1000 °С стандартного разреза соответствует перепад давления в 3×10^9 Па, или в 30 кбар, характер изменения удельной электропроводности биотитов, измеренный при нормальном давлении, такой же. Этот результат согласуется с выводами авторов [1] относительно лерцолитов, который подтверждает предположение о более слабом влиянии давления, по сравнению с температурой, на электропроводность кристаллического вещества литосферы.

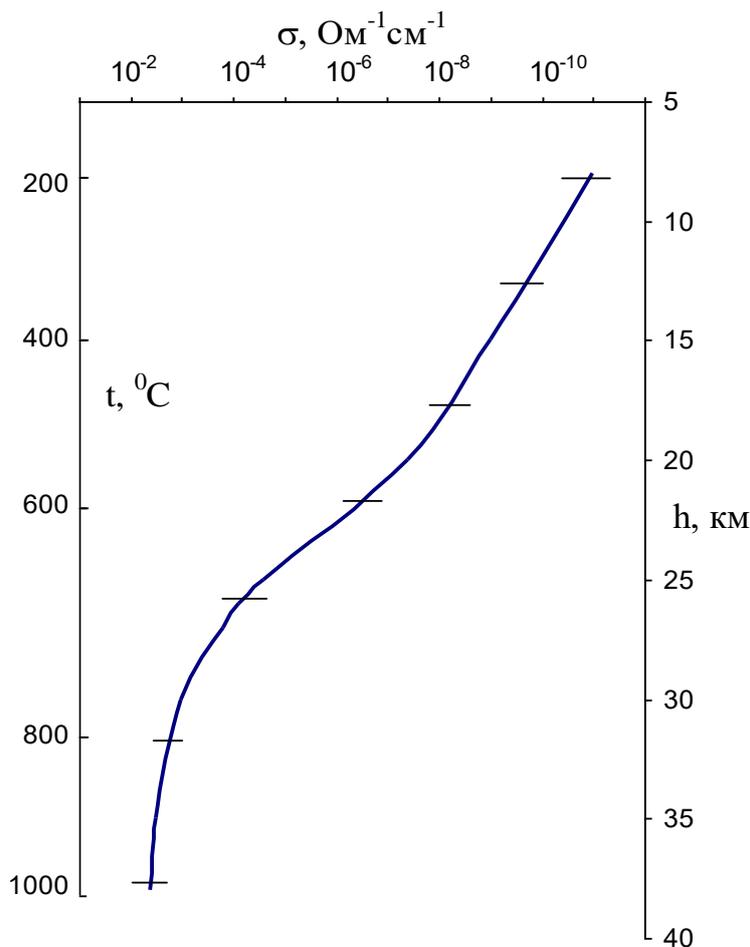


Рис. 3. Изменение электропроводности изверженных пород с температурой в сопоставлении с глубиной в земной коре

Также нами построен геоэлектрический разрез по данным удельной электропроводности изверженных пород из дайки – гранит порфиров и диабазов (рис. 3). Данные по электропроводности кислых пород, гранит-порфиров, использовали для построения верхней части разреза – до 500 °С, а для нижней части разреза, от 500 да 1000 °С, использовали значения проводимости пород основного состава – диабазов.

Как видно из рисунка 3, наибольшая скорость возрастания электропроводности с глубиной отмечается в области перехода от породы кислого состава к основной породе, что обусловлено уменьшением содержания кремнезёма в диабазах, по сравнению с гранит-порфирами.

Горизонтальные линии отмечают диапазон значений электропроводности на графиках $\lg \sigma = f(1/T)$ исследованных образцов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. По данным температурной зависимости электропроводности биотитов и флогопитов построен геоэлектрический разрез для «сухой» модели земной коры, который предполагает плавное увеличение проводимости с глубиной.

2. Общий характер зависимости электропроводности лабораторно исследованных минералов и горных пород (биотитов, флогопитов и изверженных пород) от температуры достаточно хорошо согласуется с данными электромагнитных зондирований литосферы.

3. Установлено, что значения электропроводности для исследованных биотитов флогопитов $10^{-4} \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$ при температурах порядка $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ соответствуют условиям, близким к нижней границе литосферы, где температура близка к солидусу. Согласно [1], это значение электропроводности является важным электрическим репером границы между литосферой и астеносферой.

4. Полученные результаты о соответствии лабораторно полученных результатов электропроводности биотитов и флогопитов с геоэлектрическим разрезом земной коры являются достаточно убедительным подтверждением сохранности некоторых термостимулируемых свойств слюдястых минералов при извлечении на поверхность глубинного зерна.

Литература

1. Ваньян Л.Л., Шиловский П.П. Глубинная электропроводность океанов и континентов. М.: Наука. 1983. 88 с.
2. Жамалетдинов А. А., Модель электропроводности литосферы по результатам исследований с контролируемыми источниками поля, 159 с., Наука, Л., 1990. 159 с.
3. Ляховицкий Ф. М., Хмелевской В. К., Яценко З. Г. Инженерная геофизика. М.: Недра, 1989. 252 с.
4. Никитина Л.П., Овчинников Н.О., Бабушкина М.С., Яковлева А. К., Яковлев Ю.Н., Чернова О.Г., Гойло Э.А. Сохраняют ли информацию о состоянии кристаллического вещества Fe-Mg слюды из пород архейского комплекса Кольской сверхглубокой скважины при выводе их на поверхность в процессе бурения? Вестник МГТУ. 2007. т. 10. вып. 1. С. 37-49.
5. Гусейнов А.А., Гаргацев И.О., Габитова Р.У. Исследование электропроводности флогопитов при высоких температурах // Физика Земли. 2005. № 8. С. 79-88.
6. Bernard J., Houivet D., Elfallah J., Haussonne J.-M. Effect of hygrometry on dielectric materials // J. Eur. Ceram. Soc. 2004. V. 24. № 6. P. 1509-1511.
7. Гусейнов А.А. Исследование электропроводности биотитов при высоких температурах // Физика Земли. 1999. № 11. С. 75-82.
8. Гусейнов А.А. Электрические свойства некоторых дайковых магматических пород при высоких температурах // Физика Земли. № 9-10. 2012. С. 88-95.
9. Кутас Р.И., Гордиенко В.В. Тепловое поле Украины. Киев: Наукова думка. 1971. 140 с.
10. Моисеенко У.И., Смыслов А.А. Температура земных недр. Л.: Недра. 1986. 180 с.

УДК 550:34

DOI: 10.33580/2541-9684-2023-93-2-38-45

СВЯЗЬ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА НЕУСТОЙЧИВОМ СКАЛЬНОМ МАССИВЕ «ГУНИБ» В ДАГЕСТАНЕ С ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ

Идармачев Ш.Г., Магомедов А.Г., Идармачев А.Ш.

Институт геологии Дагестанского федерального центра РАН

В работе сделан анализ данных наблюдений струнным датчиком за период 2020–2022 гг. Установлено, что изменение ширины трещины коррелируется с сезонной температурой атмосферы. В отдельные периоды наблюдаются аномалии большой амплитуды не связанные с температурой атмосферы. Так, например, после сильного землетрясения магнитудой $M=5,6$, произошедшим 08.12.2022 на эпицентральной расстоянии 20 км было зарегистрировано скачкообразное изменение ширины трещины амплитудой более 3 мм. Относительно слабые землетрясения, зарегистрированные на расстояниях 20–55 км, изменений ширины трещины не вызывают. После двух сильных землетрясений, произошедших на границе Грузии, Азербайджана и Турции наблюдается кратковременное увеличение ширины трещины на 2.5–3.0 мм. Предлагается, что эти аномалии могут связаны медленными деформационными волнами на разломе Кипр-Кавказ распространяющиеся со скоростью 1200–1600 км/год.

Ключевые слова: струнный датчик, деформация горных пород, эпицентр землетрясения, волны Релея и Лява.

CONNECTION OF DEFORMATION PROCESSES ON THE UNSTABLE ROCK MASSIF "GUNIB" IN DAGESTAN WITH EARTHQUAKES

Idarmachev Sh.G., Magomedov A.G., Idarmachev A. Sh

Institute of Geology of Dagestan Federal Center of the Russian Academy of Sciences

The paper analyzes the data of observations by a string sensor for the period 2020–2022. It is established that the change in the crack width correlates with the seasonal temperature of the atmosphere. In some periods, anomalies of large amplitude are observed that are not related to the temperature of the atmosphere. For example, after a strong earthquake of magnitude $M = 5.6$, which occurred on 08.12.2022 at an epicentral distance of 20 km, an abrupt change in the width of the crack with an amplitude of more than 3 mm was recorded. Relatively weak earthquakes recorded at distances of 20–55 km do not cause changes in the width of the crack. After two strong earthquakes that occurred on the border of Georgia, Azerbaijan and Turkey, there is a short-term increase in the width of the crack by 2.5–3.0 mm. It is suggested that these anomalies may be associated with slow deformation waves on the Cyprus-Caucasus fault propagating at a speed of 1200–1600 km/year.

Keywords: string sensor, rock deformation, earthquake epicenter, Rayleigh and Love waves.

Предгорная и горная часть территории Дагестана подвержена опасным геологическим процессам, в том числе и обвалам, что представляет определенную угрозу в местах проживания населения и соответствующей инфраструктуре (дороги, линии электропередач, газопроводы и др.). Вопрос контроля над опасными участками является очень важным и необходимым, поскольку управлять обвалами больших размеров человек не может, а вмешательство в естественный ход его развития представляется весьма проблематичным. Для минимизации ущерба необходим прогноз, с максимально допустимой точностью определяющий состояние предполагаемого обвала и зоной возможного поражения. Горные породы на крутых горных склонах со временем постепенно приходят к нестабильному состоянию в результате воздействия природных факторов как осадки, сейсмические сотрясения, сезонные колебания температуры.

В настоящей работе сделан анализ данных наблюдений струнным датчиком за период 2020–2022 гг. [1, 2]. Установлено, что изменение ширины трещины коррелируется с сезонной температурой атмосферы. В отдельные периоды наблюдаются аномалии большой амплитуды не связанные с температурой атмосферы. После сильного землетрясения магнитудой $M=5,6$, произошедшим 08.12.2022 на эпицентральной расстоянии 20 км было зарегистрировано изменение большой амплитуды. Измерение было проведено в день землетрясения через 2 часа после толчка. Аномалия имеет форму скачкообразного изменения с последующей быстрой релак-

сацией. Пик аномалии практически совпадает со временем землетрясения. Поэтому в работе сделана попытка рассмотреть связь других аномалий линейного изменения ширины трещины с сильными сейсмическими событиями в регионе.

Объектом исследований является неустойчивый скальный массив над районным центром Гуниб с координатами (с.ш. 42,38; в.д. 46,96), расположенный на Северном Кавказе с населением более 2500 человек, представляющим опасность обрушения (рис. 1). Размеры исследуемого массива равны: ширина верхней кромки 18–20 м; длина 60 м; высота 50 м; Объем пород 60 тыс. м³. Данный участок представляет из себя вертикальный блок, оторванный от основной известняковой толщи, основание которого лежит на слое из алевролитистой глины мощностью до 1 м. Вся известняковая толща в месте прослойкой глин наклонена под углом 40° в сторону обрыва. На поверхности ширина трещины между основным устойчивым и неустойчивым блоками составляет около 1,5–2 м. Учитывая, что прочность глин на сжатие и сдвиге ниже, чем у известняков, деформация твердой части толщи горных пород будет происходить в сторону уклона по глинистой прослойке. В результате чего в вышележащем слое образуются вертикальные трещины отрыва гравитационной природы. Проникновение дождевой воды в трещины вызывает размокание глинистого слоя, лежащего ниже и тем самым, активизирует деформацию массива.

На рис. 1 показано место установки струнного датчика и лазерной линейки.



Рис. 1. Фото отрывной трещины сверху (место установки струнного датчика и лазерной линейки на трещине показано жирной линией)

Методика и аппаратура исследований

Струнный датчик для измерения ширины трещины состоит из вольфрамовой проволоки диаметром 0,3 мм, закрепленной на обеих сторонах трещины. Один конец проволоки закреплен на подвижной части измерительного устройства с циферблатом. В данном устройстве нет электронных устройств, требующих электропитания. Натяжение проволоки обеспечивается пружиной. На рис. 2 показано фото цифрового регистратора марки NEUTER. Поворот стрелки циферблата на 360° соответствует изменению линейного размера трещины на 1000 мкм. Погрешность измерения составляет 10 мкм или 0,01 мм, что соответствует одному делению на цифер-

блате. Измерительное устройство имеет кожух от влияния воздействия солнца и дождя. Для изучения температурных эффектов измеряется также и температура атмосферы.



Рис. 2. Фото струнного регистратора (рядом термометр для измерения температуры атмосферы)

Одновременно ширину трещины измерялось лазерной линейкой марки Laser Distance Meter -100 (LOM-VUM), с погрешностью измерения длины ± 1 мм. Во время измерений корпус лазерной линейки вставляется в специальное гнездо, фиксирующее его местоположение на краю неподвижной части скалы. Отражателем служит вертикальная противоположная часть подвижной скалы. В данном месте, выбранной для измерений, ширина трещины составляет 197,8 см. Однако, как показали повторные измерения, погрешности в отдельные периоды достигают нескольких сантиметров. Поэтому данные, полученные лазерной линейкой, в настоящей работе не рассматриваются.

Результаты измерений струнным датчиком за период наблюдений 18.07.2020–30.01.2023 приведены на рис. 3.

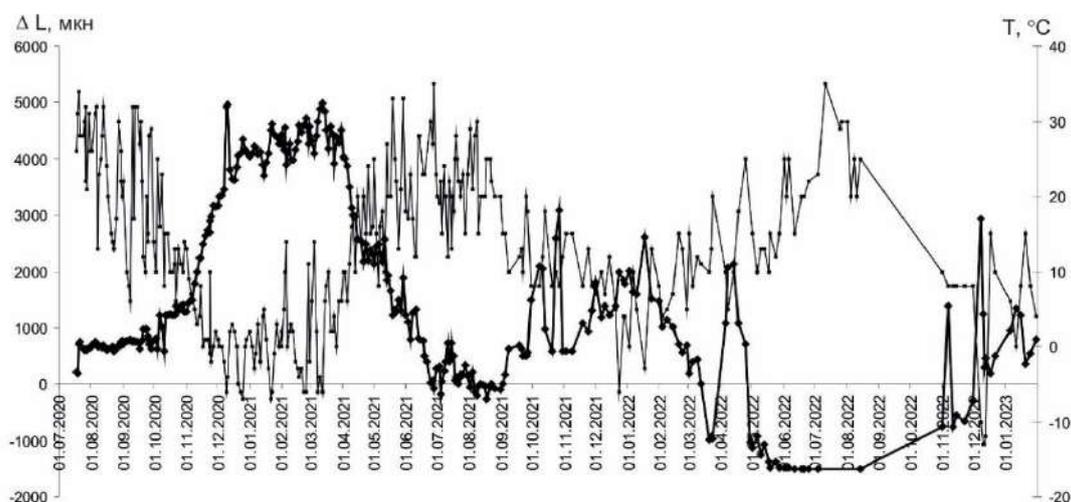


Рис. 3. Графики изменения ширины трещины скального массива относительно первоначального значения, полученные с помощью струнного датчика в микрометрах (жирная линия) и температуры атмосферы

В работе [2] проведен анализ данных, полученных струнным датчиком за период 2020 – 2021 гг. Показано, что сезонная температура атмосферы оказывает влияние на изменение ширины трещины. Максимальная амплитуда в зимний период 2020 – 2021 гг. достигает 4435 мкм (4,435 мм). Расширение, связанное с процессом падения массива, не наблюдается. Связь с осадками не обнаружена.

Визуально на рис. 3 полного согласия графиков нет. Для первой половины наблюдается заметное отставание ΔL от T на 1–2 месяца, при этом коэффициент корреляции равен $K = -0,81$. Для второй половины периода $K = -0,54$, а для всего периода наблюдений составляет $-0,64$. Из этого следует, что на ширину трещину оказывают свое влияние и другие природные процессы.

Внешними факторами триггерного воздействия могут служить климатические аномалии, проливные дожди, колебания умеренных близких или удаленных сильных землетрясений. Известно, что сильные землетрясения магнитудой $M=9$ вызывают возникновение медленных волн Релея и Лява, способных несколько раз обегать вокруг земного шара [3]. Волны Релея вызывают смещение частиц земной поверхности по вертикали, а Лява – по горизонтали. Периоды колебаний меняются от нескольких секунд до нескольких десятков секунд [4]. Амплитуды смещения могут достигать до 1 см. Поверхностные волны вызывают покачивание высотных зданий амплитудой до 0,5 м, оползни, обвалы на горных склонах, возникновение трещин в грунтах, обрывы проводов телефонных и электрических линий. Из этих данных следует, что землетрясения с максимально возможной магнитудой $M \geq 8,5-9,0$, произошедшие на расстоянии 1000 км и более могут вызвать обвальные процессы в массивах горных пород, находящихся в условиях неустойчивого равновесия.

За небольшой период сейсмометрических наблюдений на скале были зарегистрированы колебания от землетрясения, произошедшего 15.09.2020 г. на Главном Кавказском хребте магнитудой $M=3,6$ координатами эпицентра: $42,39^\circ$ с.ш., $46,49^\circ$ в.д. [5] Эпицентр землетрясения находился на расстоянии 43 км от Гуниба. Глубина очага – 15 км. Данная запись землетрясения приведена на рис. 4.

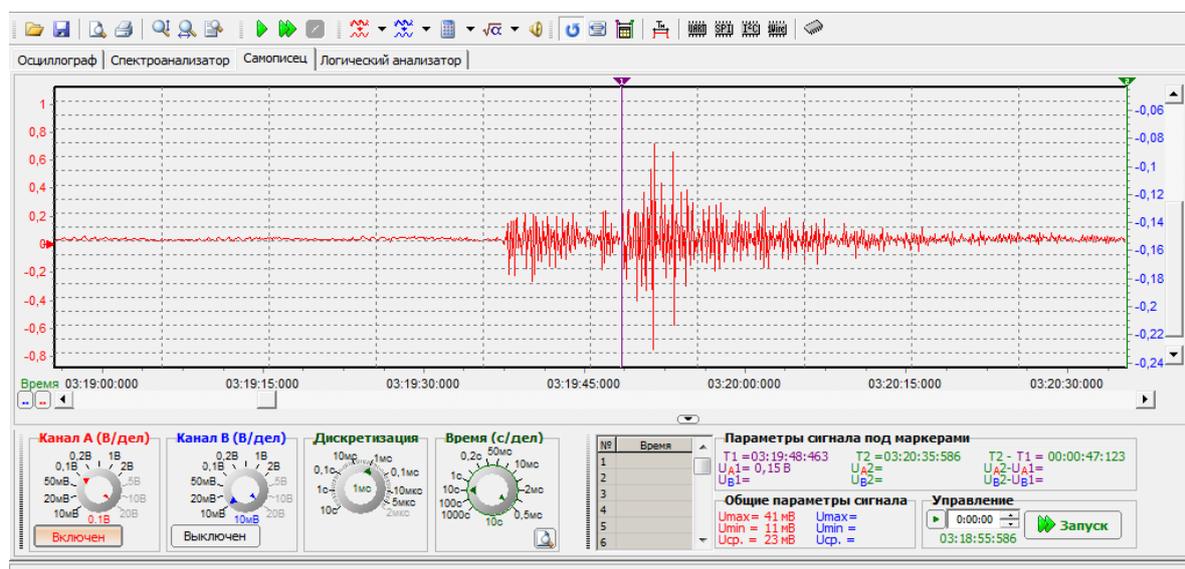


Рис. 4. Сейсмограмма землетрясения 15.09.2020 г.

На сейсмограмме выделяются две волны, продольная V_p продолжительностью 12 с максимальной амплитудой 15,6 мкм и поперечная V_s с большей амплитудой (57 мкм) и продолжительностью 20 с. На рис. 4 вступление поперечной волны отмечено вертикальным маркером.

