



РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
Дагестанский федеральный
исследовательский центр РАН
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ

ISSN: 2541-9684

№ 3(98), 2024
Ежеквартальный
научный журнал

ТРУДЫ ИНСТИТУТА ГЕОЛОГИИ ДАГЕСТАНСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН

Учредитель: Издаётся по решению Ученого совета Зарегистрирован в федеральной службе по надзору в сфере связи и
ДФИЦ РАН. Института геологии ДФИЦ РАН. массовых коммуникаций Российской Федерации (Роскомнадзор).
Журнал выходит 4 раза в год. Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-81133 от 25.05.2021 г.

Научно-редакционный совет:

член-корреспондент НАН Азербайджана
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
д.ф.-м.н., профессор, Геофизический институт ВНЦ РАН,
д.г.-м.н., профессор, ИГиИС НАН Армении
д.ф.-м.н., Чеченская академия наук
член-корреспондент РАН, ОНЗ РАН
член-корреспондент РАН, д.ф.-м.н., профессор, ДФИЦ РАН
д.ф.-м.н., профессор, ДГУ
академик РАН, ГИН РАН

Алиева Э.Г.-М.
Алхасов А.Б.
Асхабов А.М.
Гаврилов Ю.О.
Глико А.О.
Заалишвили В.Б.
Карапетян Д.К.
Керимов И.А.
Морозов Ю.А.
Муртазаев А.К.
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., профессор, ДФИЦ РАН
д.т.н., профессор, ДГУ
д.т.н., профессор, ДГУ
д.ф.-м.н., профессор, ДГУ
к.г.-м.н., в.н.с., 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
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
н.с., ИГ ДФИЦ 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., (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.
Курбанисмаилов В.С.
Магомедов Р.А.
Маммаев О.А.
Мусаев М.А.
Таймазов Д.Г.
Темирбекова У.Т.
Тотурбиев Б.Д.
Юсупов А.Р.
Якубов А.З.
Гусейнова А.Ш.
Мамаев А.С.
Ахмедов А.С.

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

При использовании материалов ссылка на журнал обязательна.

Адрес редакции: 367030, г. Махачкала, ул. М. Ярагского, 75

Адрес издателя (типографии): 367002, г. Махачкала, ул. С. Стальского, 50

Сайт в сети интернет: <http://www.igdficran.ru>, e-mail: dangeogis@mail.ru, dangeo@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.igdficran.ru>

Научное направление журнала – НАУКИ О ЗЕМЛЕ

1.6.1. Общая и региональная геология. Геотектоника и геодинамика	Геолого-минералогические
1.6.2. Палеонтология и стратиграфия	Геолого-минералогические Биологические науки
1.6.4. Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поиска полезных ископаемых	Геолого-минералогические Технические
1.6.5. Литология	Геолого-минералогические
1.6.6. Гидрогеология	Геолого-минералогические
1.6.7. Инженерная геология, мерзотоведение и грунтоведение	Технические
1.6.9. Геофизика	Геолого-минералогические Физико-математические
1.6.10. Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения	Геолого-минералогические
1.6.11. Геология, поиски, разведка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений	Геолого-минералогические Технические
1.6.12. Физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов	Географические
1.6.14. Геоморфология и палеогеография	Географические
1.6.16. Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия	Физико-математические
1.6.20. Геоинформатика, картография	Физико-математические
1.6.21. Геоэкология	Геолого-минералогические Географические

ISSN: 2541-9684

Журнал является рецензируемым.

Журнал выходит 4 раза в год.

Тираж – 200 экземпляров

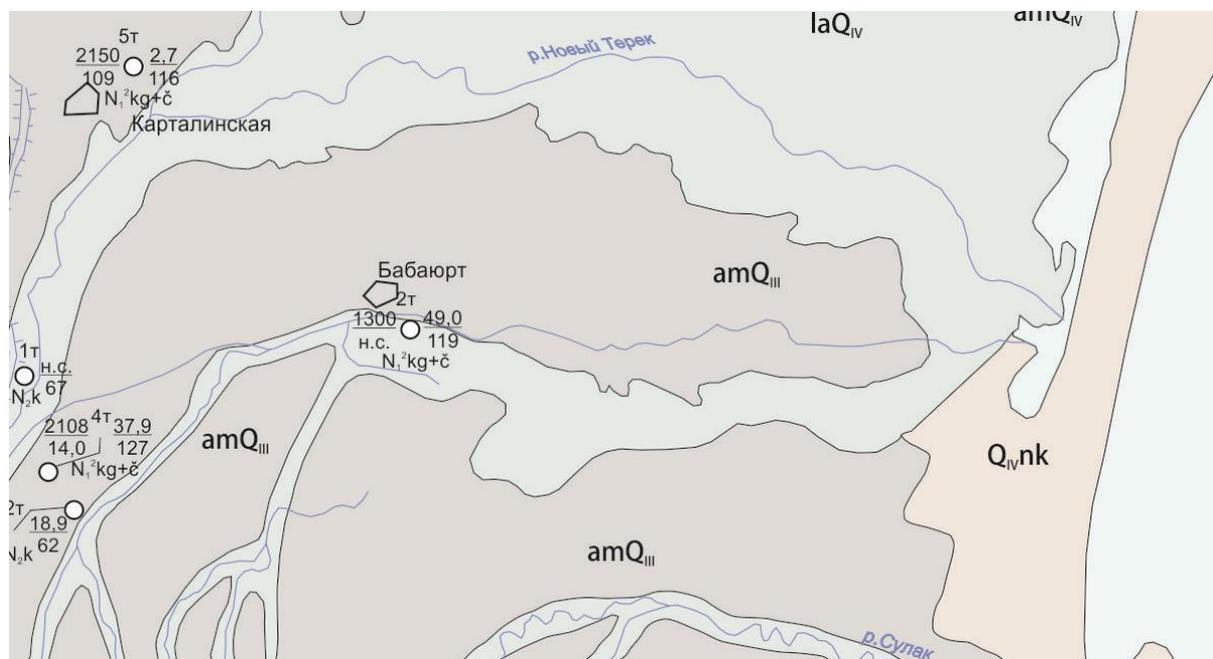
<http://elibrary.ru/> (РИНЦ)

<http://www.igdficran.ru>

СОДЕРЖАНИЕ

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И РЕЖИМ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ПРЕДЕЛАХ БАБАЮРТОВСКОГО РАЙОНА РД <i>Самедов Ш.Г.</i>	4
ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МАХАЧКАЛИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТЕРМАЛЬНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД <i>Курбанова Л.М.</i>	10
ОЦЕНКА ПРОЦЕССОВ РАДИОТЕПЛОГЕНЕРАЦИИ В ОСАДОЧНОЙ ТОЛЩЕ КАЯКЕНТСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ <i>Маммаев О.А., Маммаев Б.О.</i>	14
ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВУЛКАНИЧЕСКОГО ПЕПЛА ВО ВЗАИМОСВЯЗИ С ПРОЦЕССАМИ, ПРОТЕКАЮЩИМИ В НЁМ ПРИ ТЕПЛОВОЙ АКТИВАЦИИ <i>Гусейнов А.А., Юсупов А.Р.</i>	21
РАЗРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД, ВЫЗЫВАЕМЫЙ ЦИКЛИЧЕСКИМ ТЕМПЕРАТУРНЫМ РЕЖИМОМ <i>Идармачев Ш.Г., Магомедов А.Г., Идармачев А.Ш.</i>	29
МАКРОСЕЙСМИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ БЕЖТИНСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ СЕНТЯБРЯ 2021 г. <i>Асманов О.А., Магомедов Х.Д., Адиллов З.А.</i>	34
ОЩУТИМЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ДАГЕСТАНА И ЧЕЧЕНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ в 2020 г. <i>Асманов О.А., Адиллов З.А., Рагимов Т.Т.</i>	41
СЕЙСМИЧНОСТЬ ДАГЕСТАНА И ПРИГРАНИЧНЫХ РАЙОНОВ ЗА ПЕРИОД 2007-2013г.г. <i>Исаев М.А.</i>	49
СТАНЦИЯ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОРНЫХ ПОРОД STEM-04 <i>Марченко¹ М.Н. Идармачев² Ш.Г.</i>	56
ГЕОМОРФОЛОГИЯ РЕЧНЫХ ДОЛИН СЕВЕРНОГО СКЛОНА ВОСТОЧНОГО КАВКАЗА <i>Тульшиева Е.В., Юсупов А.Р.</i>	60
ОСОБЕННОСТИ И ГЕНЕЗИС ЗАВАЛЬНОЙ ПЛОТИНЫ КЕЗЕНОЙ-АМ <i>Маковозова З.Э., Васьков И.М., Цокова Б.Х.</i>	66
ПРИРОДНОЕ И АНТРОПОГЕННОЕ ВЛИЯНИЕ НА ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВЕРХОВЬЯ БАСЕЙНА РЕКИ АВАРСКОЕ КОЙСУ (РЕСПУБЛИКИ ДАГЕСТАН) <i>Черкашин В.И., Ибаев Ж.Г., Курбанисмаилова А.С., Исаева Н.А., Гусейнова А.Ш., Мамаев А.С., Ахмедов А.С.</i>	76
ЮБИЛЕЙНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СЕРГЕЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ. РЕГИОНАЛЬНАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ И ГЕОЭКОЛОГИЯ» <i>Мамаев С.А., Атаев З.В.</i>	83

Гидрогеологический разрез в Бабаюртовском районе представлен современными хвалынскими, хазарскими и древнекаспийскими отложениями. Под ними залегает песчано-глинистая толща апшеронских и акчагыльских отложений. Четвертичные отложения литологически представлены чередованием глин, мелко- и среднезернистых песков (рис. 1).



	Водоносный горизонт современных, аллювиально-делювиальных, озерно-аллювиальных, озерно-морских и аллювиально-морских отложений (a-dQ _{IV} , laQ _{IV} , lmQ _{IV} , amQ _{IV}). Галечники, пески, супеси, суглинки с линзами глин
	Воды спорадического распространения современных эоловых отложений. Пески
	Водоносный горизонт новокаспийского яруса. Пески, супеси
	Водоносный горизонт верхнечетвертичных аллювиальных, озерно-аллювиальных и аллювиально-морских отложений (laQ _{III} , amQ _{III}). Пески, супеси, галечники с линзами и прослоями глин
	Водоносный горизонт хвалынского яруса. Пески, галечники, суглинки, прослойки глин
	Водоносный горизонт хазарского яруса. Пески, суглинки, галечники с прослоями глин
	Водоносный горизонт нижне-среднечетвертичных аллювиально-делювиальных отложений бассейна реки Терек. Валунно-галечниковые отложения, пески, суглинки с линзовидными прослоями глин

Рис. 1 Гидрогеологическая карта района

В той или иной степени изученные и эксплуатируемые, в рассматриваемом районе, водоносные горизонты приурочены к четвертичной толще (хазарский и бакинский горизонты) и апшеронскому ярусу, глубина залегания кровли которого в среднем составляет 500 м.

В процессе обследования скважин в Бабаюртовском районе РД уточнялось местоположение и санитарно-техническое состояние скважин, изучался режим работы водозаборов, цель водопользования, химический состав подземных вод (ПВ).

Были выполнены исследования по изучению режима подземных вод во времени с отбором проб воды на химические анализы.

Объектами наблюдений на территории Республики Дагестан являются 13 основных водоносных горизонтов, широко используемых для хозяйственно-питьевого водоснабжения (ХПВ).

По ним разведаны 56 месторождений и участков, действует более 3,7 тыс. водозаборов и откартировано 46 участков загрязнения ПВ в пределах двух гидрогеологических структур II порядка – Восточно-Предкавказском артезианском бассейне (ВПАБ) и Большекавказской гидрогеологической складчатой области (БГСО) [1,4].

Размещение наблюдательных пунктов в пределах артезианских бассейнов неравномерно.

В Восточно-Предкавказском АБ - 66% наблюдательной сети расположено в пределах северной части АБ, 6% - центральной части АБ и 28% - южной части АБ.

В Бабаюртовском районе действуют 10 государственных опорных наблюдательных сетей (ГОНС) и 1 специализированный наблюдательный объект (СНО) (табл. 1).

Таблица 1

Состав и структура наблюдательной сети мониторинга подземных вод на территории Бабаюртовского района.

Количество действующих наблюдательных пунктов				Количество действующих специализированных наблюдательных объектов (СНО)	
Всего	по характеру режима		по принадлежности		
		естественный	нарушенный	ГОНС	ЛНС
10	-	10	10	-	1

Оценка гидродинамического и гидрохимического состояния подземных вод в нарушенных условиях выполнена по эксплуатационному морскому эоплейстоценовому ($Q_{Еар}$) и морскому нижнеэоплейстоценовому (Q_{1b}) водоносному комплексу (ВК) расположенных вне действующих водозаборов подземных вод.

По метеорологическим данным 2021-2023 годы на территории Республики можно отнести к засушливым, при этом 2022г., в северной части Республики по осадкам был на уровне средне-многолетних значений, а период 2023г осадки были чуть выше 2022г. В целом количество выпавших осадков в северной части Республике было чуть ниже среднемноголетних значений, при этом температурный фон продолжал повышаться (рис. 2).

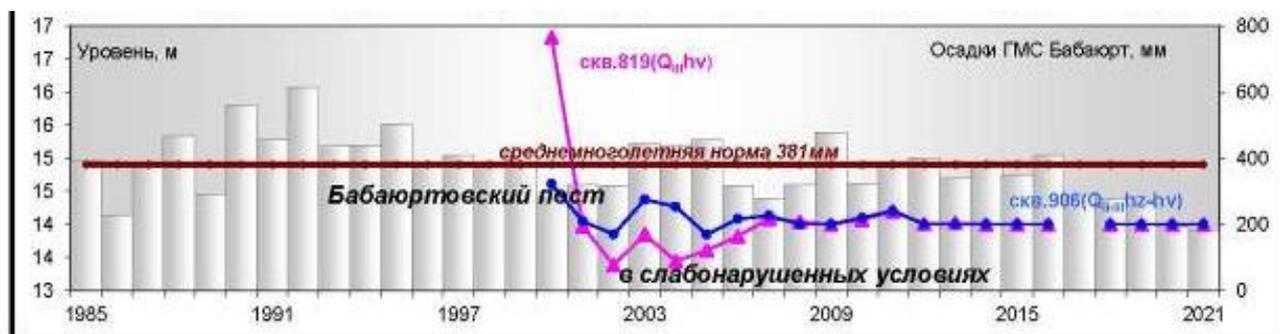


Рис. 2. Температурный режим грунтовых и слабонапорных подземных вод в пределах Бабаюртовского района

Особенности гидрометеорологического режима отразились и на гидродинамическом режиме грунтовых и слабонапорных вод в естественных и слабонарушенных условиях.