Частоты колебаний этих волн находятся в пределах $\omega=0,45-0,55$ Гц. Экспериментально полученное значение собственных колебаний массива составляет $\omega=1,1-1,3$ Гц. Сравнение их показывает, что они не совпадают по фазе. Поэтому на записи землетрясения нет аномальных резонансных колебаний, связанных с частотой собственных колебаний массива.

На рис. 5 приведены график струнного датчика и времена землетрясений. Для анализа выбраны сильные землетрясения магнитудой $m_b \geq 5,5$, произошедшие в радиусе до 300 км от Гуниба и относительно слабые толчки, зарегистрированные на эпицентральных расстояниях до 55 км. Более точные параметры землетрясений приведены в таблице. На карте эпицентров землетрясений (рис. 6) показаны их расположения соответственно с номерами на рис. 5.

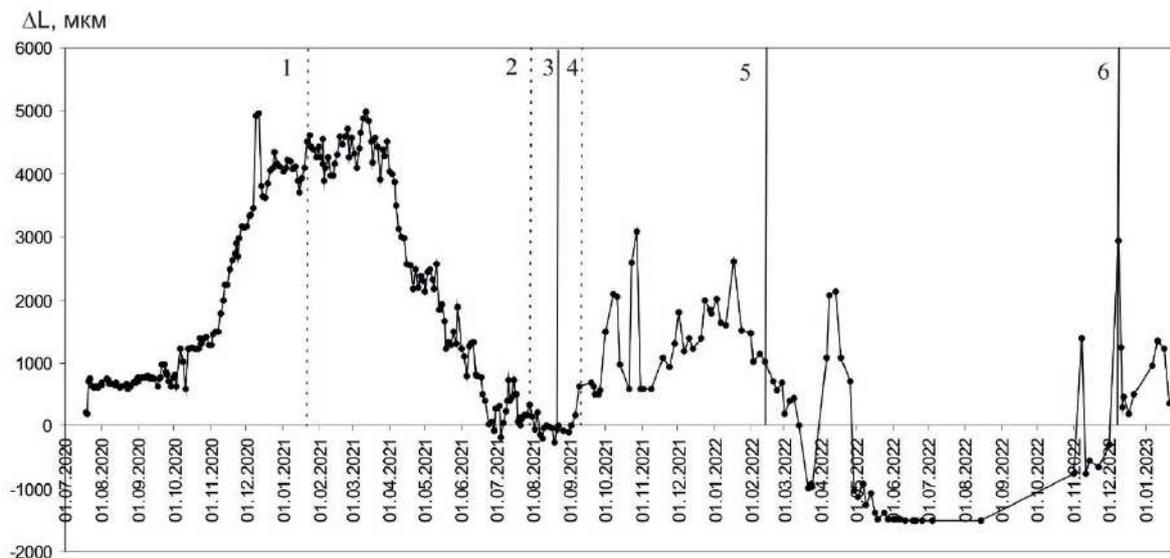


Рис. 5. График струнного датчика (параметры землетрясений на данном рисунке и на карте эпицентров приведены в таблице соответственно их номерам, сильные землетрясения отмечены сплошной линией)

Таблица землетрясений [по данным <http://gsras.ru/cgi-bin/new>]

№	Время (GMT)	Шир. гр	Долг. гр	Глуб. км	Магн. mb	Регион	Эпицентральное расстояние, км
1	2021-01-02 01:05:53	42.09	47.98	10	4.8	Дагестан	55
2	2021-07-28 00:41:27	42.68	46.61	30	4.7	Дагестан	30
3	2021-08-16 01:44:05	41.11	43.99	5	5.5	Грузия-Армения-Турция	200
4	2021-09-03 03:34:49	42.22	46.04	10	4.8	Дагестан	30
5	2022-02-13 18:25:55	41.08	43.77	10	5.7	Грузия-Армения-Турция	210
6	2022-12-08 06:42:15	42.17	46.80	30	5.6	Дагестан	20

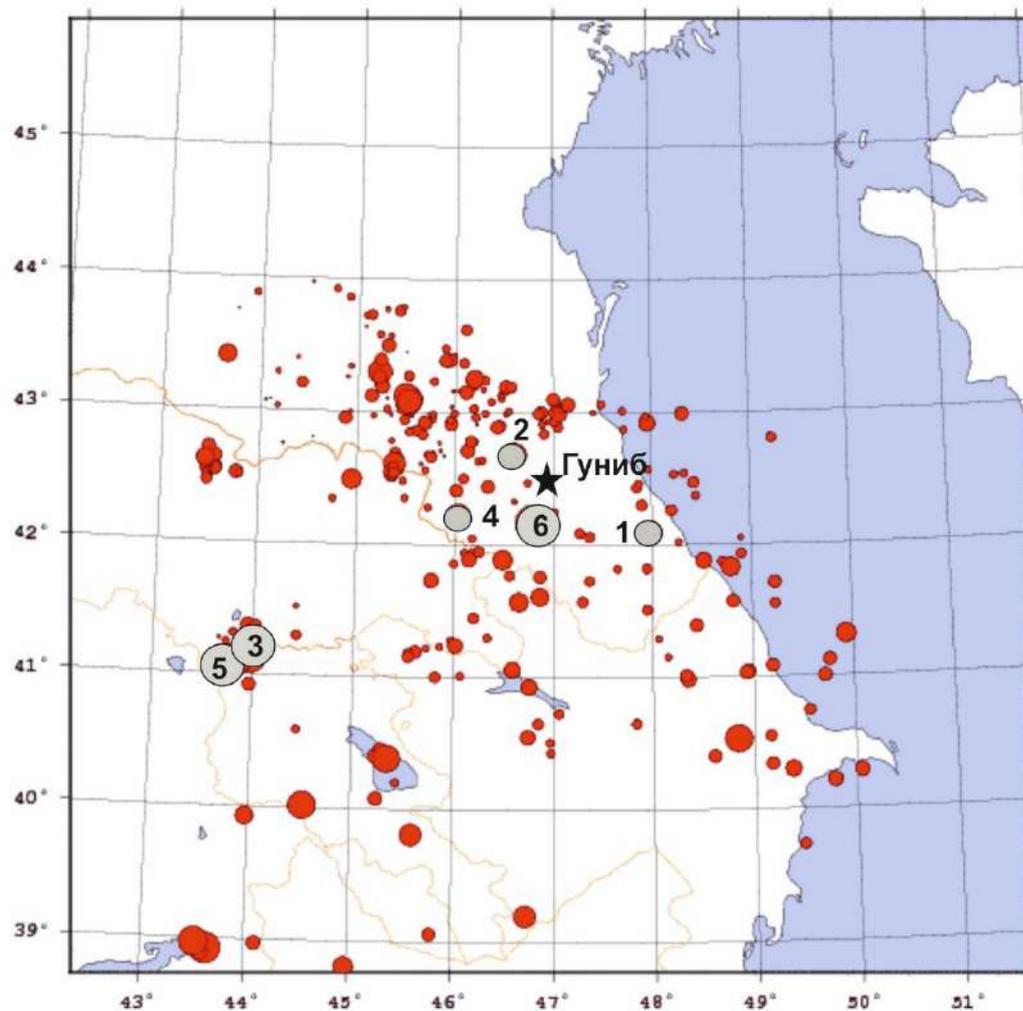


Рис. 6. Карта эпицентров землетрясений, зарегистрированных в радиусе до 300 км за период 17.07.2020–31.01.2023

На рис. 5 видно явное совпадение времени сильного землетрясения под № 6 с скачкообразным изменением струнного датчика. Землетрясение магнитудой $m_b=5,6$ произошло на эпицентральной расстоянии 25 км. Глубина его равна 30 км. Интенсивность сотрясения 5–6 баллов. Оно ощущалось в Махачкале и других городах Дагестана. На сейсмограммах станции «Гуниб» максимальная амплитуда и длительность колебаний наблюдается для V_s волны. Длительность колебаний землетрясения равнялась 22 с. Максимальные амплитуды колебаний для продольной волны (V_p) равна 196 мкм, а поперечной (V_s) – 364 мкм. Сравнение низкочастотного спектра поперечной волны большой амплитуды (1,4–1,2 Гц) с колебаниями собственной частоты исследуемого массива (1,1 Гц) показывает, что их наложение друг на друга может привести возникновению резонансных колебаний скалы большой амплитуды. Однако последствия от землетрясения ограничились лишь падением нескольких крупных камней, которые не причинили ощутимого вреда населенному пункту.

По данным струнного датчика ширина трещины увеличилась на 3300 мкм. Точная амплитуда аномалии неизвестна, так как измерение было сделано через два часа после землетрясения. Через четыре дня ширина трещины вернулась обратно в свое первоначальное положение. Сравнение амплитуды колебаний поперечной волны с изменением ширины трещины после

землетрясения показывает, что амплитуды разнятся на порядок. Данный факт позволяет предположить возможность резонансного процесса колебания скального массива.

Другие относительно слабые землетрясения № 1, 2 и 4, произошедшие на эпицентральных расстояниях 30–55 км, аномальных изменений ширины трещины не вызывают. Особый интерес представляют сильные землетрясения (№ 3, 5), произошедшие на границе Грузии, Азербайджана и Турции. Следует отметить, что через определенный промежуток времени после землетрясения наблюдается аномальное увеличение ширины трещины, в первом случае на 2500 мкм, во втором - 3000 мкм. Эти факты позволяют предположить возможность генерирования сильным землетрясением медленных деформационных волн [6, 7]. Скорости могут составлять десятки и сотни километров в год, длина волны 200 км. В работе [8, 9] рассмотрен механизм миграции эпицентров сильных землетрясений по разлому Кипр-Кавказ. Отмеченные на карте эпицентры сильных землетрясений под № 3, 5 и 6 как раз попадают в зону влияния данного разлома.

В нашем случае из графика, приведенного на рис. 5, видно, что интервал времени между землетрясениями под № 3, 5 и скачкообразными аномальными изменениями ширины трещины составляет 1,5–2,0 месяца. Для эпицентрального расстояния данных землетрясений 200 км скорость распространения фронта предполагаемой геодинамической волны равна 1200–1600 км/год. Разумеется, интерпретация данных аномалий нельзя рассматривать, как обоснованный факт распространения фронта деформационной волны в упруго-вязкой среде земной коры в силу того, что оцененные нами скорости сильно отличаются от данных других авторов. С другой стороны недостаточно данных для определенных выводов наличия таких волн, но, тем не менее, полученные результаты позволят более глубоко изучить природу разнообразия волнового фронта в разломах, где массив горных пород, находящийся на его пути распространения в условиях неустойчивого равновесия, является своего рода чувствительным геофизическим прибором.

Выводы

1. На основе измерений ширины трещины скального массива струнным датчиком, представляющего опасность падения на населенный пункт Гуниб, исследована его динамика в течение неполных трех лет. За данный период наблюдений амплитуда ее максимального изменения составила 6,5 мм. Обнаружена зависимость от сезонной температуры атмосферы амплитудой 4,45 мм. За весь период времени наблюдалось как увеличение (+4,45 мм), так и уменьшение (–2,2 мм) ширины трещины относительно первоначально измеренного значения. В настоящее время последние измерения показали, что они мало, чем отличаются от первоначальных измерений в 2021 г. Данный факт позволяет утверждать, что процесса разрушения всего массива или наклона его в сторону предполагаемого падения не наблюдается. Это подтверждается еще и тем, что сильное землетрясение $m_b=5,6$ привело к его колебанию, но не обрушению.

2. Зарегистрировано совпадение во времени сильного землетрясения, произошедшего на эпицентральной дистанции 25 км со скачкообразным увеличением трещины на 3,3 мм. Сравнение частот колебаний поперечных волн землетрясения на сейсмической станции «Гуниб» и собственных колебаний исследуемого массива показало их близость, что могло привести резонансным процессам, увеличению амплитуды колебаний массива, при этом существенную роль могла сыграть длительность колебаний поперечной волны (7 с) по сравнению импульсной волной. Относительно слабые землетрясения, зарегистрированные на расстояниях 20–55 км, изменений ширины трещины не вызывают. После двух сильных землетрясений, произошедших на границе Грузии, Азербайджана и Турции наблюдается кратковременное увеличение ширины трещины на 2,5–3,0 мм. Предлагается, что эти аномалии могут быть связаны медленными деформационными волнами на разломе Кипр-Кавказ, распространяющиеся со скоростью 1200–

1600 км/год. Данный факт в настоящее время нельзя считать достаточно обоснованным и поэтому требует продолжения исследований.

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

Литература

1. Идармачев Ш.Г., Джамалудинов А.М. Мониторинг движения неустойчивого скального массива на горе Гуниб // Научные исследования: итоги и перспективы. ДГТУ. – Махачкала. – 2022. – Том 3.- № 3. – С.3–11. ID: 49621045. DOI: 10.21522/2713-220X-2022-3-3-3-1
2. Идармачев Ш.Г., Черкашин В.И., Алиев И.А., Идармачев И.Ш. Изучение динамики ширины трещины потенциально обвального скального массива струнным датчиком на горе Гуниб (Дагестан) // Геология и геофизика Юга России. – 2022. – Том. 12. - № 2. – С. 78-88. DOI: 10.46698/VNC.2022.70.64.006
3. Рихтер Ч. Элементарная сейсмология. – 1963. – 670 с.
4. Дубянский А.И., Зайцев С.В., Силкин К.Ю. Поверхностные волны сейсмических событий в условиях Воронежского кристаллического массива // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер. Геофизика. – Воронеж. – 2005. – №1. – С. 221–225.
5. Идармачев Ш.Г., Черкашин В.И., Идармачев И.Ш. Сейсмометрический мониторинг скального массива в Гунибском районе Дагестана (Северный Кавказ) // Геология и геофизика юга России. – 2021. – Т.11, № 2. – С. 74–86. DOI: 10.46698/VNC.2021.49.57.006
6. Барабанов В.Л., Гридневский А.О., Беликов В.М., Ишанкулиев Г.А. О миграции коровых землетрясений // Динамические процессы в геофизической среде. М.: Наука, 1994. – С. 149–167.
7. Дешеревский А.В., Журавлев В.И., Максимов А.Б, Сидорин А.Я. Миграция возмущений геофизических полей и сейсмичности. Изучение природных вариаций геофизических полей. – 1994. – Москва. ИФЗ РАН. – С. 37–59.
8. Уломов В.И., Полякова Т.П., Медведева Н.С. О долгосрочном прогнозе сильных землетрясений в Средней Азии и в Черноморско-Каспийском регионе // Физика Земли. № 4. 2002. С. 31–47.
9. Уломов В.И., И.П.Кузин, О.Н.Соловьева, Т.П.Полякова, Н.С.Медведева. О миграционных сейсмогеодинамических процессах в Центральном Каспии и в сопредельных структурах Кавказа и Копетдага // Физика Земли. №2. 2005. С. 13-22.

УДК 550.3

DOI: 10.33580/2541-9684-2023-93-2-46-55

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВАРИАЦИЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ И ИХ ПРОЯВЛЕНИЕ В НАБЛЮДАЕМЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРАХ НА СЕТИ СТАНЦИЙ В 2022 г.

*Алиев И.А., Магомедов А.Г., Алибеков М.С.
Институт геологии ОП ДФИЦ РАН*

В статье рассматриваются результаты анализа изменений наблюдаемых на сети станций геофизических параметров и вариаций сейсмической активности на Кавказе и сопредельных территориях. Показано, что в 2022 г. в экзогенных причинах вариаций геофизических параметров появились гравитационные явления и Солнечно-Земные связи.

Ключевые слова: кажущееся сопротивление горных пород, модуль полного вектора геомагнитного поля Земли, тектонические напряжения и деформации от сейсмических событий, геомагнитная активность, индексы геомагнитной активности.

SOME FEATURES OF VARIATIONS IN SEISMIC ACTIVITY AND THEIR MANIFESTATION IN THE OBSERVED GEOPHYSICAL PARAMETERS ON THE STATION NETWORK IN 2022

*Aliiev I.A., Magomedov A.G., Alibekov M.S.
Institute of Geology, Dagestan Federal Research Center, Russian Academy of Sciences*

The article discusses the results of the analysis of changes in the geophysical parameters observed on the network of stations and variations of seismic activity in the Caucasus and adjacent territories. It is shown that in 2022, gravitational phenomena and Solar-Terrestrial connections appeared in the exogenous causes of variations in geophysical parameters.

Keywords: apparent resistance of rocks, modulus of the full vector of the Earth's geomagnetic field, tectonic stresses and deformations from seismic events, geomagnetic activity, geomagnetic activity indices.

1. Анализ вариаций сейсмической активности и кажущегося сопротивления горных пород горных пород в исследуемом районе.

Для анализа связи вариаций кажущееся сопротивление горных пород (КС) горных пород с сейсмической активностью и пространственным распределением очагов землетрясений (последовательных движений эпицентров) была выбрана область с координатами: по широте от 34° до 46° СШ, и по долготе от 40° до 56° ВД. И сейсмические события с $M \geq 4$ и глубиной очага от 4 до 50 км, которые в большинстве случаев отражаются в вариациях КС и модуля полного вектора геомагнитного поля Земли на сети станций наблюдений ИГ ДФИЦ РАН. В выбранную область входят Кавказ, Каспийское море и части территории Турции, Ирака, Ирана, Казахстана и Туркменистана. Сейсмические события для анализируемой области исследуемого периода взяты из каталогов ФИЦ ЕГС РАН и EMSC (European-Mediterranean Seismological Centre).

В таблице 1 приведены данные сейсмических событий из каталога EMSC (European-Mediterranean Seismological Centre) за рассматриваемый период. Сейсмические события взяты с магнитудой $M \geq 3,9$, потому что в каталогах продолжают уточнять положения эпицентров и вычислять магнитуды.

Таблица 1.

Эпицентры сейсмических событий в анализируемой области за 2022 г.

Date	Latitude	Longitude	Depth km	Magnitude	Region
2022-12-28	39.56	54.75	15	4,2	TURKMENISTAN
2022-12-15	39.73	48.37	37	4,0	AZERBAIJAN
2022-12-08	42.41	46.86	40	4,4	CAUCASUS,RUS.
2022-12-08	42.38	46.98	10	5,5	CAUCASUS,RUS.
2022-12-08	36.40	51.72	25	4,3	IRAN
2022-11-30	43.49	41.56	10	3,9	CAUCASUS,RUS.
2022-11-17	38.51	45.09	8	4,0	IRAN
2022-11-16	38.75	42.58	5	4,0	TURKEY
2022-11-13	38.72	42.28	5	4,3	TURKEY
2022-11-13	43.42	41.50	10	4,1	CAUCASUS,RUS.
2022-11-10	38.71	42.59	4	4,2	TURKEY
2022-10-29	40.40	48.87	10	4,2	AZERBAIJAN
2022-10-21	38.62	43.51	5	4,3	TURKEY
2022-10-19	34.23	48.48	8	3,9	IRAN
2022-10-10	38.35	45.14	10	3,9	IRAN
2022-10-10	38.37	45.11	10	4,3	IRAN
2022-10-05	38.52	45.32	10	4,7	IRAN
2022-10-05	38.47	45.02	10	5,6	IRAN
2022-10-01	39.61	40.54	5	4,3	TURKEY
2022-09-29	39.58	40.53	7	4,3	TURKEY
2022-09-27	40.78	42.88	10	4,4	TURKEY
2022-09-27	40.80	42.78	5	4,0	TURKEY
2022-09-27	40.81	42.91	10	4,3	TURKEY
2022-09-27	40.72	42.89	10	5,3	TURKEY
2022-09-21	38.46	45.14	15	5,1	IRAN
2022-09-16	39.41	40.61	7	4,8	TURKEY
2022-09-13	41.58	48.79	10	3,9	AZERBAIJAN
2022-09-05	42.40	43.78	10	4,0	GEORGIA
2022-09-01	36.29	40.42	20	3,9	SYRIA
2022-09-01	41.04	49.03	5	3,9	AZERBAIJAN
2022-08-17	38.85	40.12	12	4,0	TURKEY
2022-08-12	37.41	49.61	10	4,3	NEAR THE COAST
2022-08-12	35.24	45.57	10	4,2	IRAN-IRAQ
2022-08-05	40.63	46.93	15	3,9	AZERBAIJAN
2022-08-05	34.49	45.43	10	4,0	IRAN-IRAQ
2022-08-02	39.52	41.23	9	4,2	TURKEY
2022-07-31	43.05	46.80	10	4,5	CAUCASUS,RUS.
2022-07-28	41.08	46.50	10	3,9	GEORGIA
2022-07-27	41.04	46.40	18	4,1	AZERBAIJAN
2022-07-22	37.62	48.51	10	4,1	IRAN
2022-07-19	41.08	51.89	11	4,3	CASPIAN SEA
2022-07-18	34.47	45.57	10	4,4	IRAN-IRAQ
2022-07-16	44.64	42.06	10	4,1	CAUCASUS,RUS.
2022-07-11	41.17	43.92	10	4,4	GEORGIA
2022-07-10	38.88	43.60	8	4,1	TURKEY
2022-07-10	44.59	42.31	10	4,1	CAUCASUS,RUS.
2022-07-05	34.47	45.66	12	4,1	IRAN-IRAQ
2022-07-03	43.41	43.64	10	4,0	CAUCASUS,RUS.
2022-07-03	37.47	50.15	10	4,1	NEAR THE COAST
2022-06-27	41.18	43.93	10	3,9	GEORGIA
2022-06-21	39.03	43.65	11	4,0	TURKEY
2022-06-20	38.43	55.56	10	4,6	TURKMENISTAN
2022-06-17	41.16	43.95	10	3,9	ARMENIA
2022-06-15	43.11	46.87	10	3,9	CAUCASUS,RUS.

2022-06-14	36.67	49.78	10	4,6	IRAN
2022-06-12	38.84	43.54	19	5,0	TURKEY
2022-06-10	38.82	43.52	7	4,5	TURKEY
2022-06-07	38.81	43.50	5	4,1	TURKEY
2022-06-04	36.71	53.91	10	4,2	IRAN
2022-05-31	34.37	45.72	10	4,0	IRAN-IRAQ
2022-05-30	37.04	48.91	10	4,0	IRAN
2022-05-30	34.43	45.58	10	4,2	IRAN-IRAQ
2022-05-29	34.65	45.62	10	4,0	IRAN-IRAQ
2022-05-29	34.54	45.53	15	4,4	IRAN-IRAQ
2022-05-26	40.15	49.92	47	4,1	CASPIAN SEA
2022-05-26	42.61	45.41	5	3,9	CAUCASUS,RUS.
2022-05-24	39.91	52.73	5	4,3	CASPIAN SEA
2022-05-14	41.20	43.91	20	4,4	GEORGIA
2022-05-09	41.34	45.95	10	4,1	GEORGIA
2022-05-01	41.17	44.01	10	4,9	ARMENIA
2022-04-20	37.29	48.77	10	3,9	IRAN
2022-04-20	39.09	52.93	33	4,2	CASPIAN SEA
2022-04-16	34.88	45.50	10	4,0	IRAN-IRAQ
2022-04-15	41.62	46.79	10	4,0	AZERBAIJAN
2022-04-14	41.02	43.88	10	3,9	ARMENIA
2022-04-08	38.54	44.32	10	4,0	TURKEY-IRAN
2022-03-30	43.01	48.30	20	4,0	CASPIAN SEA
2022-03-23	41.15	43.95	10	4,3	ARMENIA
2022-03-22	42.59	45.39	10	3,9	CAUCASUS,RUS.
2022-03-18	36.01	53.58	8	4,0	IRAN
2022-03-15	42.03	42.66	10	4,7	GEORGIA
2022-03-14	42.72	45.47	10	4,5	CAUCASUS,RUS.
2022-03-12	39.64	41.09	7	4,0	TURKEY
2022-03-10	35.90	52.87	10	4,1	IRAN
2022-03-01	41.54	46.63	10	4,2	AZERBAIJAN
2022-02-21	40.98	50.04	10	3,9	CASPIAN SEA
2022-02-13	41.14	43.99	10	5,4	ARMENIA
2022-02-09	43.22	45.31	10	4,2	CAUCASUS,RUS.
2022-02-08	37.94	48.09	20	4,0	IRAN
2022-01-31	39.14	40.07	7	4,7	TURKEY
2022-01-25	34.22	53.26	10	3,9	IRAN
2022-01-24	38.02	46.38	14	4,3	IRAN
2022-01-23	38.02	46.35	15	4,4	IRAN
2022-01-21	43.02	47.93	10	4,2	CAUCASUS,RUS.
2022-01-20	34.22	51.71	8	4,6	IRAN
2022-01-16	39.12	46.55	40	4,6	AZERBAIJAN
2022-01-10	35.44	44.96	10	4,5	IRAQ

Фоновым значением, как видно из рисунка 1, можно считать магнитуду $M \geq 3,9$. Магнитуды $M \geq 4,5$ можно считать значительными. Отметим всплеск сейсмической активности в январе - феврале (на рисунке 2, где представлены сейсмические события по месяцам за 2022 г. с магнитудой $M \geq 4$ и где их фоновое значение 4 события в месяц). Затем стабильно высокая сейсмическая активность в мае, июне и июле. Повышение сейсмической активности в сентябре, за которым снижение к фоновому значению октябрь, ноябрь и декабрь.

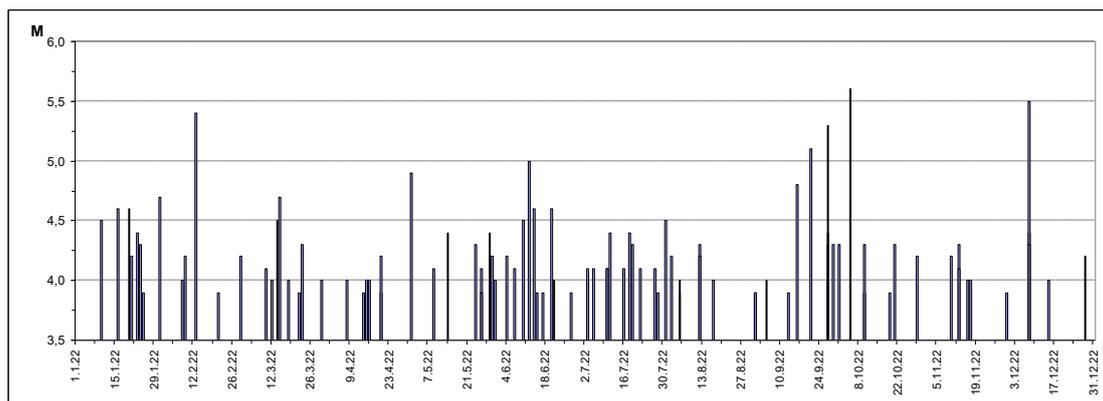


Рис. 1. Магнитуды последовательных сейсмических событий за 2022 г.

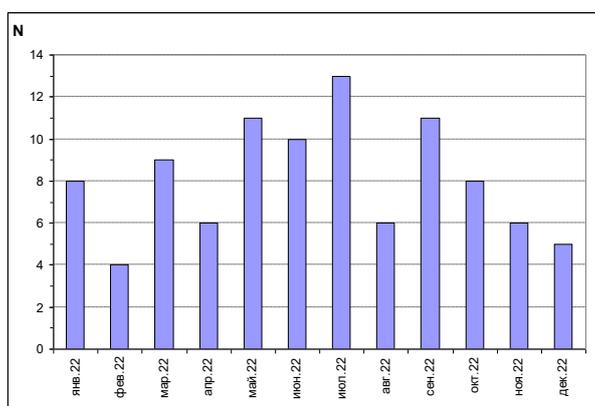
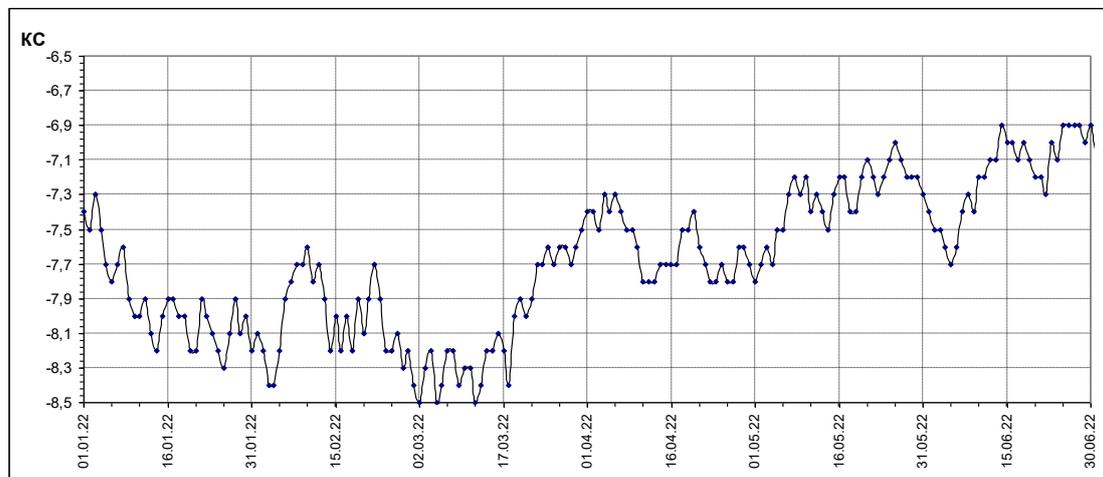


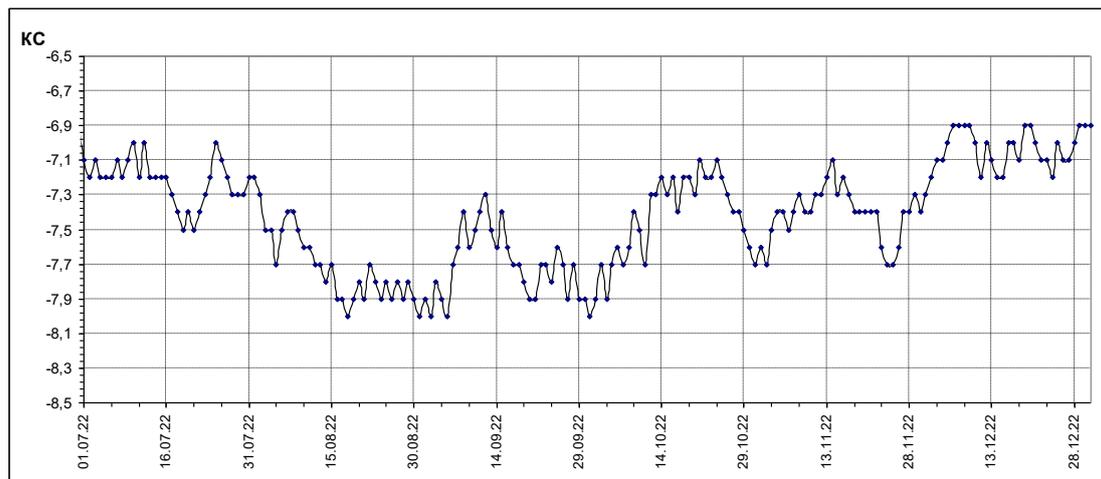
Рис. 2. Число сейсмических событий с магнитудой $M \geq 4$ по месяцам 2022 г.

На рисунках 3 (а, б) представлены вариации кажущегося сопротивления горных пород КС на измерительном пункте *Турали* за первое и второе полугодия 2022 г. Сравнивая вариации сейсмической активности (рисунки 1 и 2) и вариации КС горных пород за 2022 г. на рисунке 3 можно отметить, что и здесь именно в периоды максимальных магнитуд отмечаются и резкие изменения КС.

Отсюда можно сделать вывод, что в наблюдаемые вариации КС горных пород на измерительном пункте *Турали* в 2022 г., значительный вклад вносят деформации от сейсмических событий [1,2,3].



а



б

Рис. 3. Вариации кажущегося сопротивления горных пород КС на измерительном пункте Турали: а – за 01-06 2022 г., б – за 07-12 2022 г.

2. Анализ геомагнитных данных полученных 2022 г.

В лаборатории геодинамики и сейсмологии Института геологии ДФИЦ РАН было разработано и изготовлено устройство сопряжения с протонным магнитометром ММП-203 для автоматизации геомагнитных наблюдений на сети геофизических станций и автоматической передачи данных измерений на сервер лаборатории. Режимные автоматические наблюдения начались в 2019 г. В 2022 г. начали проводиться тестовые и наладочные наблюдения за вариациями модуля полного вектора геомагнитного поля Земли на наблюдательных пунктах "Хушет" и "Семендер". Подготовлена и налаживается аппаратура для тестовых наблюдений вариаций модуля полного вектора геомагнитного поля Земли для двух наблюдательных пунктов "Кегер" и "Султан-Янгиюрт".

Разработанное устройство сопряжения с протонным магнитометром ММП-203, позволяет практически реализовать заложенный в магнитометр автоматический режим проведения геомагнитных наблюдений, используя мобильные сети МТС, Мегафон, Билайн или Интернет. В устройстве возможна установка различных временных интервалов измерений (циклов) от 60 сек и выше. Встроен канал для измерений атмосферного давления и температуры. Есть возможность подключения сейсмодатчиков (аналоговых и цифровых) и другой геофизической аппаратуры, работающей в непрерывном режиме. Использование разработанного устройства на сети геофизических станций ИГ ДФИЦ РАН повысило, на несколько порядков, поток получаемой информации для обработки и анализа. Позволяет, анализируя полученные данные совместно с регулярно публикуемыми данными геомагнитных наблюдений мировой сети, отвечать на вопросы о причинах вариаций проводимых наблюдений: эндогенных, экзогенных или других причин.

Данные измерений магнитометра ММП-203 представляются в виде таблицы удобной для обработки программой Excel. И вычислив среднесуточные значения T - модуля полного вектора геомагнитного поля Земли (T , в нанотеслах - $nTл$), построить график его вариаций на каждом измерительном пункте.

На рисунке 4 представлен график вариаций T ($nTл$), на измерительном пункте Хушет за 2022 г. На графике отмечаются более 10 случаев скачкообразного изменения геомагнитного поля Земли. Сравним периоды этих изменений с вариациями сейсмической активности для анализа возможных причин наблюдаемых резких изменений T .

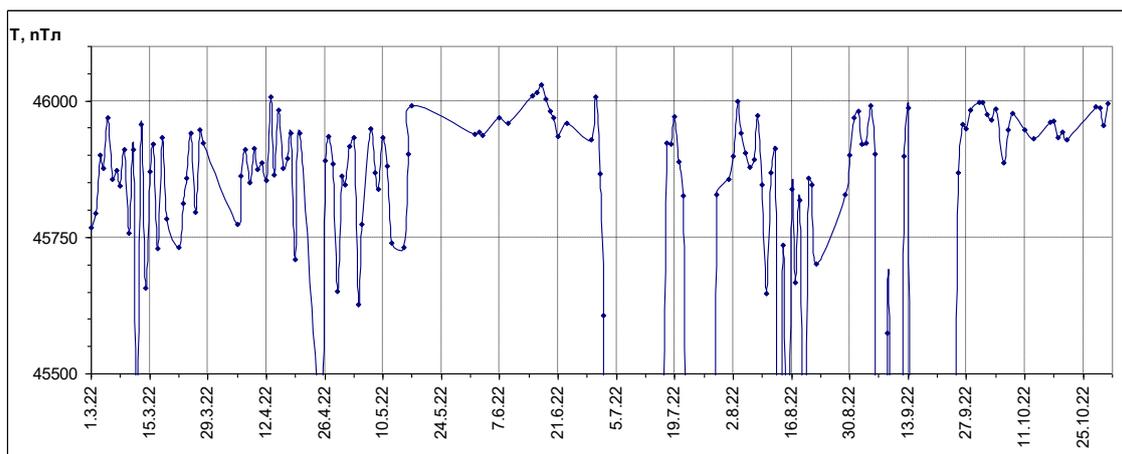


Рис. 4. Вариации модуля полного вектора геомагнитного поля Земли на измерительном пункте Хушет за 2022 г.

Сравнив, отмеченные случаи скачкообразного изменения геомагнитного поля Земли (рисунок 4) с вариациями сейсмической активности из таблицы 1, отметим совпадение этих периодов. В период самого значительного увеличения сейсмической активности события в июле-сентябре 2022 г. средние значения модуля полного вектора геомагнитного поля Земли скачкообразно изменились на 7500 нТл или на 18%.

Это позволяет нам заключить, что, как и в случае вариаций кажущегося сопротивления горных пород КС, рассмотренных выше, основной вклад в вариации модуля полного вектора геомагнитного поля Земли вносят вариации сейсмической активности, а именно деформации от сейсмических событий.