По Бабаюртовскому посту ГОНС уровни, в сравнении с тем же периодом 2022г ниже на 0,06-0,50 м. В сравнении со среднемноголетними значениями они остаются, в основном, выше на 0,03-0,22 м, от первоначальных уровни выше на 0,06-0,46м. Амплитуда колебаний уровня составила от 0,30 до 1,51 м (рис. 3).

По результатам гидрохимического опробования основных водоносных горизонтов в пределах Бабаюртовской площади загрязнения (Бабаюртовский пост) по морскому эоплейстоценовому водоносному горизонту фиксируется повышенное содержание мышьяка до 30,1 ПДК, бора 3,2 ПДК, брома 1,1 ПДК (табл. 2), по аммоний 7,1 ПДК и кремния 3,1 ПДК в 2023г (табл. 3, рис. 4).

По морскому нижненеоплейстоценовому и средне-верхненеоплейстоценовому водоносным горизонтам вновь отмечено превышение по сухому остатку 1,2-1,3 ПДК и общей жесткости до 1,6 ПДК (табл. 3), но снизилась содержание по сульфатам с 1,2 ПДК до ниже ПДК. Площадь загрязнения в сравнении с 2022 г. не изменилась и составляет 22,2 км² (табл. 4).

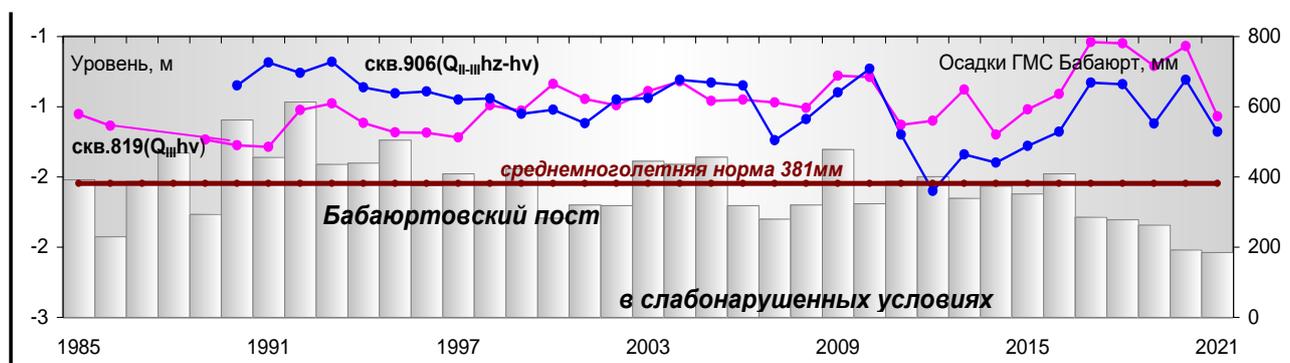
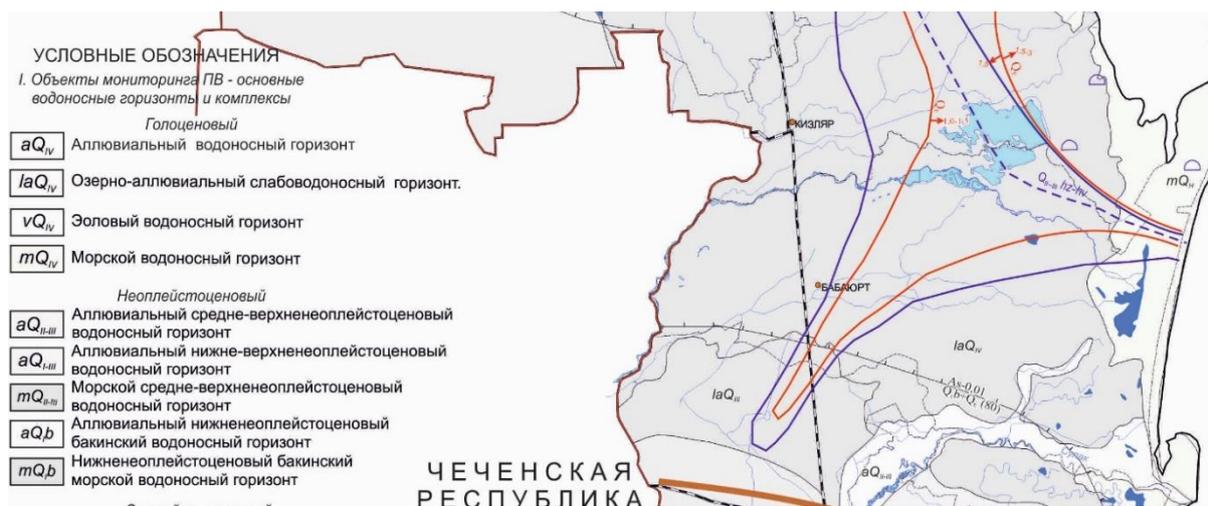


Рис. 3. Гидродинамический режим грунтовых и слабонапорных подземных вод в пределах Бабаюртовского района

По результатам оценки режима подземных вод в пределах Бабаюртовского района необходимо отметить, что по макрокомпонентным показателям в разрезе от средне-верхненеоплейстоценовых до эоплейстоценового ВГ отмечено снижение величины сухого остатка и нитритов: по средне-верхненеоплейстоценовому сухой остаток с 1,4 ПДК до ПДК, нитриты не превышают предельно допустимых концентраций, по нижненеоплейстоценовому ВГ величина сухого остатка снизилась с 1,4-1,6 ПДК до 1,3 ПДК, по эоплейстоценовому ВГ величина сухого остатка и концентрация нитритов, в основном в пределах предельно допустимых концентраций [1-7].

При этом отмечено резкое возрастание значений общей жесткости практически по всем эксплуатационным горизонтам, особенно это характерно для нижненеоплейстоценового и эоплейстоценового ВГ до 1,61 ПДК. Качество подземных вод на большей части территории Ногайского района не отвечают требованиям СанПиН 1.2.3685-21.

При составлении данного заключения использованы фондовые материалы, находящиеся в информационной базе Института геологии ДФИЦ РАН.



II - Изолинии гидрохимических аномалий

\uparrow As \uparrow $Q_{Ib} + Q_E(80)$	мышьяк (стрелка указывает направление увеличения концентрации). Индекс – водоносный горизонт (комплекс), где выявлено превышение ПДК компонента. Цифра в скобках – процент скважин от общего их числа, где выявлено превышение ПДК компонента
Q_E \uparrow \downarrow	по апшеронскому ВК (стрелка указывает увеличение – снижение величины минерализации, г/дм ³)

Рис. 4 Схематическая карта природного несоответствия качества подземных вод в пределах Бабаюртовского района

Таблица 2

Результаты гидрохимического опробования подземных вод на общий химический анализ по ГОНС за 2023г.

№ п/п	Номер ПН	Дата отбора	Номер пробы	Единица измер. веществ	НСО ₃	Cl ⁻	SO ₄	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺ и K ⁺	PH	Сухой остаток мг/дм ³	Жесткость общая мг-экв/дм ³	NH ₄	NO ₂	NO ₃	Fe		
Бабаюртовский пост																			
1	902	24.05.23	312	мг/л	548,8	31,3	108,8	11,5	6,5	264,5	8,0	712	1,1	0,35	0,05	<0,1	0,05		
				мг-экв/л	9,4	0,9	2,3	0,6	0,5	11,5									
				% экв	74,5	7,3	18,2	4,8	3,9	91,3									
2	903	24.05.23	313	мг/л	317,1	123,7	582,7	217,2	65,1	112,7	7,7	1272	16,1	0,20	<0,01	<0,1	0,12		
				мг-экв/л	5,4	3,5	12,1	10,5	5,3	4,9									
				% экв	25,7	16,7	57,8	51,4	25,2	23,4									
3	904	24.05.23	314	мг/л	451,3	78,6	338,8	101,2	28,6	218,5	7,9	1000	7,3	0,96	0,41	<0,1	0,15		
				мг-экв/л	7,6	2,2	7,0	5,0	2,3	9,5									
				% экв	45,2	13,1	41,7	29,8	13,7	56,5									
4	905	24.05.23	315	мг/л	651,0	80,3	390,6	116,7	24,5	280,6	8,1	1192	7,8	0,41	<0,01	<0,1	0,06		
				мг-экв/л	9,6	2,3	8,1	5,8	2,0	12,2									
				% экв	48,0	11,5	40,5	29,0	10,0	61,0									

Таблица 3

Гидрохимическое состояние ПВ в пределах Бабаюртовского района

№ н.п.	Год опробования	Сухой остаток мг/дм ³	Аммоний, мг/дм ³	Нитриты, мг/дм ³	Нитраты, мг/дм ³	Общая жесткость мг-экв/дм ³	Нефте-продукты, мг/дм ³	As, мг/дм ³	Si, мг/дм ³	B, мг/дм ³	Mn, мг/дм ³	Bг, мг/дм ³
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ПДК, мг/дм ³		1000	1,5	3,3	45,0	7	0,1	0,01	20-25	0,5	0,1	0,2
морской эоплейстоценовый водоносный горизонт												
902	2022	863	0,17	<0,01	<0,1	1,4		0,02	32,9	1,7	0,048	0,4
	2023	712	0,35	0,05	<0,1	1,1		0,301	30,9	1,62	0,047	0,22

морской нижнеолейстоценовый водоносный горизонт										
903	2022	1402	0,48	0,54	0,1	13,1				
	2023	1272	0,20	<0,01	0,1	16,1				
морской средне-верхнеолейстоценовый водоносный горизонт										
904	2022	1124	1,24	<0,01	<0,1	7,0				
	2023	1000	0,96	0,41	<0,1	7,3				
905	2022	1178	1,86	0,42	<0,1	8,2				
	2023	1192	0,41	<0,01	<0,1	7,8				

Таблица 4

Участок загрязнения подземных вод, выявленный и обследованный на территории Бабаюртовского района в 2023 г.

№№ п/п	Участок загрязнения	Источник загрязнения	Площадь загрязнения, км ² 2021 2022	№№ скв.	Наименование загрязняющих веществ	Концентрация загрязняющих веществ и показателей загрязнения, мг/дм ³	Величина норматива мг/дм ³	интенсивность загрязнения, мг/дм ³	Класс опасности Загрязняющего	Водоносный горизонт (комплекс)		Глубина, м		
										индекс	наименование	кровли ВГ	подачи ВГ	уровня воды
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Бабаюртовская площадь, с.Хамаматюрт-Бабаюрт-Новокаре-Аксай	Разработка нефтяных месторождений, на территории ЧР	222 222	902	мышьяк	0,301	0,01	30,1	1	Q _{еар}	Эоплейстоценовый (апшеронский)	419	470	+6,19
					бром	0,22	0,2	1,1	2					
					бор	1,62	0,5	3,2	2					
				903	сухой остаток	1272	1000	1,3	не опред.	Q _{1b}	Нижнео-плейстоцено-вый (бакинский)	212	257	+3,06
					жесткость	16,40	7,0	2,3	не опред.					
				904	жесткость	7,30	7,0	1,0	не опред.	mQ ₂	Среднео-плейстоцено-вый (хазарский)	157	170	+2,42
905	сухой остаток	1192	1000	1,2	не опред.	mQ ₂	Среднео-плейстоцено-вый (хазарский)	60	130	+0,85				
	жесткость	7,80	7,0	1,1	не опред.									

Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания ИГ ДФИЦ РАН по теме НИР Рег. номер НИОКТР 122032200276-7.

Литература

- Самедов Ш.Г. Гидрохимический режим подземных вод Низменного Дагестана (в пределах Кизлярского района) // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа (ГЕОКАВКАЗ 2023). Том XIII / Науч. ред. И.А. Керимов, В.А. Широкова, В.Б. Заалишвили, В.И. Черкашин. М.: ИИЕТ РАН, 2023. с. 600-606. DOI: 10.26200/GSTOU.2023.66.88.080
- Самедов Ш.Г., Газалиев И.М., Ибрагимова Т.И. Экологические аспекты рационального использования подземных вод Терско-Кумского артезианского бассейна. // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. 2023. № 2 (93) С. 56-60. DOI: 10.33580/2541-9684-2023-93-2-56-60
- Самедов Ш.Г., Газалиев И.М., Юрченко Св.А. Гидродинамический режим подземных вод Терско-Кумского артезианского бассейна в пределах Дагестана. // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. 2023. № 3 (94) С. 55-60. DOI: 10.33580/2541-9684-2023-94-3-55-60
- Самедов Ш.Г., Газалиев И.М. Гидродинамический и гидрохимический режим Сулакского месторождения пресных подземных вод (Республика Дагестан). // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. 2023. № 4 (95) С. 64-69. DOI: 10.33580/2541-9684-2023-95-4-64-69
- Черкашин В.И., Мамаев С.А., Газалиев И.М., Гусейнова А.Ш., Мамаев А.С. Курбанова Л.М., Самедов Ш.Г., Курбанисмаилова А.С. Многолетняя эксплуатации Северо-Дагестанского Артезианского Бассейна-проблемы и пути их решения // Труды Института геологии ДНЦ РАН. 2023. № 2 (93) С. 61-75. DOI: 10.33580/2541-9684-2023-93-2-61-75

УДК 504.43, 504.054

DOI: 10.33580/2541-9684-2024-98-3-10-13

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МАХАЧКАЛИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТЕРМАЛЬНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД

Курбанова Л.М.

Институт геологии ДФИЦ РАН

В статье рассматриваются экологические проблемы, связанные с эксплуатацией геотермальных месторождений в городских условиях на примере Махачкалинского месторождения термоминеральных вод.

Ключевые слова: геотермальное месторождение, термоминеральные воды, экология, загрязнение подземных вод.