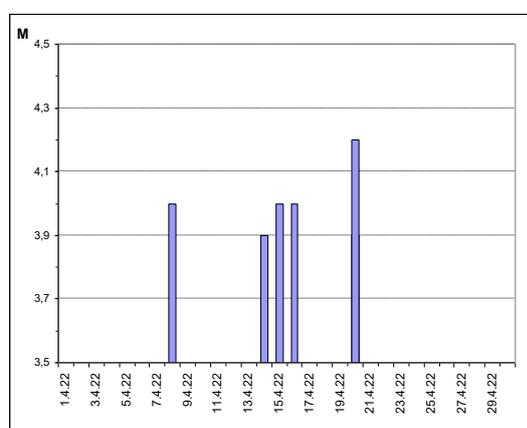
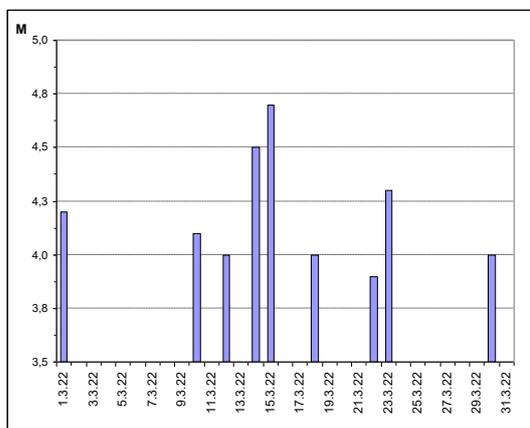
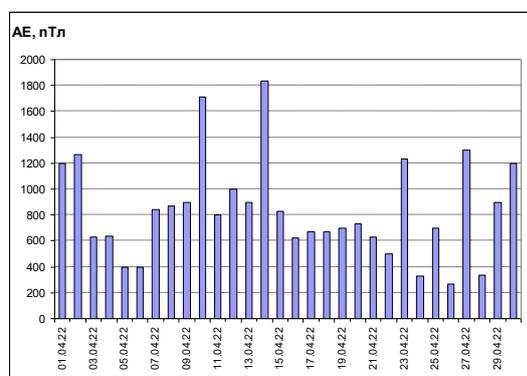
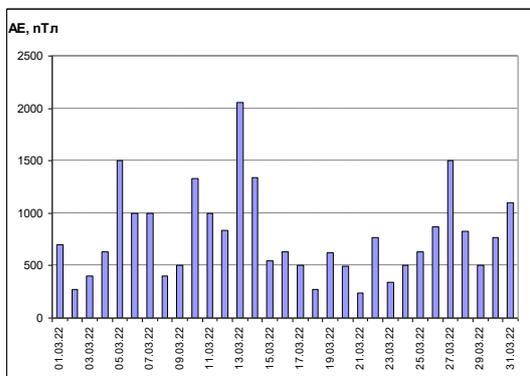
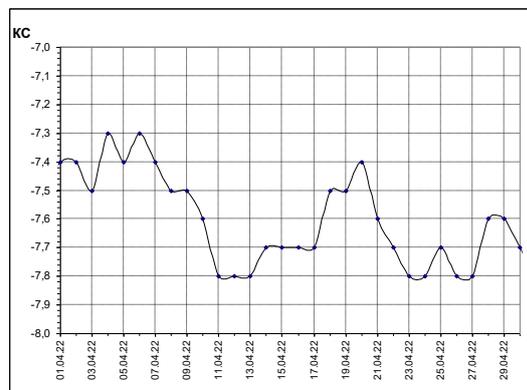
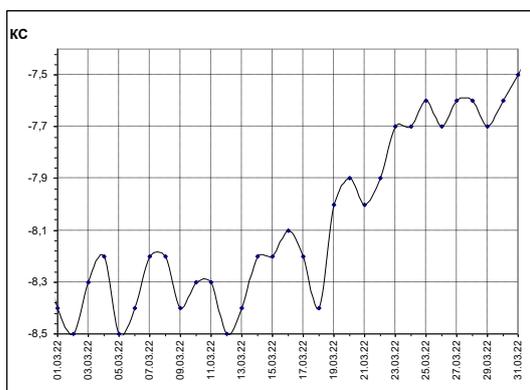
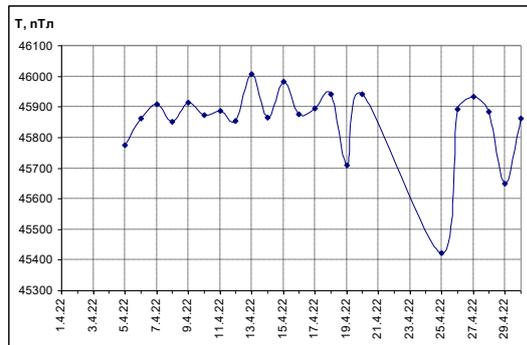
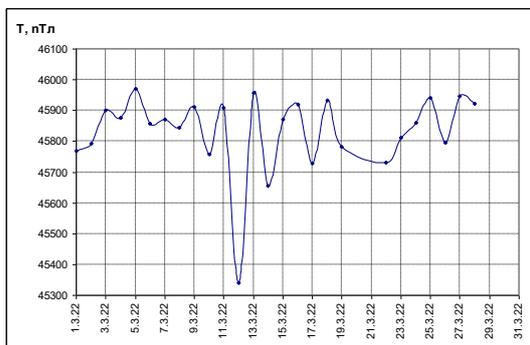
3. Проявления вариаций геомагнитного поля (индексов магнитной активности) в вариациях наблюдаемых параметров на сети станций

Индексы геомагнитной активности являются количественной мерой магнитной активности [4]. Индексы измеряются в гаммах (γ) или нанотеслах (нТл) и отражают весь диапазон возмущений магнитного поля Земли, т. е. при их вычислении учитываются все типы вариаций, которые регистрируются на магнитограммах с разверткой 20 мм в час. AE - индекс был определен как алгебраическая разность AU и AL -индексов и рекомендован для выявления солнечно – земных связей [4, стр.76]. Опытным путем установлено, что 1000 нТл — это уровень обнаруженного или обнаруживаемого воздействия, а 1500 нТл - уровень обязательного воздействия на измеряемые параметры или измерительные линии.

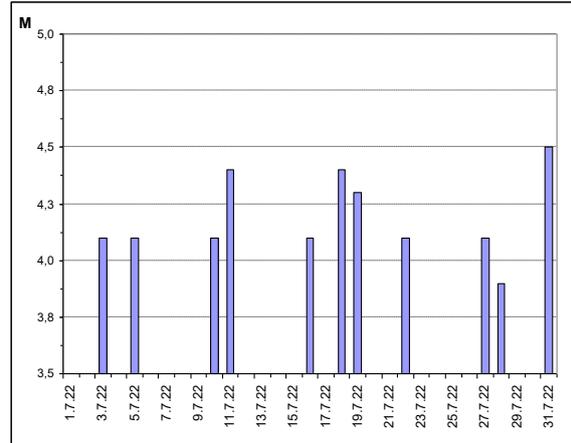
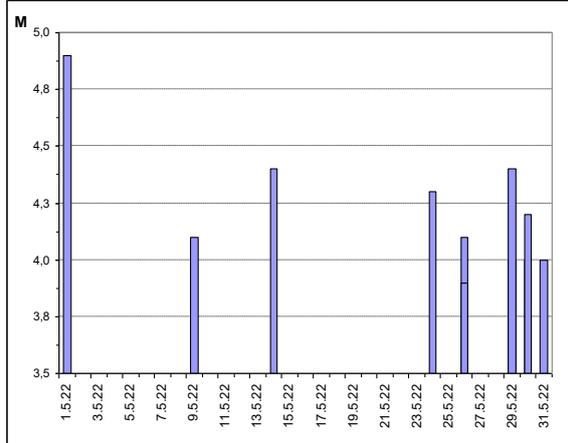
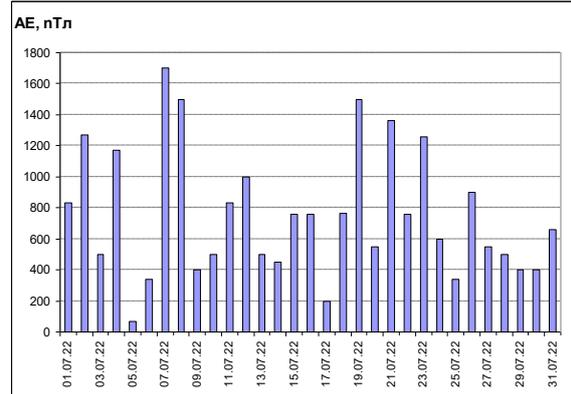
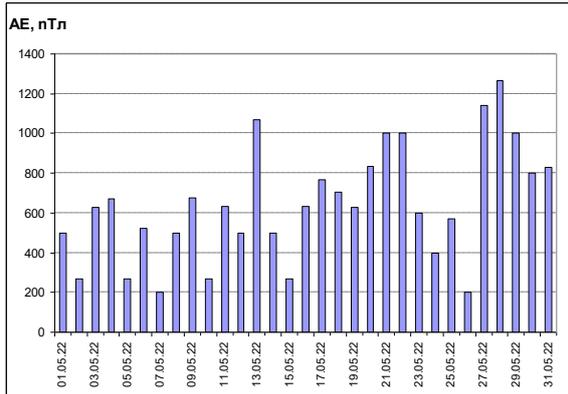
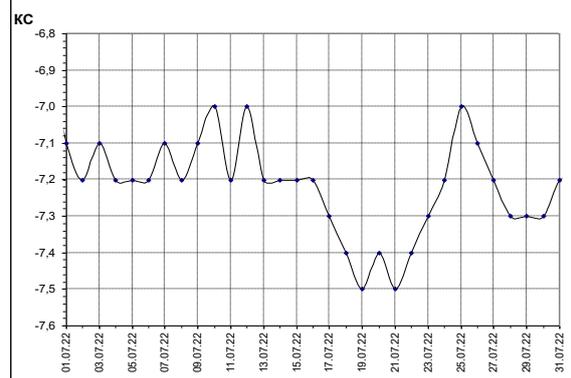
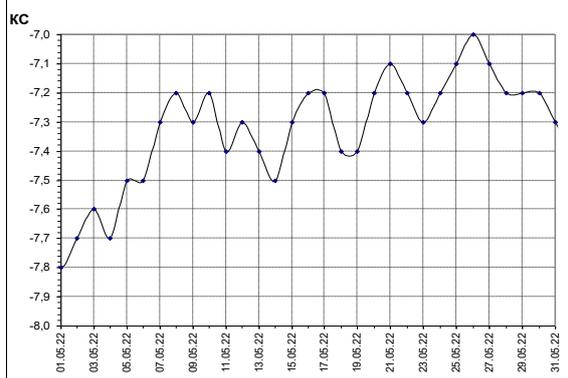
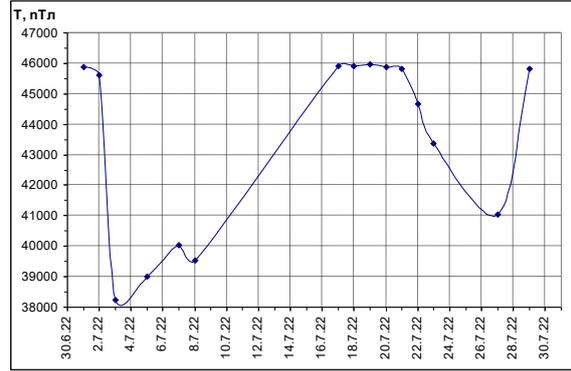
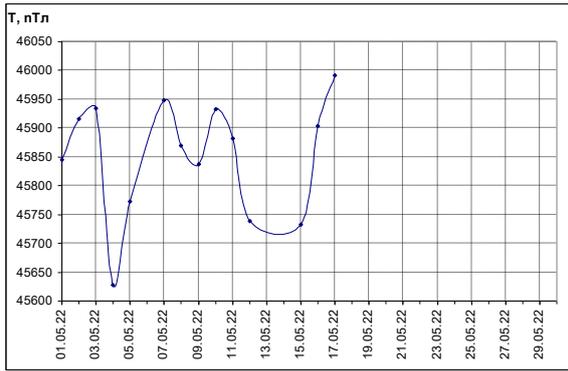
Предварительный анализ вариаций модуля полного вектора геомагнитного поля Земли, вариаций КС горных пород, магнитуд последовательных сейсмических событий и вариаций AE -индекса геомагнитной активности в 2022 г. показал, что в экзогенных причинах вариаций геофизических параметров появились и гравитационные явления. Которые проявляются резким увеличением амплитуд наблюдаемых параметров и синхронностью появлений на наблюдательных пунктах, что в 2020 и 2021 гг. не наблюдалось.

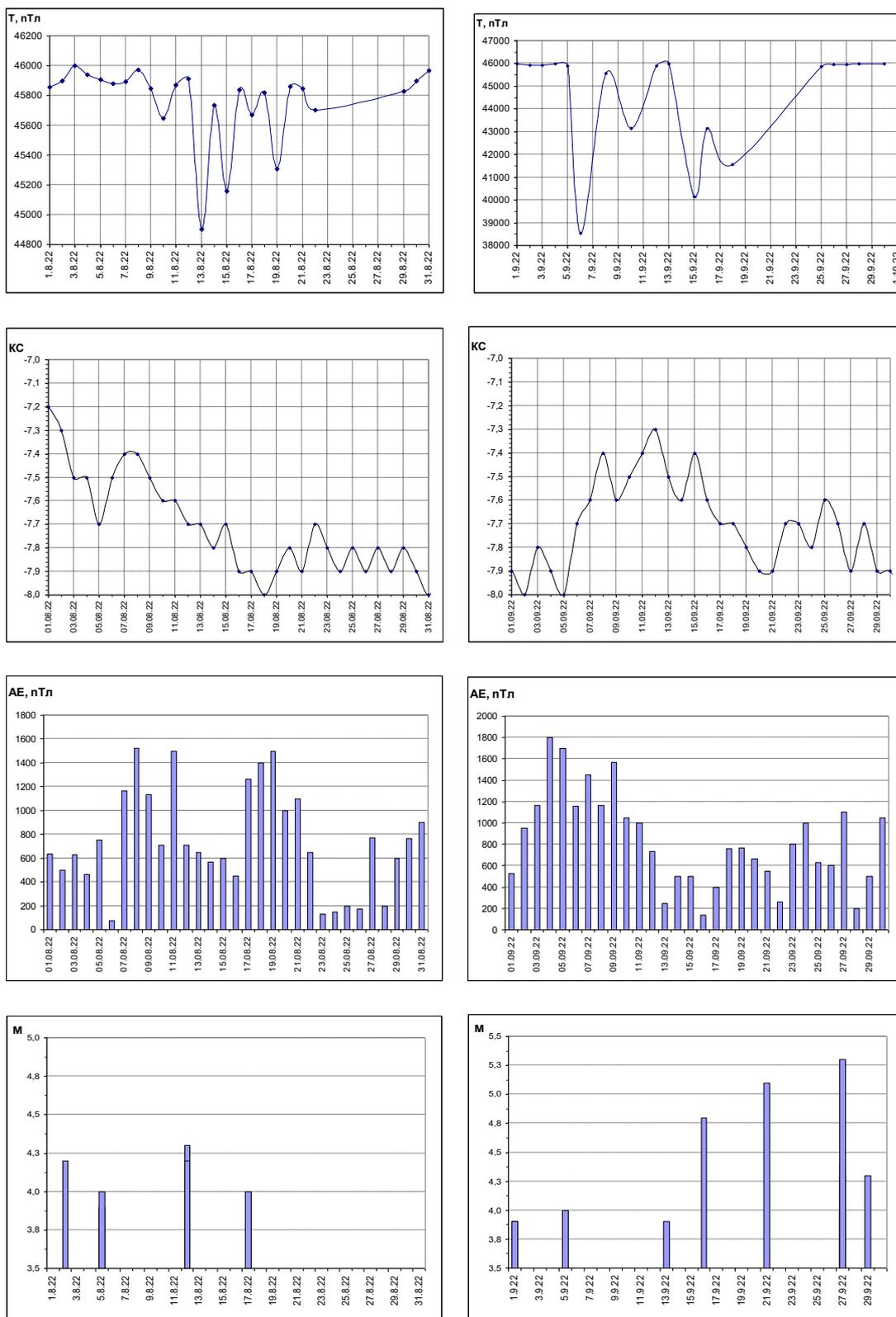
Проанализируем представленные на рисунках 5 (а, б, в) вариации модуля полного вектора геомагнитного поля Земли, вариации КС горных пород, магнитуды последовательных сейсмических событий и вариации AE -индекса геомагнитной активности. Для более детального анализа анализируемые параметры представлены на этих рисунках попарно по месяцам. Как видно из рисунка 5 - а, в периоды значительных значений магнитуд сейсмических событий и AE -индекса геомагнитной активности наблюдаются резкие увеличения и снижения значений модуля полного вектора геомагнитного поля Земли T (нТл) и КС горных пород. Аналогичное по-

ложение и на рисунках 5 - (б, в). Особенно это наблюдается в вариациях модуля полного вектора геомагнитного поля Земли за июль и сентябрь 2022 г., когда T резко упало на 7500 нТл или на 18%.



а





В

Рис. 5. Вариации модуля полного вектора геомагнитного поля Земли Т, вариации КС горных пород, магнитуды последовательных сейсмических событий и вариации АЕ–индекса геомагнитной активности за март-апрель - (а), за май-июль - (б), за август-сентябрь - (в) 2022 г.

Оценивая влияние Солнечно-Земных связей – изменений геомагнитной активности, отметим, что в основном в 2020 и 2021 гг. значение AE – индекса было менее 900 нТл, т.е. ниже уровня обнаруживаемого воздействия это означало, что нет проявлений Солнечно-Земных связей. Было отмечено только по 3 случая за 2020 и 2021 гг. когда значение AE – индекса менее 1300 нТл, т.е. ниже уровня обязательного воздействия. В 2022 г. значения AE – индекса более 1000 нТл, а максимальные значения AE – индекса превышают 2000 нТл. Это позволяет нам сделать вывод. В вариациях модуля полного вектора геомагнитного поля Земли и вариациях кажущегося сопротивления горных пород КС в 2022 г. наблюдаются эндогенные и появились экзогенные причины.

Возможно, появления в вариациях КС горных пород и модуля полного вектора геомагнитного поля Земли гравитационных явлений — это первые признаки нового длительного увеличения сейсмической активности как это было в 2006-2016 гг. Когда Земля, как планета, испытала какое-то периодическое, волнообразное воздействие распространяющейся затухающей геодинамической волны, от дополнительного экзогенного воздействия. И наблюдалось несколько периодов всплесков сейсмичности в 2008, 2011, 2012 и 2013 гг. [5,6,7]. Является ли всплеск сейсмической активности, в анализируемой области, в феврале 2023 г. началом нового аналогичного этапа, ответит анализ наблюдаемых (за 2-3 года) геофизических параметров на нашей сети станций.

Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания ИГ ДФИЦ РАН по теме НИР Рег. номер НИОКТР 1021060808491-6-1.5.6.

Литература

1. Алиев И.А., Мусаев М.А., Магомедов А.Г. Анализ вариаций кажущегося сопротивления горных пород на измерительном пункте Махачкала за 2012 – 2016 гг. Научный журнал «Геология и ресурсы Кавказа» Труды Института геологии ДНЦ РАН, №1 (68), 2017 стр.84-94.
2. Алиев И.А., Мусаев М.А. Вариации геофизических параметров и сейсмической активности в районе измерительных пунктов «Избербаш-Чиркей» за 2012 – 2016 гг. Научный журнал «Геология и ресурсы Кавказа», Труды Института геологии ДНЦ РАН, №3 (71), 2017 стр. 92-108.
3. Алиев И.А., Мусаев М.А., Магомедов А.Г. Анализ вариаций кажущегося сопротивления горных пород на измерительном пункте Турали за 2012 – 2016 гг. Научный журнал «Геология и ресурсы Кавказа» Труды Института геологии ДНЦ РАН, №3 (74), 2018 стр. 71-82.
4. Заболотная Н.А. Индексы геомагнитной активности: Справочное пособие. Изд. 2-е, перераб. М.: Издательство ЛКИ, 2007. 88 с.
5. Алиев И.А., Магомедов А.Г., Идармачев А.Ш. Анализ вариаций геофизических полей в Черноморско-Кавказско-Каспийском регионе в свете современных геодинамических движений // Геология и геофизика юга России. №2. 2013. стр. 3-10.
6. Алиев И.А., Черкашин В.И., Мусаев М.А., Некоторые закономерности распределения эпицентров сейсмических событий в Черноморско-Кавказско-Каспийском регионе // Материалы II Международной научно-практической конференции «Природные опасности: связь науки и практики» Саранск, 23-25 апреля 2015 г. С. 7-14.
7. Алиев И.А., Мусаев М.А. Особенности распределения эпицентров сейсмических событий в Черноморско-Кавказско-Каспийском регионе в свете современных геодинамических движений // Материалы десятой Международной Сейсмологической школы «Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных» Азербайджан 14 – 18 сентября 2015 г. С. 10-13.
8. www.emsc-csem.org

УДК 556.38

DOI: 10.33580/2541-9684-2023-93-2-56-60

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД
ТЕРЕСКО-КУМСКОГО АРТЕЗИАНСКОГО БАСЕЙНА*Самедов Ш.Г., Газалиев И.М., Ибрагимова Т.И.
Институт геологии ДФИЦ РАН*

Рассматриваются проблемы нерационального использования подземных вод Дагестана и загрязнения их различными химическими веществами. Отмечено, что многолетняя стихийная и бессистемная эксплуатация Терско-Кумского артезианского бассейна в нарастающих темпах привела к истощению запасов и ухудшению состава подземных вод, что требует принятия безотлагательных мер по охране резервных и существующих источников подземных вод, а также их рационального использования. В условиях складывающейся неблагоприятной ситуации вопросы охраны резервных и существующих источников подземных вод, а также их рационального использования приобретают особую значимость, становится особенно актуальным вопросы мышьяковистого, железистого загрязнений, превышение предельно допустимых концентраций марганца, фенола в пресных подземных водах.

Ключевые слова: артезианский бассейн (АБ), Республика Дагестан (РД), подземные воды (ПВ), предельно допустимые концентрации (ПДК), класс опасности, хозяйственно-питьевое водоснабжение (ХПВ), водоносный комплекс (ВК), ресурсы, загрязняющие вещества, водозабор.