GEOECOLOGICAL FEATURES OF THE MAKHACHKALA THERMAL MINERAL WATER DEPOSIT

Kurbanova L.M.

Institute of Geology of the Russian Academy of Sciences

The article discusses the environmental problems associated with the exploitation of geothermal deposits in urban conditions using the example of the Makhachkala thermomineral water deposit.

Keywords: geothermal deposit, thermomineral waters, ecology, groundwater pollution.

Появление и рост крупных городских агломераций оказывают влияние на все компоненты географической среды: атмосферу, биосферу, литосферу, гидросферу, в том числе на подземные воды. Несмотря на относительную защищенность, подземные воды, как компонент экосистемы, занимают один из нижних энергетических уровней в гравитационном поле Земли, что обуславливает их способность к накоплению загрязняющих веществ.

Экологические проблемы, связанные с добычей и эксплуатацией подземных вод, имеют двоякое направление:

- 1) воздействие подземных вод на окружающую среду;
- 2) воздействие, которому подвергаются сами подземные воды.

Воздействие на окружающую природную среду в результате эксплуатации геотермальных скважин связано с количеством, составом, температурой и другими параметрами подземных термальных вод.

Термальные воды очень часто содержат метан (CH_4), углекислый газ (CO_2), аммиак (NH_3), сульфид серы (H_2S), поваренную соль (NaCl), бор (B), ртуть (Hg), мышьяк (As), и другие химические соединения, которые ядовиты в больших концентрациях [1]. Эксплуатация геотермальных скважин приводит к выбросу этих веществ на поверхность, загрязняя поверхностные воды, почвы; и в атмосферу, что, в свою очередь, может привести к нарушениям атмосферной циркуляции, повышению температуры, изменению режима осадков и испарения, и, глобально, к усилению континентальности климата.

Сбрасываемые на поверхность земли термальные минеральные воды засоляют почвы, меняют их состав, лишают их растительного покрова, что в свою очередь может привести к изменениям ландшафтов.

Воды термальных скважин влияют на состав и качество вод прилегающих к ним других водоисточников, загрязняя их органическими и неорганическими веществами.

Добыча термальной воды из водоносных пластов со временем может вызывать просадку с образованием депрессионных воронок, а также подвижки грунта и другие деформации геологических слоев, что в свою очередь, может спровоцировать микросейсмичность.

Геотермальная энергетика хотя и считается экологически чистой, отрицательное воздействие всё же имеется. Оно связано, прежде всего, с добычей и эксплуатацией собственно термальных вод: тепловое загрязнение атмосферы и химическое – воды и почвы, а также

образование твёрдых отходов. Однако выбросы загрязняющих веществ на ГеоЭС в среднем ниже, чем на ТЭС. Например, выбросы углекислого газа на каждый киловатт-час выработанной электроэнергии составляют до 380 г на ГеоЭС, 1042 г – на угольных ТЭС, 906 г – на мазутных и 453 г – на газовых ТЭС.

Подземные воды геотермальных скважин в процессе эксплуатации и сами подвергаются загрязнению. Особенно актуальна проблема, связанная с негативным воздействием различных факторов на термоминеральные воды на газонефтяных месторождениях. Масштабность техногенного воздействия разведки и разработки месторождений углеводородов на подземные воды зависят от геологического строения, гидродинамических и термобарических условий, технологии эксплуатации нефте-водоносных комплексов. В районах интенсивной разработки и эксплуатации нефтегазоносных месторождений антропогенное воздействие на подземные воды в процессе строительства и эксплуатации скважин весьма значительно: отходы бурения (химические реагенты для приготовления буровых растворов, отработанные буровые растворы, буровой шлам, буровые сточные воды) представляют угрозу для подземных вод. Загрязняются подземные воды и от утечки нефти из подземных нефтехранилищ и от прорывов нефтепроводов. Основным источником загрязнения подземных вод в районах нефтедобычи и нефтепереработки являются фенолы, углеводороды.

Большую экологическую угрозу для подземных вод представляет сельскохозяйственная деятельность – обработка растений ядохимикатами, отходы животноводческих комплексов, стоки с полей орошения, хранилищ химических реагентов и удобрений. К наиболее часто упоминаемым загрязнителям, поступающим из этих источников, относятся нитраты, пестициды, летучие органические соединения, бензо-продукты, металлы и синтетические органические химикаты.

Источниками биологического воздействия являются сточные воды пищевой и кожевенной промышленности, стоки с мест захоронения бытовых отходов, особенно крупных городов, городских кладбищ, неочищенные канализационные стоки также являются крупными источниками загрязнения подземных вод. Из этих источников разнообразные органические соединения и патогенные микроорганизмы попадают в почву и подземные воды. По данным санэпидемстанций патогенные кишечные палочки обнаруживаются в подземных водах на глубине до 300 м.

Экологическую угрозу для подземных вод содержат стоки с заброшенных хранилищ вредных отходов химической, металлургической, горнодобывающей отраслей промышленности – синтетические органические химикаты, тяжелые металлы.

Энергетические предприятия также оказывают негативное воздействие на подземные воды. С атомной энергетикой, которая считается «чистой», связаны два негативных фактора, очень опасных для подземных вод и экосистемы в целом. Во первых, производство и подготовка ядерного топлива и тепловыделяющих элементов реактора сопровождаются сбросом и необходимостью очистки токсичных сточных вод, что связано с рисками выброса их наружу. Вторая проблема – это утилизация или захоронение отработанного ядерного топлива: радиоактивные отходы хранятся в открытых водоемах, что может привести к проникновению радиоактивных веществ в подземные воды.

Махачкалинское месторождение термальных минеральных вод включает непосредственно месторождение Махачкала, а также прилегающие участки: Тарнаир, Ленинкент, Караман, Каспийск, Талги, Димитровский и Таркинский участки, Манас, Ачису. Хотя месторождение было открыто в еще 1950 году, оно до сих пор окончательно не оконтурено, особенно в северо-восточном и юго-западном направлениях. В настоящее время на месторождении около 40 эксплуатационных скважин, часть из которых добывает теплоэнергетические и минеральные воды.

Месторождение занимает составную часть крупной геотектонической структуры – Дагестанского клина и представляет собой ряд антиклинальных и синклиналиных структур Наратюбинской складчатой зоны, которые осложнены тектоническими разрывами [2]. Геолого-структурные особенности локальных участков и гидрогеологические особенности их, а именно:

гидродинамическая и гидрохимическая взаимосвязь, минерализация, химический и изотопно-геохимический состав, температуры и геотермические градиенты водоносных комплексов, позволяют объединить ряд ближайших участков термальных вод в единое крупное месторождение термоминеральных вод. Месторождение характеризуется наличием ряда нефтегазоносных структур в палеоген-неогеновых отложениях, разведанных бурением, где наряду с нефтью и газом вскрыты многочисленные фонтаны термоминеральных вод.

Сложено месторождение толщей мезо-кайнозойских песчано-глинистых и карбонатных отложений мощностью 5000-5500 м.

В разрезе среднего миоцена выделяется 6 чокракских и 2 караганских высокопроницаемых водоносных песчаниковых пачек, эффективная мощность которых достигает 40-90 м. Дебиты вод в среднем составляют 1500-2000 м³/сут при самоизливе, гидростатические давления на устье 3-15 атм, температура 65-105°С. Водопроницаемость составляет 40-105 м²/сут, пористость – 0,5-1,2 дарси, продуктивность – 200-1000 м³/сут/атм, газовый фактор 1200-1500 см³/л. Геотермический градиент в сводовой части месторождения составляет 4-4,25°С/100м, снижается до 2,8°С/100м на крыльях (скв. № 215), а в северо-западной части месторождения возрастает до 5,2-6,2°С/100м, что связано с восходящим движением гидротерм вдоль дизъюнктивных нарушений. Об этом свидетельствует также аномально высокая температура в скв. 31Т (105°С в приустьевой зоне и 119,5°С на глубине 2324-2293м), резкое увеличение минерализации вод (28 г/л) при росте содержания хлорида натрия и повышенные концентрации микроэлементов (в мг/л): йода – 7,2, бора – 25, брома – 50 и нафтеновых кислот – 3-4 [3].

Естественные запасы термальных вод среднемиоценовых отложений на площади 54 км², составляют 3,6 км³, а их модули колеблются от 15 до 30 млн. км³/км². Эксплуатационные запасы месторождения утверждены в объеме 23200 м³/сут или 8,5 млн. м³/год [4].

В разрезе мезозоя наибольший интерес в гидрогеологическом и нефтегазоносном отношении представляют верхнемеловой комплекс известняков мощностью 400-500 м, залегающих в среднем на глубинах 3400-4500 м, с пластовыми давлениями 45-55 МПа, температурами 150-170°С. Верхнемеловая нефтяная залежь впервые была открыта скв. № 220М. При испытании пластов трещиноватых известняков на глубине 3505 м был получен газонефтяной фонтан дебитом 134 тыс. м³/сут газа и 96 т/сут нефти. При этом пластовая температура составляла 152°С, давление 48,0 МПа, средневзвешенная пористость 0,82%. В последующем на верхний мел были пробурены десятки скважин, которые дали промышленные притоки нефти и газа, в основном на Таркинском и собственно Махачкалинском участках.

Термальные минеральные воды Махачкалинского месторождения имеют приоритетное значение в бальнеологии, однако широко используются и в теплоэнергетике. Формирование месторождения началось с бурения поисковых скважин на нефть, которые давали попутные воды с температурой 60-70°С, что и определило главную экологическую проблему освоения геотермальных ресурсов – высокое содержание в них фенолов.

К примеру, в термальных водах Тарнаирского участка месторождения количество фенолов превышает допустимые нормы (0,001 мг/л) в несколько тысяч раз (табл.1).

В пределах Таркинского участка и Димитровского газоконденсатного месторождения происходит сброс на поверхность неочищенных попутных вод, которые содержат фенолы, нефтепродукты, тяжелые металлы в концентрациях, во много раз превышающих ПДК.

Высокоминерализованные сероводородные термоминеральные воды Талгинского месторождения также без какой-либо очистки сбрасываются на поверхность, что приводит к многолетнему загрязнению прилегающих земель химическими компонентами и, вследствие этого, изменению состава почв, растительности и в целом ландшафта [5].

Бесконтрольный сброс термальных вод на поверхность на многих участках приводит к загрязнению прибрежных вод Каспийского моря органическими и неорганическими веществами. В частности на Таркинском и Димитровском газоконденсатных месторождениях,

расположенных вблизи Махачкалинского взморья, эпизодически происходит загрязнение природной среды попутными нефтяными водами. Без всякой очистки сбрасываются в окружающую природную среду высокоминерализованные йодо-бромные и сероводородные термоминеральные воды на Манасском участке месторождения.

Таблица 1.

Содержание фенолов в подземных водах месторождения Тарнаир.

№ скв.	Фенолы, мг/л
27Т	6,336
28Т	9,25
30Т	1,25
31Т	11,2
32Т	7,21
35Т	12,5
41Т	0,0023
43Т	2,7
44Т	15,0
45Т	8,0

Выброс в атмосферу газов, сопровождающих эксплуатацию геотермального месторождения, также оказывает негативное влияние на формирование воздушного пространства.

Помимо техногенных источников загрязнения существует также и естественное загрязнение подземных вод мышьяком, концентрация которого в пределах северной окраины Махачкалинского месторождения (Караман), составляет в среднем 2-3 ПДК [6].

Экологические проблемы эксплуатации геотермальных скважин связаны с неполной утилизацией отработанных некондиционных вод. Решать эти проблемы позволит только комплексное использования термальных вод с полной утилизацией [7].

В общем, термальные минеральные воды – это полезное ископаемое многоцелевого назначения и их оптимальное использование является решением экологических проблем, как для самих вод, так и для объектов природной среды, подверженной их воздействию.

Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания ИГ ДФИЦ РАН по теме НИР Рег. номер НИОКТР 122032200276-7.

Литература

1. Курбанова Л.М. Редкие элементы в подземных водах мезозойских отложений Платформенного Дагестана // Труды ИГ ДНЦ РАН. 2022. №2 (89). С. 41-45.
2. Гаджиев А.Г., Курбанов М.К., Суевнов В.В. и др. Проблемы геотермальной энергетики Дагестана. – М.: Недра, 1980. 208 с.
3. Курбанов М.К. Геотермальные и гидроминеральные ресурсы Восточного Кавказа и Предкавказья. – М.: Наука, 2001. 260 с.
4. 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. Т. 28. № 2 (91). 2022. С. 94-101.
5. Курбанова Л.М. Бальнеологический потенциал минеральных вод Дагестана Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. 2021. № 4 (87). С. 76-79.
6. Курбанова Л.М., Самедов Ш.Г., Газалиев И.М., Абдулмуталимова Т.О. Мышьяк в подземных водах Северо-Дагестанского артезианского бассейна / Геохимия. 2013, №3. С. 262-265.
7. Курбанова Л.М. Экологическая оценка Берикейского геотермального месторождения // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. № 4 (87). 2021. С. 80-82.

УДК: 546.791:631.4

DOI: 10.33580/2541-9684-2024-98-3-14-20

ОЦЕНКА ПРОЦЕССОВ РАДИОТЕПЛОГЕНЕРАЦИИ В ОСАДОЧНОЙ ТОЛЩЕ КАЯКЕНТСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Маммаев^{1,2} О.А., Маммаев² Б.О.

*¹ Институт проблем геотермии и возобновляемой энергетики – филиал
Объединенного института высоких температур РАН, ² Институт геологии ДФИЦ РАН*

Проведен анализ геолого-структурного и литолого-стратиграфического строения осадочной толщи месторождения Каякент. На основе фондовых и литературных данных систематизированы содержания естественных радиоактивных элементов (U, Th, K) в горных породах осадочной толщи. Проведена оценка процессов радиотеплогенерации за счет распада радиоактивных элементов и их вклада в наблюдаемый на поверхности тепловой поток.

Ключевые слова. радиотеплогенерация, горные породы, естественные радиоактивные элементы (ЕРЭ), тепловой поток.

ASSESSMENT OF RADIO HEAT GENERATION PROCESSES IN THE SEDIMENTARY THICKNESS OF THE KAYAKENT DEPOSIT

Mammaev^{1,2} O.A., Mammaev² B.O.

*¹Institute of Geothermal and Renewable Energy Problems – branch of the Joint Institute for High
Temperatures of the Russian Academy of Sciences, ²Institute of Geology of the Far Eastern Federal
Research Center of the Russian Academy of Sciences*

The analysis of the geological-structural and lithological-stratigraphic structure of the sedimentary stratum of the Kayakent deposit was carried out. Based on the archive and literature data, the contents of natural radioactive elements (U, Th, K) in the rocks of the sedimentary stratum were systematized. The processes of radio-heat generation due to the decay of radioactive elements and their contribution to the heat flow observed on the surface were assessed.

Keywords: radio-heat generation, rocks, natural radioactive elements (NRE), heat flow.

Путем анализа и систематизации геолого-структурных и литолого-стратиграфических данных по Каякентскому месторождению геотермальных вод составлена геолого-физическая модель осадочной толщи.

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.

Поверхность Каякентской площади довольно ровная, слабо наклонена в сторону моря. По простиранию складки прослеживаются 2–3 террасы. В некоторых местах наблюдаются еще небольшие бугры и вытянутые увалы, приуроченные к выходам чокракско–караганских песчаников. Часть складки, залитая водами моря, имеет слабо выгнутую поверхность, иногда осложненную подводными песчаными валами. По берегу моря вытягиваются гряды песчаных дюн.

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

Ядро складки слагается песчано-глинистой толщей чокракского горизонта, а на крыльях и периклиналях обнажаются отложения караганского и конкского горизонтов и сарматского яруса. Ряд глубоких скважин полностью вскрывает майкопскую свиту, хадумский горизонт, фораминиферовую свиту и верхний мел. Подавляющее большинство скважин заложено в отложениях чокракского и караганского горизонтов и лишь некоторые пробурены в породах сарматского яруса.

Верхнесарматский подъярус, обнажаясь на далеких участках обоих крыльев, слагается двумя толщами. Вверху залегает известняково-песчаниковая толща, представленная чередующимися пластами известняков, песчаников и сильно песчаных глин. Видимая мощность ее около 240 м.

На обоих крыльях и северо-западной периклинали обнажаются темно-серые, песчаные, слабо карбонатные глины среднего сармата, мощностью от 600 до 750 м. Среднесарматские отложения в очень малом количестве содержат типичную для них фауну.

Далее вскрываются глинистые породы нижнего сармата, содержащие в основании пачки чередующихся пластов глин и мергелей. Мощность подъяруса колеблется от 250 до 350 м.

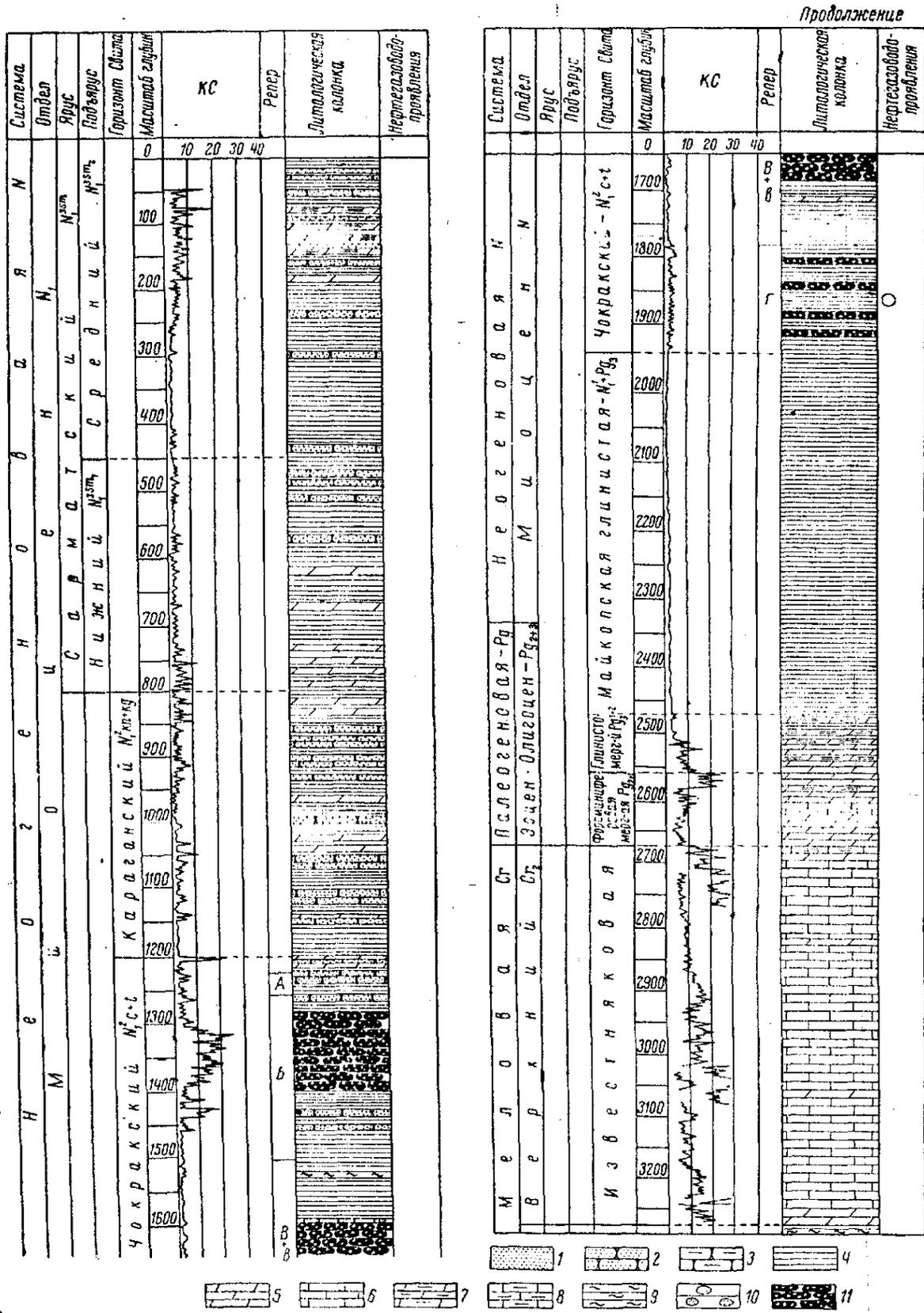
Впервые для Дагестана в разрезе Каякентского месторождения И.О. Бродом были выведены отложения конкского горизонта, представленные чередованием темных, почти черных, хорошо слоистых глин с серыми, светло-серыми и зеленоватыми глинами, рыхлыми песчаниками и многочисленными железистыми мергелями, общей мощностью от 50 до 80 м. Караганский горизонт по своему литологическому составу ничем не отличается от разрезов, наблюдаемых в других районах Дагестана. Как известно, он выражен толщей, в которой прослой песчаников и глин переслаиваются с тонкими слоями мергелей, суммарной мощностью около 375–400 м.

Разрез чокракского горизонта в Каякенте является переходным от северных районов к южным. Здесь уже не наблюдается мощные песчаниковые свиты, которые так характерны для Северного Дагестана, Ачи-Су и Избербаша. Особенно большие изменения происходят в нижней части разреза. Если вверху еще можно выделить гяуртапинскую серию и песчаниковые свиты («А», «Б»), то ниже свиты «б», «В», «в», «Г» и «г» представляют собой единую глинисто-песчаниковую толщу, в которой на разных отметках встречаются линзы и дайки мелкозернистых песчаников и прослой сильно песчаных глин.

Под чокракско-тарханскими отложениями скважины вскрывают глины майкопской свиты, мощностью от 550 до 600 м, а также хадумский горизонт и фораминиферовую свиту.

Хадумский горизонт, выраженный чередованием плотных мергелистых глин с трещиноватыми мергелями, имеет мощность от 50 до 95 м. По аналогии с соседним Берикейским районом, где хадумский горизонт с разрывом ложится на отложения фораминиферовой свиты, есть

основания считать, что и в Каякенте хадумский горизонт несогласно, с разрывом перекрывает породы фораминиферовой свиты.



Продолжение

Рис. 1. Сводный нормальный геологический разрез месторождения Каякент. Составил П.Н. Куприн по материалам «Дагнефти» (1954): 1 – песок; 2 – песчаник; 3 – песчаник глинистый; 4 – глины; 5 – мергели; 6 – известняки; 7 – мергель глинистый; 8 – известняк глинистый; 9 – алевролиты; 10 – песчаные линзы; 11 – нефтеносный песчаник.

Отложения фораминиферовой свиты, представлены в основном карбонатными отложениями: известняками, мергелями и известняковыми песчаниками с прослоями карбонатных глин. Мощность ее более или менее постоянна и равна 100–120 м. Фораминиферовая свита с размывом и угловым несогласием залегает на породах верхнего мела.

Еще ниже вскрываются отложения верхнего мела, слагающиеся белыми и зеленоватым оттенком пелитоморфными, хорошо сложенными известняками, с прослоями мергелей и известковистых глин, общей мощностью около 600–640 м.

Структура Каякентской складки в настоящее время может считаться вполне выясненной. В целом Каякентская складка представляет собой коробчатую брахиантаклиналь, вытянутую с северо-запада на юго-восток на расстоянии около 12 км. Ширина складки в контуре верхнесарматских известняков достигает 8 км.

Оценка величины радиотеплогенерации и потенциальной гидротермальной и петротермальной энергии осадочной толщи пл. Каякент производилась аналогично другим месторождениям и согласно принятой методике.

На площади Каякент проводились исследования по выявлению концентраций радиоактивных элементов (U, Th, K) для определения величин A_i и q_i . Оценка величины радиотеплогенерации в осадочной толще площади Каякент, проведенной на основе собственных фондовых и литературных данных показана в таблице 1.

Для оценки процессов радиотеплогенерации осадочной толщи Каякентского месторождения по собственным фондовым и литературным данным были проанализированы и систематизированы данные по содержанию естественных радиоактивных элементов (U, Th, K) в различных горных породах по литолого-стратиграфическому разрезу. По полученным данным о концентрациях радиоактивных элементов по различным литолого-стратиграфическим слоям, используя метод послойного определения радиогенного тепла (ПОРТ) [2] проведена оценка вклада радиогенного тепла в наблюдаемый на поверхности тепловой поток.

Район исследований Каякентского месторождения согласно [3] находится в зоне с наблюдаемым тепловым потоком 60 – 70 мВт/м².

Величина радиотеплогенерации в породах осадочной толщи (A) рассчитана по формуле:

$$A = 0.133 \rho (0.73U + 0.20 Th + 0.27 K), \quad (1)$$

где A – радиотеплогенерация в горных породах в мкВт/м³;

ρ – плотность пород в г/см³;

U, Th – содержание радиоактивных элементов в г/т,

K – содержание в %.

Суммарный тепловой поток за счет процессов радиотеплогенерации осадочной толщи площади Каякент равен 6,13 мВт/м², что составляет примерно 10% от наблюдаемого на поверхности теплового потока 62 мВт/м².

Таблица. 1.

Оценка величины радиотеплогенерации в осадочной толще площади Каякент.

Возраст отложений	Литологический состав	Мощность пород, h , (м)	Плотность пород ρ , (г/см ³)	Содержание радиоактивных элементов, %			A, (мкВт/м ³)	q, (мкВт/м ²)
				U $n \cdot 10^{-4}$	Th $n \cdot 10^{-4}$	K		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
N ₁ ² с+t	глина	20	2,07	3,2	7,9	2,5	1,27	25,4
	песчаник	25	1,95	3,0	10	2,0	1,23	30,8
	глина	15	2,07	3,2	7,9	2,5	1,27	19,1
	мергель гл.	15	2,37	4,2	7,1	07	1,48	22,2
	песчаник	25	1,95	3,0	10	2,0	1,23	30,8
	мергель гл.	30	2,37	4,2	7,1	07	1,48	44,4
	песчаник	15	1,95	3,0	10	2,0	1,23	18,5
	мергель гл.	10	2,37	4,2	7,1	07	1,48	14,8
	песчаник	10	1,95	3,0	10	2,0	1,23	12,3
	глина	15	2,07	3,2	7,9	2,5	1,27	19,1
	мергель	20	2,37	4,2	7,1	07	1,48	29,6
	глина	90	2,07	3,2	7,9	2,5	1,27	114,3
	песчаник	20	1,96	3,0	10	2,0	1,23	24,6
	глина	115	2,08	3,2	7,9	2,5	1,28	147,2
	песчаник	15	1,96	3,0	10	2,0	1,23	18,5
	глина	30	2,08	3,2	7,9	2,5	1,28	38,4
	песчаник	30	1,96	3,0	10	2,0	1,23	36,9
	глина	55	2,08	3,2	7,9	2,5	1,28	70,4
	песчаник	25	1,96	3,0	10	2,0	1,23	30,8
	глина	35	2,08	3,2	7,9	2,5	1,28	44,8
	мергель	15	2,39	4,2	7,1	07	1,49	22,4
	глина	40	2,08	3,2	7,9	2,5	1,28	51,2
	мергель	15	2,39	4,2	7,1	07	1,49	22,4
	глина	45	2,09	3,2	7,9	2,5	1,28	57,6
	мергель	50	2,39	4,2	7,1	07	1,49	74,5
	глина	10	2,09	3,2	7,9	2,5	1,28	12,8
	мергель	50	2,39	4,2	7,1	07	1,49	74,5
	глина	15	2,09	3,2	7,9	2,5	1,28	19,2
	песчаник	70	2,03	3,0	10	2,0	1,24	86,8
	глина	30	2,09	3,2	7,9	2,5	1,28	38,4
мергель	10	2,39	4,2	7,1	07	1,49	14,9	
глина	30	2,09	3,2	7,9	2,5	1,28	38,4	
песчаник	10	1,98	3,0	10	2,0	1,24	12,4	
глина	20	2,09	3,2	7,9	2,5	1,28	25,6	
мергель	25	2,4	4,2	7,1	0,7	1,5	37,5	
N ₁ ² с+t	песчаник	25	1,97	3,0	10	2,0	1,24	31
	глина	35	2,1	3,2	7,9	2,5	1,29	45,2
	песчаник	30	1,97	3,0	10	2,0	1,24	37,2
	глина	60	2,1	3,2	7,9	2,5	1,29	77,4
	мергель	10	2,4	4,2	7,1	0,7	1,5	15
	песчаник	35	1,97	3,0	10	2,0	1,24	43,4
	глина	15	2,1	3,2	7,9	2,5	1,29	19,4
	песчаник	10	1,98	3,0	10	2,0	1,29	12,5
	глина	10	2,1	3,2	7,9	2,5	1,29	12,9
	песчаник нф.	120	1,98	3,0	10	2,0	1,25	150
	глина	25	2,1	3,2	7,9	2,5	1,29	32,3
	песчаник	25	1,98	3,0	10	2,0	1,25	31,3
	глина	75	2,1	3,2	7,9	2,5	1,29	96,8