ECOLOGICAL ASPECTS OF RATIONAL USE OF GROUNDWATER
OF THE TERESK-KUM ARTESIAN BASIN*Samedov Sh.G., Gazaliev I.M., Ibragimova T.I.
Institute of Geology DFIC RAS*

The problems of irrational use of groundwater in Dagestan and their pollution with various chemicals are considered. It is noted that many years of spontaneous and unsystematic exploitation of the Terek-Kum artesian basin at an increasing pace has led to the depletion of reserves and deterioration of the composition of groundwater, which requires the adoption of urgent measures to protect reserve and existing sources of groundwater, as well as their rational use. In the current unfavorable situation, the issues of protecting reserve and existing sources of groundwater, as well as their rational use, are of particular importance; the issues of arsenic and ferrous contamination, exceeding the maximum permissible concentrations of manganese and phenol in fresh groundwater become especially relevant.

Keywords: artesian basin (AB), Republic of Dagestan (RD), groundwater (GW), maximum permissible concentrations (MAC), hazard class, domestic drinking water supply (DHW), aquifer complex (AC), resources, pollutants, water intake

Подземные воды Республики Дагестан являются одним из основных, а иногда и единственным источником водоснабжения населения. Особую актуальность они имеют для северных районов, где проживает более 900 тыс. человек.

Доля подземных вод в хозяйственно-питьевом водоснабжении Республики составляет около 70%, для таких крупных городов и населенных пунктов как Кизляр, Дербент, Дагестанские Огни, Южно-Сухокумск, Бабаюрт, Терекли-Мектеб, Тарумовка и др.

Наиболее широко для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения используются подземные воды Терско-Кумского артезианского бассейна (ТКАБ) (рис.1) [1].

В пределах РД наиболее широко используются подземные воды средне-верхне-нижнечетвертичного (хазаро-хвалынского и бакинского) и апшеронского водоносных комплексов. Общий водоотбор по этим водоносным комплексам составляет более 127 тыс. м³/сут на более чем 1100 водозаборах.

В пределах Северо-Дагестанской низменности разрабатывается более 30 месторождений нефти и газа, действует более 3800 одиночных и групповых водозаборов с водоотбором более 288 тыс. м³/сут, из них 65 с водоотбором более 500 м³/сут. Здесь разведано 26 участков и месторождений пресных подземных вод. Отметим, что на землях отгонного животноводства

насчитывается более 1300 «бесхозных скважин» [2]. Такое нерациональное использование подземных вод приводит, как к истощению ресурсов, так и к загрязнению подземных вод. Из-за отсутствия альтернативных источников водоснабжения, используются подземные воды с высокой минерализацией (до 3 г/дм³) и повышенным содержанием мышьяка, железа, брома, кремния, нефтепродуктов. Наибольшие изменения состава подземных вод, обусловленные интенсивной эксплуатационной нагрузкой, отмечены на Кизлярском месторождении пресных подземных вод и в северной части Республики - Северо-Дагестанская депрессионная область, в Ногайском и Тарумовском районах.



Рис. 1

Основное воздействие на состояние подземных вод в пределах ТКАБ, приводящее к развитию техногенного подтопления, заболачивания, засоления почв территории оказывают два основных вида водохозяйственной деятельности:

Первое - ненормированное орошение на площади более 400 тыс.га.

По данным статотчетности (ФГУ «Дагводресурсы») в 2014г для орошения было использовано 1,8 млн. м³/год воды, что составило около 4,5 м³ на гектар.

Второе – интенсивный и нерегулируемый отбор подземных вод и сброс их на поверхность без использования. Суммарно неучтенный статотчетностью сброс (потери) подземных вод по самоизливающим скважинам в 2014 г. составил 159,1 тыс.м³/сут, при том, что общее использование подземных вод в пределах Восточно-Предкавказского артезианского бассейна (ВПАБ) в 2014г составило 129,4 тыс.м³/сут. [3]

В пределах Северной части Республики Дагестан (Ногайский, Тарумовский, Кизлярский, Хасавюртовский Кизилюртовский, Кумторкалинский районы) для хозяйственно-питьевого водоснабжения наиболее интенсивно используются следующие водоносные горизонты и комплексы: неоплейстоценовые: морской средне-верхнечетвертичный хазаро-хвалынский; морской нижнечетвертичный бакинский и эоплейстоценовый апшеронский (ТКАБ).

Общий водоотбор по ним в 2014г составил 99,74 млн.м³/сут (273,26 тыс. м³/сут) – это 61% от общего водоотбора по Республике, в т.ч. по средне-верхне-четвертичному водоносному комплексу (ВК) $mQ_{II-III} - 0,28$ млн.м³/год (0,76 тыс.м³/сут), по-морскому нижне-четвертичному бакинскому ВК – 7,0 млн.м³/год (19,18 тыс.м³/сут), по апшеронскому 9,78 млн.м³/год (26,79 тыс.м³/сут), по совместному $mQ_{II-III} - mQ_{Ib} - Q_{Еар}$ ВК – 82,68млн.м³/сут (226,52 тыс.м³/сут) и практически не изменился по сравнению с 2012 г. [2]

Оценка гидродинамического состояния подземных вод в районе их интенсивной добычи для хозяйственно-питьевого водоснабжения на территории РД проводится в пределах ТКАБ по эксплуатационным апшеронскому и морскому нижнечетвертичному бакинскому ВК.

Так в пределах ТКАБ в гидродинамическом режиме неоплейстоценового морского нижнечетвертичного бакинского ВК в 2014г отмечено повышение уровней подземных вод от 0,03 до 0,24 м, уровни 2012 г. также выше среднемноголетних на 0,1-0,93 м. Амплитуда колебаний составляет от 0,1 до 0,20 м (рис. 2).

При этом в пределах крупных водозаборов подземных вод, (г. Кизляр и г. Южно-Сухокумск) отбирающих подземные воды с mQ_{Ib} ВК, отмечено снижение уровня от 0,01 до 0,37 м (Цветковский (скв.900) и Бажигановский (скв.881) посты), в многолетнем разрезе, уровни здесь также ниже на 0,07-0,35 м, амплитуда колебания 0,15-0,22 м.

Гидродинамический режим апшеронского ВК ТКАБ согласуется с режимом бакинского ВК. Практически на всей территории ТКАБ отмечено повышение, в основном, от 0,03 м до 0,05м, в многолетнем разрезе уровни 2014г также выше на 0,1 м-0,3 м, и только в пределах крупных водозаборов отбирающих подземные воды апшеронского ВК, таких как с. Кочубей и с. Бабаюрт отмечено небольшое снижение от 0,08 (Бабаюртовский пост – скв.902) до 0,11 м (Кочубеевский пост – скв.1 АКТ) в многолетнем разрезе снижение на 0,35-1,42 м. Амплитуда колебаний уровня здесь составила от 0,2 до 0,4м.

Необходимо также отметить, что в западной части ТКАБ (Ногайский район, Терекли-Мектеб-Кунбатарский пост 2) в 2014. отмечено резкое повышение уровня по всем ВК в интервале от 10 до 265 м от неоплейстоценового до эоценового возраста. По неоплейстоценову нижнечетвертичному бакинскому оно составило 0,84 м, в многолетнем разрезе (+)2,16 м, по эоплейстоценову апшеронскому (+)0,6 м, в среднемноголетнем (+)0,7 м. Амплитуда колебания уровня 1,4-2,16 м. Скорее всего, это связано с региональными изменениями в гидродинамическом режиме подземных вод в целом по ВПАБ.

Подъем уровня отмечен и в пределах Северо-Дагестанской депрессионной области.

Общая откартированная площадь загрязнения подземных вод в пределах Республики Дагестан составляет более 5 тыс. км² [4,5].

Превышение ПДК отмечено по следующим компонентам, относящимся к четырем классам опасности:

I – чрезвычайно опасные – мышьяк на 12 участках;

II – высокоопасные – бром, кремний, бор, кадмий, барий, свинец, литий, йод;

III – опасные – марганец, железо, аммоний;

IV – умеренно опасные – нефтепродукты, сульфаты, общая жесткость.

Так в 2016г в химическом составе *грунтовых и слабонапорных* ($Q_{II-III} - hv$) вод первого от поверхности ВК в естественных условиях, в микро-компонентном составе в концентрациях в 2,5-5,5 ПДК отмечен бром, кремний, которые не характерны для данного водоносного горизон-

та, концентрация нефтепродуктов в сравнении с 2012г снизились до предельно-допустимых значений (0,01-0,11 мг/дм³), но их присутствие фиксируется во всех пробах.

В химическом составе *нижнечетвертичного бакинского ВК (Q_{1b})* по-прежнему высоко содержание кремния 1,5-2,5 ПДК, мышьяка 10-26 ПДК, брома 2,5-5 ПДК, фиксируется марганец до 2,7 ПДК.

В *апшеронском ВК*, по сравнению с 2012г., отмечено повышенное содержание кремния 1,4-32,5 ПДК, бора 3,7-8,4 ПДК, брома 2,5-11 ПДК, мышьяка 7-18 ПДК, концентрация марганца снизилась до предельно допустимых норм, мышьяк на 8 ПДК. В микрокомпонентном составе подземных вод Q_{1b} и N_{3ар} ВК изменений практически нет, воды пресные с величиной сухого остатка до 1 г/дм³.

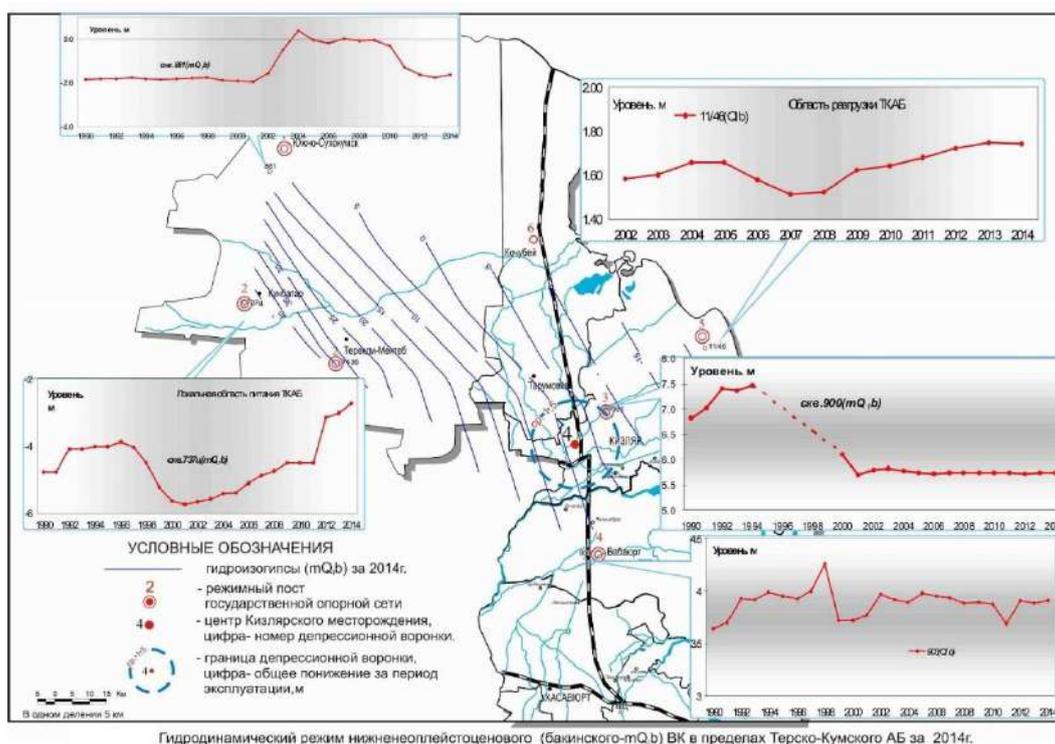


Рис. 2

Наибольшие изменения в гидрохимическом состоянии подземных вод отмечены по основным водоносным эксплуатационным комплексам в пределах 5 площадей и участков, где ранее отмечалось несоответствие качества подземных вод нормативным требованиям, но используемых для питьевого водоснабжения из них: Бабаюртовская площадь находится в центральной части ТКАБ в северной части ТКАБ расположены 4 площади загрязнения – Юго-Западная, Ногайская, Западно-Ногайская, Северо-Ногайская (Дагестанская) и в центральной части ТКАБ Кизлярская. [5]

Интенсивная добыча подземных вод для хозяйственно-питьевого, производственно-технического, орошения земель и обводнения пастбищ приводит к снижению уровней, прекращению самоизлива по скважинам, формированию обширных депрессионных областей и воронок, истощению запасов и ухудшению качества подземных вод, рост минерализации, ухудшение химического состава, в частности увеличение концентраций мышьяка и других токсичных элементов.

Таким образом, одна из важнейших задач изучения подземных вод – оценка изменения гидродинамических параметров и химического состояния подземных вод в результате интенсивной эксплуатации водоносных горизонтов.

В условиях складывающейся неблагоприятной ситуации вопросы охраны резервных и существующих источников подземных вод, а также их рационального использования приобретают особую значимость, становится особенно актуальным вопросы мышьяковистого, железистого загрязнений, превышение ПДК марганца, фенола в пресных подземных водах.

Поэтому для повышения эффективности рационального использования ресурсов подземных вод необходимо проводить регулярные наблюдения за их гидродинамическим и гидрохимическим состоянием, собирать, обобщать и анализировать эти данные, расширять и оптимизировать наблюдательные сети, разрабатывать методологию по способам очистки вод от загрязняющих элементов.

Во избежание дальнейшего расширения и усиления процессов загрязнения подземных вод всего Терско-Кумского артезианского бассейна, большинство артезианских скважин подлежат капитальному ремонту или ликвидации. В целом с обеспечением населения водой нормативного качества складывается крайне напряженное положение из-за несоответствия примерно 50-55% питьевых водоисточников нормативным требованиям, что негативно отражается на здоровье населения. Одновременно происходит загрязнения приартезианских земель, так как около 80-90% добываемых из недр вод выбрасывается круглосуточно фонтанирующими скважинами на поверхность земли, что приводит к повышению уровня соленых грунтовых вод и процессам вторичного засоления сотен гектаров почво-грунтов ежегодно. С целью преодоления чрезвычайно опасных процессов загрязнения и истощения ресурсов Терско - Кумского артезианского бассейна, который служит единственным источником хозяйственно-бытового водоснабжения городов и сельских районов Восточного Предкавказья, необходима разработка комплекса мер по рациональному использованию подземных вод:

1. изучение гидродинамики и ее роли в формировании ресурсов подземных вод, установление влияния эксплуатации подземных вод на их динамику;
2. разработка рекомендации по дальнейшему рациональному использованию подземных вод из действующих эксплуатационных скважин;
3. поиск методов очистки воды от загрязнения и разработка рекомендации по защите от истощения и загрязнения геологической и окружающей среды;
4. усовершенствование системы мониторинга подземных вод на территории Республики Дагестан.

Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания ИГ ДФИЦ РАН по теме НИР Рег. Номер НИОКТР 1021060808495-2-1.5.13.

Литература

1. Гохберг Л.К., Ефремов Д.И. и др. Отчет Оценка эксплуатационных запасов подземных вод Терско-Кумского артезианского бассейна» М., 1976г. 320 с.
2. Информационный бюллетени о состоянии недр на территории Республики Дагестан за 2012г., Вып. 16. Махачкала, ГУП «РЦ Дагестангеомониторинг», 2013. 160 с.
3. Самедов Ш.Г., Ибрагимова Т.И. Гидрохимическое состояние подземных вод Восточно-Предкавказского артезианского бассейна (в пределах Республики Дагестан). // Журнал «Вода: химия и экология» март 2014. №3. С. 3-10.
4. Самедов Ш.Г., Ибрагимова Т.И. Экологические аспекты содержания мышьяка в подземных водах равнинной части Дагестана // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН, конференция «Почвы Залибеков З.Г.», Вып. № 64, Махачкала. 2014. С.278-281.
5. Самедов Ш.Г., Ибрагимова Т.И. Загрязнение подземных вод равнинной части Дагестана // Экология и промышленность России. 2015. Т.19. №5. С.61-63.

УДК 556

DOI: 10.33580/2541-9684-2023-93-2-61-75

МНОГОЛЕТНЯЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ СЕВЕРО-ДАГЕСТАНСКОГО-АРТЕЗИАНСКОГО БАССЕЙНА– ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

*Черкашин В.И., Мамаев С.А., Газалиев И.М., Гусейнова А.Ш.,
Мамаев А.С. Курбанова Л.М., Самедов Ш.Г., Курбанисмаилова А.С.
Институт геологии ДФИЦ РАН*

Процессы техногенного загрязнения и крайне нерациональное использование водных ресурсов сводят на нет эффект от растущих с каждым годом объемов работ на водоснабжение и водоотведение. В чрезвычайно сложных природных условиях Терско-Кумской равнины, обусловленных аридностью климата, бессточностью рельефа, 2-3-кратным превышением испаряемости над количеством атмосферных осадков, засоленностью почво-грунтов, близким к поверхности земли залеганием соленых грунтовых вод, а также нагонно-волновыми явлениями и интенсивным повышением уровня Каспия (на 2,0 м с 1978 г.), крупные масштабы водохозяйственной, нефтегазодобывающей, дорожно-строительной и сельскохозяйственной деятельности, оборачиваются эрозией почв, деградацией земель, наступлением пустыни и серьезными экологическими проблемами в зоне активного водообмена подземной гидросферы.

Ключевые слова: Терско-Каспийский артезианский бассейн, загрязняющие вещества, предельно допустимые концентрации, техногенное воздействие, продуктивные водоносные комплексы.

LONG-YEAR OPERATION OF THE NORTH DAGESTAN-ARTESIAN BASIN – PROBLEMS AND WAYS FOR THEIR SOLUTIONS

*Cherkashin V.I., Mamaev S.A., Gazaliev I.M., Guseinova A.Sh.,
Mamaev A.S. Kurbanova L.M., Samedov Sh.G., Kurbanismailova A.S.
Institute of Geology DFIC RAS*

Processes of technogenic pollution and extremely irrational use of water resources negate the effect of the volume of work on water supply and sanitation that is growing every year. In the extremely difficult natural conditions of the Terek-Kuma Plain, due to the aridity of the climate, the drainage of the relief, a 2-3-fold excess of evaporation over the amount of precipitation, the salinity of the soil, the occurrence of salty groundwater close to the surface of the earth, as well as surge - wave phenomena and an intense rise in the level of the Caspian Sea (by 2.0 m since 1978), large-scale water management, oil and gas production, road construction and agricultural activities result in soil erosion, land degradation, the onset of deserts and serious environmental problems in the zone of active water exchange of the underground hydrosphere.

Keywords: Terek-Caspian artesian basin, pollutants, maximum permissible concentrations, technogenic impact, productive water-bearing complexes.

Проблема опустынивания на территории Северо-Дагестанского артезианского бассейна (СДАБ) –самая актуальная из современных экологических проблем на Кавказе. В Дагестане наиболее критическая ситуация сложилась в Ногайском, Тарумовском и Кизлярском районах, где резко ухудшилось состояние пастбищ, тем самым активизируется наступление песков, засыпаются населенные пункты. Параллельно с опустыниванием идет деградация всех биологических ресурсов [Курбанов, 2003; 2007; Щербуль, 2006; 2001]. Основной причиной опустынивания Черных земель и Кизлярских пастбищ специалисты считают перевыпас, увеличение допустимых нагрузок на пастбища. Однако решение столь сложной задачи требует оценки и других факторов, обуславливающих опустынивание. Среди них – многолетняя интенсивная эксплуатация Северо-Дагестанского артезианского бассейна. Это вызвано тем, что поверхностные воды загрязнены практически повсюду и главным источником коммунально-бытового водоснабжения служат ресурсы подземных вод, часть которых создаются искусственно.

Так, в России из подземных гидрогеологических резервуаров десятками тысяч скважинами ежедневно добываются по 40 млн. кубометров воды (14,6 млрд. м⁴/год) и этой водой обеспечиваются потребности 60% городского и 85% сельского населения. Примерно такого же уровня достигли субъекты РФ Восточного Предкавказья в употреблении ресурсов подземных вод для водоснабжения населения.

Понятно, что вода самый бесценный природный дар, а ее отсутствие приводит к исчезновению даже целых цивилизаций, что наблюдалось в истории человечества неоднократно.