ОЦЕНКА ПРОЦЕССОВ РАДИОТЕПЛОГЕНЕРАЦИИ В ОСАДОЧНОЙ ТОЛЩЕ КАЯКЕНТСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	алевролит	15	2,3	3,0	7	2,3	1,29	19,4
	глина	60	2,1	3,2	7,9	2,5	1,29	77,4
	песчаник нф.	90	1,98	3,0	10	2,0	1,25	112,5
	глина	20	2,11	3,2	7,9	2,5	1,29	25,8
	мергель	10	2,41	4,2	7,1	0,7	1,5	15
	глина	85	2,11	3,2	7,9	2,5	1,29	109,7
	песчаник нф.	10	1,98	3,0	10	2,0	1,25	12,5
	глина	30	2,11	3,2	7,9	2,5	1,29	38,7
	песчаник нф.	10	1,98	3,0	10	2,0	1,25	12,5
	глина	25	2,11	3,2	7,9	2,5	1,29	32,3
	песчаник нф.	15	1,98	3,0	10	2,0	1,25	18,8
	глина	15	2,11	3,2	7,9	2,5	1,29	19,4
	песчаник нф.	15	1,98	3,0	10	2,0	1,25	18,8
	глина	550	2,11	3,2	7,9	2,5	1,29	709,5
	мергель глин.	55	2,42	4,2	7,1	0,7	1,51	83,1
	мергель	95	2,42	4,2	7,1	0,7	1,51	143,45
	извест. глин.	10	2,39	2,8	3,9	1,9	1,06	10,6
	мергель	40	2,42	4,2	7,1	0,7	1,51	60,4
	извест. глин.	10	2,39	2,8	3,9	1,9	1,06	10,6
	мергель	15	2,42	4,2	7,1	0,7	1,51	22,7
	известняк	115	2,39	2,8	3,9	1,9	1,06	121,9
	мергель	20	2,42	4,2	7,1	0,7	1,51	30,2
	известняк	220	2,39	2,8	3,9	1,9	1,06	233,2
K ₂	глина	35	2,43	3,0	6,1	1,98	1,27	44,61
	известняк	20	2,46	3,0	7	0,3	1,20	24,02
	мергель	20	2,38	4,2	7,1	0,4	1,45	29,08
	известняк	20	2,47	3,0	7	0,3	1,20	24,11
	мергель	25	2,39	4,2	7,1	0,4	1,46	36,50
	известняк	40	2,48	3,0	7	0,3	1,21	48,43
	глина	130	2,46	3,0	6,1	1,98	1,29	167,77
	известняк	40	2,49	3,0	7	0,3	1,21	48,62
	глина	35	2,47	3,0	6,1	1,98	1,29	45,35
	мергель	20	2,41	4,2	7,1	0,4	1,47	29,45
	известняк	40	2,51	3,0	7	0,3	1,22	49,01
	глина	65	2,48	3,0	6,1	1,98	1,30	84,57
	известняк	40	2,53	3,0	7	0,3	1,23	49,41
	глина	50	2,49	3,0	6,1	1,98	1,30	65,31
	известняк	65	2,55	3,0	7	0,3	1,24	80,52
	мергель	40	2,42	4,2	7,1	0,4	1,47	59,14
	известняк	45	2,57	3,0	7	0,3	1,25	56,46
	мергель	20	2,43	4,2	7,1	0,4	1,48	29,69
	известняк	20	2,59	3,0	7	0,3	1,26	25,26
	мергель	60	2,44	4,2	7,1	0,4	1,49	89,45
	известняк	70	2,61	3,0	7	0,3	1,27	89,20
	мергель	20	2,45	4,2	7,1	0,4	1,49	29,93
K ₁	известняк	45	2,63	3,0	7	0,3	1,28	57,78
	мергель	25	2,46	4,2	7,1	0,4	1,50	37,57
	известняк	40	2,65	3,0	7	0,3	1,29	51,75
	изв. глин.	20	2,66	3,0	6,6	1,2	1,35	27,12
	мерг. глин.	25	2,47	3,6	6,7	1,3	1,41	35,47
	известняк	165	2,67	3,0	7	0,3	1,30	215,09
	мергель	20	2,48	4,2	7,1	0,4	1,51	30,30
	известняк	190	2,69	3,0	7	0,3	1,31	249,54
	аргиллит	55	2,67	3,1	10	3,3	1,83	100,66
	известняк	20	2,71	3,0	7	0,3	1,32	26,46
	аргиллит	50	2,68	3,1	10	3,3	1,83	91,85
								6130,23

Исследования проведенные на площади Каякент показали результаты суммарного теплового потока $q = \sum q_i$ за счет процессов радиотеплогенерации в осадочной толще равным $6,13 \text{ мВт/м}^2$, что является реальным значением для Южного Дагестана и пл. Каякент, где наблюдаемое на поверхности значение теплового потока равно $q \approx 63\text{--}65 \text{ мВт/м}^2$.

Литература

1. Мирзоев Д.А., Шарафутдинов Ф.Г. Геология месторождений нефти и газа Дагестана. Махачкала. Даг. Кн. Изд-во. 1986. – 311с.
2. Боганик Н.С. Радиогенное тепло земной коры Русской платформы и ее складчатого обрамления. М., Наука. 1975. –160с.
3. Амирханов Х.И., Суетнов В.В., Левкович Р.А., Гаирбеков Х.А. Тепловой режим осадочных толщ. Махачкала, 1972. –230с.

УДК 550.37; 552.3

DOI: 10.33580/2541-9684-2024-98-3-21-28

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВУЛКАНИЧЕСКОГО ПЕПЛА ВО ВЗАИМОСВЯЗИ С ПРОЦЕССАМИ, ПРОТЕКАЮЩИМИ В НЁМ ПРИ ТЕПЛОВОЙ АКТИВАЦИИ

*Гусейнов¹ А.А., Юсупов² А.Р.**¹ Институт проблем геотермии и возобновляемой энергетики – филиал
Объединенного института высоких температур РАН, ² Институт геологии ДФИЦ РАН*

В работе представлены результаты экспериментального исследования зависимости удельной электропроводности вулканических пеплов с территории Дагестана в интервале 100-1000°C. Интерес к данной проблеме обусловлен тем, что применительно к пеплам методы исследования их физических свойств крайне ограничены. Установлены наиболее общие закономерности температурной зависимости ионной проводимости пеплов, обусловленные существованием ассоциированных комплексов элементарных дефектов кристаллической решетки минералов, играющих большую роль в кинетических процессах. Характер изменения проводимости при 200 и 430 °C отражает процесс выделения из пепла сорбированной и связанной воды. Аномальный характер изменения проводимости в ряде образцов в интервале 400 °C обусловлен кристаллизацией аморфной стеклянкой фазы при нагревании. Сделан вывод, что дисперсия в величинах электропроводности исследованных пород обусловлен вариацией в содержании главных петрогенных элементов

Ключевые слова: вулканический пепел, удельная электропроводность, энергия активации, дефекты решетки, термический процесс.

INVESTIGATION OF THE GEOELECTRIC PROPERTIES OF VOLCANIC ASH IN CONNECTION WITH THE PROCESSES TAKING PLACE IN IT DURING THERMAL ACTIVATION

*Guseinov¹ A.A., Yusupov² A.R.**¹Institute of Geothermy and Renewable Energy Problems – branch of the Joint Institute
for High Temperatures of the Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia**²Institute of Geology of the Far Eastern Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences*

The paper presents the results of an experimental study of the dependence of the specific electrical conductivity of volcanic ash from the territory of Dagestan in the range of 100-1000°C. The interest in this problem is due to the fact that, in relation to ashes, methods for studying their physical properties are extremely limited. The most general regularities of the temperature dependence of the ionic conductivity of ashes have been established, due to the existence of associated complexes of elementary defects in the crystal lattice of minerals that play an important role in kinetic processes. The nature of the change in conductivity at 200 and 430 °C reflects the process of separation of sorbed and bound water from the ash. The anomalous nature of the conductivity change in a number of samples in the range of 400 °C is due to the crystallization of the amorphous glass phase during heating. It is concluded that the variance in the values of electrical conductivity of the studied rocks is due to a variation in the content of the main petrogenic elements

Keywords: volcanic ash, specific electrical conductivity, activation energy, lattice defects, thermal process.

Одной из современных фундаментальных проблем наук о Земле является изучение комплекса физических свойств горных пород и минералов. Решение ряда актуальных научных задач в науках о Земле и их практическое применение невозможно без всестороннего познания и использования физических свойств минералов и горных пород. В этом плане важная роль принадлежит изучению геоэлектрических свойств минерального вещества Земли при температурных условиях, соответствующих всему разрезу земной коры.

Электропроводность минералов и горных пород является одним из наиболее чувствительных к температуре, вещественному составу и происходящим в них физико-химическим процессам параметром. Поэтому результаты исследования электропроводности минерального вещества Земли, в связи с разнообразием их применения как для решения ряда фундаментальных проблем и задач прикладного характера в науках о Земле, так и в практических целях, приобретают особую актуальность [1-4].

В силикатных минералах электропроводность в широком интервале температур осуществляется посредством ионного механизма, поэтому полученные при экспериментальном исследовании температурной зависимости электропроводности образцов минералов кинетические параметры характеризуют ионообменные процессы, которые возможны при процессах преобразования минерального вещества Земли в условиях различных геосфер [5,6].

Применительно к геологическим объектам имеется достаточно широкий набор средств для физических методов исследования, однако обзор существующего материала показал отсутствие данных по изучению комплекса физических свойства вулканических пеплов на территории Дагестана, что послужило побудительным мотивом для исследования температурной зависимости их удельной электропроводности. В этой связи в настоящей работе приведены результаты исследования температурной зависимости удельной электропроводности σ некоторых образцов вулканического пепла из осадочных месторождений территории Дагестана.

Вулканическая деятельность имеет важное значение в геологии того или иного региона своим влиянием на геодинамические процессы, минерало- и рудообразование и в целом на экологию окружающей среды [7]. Одна из характерных форм проявления вулканизма – вулканические пеплы соответствующего состава и возраста. На территории Дагестана вулканические пеплы представлены довольно широко [8, 9], однако вопрос об их происхождении является дискуссионным. Исследователи вулканических пеплов на территории Дагестана [10, 11] не находят признаков местного проявления вулканического материала а следовательно и вулканических процессов на территории Дагестана, и поэтому считают, что вулканические пеплы привнесены с территории Юго- Восточного Кавказа и Южного склона Восточного Кавказа.

В то же время на основании материалов изысканий последних лет авторами [12, 13] сделан вывод, что проявления вулканических пеплов на территории Дагестана связаны с вулканогенными процессами, при которых отсутствует связь магмы с дневной поверхностью. Вулканизм подобного типа (отсутствие связи лавы с дневной поверхностью) относят к криптовулканизму I порядка, имеющему самостоятельное значение, в отличие от структур II порядка, осложняющих основную вулканическую структуру [14].

Как известно, кроме отмеченного выше геологического значения вулканических пеплов, они используются в строительном деле и в промышленной химии, в лекарственном использовании и в сельском хозяйстве. Также необходимо отметить, что пепловый материал, попадая в различные условия среды осадконакопления, претерпевает изменения, разлагается, давая начало глинистым минералам, в том числе и широко известному минералу монтмориллониту. В этой связи отметим факт наличия монтмориллонитовых глин в четвертичных отложениях Дагестана, формирование которых связывается с преобразованием вулканических пеплов [9].

Влияние пеплов на окружающую среду, кроме широко известных, обладает рядом особенностей, из них можно отметить следующие: 1. Выделение большого количества парниковых газов посредством влияния пеплов на геохимическую характеристику почв [15]. 2. Негативное влияние свежего вулканического пепла при извержении вулкана на изменение диэлектрических параметров подвесных изоляторов ЛЭП [16].

Применительно к геологическим объектам имеется достаточно широкий набор средств для физических методов исследования, однако, применительно к вулканическим пеплам, такие исследования крайне ограничены. Обзор существующего научного материала показал отсутствие данных по изучению комплекса физических свойства вулканических пеплов на территории Дагестана, что послужило побудительным мотивом для исследования температурной зависимости их удельной электропроводности в температурных условиях, характерных для всего разреза земной коры.

Образцы и методика исследования

В последнее десятилетие в результате геологических изысканий установлены порядка 30 проявлений вулканических пеплов в южном, центральном и западном Дагестане [13]. В данной работе нами исследована температурная зависимость удельной электропроводности 8 образцов

вулканического пепла их различных мест залегания пластов, химический состав этих образцов представлен в таблице 1.

Таблица 1.
Химический состав вулканических пеплов

№№ проб	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	FeO	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	MnO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₂	п.п.п.	Σ	Местность
1, 100	40.60	8.55	0.46	1.35	0.90	0.21	0.04	22.01	1.20	1.08	2.33	0.37	19.68	99.68	Буйнакск
2. 301-9	61.80	17.90	0.57	0.32	2.11	0.22	0.04	4.06	2.02	1.66	2.86	0.38	6.16	100.1	Рубас-чай
3. 302-9	56.40	16.70	0.52	0.34	2.00	0.21	0.07	8.15	1.75	1.67	2.60	0.28	9.50	100.15	Рубас
4. 303-9	21.10	3.50	0.15	0.25	0.85	0.07	0.05	39.21	0.72	0.64	0.48	0.10	32.74	99.86	Рубас-чай
5. 310-9	70.75	13.28	0.19	0.34	0.84	0.13	0.04	1.07	0.29	3.84	3.70	0.15	8.46	100.08	Рубас-чай
6. 20(8)	58.90	16.80	0.63	0.40	4.51	0.14	0.03	2.20	3.65	3.89	0.48	>0.10	7.96	99.56	Дербент
7. 21(8)	55.50	11.83	0.55	0.83	2.51	0.2	0.07	10.89	0.96	2.27	2.01	>0.10	11.86	99.48	Дербент
8. 8-9	61.20	18.90	0.89	0.37	2.39	0.19	>0.01	0.36	1.01	3.24	0.91	1.42	9.18	100.06	Исти-су

Электропроводность образцов пород измерялась на постоянном токе, установка и методика исследования аналогичны использованными нами в работе [17]. Изготовленный образец 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 при нагревании, а также устраняло главную причину поверхностной проводимости – наличие влаги. Электросопротивление измерялось тераомметром Е6-13А и высокоомным мостом Р-4053 с погрешностью, не превышающей 3%. Нагрев образца в интервале 100-1000°С 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.