Республика Дагестан самая большая территория в СКФО и самая богатая Республика в Российской Федерации по количеству питьевой воды (поверхностные + подземные воды) на душу населения, но по потреблению занимает последнее место в СКФО (рис. 1).

Парадокс, но это так поскольку территория Республики Дагестан включает в себя бассейны крупных рек Кума, Терек (вне зоны формирования стока), Сулак, Самур и масса мелких рек между Сулаком и Самуром, впадающих в Каспийское море общей протяженностью около 26 тыс. км.

По данным Министерства природных ресурсов РД многолетний годовой сток приведенных рек Дагестана достигает величины 16,2 км³/год. и на одного жителя Дагестана приходится 7795 м³ в год, т.е. самая высокая обеспеченность пресной водой не только на Кавказе, но и в России.

На территории Республики имеются достаточно крупные водохранилища, которые являются последствием гидроэнергетического строительства: Чиркейское, Ирганайское, Миатлинское, Чирюртовское и Гергебильское. Крупнейший на всем Северном Кавказе водный резервуар в горах – Чиркейское водохранилище с полным объемом 2,8 млрд. м³ и полезным – 1,3 млрд. м³. Площадь его зеркала 42 км².



Рис. 1.

Парадокс, но это так поскольку территория Республики Дагестан включает в себя бассейны крупных рек Кума, Терек (вне зоны формирования стока), Сулак, Самур и масса мелких рек между Сулаком и Самуром, впадающих в Каспийское море общей протяженностью около 26 тыс. км.

По данным Министерства природных ресурсов РД многолетний годовой сток приведенных рек Дагестана достигает величины 16,2 км³/год. и на одного жителя Дагестана приходится 7795 м³ в год, т.е. самая высокая обеспеченность пресной водой не только на Кавказе, но и в России.

На территории Республики имеются достаточно крупные водохранилища, которые являются последствием гидроэнергетического строительства: Чиркейское, Ирганайское, Миатлинское, Чирюртовское и Гергебильское. Крупнейший на всем Северном Кавказе водный резервуар в горах – Чиркейское водохранилище с полным объемом 2,8 млрд. м³ и полезным – 1,3 млрд. м³. Площадь его зеркала 42 км².

Однако, несмотря на большие объемы воды, 100% удовлетворенность потребителей питьевой водой не достигнута поскольку главным недостатком обеспеченности является в первую очередь это то, что она приходится на горные и высокогорные районы, а второе не рациональное использование столь драгоценного минерального сырья [Боревский и др., 1989; Отчет под рук. Курбанова, 2003; информационный бюллетень, 2007; 2011; Кондаков и др., 2022].

Достаточно большие потери питьевой воды связаны из-за изношенности водных артерий и нарушений эксплуатации, результат которых мы часто видим по рекам, текущим по нашим улицам. Кроме этого, необходимо усилить контроль за расходом питьевой воды как непосредственно населением Республики, так и всеми организациями находящиеся на территории Республики, что существенно пополнит бюджет Республики и снизит потери, а самое главное этот бесценный природный дар будет использоваться рационально.

В водоснабжении Равнинного Дагестана принимают участие четыре продуктивных водоносных комплекса. Наиболее интенсивно эксплуатируются бакинский и верхнеапшеронский (верхняя пачка) ВК [Кондаков и др., 2003; 2022; Курбанов, 2003; 1969; Мамаев и др., 2022; Отчет: Оценка обеспеченности..., 1995]. Хазаро-хвалынский эксплуатируется лишь на Кумыкской плоскости (Хасавюртовский, Кизилюртовский и Бабаюртовский районы). Нижняя пачка верхнеапшеронского водоносного комплекса эксплуатируется только в Ногайском районе, а также в городах Кизляр и Хасавюрт. Увеличение мощности отложений ВК происходит в восточном и северо-восточном направлениях.

В соответствии с картой областей питания [Кондаков и др., 2003; 2022; Курбанов, 2003; 1969; Мамаев и др., 2022; Отчет: Оценка обеспеченности..., 1995] формирование водоносных комплексов происходит в результате инфильтрации атмосферных осадков и речных вод в основном с предгорных зон, как Дагестана, так и Чечни (Терский хребет), а также Ставропольского края (конусы выноса рек). С нашей точки зрения определенная доля питания есть и за счет инфильтрации атмосферных осадков в барханно-грядовых песках современного возраста находящихся за пределами Дагестана. На территории Дагестана имеет место переток подземных вод из нижних водоносных комплексов в верхние.

Разгрузка водоносных комплексов выражена испарением с уровня грунтовых вод и водоотбором (скважинами). Около 5% от расходной части поступает в акваторию Каспийского моря.

Надо отметить, что наши воды можно использовать практически не очищая, но варварская эксплуатация может привести к потере столь бесценного минерального сырья, как это происходит во всем мире.

Такая же участь грозит и подземным водам, если их добыча будет бесконтрольной и хаотичной.

Проблем с водой в Дагестане много, но в данный момент мы хотим обсудить вопрос рационального использования подземных вод, а именно вод Терско-Кумского артезианского бассейна (ТКАБ).

На рисунке 2 показана карта-схема размещения одного из самых крупных месторождений подземных вод в Республике Дагестан и в частности ТКАБ расположенного на севере нашей Республики.

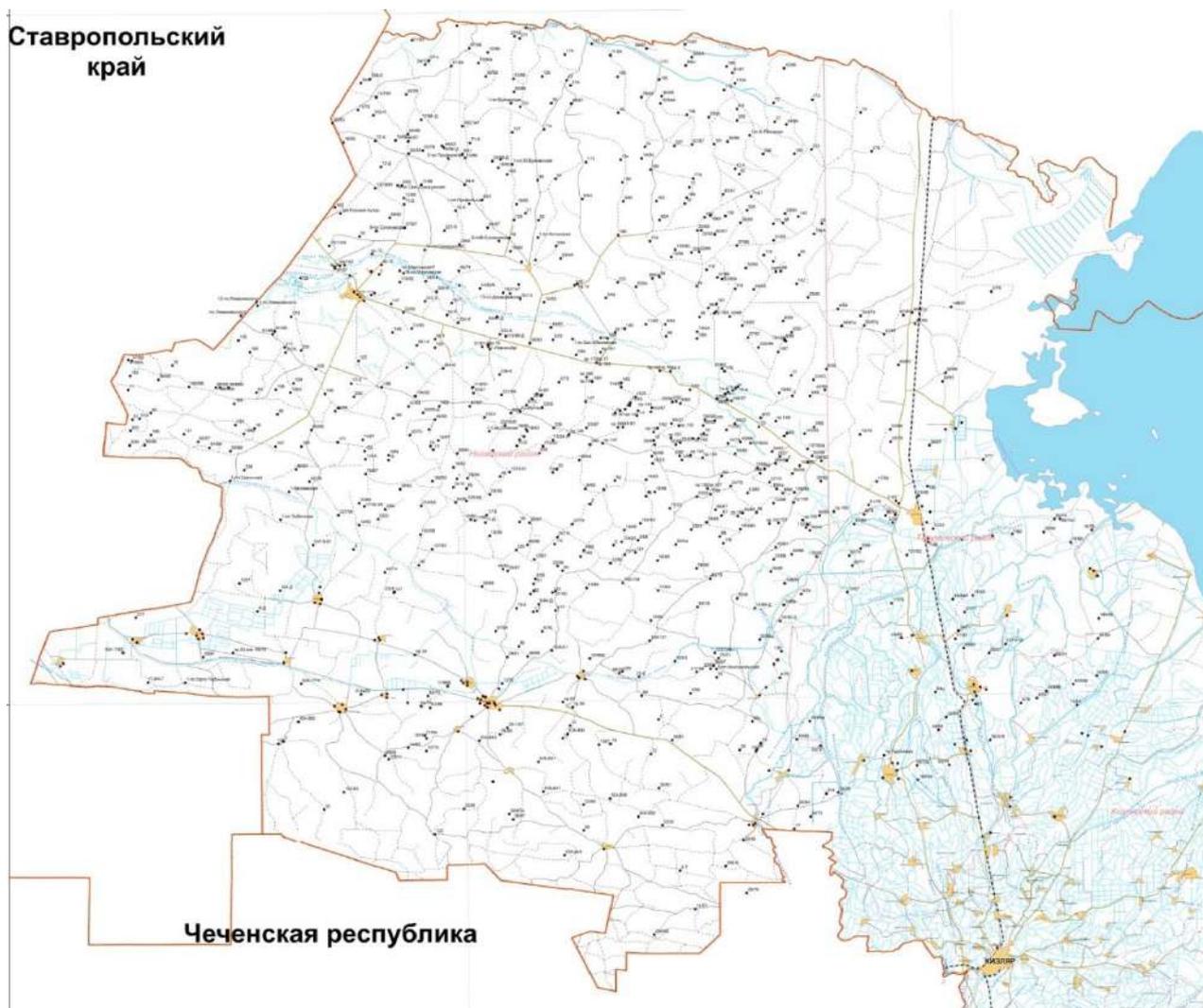


Рис. 2.

На рисунке 3 показан геологический разрез и уровни где расположены основные водные ресурсы (апшеронский, бакинский и хазаро-хвалынский).

Однако наличие данного месторождения никак не снимает напряженности в этом районе с обеспеченностью питьевой водой населения. Учитывая важность столь драгоценного дара природы в свое время в соответствии с техническим заданием, подписанным руководством Министерства природных ресурсов и экологии РД, Институт геологии ДНЦ РАН выполнял работы в северной части территории республики.

Цель работ – обследование артезианских скважин Терско-Кумского артезианского бассейна (ТКАБ) в пределах Ногайского и Тарумовского районов вода которых используется для питьевого и хозяйственного пользования.

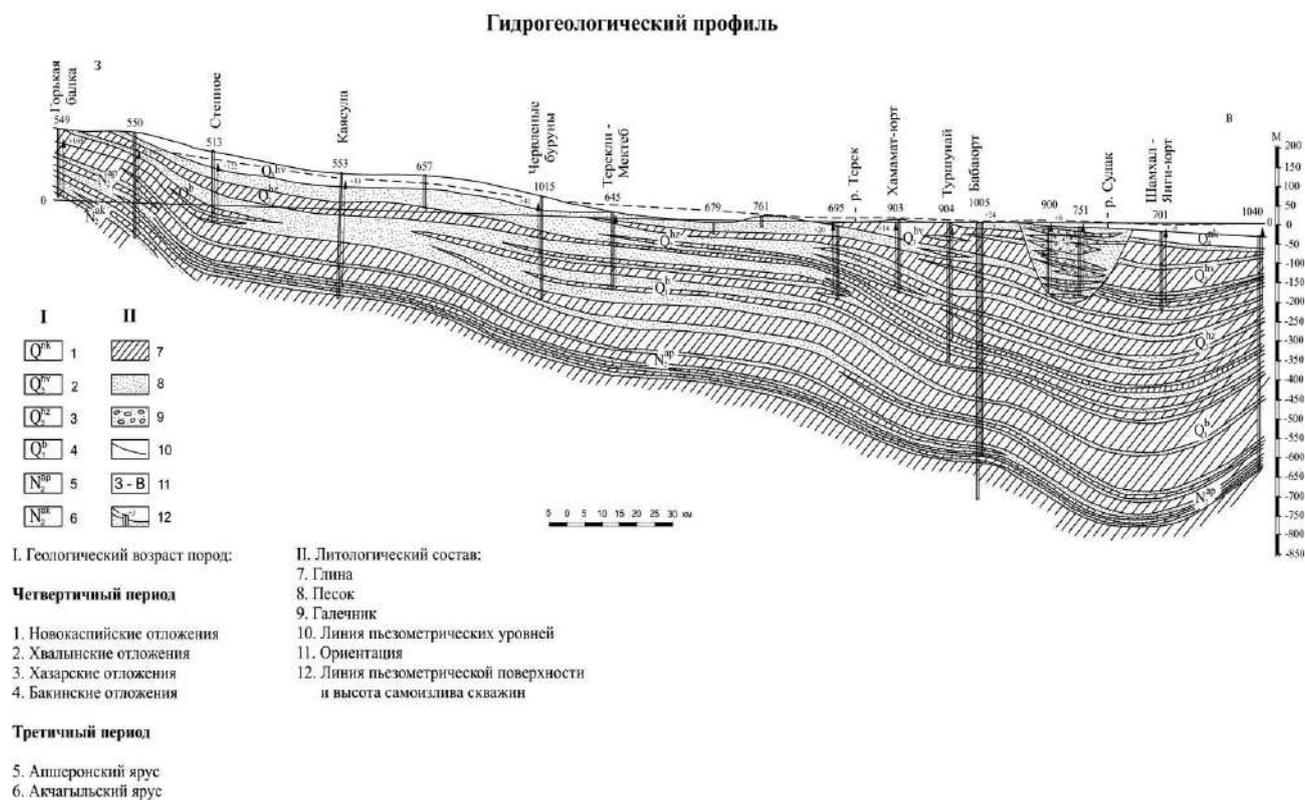


Рис. 3. Геологический профиль ТКАБ (Курбанов М.К.)

Основанием для проведения инвентаризации всего артезианского бассейна в пределах республики послужило крайне неудовлетворительное состояние артезианских скважин, хозяйственная деятельность, точнее бесхозная, а самое главное – наличие в этих водах химических элементов, вредных для здоровья человека. На рисунке 4 представлена карта загрязнения Северо-Дагестанского артезианского бассейна [Ревич и др., 2004; Абдулмуталимова, 2022; Газалиев и др.].

В первую очередь, мы обследовали районы вблизи поселений или кутанов, поскольку именно там необходимо решать проблему с обеспечением питьевой водой. Объем работ предстоял большой. Огромная территория, множество скважин, сложная местность. Для того, чтобы не пропустить ни одну из скважин на обследуемой территории, мы разбили ее на квадраты, сторона которого соответствовала одному километру. Почему такая высокая точность? Все дело в том, что в архивах привязка скважин в то время осуществлялась к местности (дерево, куст, кутан, овраг и т.д.), сейчас же найти эти отметки, просто не реально. Сотрудникам приходилось просто прочесывать исследуемую территорию, и обнаружив скважину, отмечать ее с помощью GPS, с последующим занесением координат в базу данных.

Это достаточно трудная и кропотливая работа, поскольку необходимо не только уточнить местоположение скважины, но и оценить ее санитарно-техническое состояние, выяснить режим работы водозабора, цель водопользования и химический состав подземных вод.

На рисунке 5 представлены фото хозяйственной деятельности тех, кто использует воды данного артезианского бассейна, которые практически бесхозные, свободно изливаются заболочивая и засоляя территорию.



Рис. 4. Обзорная карта содержания мышьяка СДАБ (Курбанов М.К.)



Рис. 5.

В первый год работы мы обследовали Ногайский район. В первом отчете, переданном нами в Министерство природных ресурсов и экологии Республики Дагестан, указано более 600 скважин. Были отобраны пробы и определен их хим. состав. На основе полученных данных составлена гистограмма наличия мышьяка в изливающихся скважинах (рисунок 6). В наибольшем количестве скважин, содержание мышьяка соответствует от 11 до 15 ПДК. И далее по возрастающей до 30-40 ПДК, правда, таких скважин меньшинство.

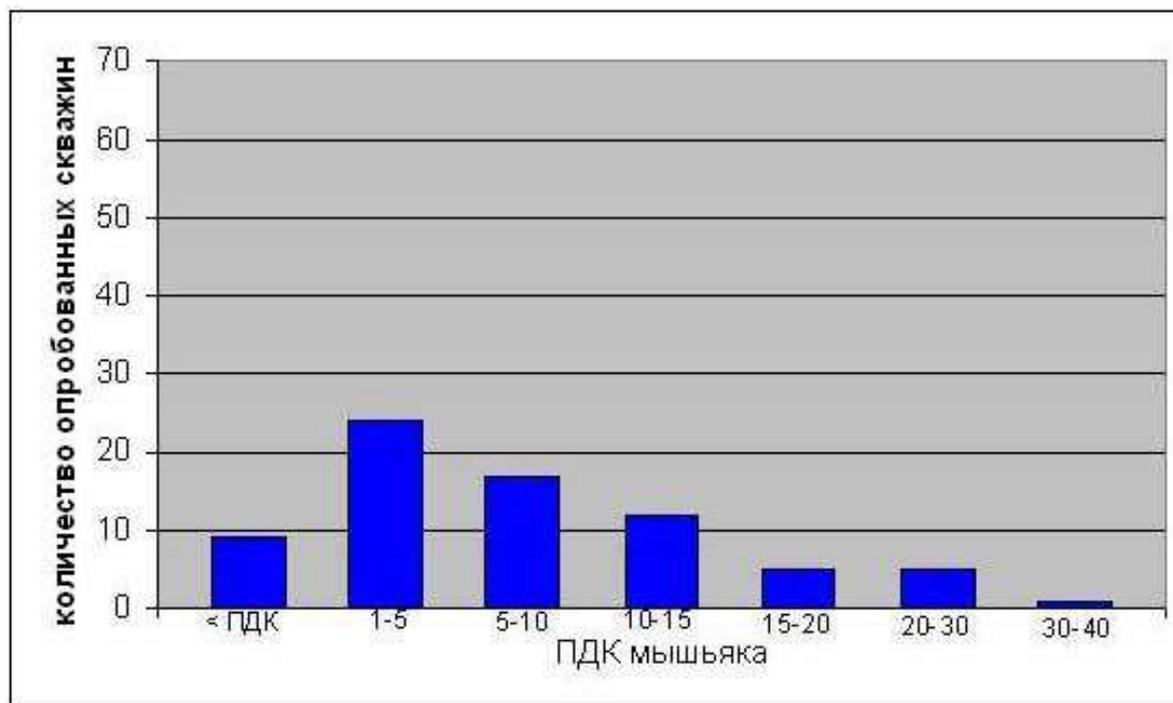


Рис. 6. (Гистограмма содержания мышьяка в подземных водах артезианских скважинах Ногайского района Республики Дагестан в единицах ПДК)

Получив возможность продолжить работы уже в Тарумовском районе, мы дообследовали территорию Ногайского района и обнаружили еще 150 скважин. Вот почему так тщательно и скрупулезно просматриваем всю площадь. Думаю, что мы не смогли найти все скважины. Но поскольку они не изливаются, то не представляют большой опасности, хотя и их необходимо взять под контроль.

Проведении работ в Тарумовском районе также проводились вблизи населенных пунктов. Причин названа выше. Отобранные пробы также показали наличие повышенного содержания мышьяка (рисунок 7).

К сожалению, кроме мышьяка, в пробах подземных вод, отобранных в Ногайском районе, обнаружено присутствие фенола, что вероятно, связано с глубинными разломами и разработкой термальных месторождений подземных вод, а также бурением нефтяных разведочных скважин. Концентрация фенолов в большинстве пробах воды составила 10-15 ПДК (рисунок 8).

Наличие мышьяка, да еще и фенола, очень опасно с точки зрения здоровья населения. Поэтому эту проблему необходимо решать срочно. К тому же установлено, что в процессе эксплуатации водозаборных сооружений изменился химический состав и гидрогеологические параметры подземных вод, а также увеличилась площадь подтопления и засоления почв.

А причина банально простая, увеличенный отбор воды, выходящий за пределы эксплуатационных параметров (рисунок 9).