Так как вулканический пепел по структуре обычно представляют собой тонкодисперсные агрегаты, образцы для исследования изготавливались прессованием порошкообразного материала в специальной пресс-форме в виде диска диаметром 10 мм и толщиной около 1 мм. Метод приготовления образца прессованием из порошка достаточно часто встречается в практике геоэлектрических исследований минералов [18].

Температурная зависимость удельной ионной электропроводности σ диэлектриков, к которым относятся большинство минералов и горных пород, описывается выражением

$$\sigma = \sigma_0 \exp(-E_0/k T) \quad (1)$$

где σ_0 – предэкспоненциальный множитель, E_0 – энергия активации ионной проводимости, k – постоянная Больцмана, T – абсолютная температура. Прологарифмировав выражение (1), получим

$$\ln \sigma = \ln \sigma_0 - E_0/k T, \quad (2)$$

или в десятичных логарифмах

$$\lg \sigma = \lg \sigma_0 - 0.43 E_0/k T. \quad (3)$$

Наклон прямой линии графика зависимости $\lg \sigma = f(1/T)$ к оси абсцисс определяет энергию активации E_0 , так как тангенс угла наклона прямой к оси абсцисс есть

$$\operatorname{tg} \varphi = -0.43 E_0/k. \quad (4)$$

Если по оси абсцисс откладывать $1000/T$ и выразить E_0 в электронвольтах (эВ), то имеем

$$E_0 = 0.2 \operatorname{tg} \varphi.$$

Результаты и обсуждение

На рис. 1 представлены типичные графики зависимости электропроводности в системе координат $\lg \sigma = f(1/T)$ для четырех образцов вулканического пепла, которые представляют собой семейство прямых, проявляющих изломы при характерных температурах. Прямолинейный характер участков зависимостей $\lg \sigma = f(1/T)$ свидетельствует об ионном механизме проводимости, подчиняющемся экспоненциальной зависимости вида (1). Для всех исследованных образцов по зависимостям $\lg \sigma = f(1/T)$ определены кинетические параметры электропроводности E_0 и σ_0 во всем интервале температур. Отметим, что для образцов под номерами 1 и 2 (рис. 1), отмеченная линейность нарушается в температурном интервале 400-600 °С, ход кривых носит аномальный характер относительно зависимости (1), эта закономерность будет отдельно проанализирована ниже.

Согласно полученным результатам для всех исследованных образцов в интервале 100-1000°С наблюдается экспоненциальное возрастание удельной проводимости σ с температурой почти на 8 порядков. Наблюдаемая дисперсия в значениях величины удельной электропроводности исследованных образцов породы во все интервале температур является следствием зависимости проводимости от вариаций их химического состава. В качестве примера на рисунках 2 и 3 представлены зависимости электропроводности исследованных образцов пепла при 200 °С от содержания K_2O и при 800 °С от содержания MgO . Здесь отчетливо прослеживается, как стимулирующая электропроводность роль K_2O и как уменьшающее электропроводность влияние MgO приводят к довольно широкому спектру значений проводимости образцов вулканического пепла.

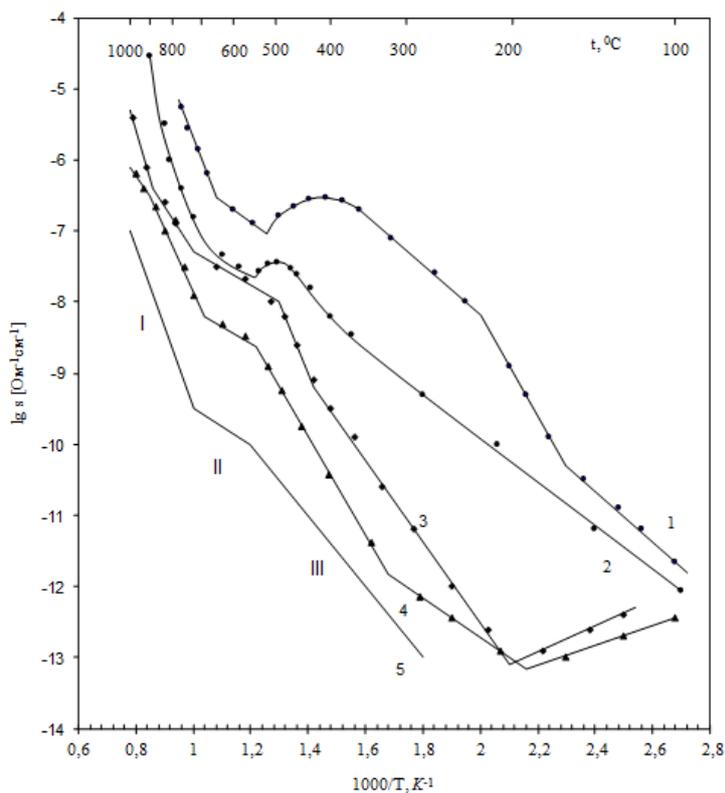


Рис. 1. Зависимость удельной электропроводности вулканических пеплов от температуры. Образцы: 1 – 310-9; 2 – 100; 3 – 302-9; 4 – 303-9. 5 – общая схема.

Сравнительный анализ результатов исследования показывает проявление общих закономерностей в графиках электропроводности исследованных образцов, которое заключается в наличии трех основных областей I, II и III, согласно общей схеме на рис. 1, линия 5.

Такая картина зависимости электропроводности от абсолютной температуры характерна для диэлектриков, обладающих ионной проводимостью [19]. Основные проявления данного механизма электропроводности применительно к силикатным минералам и горным породам были установлены и экспериментально доказаны нами и изложены, к примеру, в работе [20]. Кратко охарактеризуем эти области. В области I собственный механизм электропроводности

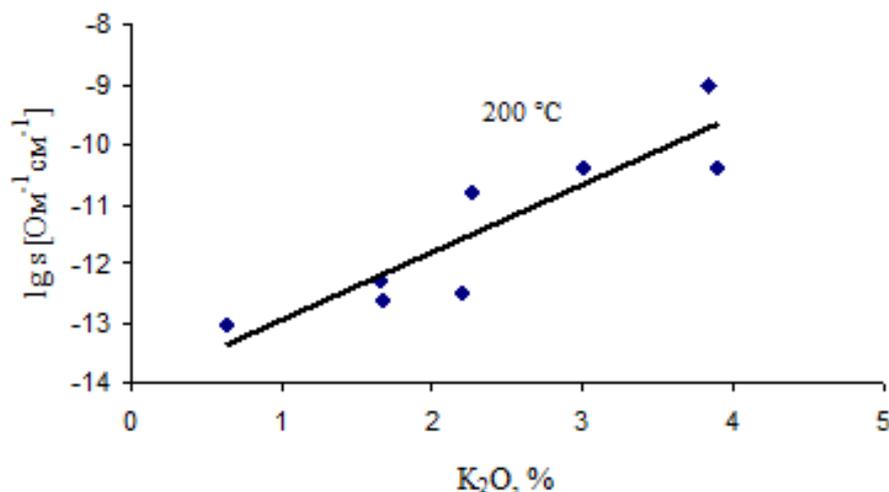


Рис 2. Зависимость удельной электропроводности пеплов от содержания K₂O.

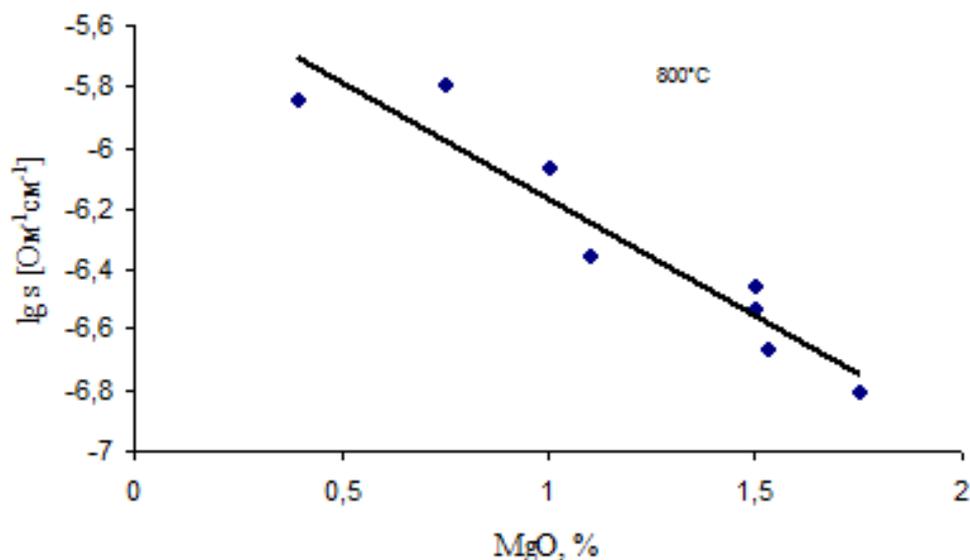


Рис 3. Зависимость удельной электропроводности пеплов от содержания MgO.

осуществляется за счет носителей зарядов – вакантных позиций в кристаллической решетке минералов, возникающих за счет температурного воздействия, когда достигается так называемая собственная разупорядоченность, и описывается выражением

$$\sigma = \sigma_0 \exp(-(\epsilon_{дв} + \epsilon_{обр}/2)/kT) = \sigma_0 \exp(-\epsilon_{01}/kT). \quad (5)$$

Энергия активации ионной проводимости в этом случае складывается из энергии образования вакансии $E_{обр}$ и энергии её движения $E_{дв}$, при этом множитель $1/2$ учитывает, что в процессе электропроводности участвуют практически только катионные вакансии, т. е. рассматривается энергия образования половины дефекта Шоттки [19]. Для этой области характерны максимальные значения энергии активации. Например, для образца 3 на рис. 1 энергия активации собственной проводимости составляет величину 2,50 эВ, что характерно для ионной проводимости кристаллов.

При температурах, соответствующих области II, выполняется примесный механизм проводимости, в электропереносе участвуют вакансии, изначально существующие в кристалле и обусловленные главным образом примесными эффектами, когда образование вакантных позиций в кристаллической решётке обусловлено механизмом сохранения электронейтральности кристалла при изоморфных иновалентных замещениях, т.е. концентрация носителей определяется лишь содержанием примеси и не зависит от температуры [19]. Такая ситуация возникает, к примеру, если в кристаллической решетке минерала вместо одновалентного катиона Na^+ происходит изоморфное замещение на двухвалентный катион Ca^{2+} , при этом для соблюдения электронейтральности ион Na^+ покидает кристалл с образованием вакансии. В этом случае электропроводность описывается выражением

$$\sigma = \sigma_0 \exp(-E_{дв}/kT) = \sigma_0 \exp(-E_{02}/kT), \quad (6)$$

где энергия активации $E_{дв}$ составляет величину, необходимую только для перемещения вакансии. Полученное в данном исследовании значение $E_{дв}$, в среднем 0.50 эВ, является характерной величиной для ионной проводимости кристаллов [19].

При более низких температурах следует область примесной проводимости III, где отмеченные выше вакансии вследствие кулоновского притяжения образуют ассоциированные комплексы с иновалентными примесными ионами в кристаллической решётке с ионным характером межатомных связей. В этом случае для обеспечения движения вакансии по кристаллу необходимо оторвать её от взаимодействующей примеси, т.е. затратить дополнительную энергию, равную энергии ассоциации комплекса $E_{асс}$. Согласно [19], зависимость ионной электропроводности от температуры в этом случае имеет вид

$$\sigma = \sigma_0 \exp(-(E_{дв} + E_{асс}/2)/kT) = \sigma_0 \exp(-E_{03}/kT). \quad (7)$$

Из сравнения равенств (6) и (7) следует, что значение энергии активации проводимости в области III больше, чем в области II вследствие наличия в выражении (8) дополнительного члена, ответственного за диссоциацию комплексов элементарных дефектов кристаллической решетки, что наглядно демонстрируется на графиках рис.1.

Таким образом, выявляется общая для исследованных образцов вулканического пепла закономерность изменения удельной электропроводности в температурном поле, определяемая фундаментальным проявлением взаимодействия элементарных дефектов в кристаллической решетке минералов в виде ассоциированных комплексов. Необходимо отметить, что эти комплексы играют важную роль в естественных диффузионных, метаморфических, реологических и других кинетических процессах [14,15]. Полученные результаты дают принципиальную возможность для определения важных кинетических параметров ионного переноса: энергию образования вакансии $E_{обр}$ в кристалле, энергию активации её движения $E_{дв}$ и энергию ассоциации $E_{асс}$ при образовании рассматриваемого комплекса.

В областях I и III на механизмы собственной и примесной проводимости накладываются процессы, связанные с разного вида физико-химическими процессами, в конечном итоге мы наблюдаем энергетическую картину, которая является суперпозицией основного процесса ионной проводимости и некоторого наложенного процесса. Для образцов 1 и 2 область III при переходе к области II осложнена аномальным эффектом.

Проанализируем изменение зависимости $\lg \sigma = f(1/T)$ на примере образца 3 при возрастании температуры (рис.1). Самый низкотемпературный отрезок, с отрицательным углом наклона, отражает процесс выделения сорбированной влаги из образца, сопровождающийся снижением электропроводности, который завершается при температуре около 200 °С.

Следующий температурный участок в области примесной проводимости с энергией активации 1.19 эВ продолжается до температуры 480 °С, где наблюдается излом на линии проводимости с возрастанием E_0 до 1,56 эВ. Этот излом отражает изменения в механизме проводимости, обусловленные, скорее всего, процессами выделения связанной воды, которая всегда присутствует в вулканических пеплах.

При достижении температуры порядка 730 °С завершается действие механизма примесной проводимости и начинается реализация механизма собственной проводимости со значением энергии активации $E_0 = 1.33$ эВ. При температуре 890 °С наблюдается излом на линии проводимости с возрастанием E_0 до 2,50 эВ, это характерная величина для кристаллов с преобладающим характером ионной проводимости. Для выяснения природы данного излома предстоят дополнительные исследования.

Как отмечалось выше, на линиях проводимости образцов 1 и 2 в области около 400 °С проводимость проявляет аномальный характер, отклоняясь от экспоненциальной зависимости вида (1), когда с увеличением температуры электропроводность замедляет рост и затем уменьшается. Характерной особенностью этих образцов является содержание значительной доли вулканического стекла в виде аморфной фазы; например, в образце 1 содержание стекла составляет 70 %. Аналогичное аномальное изменение электропроводности нами было установлено при исследовании монтмориллонита, содержащего компоненту гидромусковита с аморфной фазой, которая кристаллизовалась при нагревании [20]. Поэтому с достаточной уверенностью можно заключить, в основе проявления аномалии проводимости вулканического пепла лежит механизм кристаллизации его аморфной компоненты в виде вулканического стекла.

Отсутствие аномального эффекта электропроводности в образцах 3 и 4 вполне может быть диагностическим признаком того, что эти образцы в условиях залегания претерпели воздействия, которые повысили кристалличность аморфной компоненты содержащегося в них вулканического стекла.

Выводы

1. Исследована удельная ионная электропроводность вулканических пеплов из различных мест залегания Дагестана в интервале 100-1000 °С
2. Установлены наиболее общие закономерности температурной зависимости электропроводности пеплов, определяемые фундаментальным механизмом взаимодействия элементарных дефектов кристаллической решетки с образованием ассоциированных комплексов, играющих важную роль при кинетических процессах в условиях земных недр.
3. Определены кинетические параметры ионной проводимости, характеризующие процессы образования вакансии и ее движение в кристалле.
4. Аномальный характер изменения электропроводности в области 400 °С в некоторых образцах обусловлен процессом кристаллизации при нагревании аморфного стекла в составе вулканического пепла, что находится в согласии с результатами, полученным и для других минералов, в которых присутствует аморфная фаза. Этот эффект является диагностическим признаком наличия аморфной фазы или ее преобразования при температурных воздействиях в условиях залегания материала.
5. Дисперсия в значениях электропроводности исследованных вулканических пеплов обусловлена вариацией значений содержания в них петрогенных элементов.
6. Аномальный эффект электропроводности в вулканических пеплах в интервале

Литература

1. Пархоменко Э.И. Геоэлектрические свойства минералов и горных пород при высоких давлениях и температурах. М.: Наука. 1989. 198 с.
2. Бахтерев В.В. Параметры высокотемпературной электропроводности дунит-гарцбургитовых (альпинотипных) гипербазитов Урала как возможный признак их потенциальной хромитоносности // ДАН. 2006. Т. 408. № 3. С. 363-365.
3. Светов Б.С. К вопросу о частотной дисперсии проводимости двухфазной геологической среды // Физика Земли. 2002. № 1. С. 46-52.
4. Гусейнов А.А., Гаргацев И.О., Габитова Р.У. Исследование электропроводности флогопитов при высоких температурах // Физика Земли. 2005. № 8. С. 79-88.
5. Гусейнов А.А., Пархоменко Э.И. Компенсационный эффект при ионной электропроводности в слюдах // Физика горных пород при высоких давлениях. М.: Наука. 1991. С. 160-167.
6. Гусейнов А.А., Гаргацев И.О. Особенности электропроводности щелочных полевых шпатов при высоких температурах / Физика Земли. 2002. № 6. С. 82-86.
7. Коваленко В.И., Ярмолук В.В., Маханова Т.М. Новейший вулканизм: закономерности его активности и сопутствующие катастрофические следствия // Изменение окружающей среды и климата. М.: ИГЕМ РАН, 2007. С. 35–81.
8. Мацапулин В.У., Юсупов А.Р. Вулканические пеплы в Дагестане – экологические предвестники в области геодинамики, геоморфологии и поиска полезных ископаемых // Юг России, экология, развитие, Махачкала, 2007. №2. С. 98-104.
9. Керимов Г.К., Эфендиев И.Э. О распределении и генезисе глинистых минералов в осадочных формациях Дагестана. // Литология и полезные ископаемые, 1976. № 6. С. 128-136.
10. Горбунова Л.И. Вулканические породы в меловых отложениях Дагестана // Литология и полезные ископаемые. 1966. № 2, С. 126-130.
11. Лавёров И.П., Добрецов Н.Л., Богатиков О.А. и др. Новейший и современный вулканизм на территории России. М.: Наука, 2005. 604 с.
12. Мацапулин В.У., Тулышева Е.В., Исаков С.И., Юсупов А.Р. . Проявление эндогенных процессов на территории верхнекайнозойских отложений северной окраины Восточного Кавказа // Вестник Дагестанского научного центра. 2012. № 47. С. 41–56.
13. Исаков С.И., Мацапулин В.У., Тулышева Е.В., А.Р. Юсупов А.Р. Проявление вулканических пеплов в долине реки Ис Тисув в аридной зоне Дагестана (Восточный Кавказ) // Аридные экосистемы. 2013, том 19, № 3 (56), С. 95-102.
14. Ветреников В.В. Криптовулканы – особый тип вулканических структур // Тр. Ин-та геологии и геофизики, Сибирское отд. АН СССР. 1974. Вып. 75. С. 104–106.
15. А.И. Трегуб, В.В. Крячко, Е.В. Гуров. Четвертичные вулканические пеплы и их возможное влияние на климат голоцена // Вестник ВГУ. Серия геология. 2015. № 1. С. 1540-152.
16. Wardman JB, Wilson T, Hardie S, Bodger P. Influence of volcanic ash contamination on the flashover voltage of HVAC outdoor suspension insulators. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. 2014; V. 21. № 3 . P. 1189–1197.
17. Guseinov A.A. Electrical Properties of Some Magmatic Dike Rocks at High Temperatures // Izvestiya, Physics of the Solid Earth. 2012. Vol. 48. №. 9–10, pp. 751–758.
18. Brown I.W.M., MacKenzie K. J. D., Meinhold R. H. The thermal reactions of montmorillonite studied by high-resolution solid-state ^{29}Si and ^{27}Al NMR // J. Mater. Sci. 1987. V. 22. № 9. P. 3265-3275.
19. Вест А. Химия твердого тела. Теория и приложения. Ч. 2. М.: Мир. 1988. 336 с. 20. 20. Гусейнов А.А. Исследование электрических свойств монтмориллонита во взаимосвязи с процессами, протекающими в нём при тепловой активации // Физика Земли. 2017. № 6. С. 45-54.

УДК 550.8

DOI: 10.33580/2541-9684-2024-98-3-29-33

РАЗРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД, ВЫЗЫВАЕМЫЙ ЦИКЛИЧЕСКИМ ТЕМПЕРАТУРНЫМ РЕЖИМОМ

Идармачев Ш.Г., Магомедов А.Г., Идармачев А.Ш.
Институт геологии ДФИЦ РАН

Известно, что обвалы могут быть вызваны рядом климатических и других механизмов - осадки, сейсмическая активность и замерзание. Обвалы также могут происходить при отсутствии этих механизмов. Было высказано предположение, что эти загадочные обвалы происходят из-за нагрева горных пород солнцем, приводящих к их расширению. Термодинамический анализ данных 3,5-летнего полевого мониторинга отслаивающегося гранитного утёса в Национальном парке Йосемити в Калифорнии показал, что ежедневных, сезонных и годовых колебаний температуры достаточно для циклического и постепенного раскрытия трещин. Применение теории разрушения горных пород позволяет предположить, что эти изменения могут привести к дальнейшему распространению трещин и последующему отслоению горных пород. Для оценки временных закономерностей, в частности, деформации трещинных пород, нами проведен ряд полевых экспериментов, показывающих, что циклическое тепловое воздействие в летние периоды может повышать вероятность камнепадов.

Ключевые слова: циклическое тепловое воздействие, деформация трещин, электронный датчик линейного смещения.

THE DESTRUCTION OF ROCKS CAUSED BY CYCLIC TEMPERATURE CONDITIONS

Idarmachev Sh.G., Magomedov A.G., Idarmachev A.Sh .
Institute of Geology of the Russian Academy of Sciences Annotation

It is known that landslides can be caused by a number of climatic and other mechanisms - precipitation, seismic activity and freezing. Collapses can also occur in the absence of these mechanisms. It has been suggested that these mysterious collapses occur due to the heating of rocks by the sun, leading to their expansion. Thermodynamic analysis of data from a 3.5-year field monitoring of a flaking granite cliff in Yosemite National Park in California showed that daily, seasonal and annual temperature fluctuations are sufficient for cyclical and gradual crack opening. The application of rock fracture theory suggests that these changes may lead to further crack propagation and subsequent rock detachment. To assess the temporal patterns, in particular, the deformation of fractured rocks. To assess the temporal patterns, in particular, the deformation of fractured rocks, we conducted a number of field experiments showing that cyclic thermal effects in summer periods can increase the likelihood of rockfalls.

Keywords: cyclic thermal effect, crack deformation, electronic linear displacement sensor.

Известно, что обвалы могут быть вызваны рядом механизмов, многие из которых происходят в периоды, когда вероятные причины, такие как осадки, сейсмическая активность и замерзание, отсутствуют. Было высказано предположение, что эти загадочные обвалы могут происходить из-за нагрева поверхности скальных пород солнечной энергией. В природе известны случаи отслаивания слоев горных пород под воздействием температурного режима, например, скальные купола с их слоями отслаивающихся пластов, напоминающими собой луковую шелуху, являются одними из самых завораживающих форм рельефа на Земле. Долгое время считалось, что отслаивание является неотъемлемой частью формирования куполов, но точный механизм отслаивания остаётся загадкой, в основном из-за отсутствия прямых наблюдений за природными явлениями. Наибольшую опасность представляют скальные массивы готовые к обрушению с вертикальным расположением трещин. В частности, нами в районе Верхнего Гуниба (Республика Дагестан) был исследован массив объемом 350 м³, отделенный от материнской части вертикальными трещинами отрыва, достигающими в отдельных местах до 12 см (рис.1). Ранее в этом же районе проводилось исследование другого крупного потенциально опасного массива шириной трещины до 2-х метров различными методами мониторинга: сейсмическими, наклонометрическими и деформометрическими [1-3], что дало возможность приобретения определенного опыта проведения работ, имеющих значений не только научного исследования в области изучения

ландшафтных процессов, но и практического использования, полученных результатов для обеспечения безопасности населенного пункта Гуниб, расположенного на горном склоне.

Исследуемый в настоящее время массив отличается от предыдущих, тем, что вертикальные трещины расположены близко к поверхности и тем самым сильно нагреваются от солнечной энергии, так как открытые трещины не позволяют рассеивать тепловую энергию по всему массиву, а способствуют ее накоплению в верхнем слое, обращенным к солнцу. Для эксперимента в трещине был установлен электронный датчик линейного перемещения китайского производства марки KTR с погрешностью ± 10 мкм. Измерения осуществлялись непрерывном режиме с сохранением данных на компьютере. По этим данным строились графики, которые затем сравнивались с температурой атмосферы. Сравнение их показало, что суточный ход ширины трещины тесно связан с термическими напряжениями в скальном массиве, вызванными солнечной радиацией и температурой атмосферы. При максимальной интенсивности солнечной радиации в 13 часов по московскому времени ширина трещины увеличивается на 850 мкм.

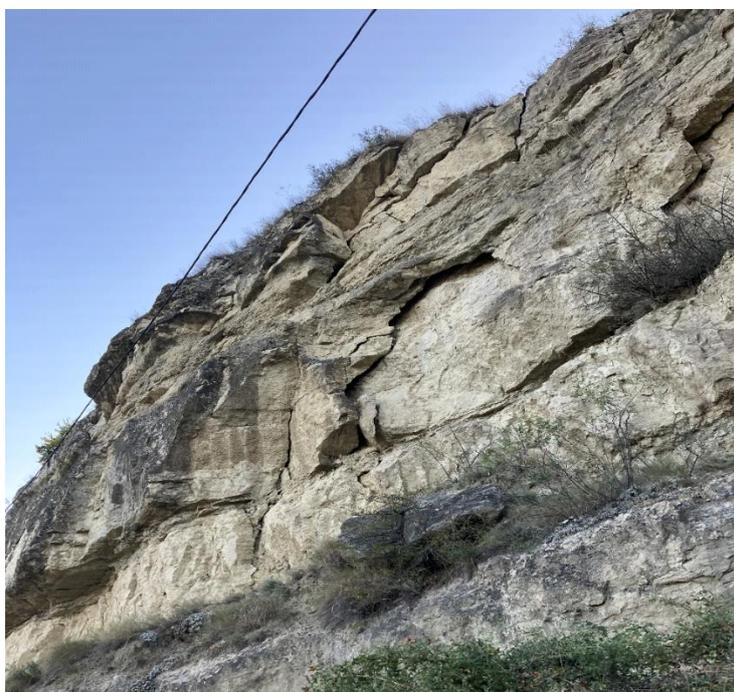


Рис. 3. Фото неустойчивого массива с вертикальными отрывными трещинами

В литературе [4] приводятся данные, указывающие, что термические напряжения могут играть ключевую роль в инициировании отслаивания верхних слоев пород, следовательно, могут быть важным фактором, влияющим на формирование куполов. Поверхностное отслаивание, субпараллельное растрескивание горных пород и образующиеся в результате этого различные формы рельефа привлекают внимание учёных уже более ста лет [5, 6]. Отслаивание обычно связывают с несколькими механизмами, в том числе с удалением покрывающих пород и упругим восстановлением [4, 7], тектоническим сжатием [5, 8] и топографической кривизной при сжатии, параллельном поверхности [6, 9]. Известен феномен взрывного отслаивания пород [4]. В августе 2014 года, в самые жаркие дни лета, гранитный купол в Калифорнии, США, самопроизвольно отслоился; свидетели наблюдали обширные трещины, в том числе отслоившийся пласт весом около 8000 кг, взлетевший в воздух. Взрыву предшествовали звуковые колебания и образование трещин в сантиметровом масштабе. Разрушения происходили до того, как в нескольких случаях наблюдалось поднятие пластов. Такие наблюдения хорошо задокументированы в литературе по добыче полезных ископаемых открытым и подземным способами [10, 11], но в целом могут быть

связаны с изменениями напряжения, вызванными самой добычей полезных ископаемых. Учитывая, что на куполе Твен-Харт таких внезапных изменений напряжения не происходило, эти предшествующие сигналы примечательны тем, что дают некоторое представление о неизбежном разрушении. Во второй половине событий 6 сентября 2014 г. и в двух событиях 2016 года, когда толщина листов была относительно небольшой (~10 см), за несколько минут до взрывного разрушения раздавались слышимые потрескивания, что позволило людям покинуть купол. Эта последовательность указывает на переход от субкритического к критическому распространению трещин внутри купола. Во всех случаях разрушения возникали только летом и им предшествовали 10-дневные периоды с самыми высокими температурами за всю историю наблюдений в этом районе.