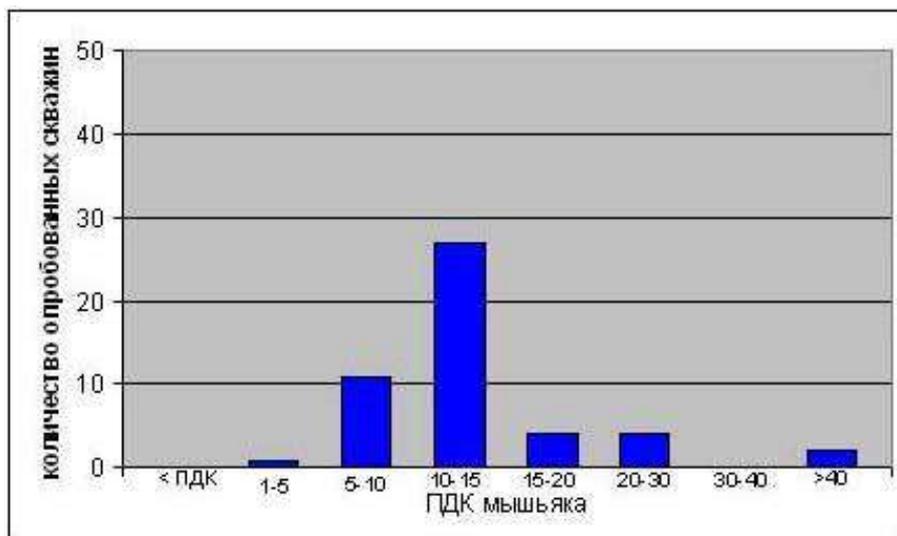


Рис. 7. (Гистограмма содержания мышьяка в подземных водах артезианских скважин Тарумовского района Республики Дагестан в единицах ПДК)

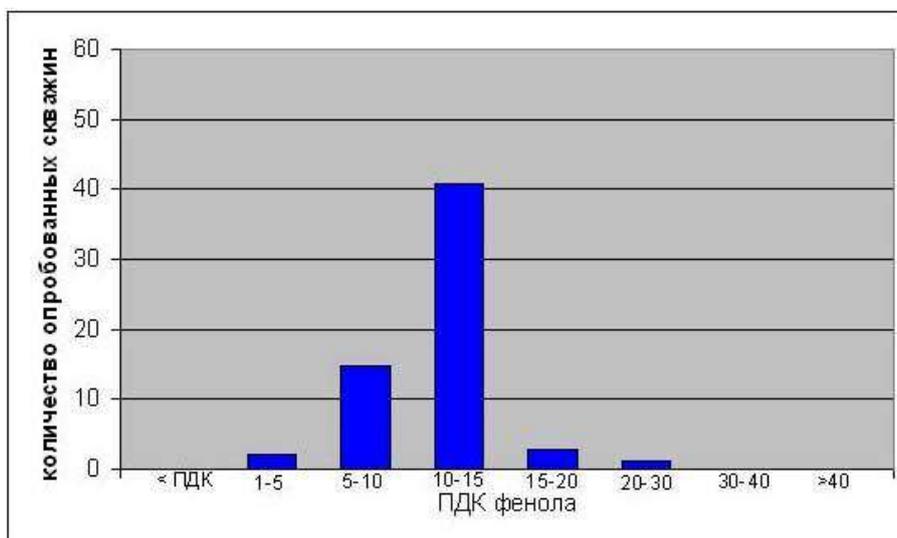


Рис. 8. (Гистограмма содержания фенола в подземных водах 62 артезианских скважинах Ногайского района Республики Дагестан в единицах ПДК)

Административный район	Количество объектов извлечения	Разрешенный объем извлечения по лицензиям, тыс.м ³ /сут.	Фактический водоотбор, тыс.м ³ /сут.			Использование, тыс.м ³ /сут.	Сброс и потери, тыс.м ³ /сут.
			всего	в том числе			
				добыча на водозаборах	при разработке МПВ		
Ногайский	772	8.5012	67.6707	67.4745	0.1962	24.7014	42.9693
Тарумовский	328	3.4515	60.2107	58.8123	1.3984	31.9575	28.2532
Всего	1100	11,95	127,88	126,28	1,60	56,76	71,22

Рис. 9.

ский структурно-гидрогеологический этаж. Плиоцен-четвертичный структурно-гидрогеологический этаж подразделяется на два водоносных комплекса: плейстоценовый и плиоценовый. Плиоценовый водоносный комплекс, в основном, включает в себя водоносные горизонты апшеронских и акчагыльских отложений. В некоторых районах в нижней части плиоцена встречаются маломощные понтические и мэотические отложения, а также акчагыльская пресноводная толща. Акчагыльский водоносный горизонт распространен на всей территории Терско-Кумского артезианского бассейна. На юге, юго-западе бассейна, в предгорьях Дагестана, Ингушетии и Чечни, а также на восточных склонах Ставропольского поднятия отложения акчагыла выходят на поверхность или вскрываются неглубокими скважинами. Здесь водоносные горизонты представлены галечниками, конгломератами, песками, рыхлыми песчаниками, супесями и суглинками.

Наиболее интенсивно используются воды акчагыльских горизонтов в междуречье Терек-Сунжа. Вода местных родников гидрокарбонатно-сульфатно-кальциевого типа с минерализацией, не превышающей 1г/л. В предгорьях Дагестана, на Новолакском артезианском склоне акчагыльские отложения представлены поглощающим комплексом, поэтому дебиты многочисленных родников не превышают 0,5л/сек. Ниже, в районе селений Гамиях, Новокули артезианские скважины вскрывают два водоносных горизонта. В первом дебиты достигают 3л/сек, во втором -12л/сек. Далее, в северном, северо-восточном направлении акчагыльские отложения быстро погружаются. Глубина залегания кровли акчагыла достигает максимума (1570м) вдоль широтного течения р. Терек, в районе Кизляра, затем происходит медленное воздымание кровли в северном направлении до 1100м в Кочубее и до 400м и менее вдоль русла реки Кумы.

Мощность акчагыльских отложений изменяется в Терско-Сулакском междуречье от 200 до 1100 метров, в Терско-Кумской области от 50 до 200м. Опробование в скважинах на глубинах 1537-1800м дало притоки воды хлоридно-натриевого типа с минерализацией от 6 до 9,7г/л и дебитами до 600м³/сут. Более плавное погружение акчагыльских отложений происходит от восточных склонов Ставропольской возвышенности на восток и северо-восток. По линии погружения изменяется и тип артезианских вод от гидрокарбонатно-сульфатно-кальциевого до хлоридно-натриевого. Апшеронские отложения выходят на дневную поверхность вдоль предгорий Восточного Предкавказья от бассейна р. Сулак на запад до г. Нальчика в виде полосы разной ширины. Здесь они представлены мощными галечниками, грубозернистыми песками с супесями в основном континентального происхождения.

Мощность песчано-галечниковой трудно расчленяемой толщи апшерона и акчагыла достигает на юго-западе и в предгорной части бассейна рек Аксай, Ямансу, Ярыксу, Акташ до 500 и более метров. Водообильность родников апшерон-акчагыльских отложений в предгорьях за редким исключением не превышает 1 л/сек. Дебиты артезианских скважин апшеронских водоносных горизонтов в предгорьях значительно выше и составляют обычно 3-5 л/сек, достигая нередко 10-15 л/сек. Общая минерализация их составляет 0,5-1 г/л, по химическому составу они относятся к сульфатно-кальциевому типу.

По мере погружения на 200-500м в Терско-Кумской области минерализация их слегка растет, а химический состав становится гидрокарбонатно-натриевого типа, увеличивается газонасыщенность, в прибрежной полосе и на севере, в пределах широтной долины реки Кумы, общая минерализация достигает 3 г/л. На восточных склонах Ставропольской возвышенности выходы акчагыл-апшеронских отложений на поверхность встречаются лишь в долинах некоторых рек и вскрываются артезианскими скважинами на глубинах от 50 до 200 метров и более. Число водоносных горизонтов насчитывается от 6 до 8, мощность песчаниковых пластов изменяется в пределах от 3-5 до 15-20 метров. Восточнее, в Ачикулаке, Озек-Суате число песчаников достигает 14, а суммарная мощность их возрастает до 200-250м, глубина залегания колеблется в широких пределах, от 75 до 525м.

Дебиты артезианских скважин изменяются от 3-4л/сек до 10-15л/сек, статические уровни устанавливаются на высоте от 0,5 до 15м выше уровня земли. Минерализация вод, преимущественно принадлежащих к гидрокарбонатно-натриевому типу, не превышает за редким исключением 1г/л. На территории дагестанской части Терско-Кумской равнины кровля апшеронских отложений равномерно погружается от 80-100м на северо-западе области до 500м на юго-востоке. Уклон кровли вдоль широтного направления не превышает 0,0012, в направлении же с севера на юг он изменяется от 0,004 на западной границе Дагестана до 0,0025 на побережье моря. В районе Терско-Сулакского междуречья, в зоне максимального прогиба, кровля апшерона достигает глубины 600 и более метров.

Построение математической модели

Области питания плиоцен-четвертичных отложений Терско-Кумского артезианского бассейна расположены вдоль его южной, юго-западной и западной границ - это Кабардинская наклонная предгорная равнина, сложенная аллювиальными отложениями, это древнеаллювиальные, преимущественно песчано-галечные отложения широтной части долины Терека и многочисленных предгорных рек Дагестана, Ингушетии и Чечни, это долина реки Кумы и восточные склоны Ставропольской возвышенности.

Основными источниками питания являются инфильтрующиеся атмосферные осадки, поверхностные воды и конденсационная атмосферная влага.

Кабардинская наклонная равнина представляет собой мощную толщу галечников с прослоями песка и глин; она играет особую роль в питании артезианского бассейна. Далее, на восток, древняя эрозионная долина Терека, заполненная грубообломочными древнеаллювиальными отложениями большой мощности, как и современная долина Терека, простирающаяся в широтном направлении до впадения реки Сунжи в Терек, также являются основными областями формирования запасов пресных артезианских вод.

При коэффициентах фильтрации порядка п-10м/сут и мощностях, изменяющихся в пределах от 50 до 200 метров, проводимость песчано-галечниковых отложений очень высокая. Кроме того, гипсометрические отметки в этих областях превышают 200-300м (а выходы плиоцен-четвертичных отложений в предгорьях Дагестана и на склонах передовых хребтов находятся на высоте 600-700м над уровнем моря). В этих условиях грунтовые воды аллювиальных отложений, аккумулирующие в себе атмосферные осадки и поверхностные воды, являются для бакинских и апшеронских отложений, примыкающих к основанию водоносной толщи, источником питания и областью, где формируется их напор.

К областям питания водоносных горизонтов плиоцен-четвертичного комплекса можно отнести древнее русло реки Кумы в районе с.Архангельское, где выходы апшеронских и акчагыльских отложений контактируют с водонасыщенными отложениями древнего аллювия достаточной мощности.

В питании акчагыльского водоносного горизонта принимают участие атмосферные осадки, выпадающие на восточных склонах Ставропольской возвышенности, сложенных покровными суглинками, супесями и песками с чередованием глин, и где породы акчагыльских отложений выходят на поверхность. Считается [45], что более глубокие горизонты апшерона и акчагыла могут питаться также атмосферными осадками области предгорий (южнее Кабардинской равнины) и северного склона Терского хребта.

Постоянно возобновляемые запасы пресных вод в областях питания, приуроченные к древнеаллювиальным песчано-галечниковым отложениям, обеспечивают постоянное питание и гидростатический напор плиоцен-четвертичным отложениям, а географическое положение областей питания на юго-западном, западном и южном крыльях Терско-Кумской впадины (имеющих более высокие гипсометрические отметки) обуславливает преимущественно северо-

восточное направление движения пресных вод. Последнее подтверждается картами пьезометрических уровней, построенными для различных водоносных горизонтов, наиболее информативной и полной из которых является карта абсолютных пьезометрических уровней плиоцен-четвертичного комплекса Терско-Кумского артезианского бассейна, построенная в 1964 году Курбановым М.К.(прил. I), где пьезометрические уровни плиоцен-четвертичных отложений уменьшаются по мере движения на северо-восток и восток. В этом же направлении снижается и величина гидравлического градиента: от 0,002 на юго-западе до 0,0001 в прибрежной части бассейна.

Максимальный уклон (0,022) пьезометрической поверхности на территории Дагестана наблюдается в междуречье Сулак-Аксай. Здесь поток пресных вод движется в северном направлении, достигнув предгорной равнины, он разворачивается на северо-восток. Часть этого потока дренируется в долинах рек Акташ, Аксай, Сулак и др.; основная же часть продолжает движение на север и северо-восток.

С восточных склонов Ставропольской возвышенности значительно меньший поток подземных вод движется в восточном и далее в северо-восточном направлении, уклоны пьезометрических уровней составляют 0,0013-0,0025.

Большие гидравлические уклоны в плиоцен-четвертичных отложениях - от 0,005 до 0,01 - приурочены к юго-западной части Терско-Кумского артезианского бассейна, Кабардинской наклонной равнине, долинам предгорных рек Нальчика, Баксана, Чегема, широтной части Терека, южнее линии Моздок - Прохладный. Отсюда поток пресных вод с хорошей скоростью фильтрации устремляется на северо-восток.

Области питания и прилегающие к ним предгорные равнины, где водовмещающие породы имеют хорошие фильтрационные свойства, относятся к зонам активного водообмена.

По мере приближения к морскому побережью градиенты пьезометрических уровней снижаются, гидравлические профили выполаживаются ухудшаются и фильтрационные свойства пород, это позволяет отнести большую часть артезианского бассейна в гидродинамическом плане к умеренно активной зоне водообмена.

Опустынивание одно из следствий снижения уровня грунтовых вод

Результаты расчетов показывают, что уже в 70-е годы в тридцати из приведенных 78 населенных пунктов скважины перестают самоизливаться. В последующие десять лет, в 80-е годы, появляются 15 новых воронок депрессии; усиливается депрессия в старых очагах за счет где принудительной добычи, где перехода на разработку выше или ниже лежащих водоносных горизонтов. К 2000-му году возмущению подвергается практически весь водоносный комплекс верхнеплиоценовых и четвертичных отложений дагестанской части Терско-Кумского артезианского бассейна, в большей или меньшей степени.

Снижение напоров наблюдается почти повсеместно, хотя темпы снижения разные и зависят они от множества факторов: объемов добычи, технического состояния скважин, географического положения месторождения подземных вод, его близости к областям питания, его гидрогеологическими характеристиками и т.п. Есть населенные пункты, например, на западной границе Дагестана - в Уй-Салгане - где в течение десяти лет, с 1954 по 1964 годы давление в эксплуатационных горизонтах (находящихся на глубине 560 - 590м) не менялось. А в районе населенного пункта Большая Арешевка уровень в водоносных горизонтах бакинских отложений за четыре года снизился на 27 метров. Это предельные цифры, в большинстве случаев темпы снижения уровней не превышают 2м/год, а в среднем колеблются около значения скорости 1м/год

В Червленых Бурунах за первые десять лет эксплуатации на глубинах 500-580 метров напор снизился на 12м, в последующие 30 лет снижался постепенно и общий перепад составил 17м.

В районе Терекли-Мектеба депрессия в верхних водоносных горизонтах четвертичных отложений, находящихся на глубине 160-170 м, t,rofl

Динамика изменения избыточного напора артезианских стала развиваться уже в 60-е годы; в 70-м году избыточное давление снизилось с 0,25МПа (в 1955 году) до 0, т.е. скорость падения составила примерно 1,7 м/год. В этом районе глубины 250-260м перестали самоизливаться к 2000-му году, скорость падения напора составила 0,3м/год. Данные по глубинам 280-290 м позволяют рассчитать и здесь скорость изменения напора: 0,3м/год. С такой же скоростью изменяется напор и на глубине 320-390 м. в 68-70 годы, когда разбуривались глубины 250-260 м, 280-290 м, 310-390 м, избыточные напоры водоносных горизонтов в интервале 280-390 м составляли 25 м, а в интервале 250-260м всего 12 м. Зная, что в 1955 году на глубине 160-170 м получили избыточный напор 25 м, можно предположить, что первоначальный избыточный напор в 12 м для глубины 250-260м не является характерным, во всяком случае он должен быть не ниже 25 м, т.е. ННЗб.ібо ННЗG.250 Однако, если обратить внимание на то, что к моменту вскрытия водоносного пласта на глубине 250 260м упругие запасы вышележащих водоносных горизонтов почти иссякли, можно сделать вывод об очень интенсивной вертикальной фильтрации в водоносные пласты бакинских отложений из апшерона, или о практическом отсутствии между ними разделяющего водоупора в этом районе. Графики зависимости уровня подземных вод от времени эксплуатации напорного пласта для Терекли-Мектеба и Червленных Бурунов, имеют характерный для многих месторождений Северного Дагестана тип кривой: основное, максимальное снижение уровня происходит в первые 2-3 года эксплуатации месторождения, за это время срабатывается большая часть упругого запаса, далее темпы падения снижаются и редко где превышают значение 1м/год.

Рассмотрим, как изменяется уровень подземных вод на больших водозаборах, приуроченных к крупным населенным пунктам: Кизляру и Хасавюрту.

Отметим на координатной плоскости кизлярские скважины, причем по оси абсцисс отложим время бурения, а по оси ординат 73 абсолютный пьезометрический уровень; рядом со скважиной обозначим глубину эксплуатирующегося горизонта. Соединяя равноглубинные точки, получим реальную картину снижения напоров по пластам. Интересно, что если нанести на эту же плоскость скважины, пробуренные в окрестности Кизляра, они не выпадают из общей схемы снижения уровня. Так, скорость падения напоров в с. Краснооктябрьское (гл. 420 м) составляет 0,6м/год, а темпы снижения уровня в Кизляре на глубинах от 200 до 450м изменяются в

Динамика изменения абсолютных пьезометрических уровней по скважинам Кизлярского месторождения. пределах 0,4 - 0,8м. Более глубокие горизонты в Кизляре, характеризуются скоростями снижения в 2 и более метров в год, что может быть связано с большими объемами добычи артезианских вод, сопровождающимися общим снижением давления в вышележащих водоносных пластах, эксплуатация которых началась задолго до вскрытия пятисотметровых глубин. Интенсивная вертикальная фильтрация из верхнего апшерона, с хорошим избыточным давлением, усиливается почти в 3 раза с ростом градиента напора.

Это позволяет водоносным горизонтам бакинского, хазарского и хвалынского ярусов поддерживать темпы снижения давлений в пределах 0,6м/год и говорит о хорошей гидродинамической связи между этими отложениями и апшероном. Наличие слабопроницаемых глинистых прослоев большой мощности в самом апшероне мешает, по-видимому, проникновению достаточного количества флюида из нижележащих пластов, что способствует быстрому падению давлений в интервале глубин 500 600м. Графики падения уровней в процессе разработки Хасавюртовского месторождения. Начиная с глубин 200 м, для всех нижележащих пластов наблюдается четкая картина снижения уровней, хотя существуют определенные отличия в темпах снижения: они варьируются в пределах 0,5-4,8 м/год. Как уже отмечалось выше, глуби-

ны 300-3 50м имеют непосредственную связь с областями питания и характеризуются высокими напорами, являясь источником питания подстилающих слоев. Резкие падения напоров на этих глубинах связаны с высоким уровнем потребности в этой воде и, соответственно, с большими отборами. Значительные темпы снижения напоров в интервале глубин 400-550м можно объяснить как объемами добычи, так и происходящим параллельно уменьшением инфильтрации, подпитки из вышележащих горизонтов.

И в заключении.

Нерациональное использование подземных вод ТКАБ привело к ухудшению состава воды во многих скважинах - повышенные концентрации мышьяка и тяжелых металлов. Одной из причин является огромное количество пробуренных скважин, только зарегистрированных более 3500, не считая неучтенных, которых более 1500. Все это привело к нарушению гидрогеологического режима, что, по всей вероятности, и послужило загрязнению бассейна. Кроме этого, свободно изливающие скважины загрязняют и заболачивают всю территорию, нанося огромный экологический ущерб. Необходимо срочно принимать меры по составлению кадастра всех скважин на данной территории, определить какие скважины еще можно использовать для питьевого водоснабжения попутно определив необходимую потребность в питьевой воде каждого поселения этого района, что позволит выяснить какое количество артезианских скважин необходимо оставить для потребителей. Кроме этого, с целью рационального использования водных ресурсов необходимо также закрепить все источники воды (скважины) за соответствующим органами власти в этом районе. Ряд скважин необходимо законсервировать, если таковые еще могут быть использованы в дальнейшем, а оставшиеся необходимо ликвидировать, что позволит самой природе восстановить этот бесценный артезианский бассейн и сохранить его для будущих поколений.

Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания ИГ ДФИЦ РАН по теме НИР Рег. номер НИОКТР 1021060808495-2-1.5.13

Литература

1. Абдулмуталимова Т.О. Проблемы рационального использования подземных вод в качестве источников питьевого водоснабжения (на примере Республики Дагестан) // Труды института геологии Дагестанского научного центра РАН, 2022, С.52-56. DOI 10.33580/2541-9684-2022-89-2-52-56 (ИФ 0,192)
2. Боровский В.В., Дробноход Н.И., Язвин Л.С. Оценка запасов подземных вод. – Киев: Выща шк., 1989. 407с.
3. Газалиев И.М., Самедов Ш.Г. Техногенные аспекты загрязнения подземных вод Предгорного Дагестана // Коллективная монография по материалам XI Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа (ГЕОКАВКАЗ 2022)» 15-19 июня 2022 г., г. Махачкала. 2022. – С 371-375.
4. Генезис мышьяка в ресурсах пресных подземных вод Северо-Дагестанского артезианского бассейна. Отчет по выполнению гранта РФФИ. Рук. проекта Курбанов М.К. – ИГ ДНЦ РАН. Махачкала, 2003.
5. Информационный бюллетень за 2006 год о состоянии геологической среды на территории Республики Дагестан. Вып. 9. – Махачкала, РЦ «Геомониторинг», 2007.
6. Информационный бюллетень о состоянии недр территории Республики Дагестан за 2010г. Вып.14. – Махачкала, ГУП «РЦ Дагестангеомониторинг», 2011.
7. Кондаков В.М., Газалиев И.М., Курбанова Л.М., Курбанисмаилова А.С., Гусейнова А.Ш. Прогнозно-эксплуатационные ресурсы подземных вод в Предгорном Дагестане // Аридные экосистемы. – 2022. –Т. 28, № 2 (91). – С. 94-101
8. Кондаков В.М., Курбанов М.К., Самедов Ш.Г. Ресурсы пресных подземных вод Дагестана и оценка их загрязнения // Геоэкологические проблемы освоения и охраны ресурсов подземных вод Восточного Предкавказья. – Материалы научно-практической конференции. Вып.49. – Махачкала, 2003. С. 12-19.

9. Кондаков В.М., Мамаев С. А., Газалиев И.М., Мамаев А.С. К математическому моделированию пресных подземных вод Терско-Кумского артезианского бассейна (ТКАБ) в пределах Дагестана // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2022. - № 2 (89). – С. 46-51.

10. Курбанов М.К. Гидрогеоэкологическая программа «Родник. – Ресурсы подземных вод Терско-Кумского артезианского бассейна и пути их рационального использования, предотвращения процессов загрязнения и истощения» на 2003-2008 гг. // Геоэкологические проблемы освоения и охраны ресурсов подземных вод Восточного Кавказа. – Мат-лы научно-практ. конф-и ИГ ДНЦ РАН. Вып 49. – Махачкала, 2003.

11. Курбанов М.К. Северо-Дагестанский артезианский бассейн. – Махачкала: Дагкнигиздат, 1969. 92с.

12. Мамаев С.А., Кондаков В.М., Газалиев И.М., Курбанова Л.М., Гусейнова А.Ш., Мамаев А.С., Ахмедов А.С. Базы данных скважин Терско-Кумского артезианского бассейна для 3-d моделирования на современных геоинформационных системах // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2022. № 3(90). – С. 18-27.

13. Оценка обеспеченности населения Российской Федерации ресурсами подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения (методические рекомендации по проведению второго этапа работ) / Гидрогеологическая научно-производственная и проектная фирма «ГИДЕК». – М., 1995. – 72с.

14. Ревич Б.А., Авалиани С.Л., Тихонова Г.И. Экологическая эпидемиология. – М., изд. «ACADEMA», 2004.

15. Щербуль 3.3. Геоэкологические аспекты эксплуатации артезианских вод Северного Дагестана. // Вестник ДНЦ РАН. 2001. № 9. С. 48-52.

16. Щербуль 3.3. Опустынивание как следствие снижения уровня грунтовых вод. // Сб. научн.тр. Ин-та геологии ДНЦ РАН, вып.50, 2006, С.168-170.

УДК 553.5

DOI: 10.33580/2541-9684-2023-93-2-76-80

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИАБАЗОВ КУРДУЛЬСКОЙ ПЛОЩАДИ В КАЧЕСТВЕ СТРОИТЕЛЬНО-ДЕКОРАТИВНОГО МАТЕРИАЛА

*Сулейманов В.К., Юсупов А.Р.
Институт геологии ДФИЦ РАН*

Дано краткое описание района Курдульской площади: геология, рельеф, климат. Приведены краткие сведения о возможности использования диабазов Курдульской площади в виде сырья для производства базальтового волокна, а также результаты физико-механических испытаний образцов пород Курдульской площади. По результатам физико-механических испытаний установлена возможность изготовления щебня высокой прочности, а также декоративно-облицовочных плит, брусчатки и использование при ландшафтном дизайне. Охарактеризованы недостатки эксплуатации площади.

Ключевые слова: Курдульская площадь, Ахвай-Хурайская интрузия, магматические породы, диабазы, монзонит, слабощелочной базальт, физико-механические испытания, прочность, щебень, декоративно-облицовочный материал.

ABOUT THE POSSIBILITY OF USING KURDUL AREA DIABASES AS CONSTRUCTION AND DECORATIVE MATERIAL

*Suleymanov V.K., Yusupov A.R.
Institute of Geology DFIC RAS*

A brief description of the Kurdul area area is given: geology, relief, climate. Brief information is provided on the possibility of using diabases from the Kurdul area as raw materials for the production of basalt fiber, as well as the results of physical and mechanical tests of rock samples from the Kurdul area. Based on the results of physical and mechanical tests, the possibility of producing high-strength crushed stone, as well as decorative facing slabs, paving stones and use in landscape design was established. The disadvantages of operating the area are characterized.

Keywords: Kurdul area, Akhvay-Khurai intrusion, igneous rocks, diabases, monzonite, weakly alkaline basalt, physical and mechanical tests, strength, crushed stone, decorative facing material.

Как известно, архитекторы и дизайнеры применяют натуральный камень как для внутренней, так и внешней отделки зданий. В настоящей работе рассматриваются диабазы Курдульской площади в качестве строительного-декоративного материала.

Курдульская площадь охватывает бассейн р. Курдул и верховье р. Кябкчай и приурочена к юго-восточной части Горного Дагестана. Рельеф района резко пересеченный высокогорный. Абсолютные отметки колеблются в пределах от 1800м в долинах рек и до 3800м на водоразделах. Ряд вершин превышают отметки 3000м. Хребты с крутыми склонами в 30-40 градусов. Скальные стороны рельефа и осыпи широко развиты, прирусловые части долин часто непроходимы и нередко имеют вид каньонов. Горы покрыты альпийскими лугами, в основном безлесные с каменистыми осыпями. Климат района континентальный с умеренно жарким летом и холодной снежной зимой. Сложный рельеф и горно-долинные ветры играют ведущую роль в режиме температуры воздуха. Административно входит в Рутульский район.

Диабазы – это магматическая порода с высокой кислотостойкостью, что определяет их применение в качестве материала для кислотоупорной футеровки, а также (как и базальты) можно использовать для получения базальтового волокна.

В 2012- 2014 гг. ЦНИИгеолнеруд (Казань) проведены геологические исследования магматических пород этой площади. По их результатам выделена Ахвай-Хурайская интрузия диабазы которой возможно использовать в качестве однокомпонентного сырья для получения тон-

кого и супертонкого базальтового волокна. Было получено волокно, которое удовлетворяло требованиям промышленности по качеству используемого сырья [1, 2,3].

Геологическое строение района (рис. 1) характеризуется терригенными отложениями тоарского и ааленского ярусов юрской системы, которые представлены аргиллитами, алевролитами и песчаниками. Магматические образования представлены дайками диабазов, диабазовых порфиритов и малыми интрузиями габбро, габбро-диабазов, образующими протяженную полосу общекавказского простираения, являющуюся звеном Кахетинского диабазового пояса.

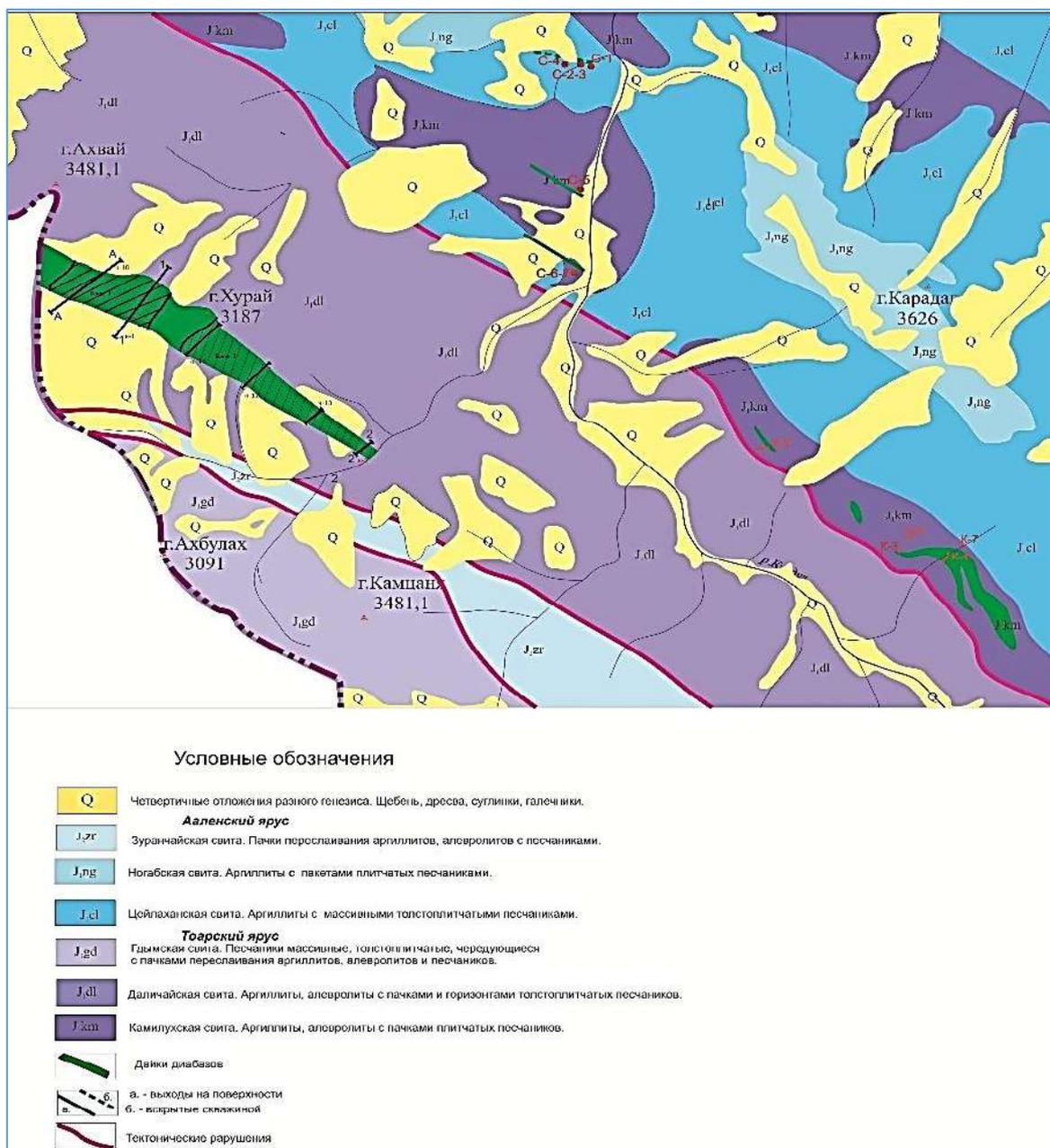


Рис. 1. Геологическая карта района расположения Курдульской площади

Проведенными в 2012-2014гг. геологическими исследованиями были выявлены диабазы двух видов [1,2,3] (рис. 2):

1. Породы магматического происхождения, определенные как «субщелочной базальт» с зеленовато-серым цветом, массивной неориентированной текстурой, мелкозернистые. Назва-

ние условное, так как имеют переходную структуру между характерными для базальтов и долеритов

2. Субщелочная порода промежуточная между сиенитом и габбродиоритом - монцонит массивной неориентированной текстуры, темно-зеленоватого цвета, мелкозернистый

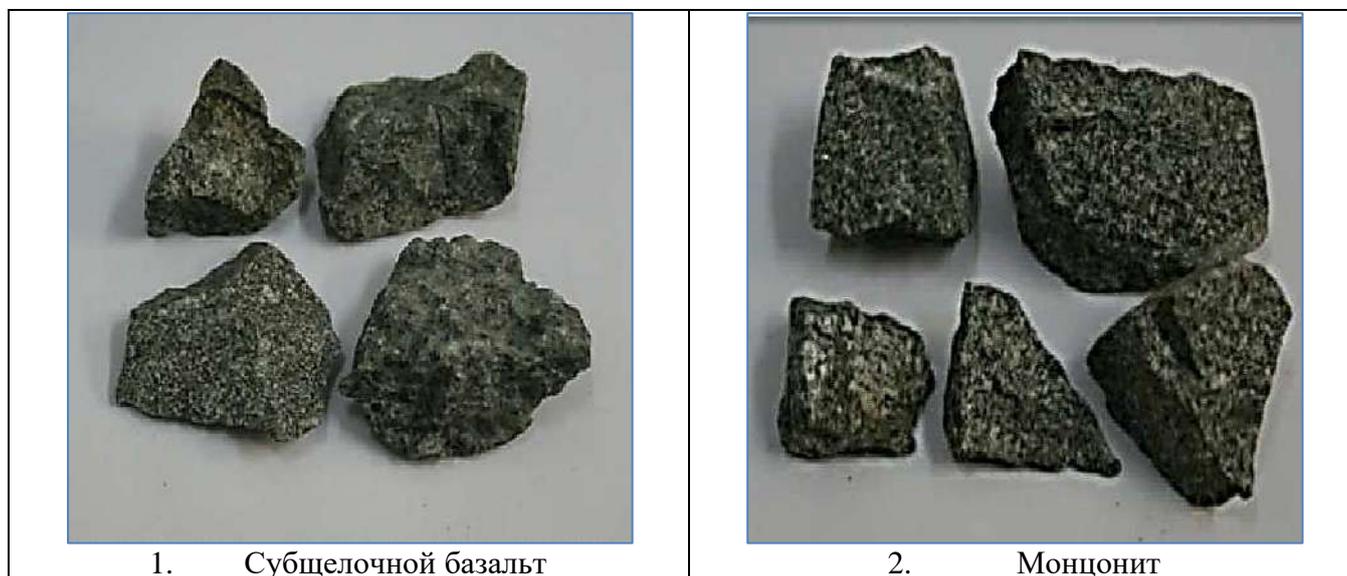


Рис. 2. Диабазы Ахвай-Хурайской интрузии Курдульской площади

Два образца, отобранные в аллювии рр. Курдул и Хумагань, для выяснения возможности использования их в качестве строительно-декоративного материала были подвергнуты физико-механическим испытаниям.

В соответствии с действующими стандартами определялись физико-механические свойства образцов. Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты физико-механических свойств образцов

Характеристики	Образцы	
	Субщелочной базальт	Монцонит
1. Марка по прочности при сжатии	1200	1400
2. Потеря массы при сжатии давлением 200кН	14,2%	11,0
3. Плотность г/см ³	2,78	2,79
4. Водопоглощение по массе %	0,1	0,2
5. Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и угловатой формы, % по массе	9,4	23,6

Результаты физико-механических испытаний (табл. 1) показали, что из пород можно производить высокопрочный щебень марок М1200 и М1400, соответствующий требованиям ГОСТ 8267-93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия».

Как известно, высокопрочный щебень этих марок применяется, при решении ответственных задач повышенной сложности, используется в верхних слоях «подушек» для дорожных покрытий, испытывающих максимальный уровень интенсивных нагрузок. Кроме того, габбро-

диабазы имеют все шансы вытеснить гранит, имеющий повышенную лещадность, что ведет к необходимости использования большего количества цемента, и прочие аналогичные материалы этого вида из производства бетонов высоких марок.

Не меньшую перспективу, исходя из вышеупомянутых показателей прочности, а также химической стойкости [1,2,3] и долговечности, может иметь и брусчатка из этого материала. Примером может служить Красная площадь, покрытая брусчаткой из Карельского габбро-диабазы.

Одним из лучших видов строительных и архитектурно-отделочных материалов по долговечности и декоративности является природный камень и, поэтому, исходя из прочностных характеристик (табл. 1), стойкости к различным механическим воздействиям, цвету и выразительной текстуре диабазы Курдульской площади могут быть использованы в строительстве зданий, а также в качестве отделочного материала и при изготовлении декоративных изделий.

Были изготовлены облицовочные плиты, путем распиловки глыб, образцы которых приведены на рисунке 3.



Рис. 3. Образцы полученных плиток

Последующая полировка придала камню насыщенный темно-зеленый тон. Шероховатый выглядит серым. Качественная обработка и полировка создает идеальную зеркальную поверхность, которая обладает красотой и изяществом, что позволяет применять этот камень в качестве облицовочного материала интерьеров и экстерьеров. Также можно изготовить плитку и из щебня применяя качественные связующие вещества

В качестве природного облицовочного камня в Дагестане используются в основном осадочные горные породы и в меньшей степени или практически не используются изверженные горные породы [4]. В связи с большим разнообразием естественных форм (крупные плоские сколы, оригинальные по конфигурации цельные глыбы и т.д.) породы могут быть использованы в современных проектах ландшафтного дизайна (альпийских горок, садовых дорожек, окаймлении прудов и фонтанов).

Рельеф района, как отмечалось выше, высокогорный, резко пересеченный с абсолютными отметками от 1800м до 3800м. Расположена площадь в районе со сложным рельефом, труднодоступна и удалена, глыбы имеют малые размеры. Все это является недостатком площади и делают в настоящее время не рентабельным разработку, хотя из диабазовых пород площади можно изготовить высокопрочный щебень, брусчатку и декоративно-облицовочную плитку

различных размеров и назначений, использовать в ландшафтном дизайне и как однокомпонентное сырье для получения базальтового волокна.

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

Литература

1. Багатаев Р.М. Исследование магматических пород Горного Дагестана для производства базальтового волокна. Евразийское Научное Объединение. 2019. № 1-2 (47). С. 110-116.
2. Шиляев А.И., Беляев Е.В., Калабеков У.К., Меньшикова Е.А. Диабазы Дагестана - источник сырья для производства базальтового волокна. Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2019. № 11-12 (250-251). С. 18-22.
3. Шиляев А.И., Беляев Е.В., Калабеков У.К., Меньшикова Е.А. Изучение возможности использования диабазовых пород республики Дагестан для производства базальтового волокна. Базальтовые технологии. 2018. № 1. С. 46-52.
4. Сулейманов В.К., Юсупов А.Р., Алимагомедов А.А. Нерудное строительное сырье Дагестана. Состояние использования. Труды ИГ ДНЦ РАН №3 (85). 2021. С. 83-91.

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 № ФС77-67725 от 10 ноября 2016 года

Ежеквартальный научный журнал
"Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН"
Выпуск № 2 (93) 2023

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 20.07.2023 г. Формат 60×84¹/₈.
Гарнитура «Таймс». Бумага офсетная. Печать ризографная.
Усл. п. л. 9,8. Уч.-изд. л. 4,7. Тираж 200 экз. Заказ №23-07-93.



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