Последующие эпизоды отслаивания в течение следующих двух летних сезонов были зафиксированы с помощью приборов, которые впервые зафиксировали деформацию отслаивания и условия напряжения. На рис. 2 приведены результаты наблюдений 3,5-летнего полевого мониторинга отслаивающегося гранитного утёса в Национальном парке Йосемити [4].

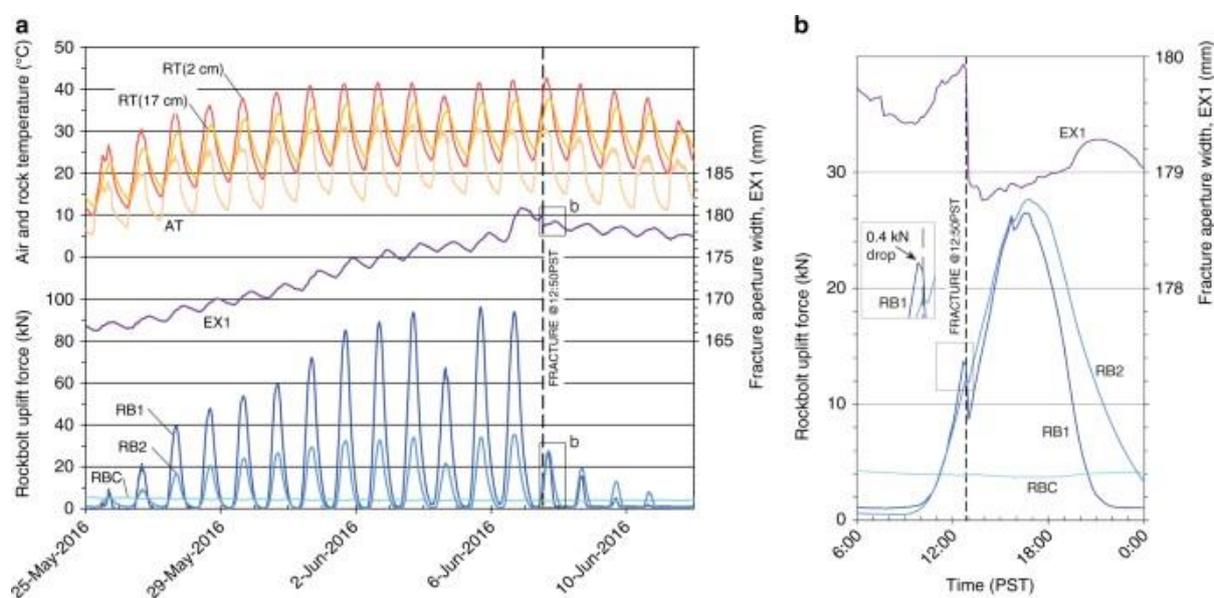


Рис. 2. а. Графики температуры атмосферы и пород, ширины трещины, напряжения анкерных болтов в разных точках; б. Развернутые графики ширины трещины, напряжения анкерных болтов во время разрушения пород

Когда максимальные температуры выравниваются в начале июня, силы поднятия и деформации продолжают увеличиваться вплоть до энергичного разрушения (пунктирная линия). Максимальные напряжения силы поднятия составили 38–98 кН. Разрушение сопровождалось мгновенным оседанием верхнего листа на 1 мм и падением силы на 5 кН при погрешности измерений прибора $2\sigma = 0,8$ кН. Общая деформация пласта на северной стороне купола (EX1) увеличивалась одновременно с сигналами от скальных пород, при этом совокупное поднятие составило 14 мм. Эти сигналы тесно связаны с температурой воздуха и горных пород. Исследования [12] показывают, что кумулятивный рост трещин может происходить в типичных современных метеорологических условиях во многих местах.

Подобного рода отслаивание пластов было обнаружено в районе купольного массива на территории Верхнем Гунибе, состоящая из известняков (рис. 3). По нему ширина трещин по всему периметру составляет 10–12 мм, мощность отслоившегося пласта равна 1,0–1,2 м. Площадь кольцевой структуры составляет 70 м². Механизмами отслоения пласта и его разрушения

являются не только пиковые летние и суточные изменения температуры верхнего слоя пород, но и сезонные процессы замерзания и таяния снега.



Рис. 3. Вид отслоенных пород концентрической формы на склоне скального массива на территории Верхнего Гуниба

Для количественной оценки величин теплового расширения пласта до его разрушения использовалась известная формула:

$$\Delta L = \alpha \cdot \Delta T \cdot L$$

где L – длина пласта; α – температурный коэффициент известняка; ΔT – суточный перепад температуры атмосферы и породы. Длина отслоившегося пласта равна $L = 12$ м; $\alpha = 8 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$; $\Delta T = 20^\circ\text{C}$, тогда для них $\Delta L = 1900$ мкм. В поперечном направлении для $L = 6$ м имеем $\Delta L = 960$ мкм. Величина изменения ширины пласта составляет $\Delta L = 160$ мкм. Сравнивая эти величины данными приведенными на рис. 2 видно, что они на порядки ниже суточных значений изменений ширины трещины на куполе Йосемити в Калифорнии среднее значение которых составляет 5 мм. Из этого следует, что механизм деформации отслоенных пород кольцевой структуры на Верхнем Гунибе от термических напряжений не соответствует действительности и требует дальнейших исследований с помощью специальных датчиков.

Выводы

Обвалы и разрушения пород могут быть вызваны не только осадками, сейсмической активностью, образованием льда в трещинах, но и из-за нагрева поверхности скальных пород солнечной энергией. В природе известны случаи отслаивания слоев горных пород под воздействием температурного режима, например, скальные купола с их слоями отслаивающихся пластов. Точный механизм отслаивания остаётся загадкой, в основном из-за отсутствия прямых наблюдений за природными явлениями. Наибольшую опасность представляют скальные массивы готовые к обрушению с вертикальным расположением трещин. В частности, нами в районе Верхнего

Гуниба (Республика Дагестан) был исследован массив объемом 350 м³, отделенный от материнской части вертикальными трещинами отрыва, достигающими в отдельных местах до 12 см. Для проведения эксперимента в трещине был установлен электронный датчик линейного перемещения китайского производства марки KTR с погрешностью ±10 мкм. Измерения осуществлялись непрерывном режиме с сохранением данных на компьютере. По данным строились графики, которые затем сравнивались с температурой атмосферы. Сравнение данных показало, что суточный ход ширины трещины, связан с термическими напряжениями в скальном массиве, вызванными солнечной радиацией и температурой атмосферы. При максимальной интенсивности солнечной радиации в 13 часов по московскому времени ширина трещины увеличивается на 850 мкм. Численные оценки значения теплового расширения пласта на скальном массиве Верхний Гуниб согласуются с данными полевых наблюдений.

Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания ИГ ДФИЦ РАН по теме НИР Рег. номер НИОКТР 122032200277-4.

Литература

1. Идармачев Ш.Г., Джамалудинов А.М., Идармачев И.Ш. Результаты наклонометрических наблюдений на опасном скальном массиве над населенным пунктом Гуниб на Северном Кавказе // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. 2021, № 2 (85), С. 55–60. DOI: 10.33580/2541-9684-2020-84-1-47-56
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, Т. 12, № 2, С. 78–88. DOI: 10.46698/VNC.2022.70.64.006
3. Идармачев Ш.Г., Магомедов А.Г., Идармачев А.Ш. Связь деформационных процессов на неустойчивом скальном массиве "Гуниб" в Дагестане с землетрясениями // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. 2023, № 2 (93), С. 38–45. (РИНЦ). DOI: 10.33580/2541-9684-2023-93-2-38-45
4. Brian D. Collins & Greg M. Rockfall caused by cyclic thermal stress of flaking cracks • Stock Volume 9. 2016.395-400.
5. Shaler, N. S. Notes on the concentric structure of granitic rocks. Proc. Boston Soc. Nat. Hist. 12, 289–291 (1869).
6. Gilbert, G. K. Domes and dome structures of the HighSierra. Geol. Soc. Am. Bull. 16, 29–36 (1904).
7. Dale, T. N. The commercial granites of New England. US Geol. Surv. Bull. 738, 26–38 (1923).
8. Matthes, F. E. Geologic history of the Yosemite valley. US Geol. Surv. Prof. Pap. 160, 137 (1930).
9. Jahns, R. H. Sheet structure in granites: its origin and use as a measure of glacial erosion in New England. J. Geol. 51, 71–98 (1943).
10. Martel, S. J. Progress in understanding sheeting joints over the past two centuries. J. Struct. Geol. 94, 68–86 (2017).
11. White, W. S. Rock-bursts in the Granite Quarries at Barre, Vermont, Circular 13 (US Geological Survey, 1946).
12. Moser, F. L. Spatial and Temporal Variance in Rock Dome Exfoliation and Weathering Near Twain Harte, California, USA. (Thesis, Univ. North Carolina at Charlotte, 2017).

УДК 550.348. (470.67)

DOI: 10.33580/2541-9684-2024-98-3-34-40

МАКРОСЕЙСМИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ БЕЖТИНСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 3 СЕНТЯБРЯ 2021 г.

Асманов О.А., Магомедов Х.Д., Адиллов З.А.

Дагестанский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Махачкала, Россия, adilov79@mail.ru

В статье приведены инструментальные и макросейсмические данные землетрясения, произошедшего 3 сентября 2021 г. в Цунтинском районе Дагестана с $K_p=12.36$, интенсивность сотрясений которого в эпицентральной зоне достигла пяти баллов. В статье приводится карта изосейст, построенная на основе обработки данных из 30 населённых пунктов Дагестана.

Ключевые слова: Бежтинское землетрясение, инструментальные данные, сейсмическая станция.

MACROSEISMIC MANIFESTATIONS OF THE BEZHITA EARTHQUAKE ON SEPTEMBER 3, 2021

Asmanov O.A., Magomedov H.D., Adilov Z.A.

Dagestan branch of FIS GS RAS, Makhachkala, Russia, adilov79@mail.ru

The article presents instrumental and macroseismic data of the earthquake that occurred on September 3, 2021 in the Tsuntinsky district of Dagestan with a $CR=12.36$, the intensity of which in the epicentral zone reached five points. The article presents an isoseist map based on data processing from 30 settlements in Dagestan.

Keywords: Bezhta earthquake, instrumental data, seismic station.

Введение. Бежтинское землетрясение, произошедшее 3 сентября 2021 г. в 03 ч. 34 мин. с $K_p=12.36$ на глубине 20 км, является одним из ощутимых сейсмических событий за 47-летний период инструментальных наблюдений на юго-западе Дагестана. Данное землетрясение с координатами: 42.25° N; 46.25° E зарегистрировано вблизи пересечения Разлома Главного Кавказского хребта с Леватийско-Тбилиско-Аграханским разломом (рис. 1) в районе Богосского хребта.

Бежтинское землетрясение. По данным ISC [6] Бежтинское землетрясение записали 737 сейсмических станций мировой сети.

Инструментальные данные. Кинематические и динамические параметры землетрясения представлены в табл. 1 по данным Дагестанского филиала ФИЦ ЕГС РАН [1] (сеть DRS) в сопоставлении с решениями международных сейсмологических центров, представленными в бюллетене ISC [6]. Положение эпицентра по данным DRS и разных сейсмологических служб показано на рис. 1. Бросается в глаза большой разброс определений эпицентров разных служб в широтном направлении.

Таблица 1.

Основные параметры Бежтинского землетрясения 3 сентября 2021 г. по данным Дагестанского филиала ФИЦ ЕГС РАН в сопоставлении с определениями других агентств

Агентство	t_0 , ч мин с	δt_0 , с	Гипоцентр						Магнитуда/ число станций	Источник
			φ° , N	$\delta\varphi^{\circ}$	λ° , E	$\delta\lambda^{\circ}$	h , км	δh , км		
DRS	03 34 49.06	—	42.258	—	46.148	—	6.0	—	$K_p=12.36$	[1]
GFZ	03 34 51.10	0.40	42.287	—	46.099	—	10.0	7	$mb=4.3/23$, $M=4.3/23$	[6]
MOS	03 34 47.30	—	42.153	—	45.981	—	10.7	0.3	$MPVA=5.4$	[6]
AZER	03 34 47.17	—	42.211	—	45.817	—	10.0	—	$ml=4.8$	[6]
ISC	03 34 49.86	0.64	42.177	0.02	45.960	0.02	13.0	4.22	$M_s=3.7/49$, $m_b=4.7/150$	[6]

Агентство	t_0 , ч мин с	δt_0 , с	Гипоцентр						Магнитуда/ число станций	Источник
			φ° , N	$\delta\varphi^\circ$	λ° , E	$\delta\lambda^\circ$	h , км	δh , км		
NEIC	03 34 50.08	2.02	42.282	0.1	46.033	0.09	30.0f	–	$m_b=4.8/106$	[6]
TIF	03 34 47.60	–	42.194	–	45.953	–	11.4	1.0	$M_l=4.7$	[6]
IDC	03 34 47.50	0.46	42.158	0.09	45.943	0.08	0.0f	–	$m_b=4.4/28,$ $M_s=3.6/36$	[6]

Примечание. DRS – Дагестанский филиал ФИЦ ЕГС РАН; GFZ – German Research Centre For Geosciences; MOS – сеть телесеизмических станций ФИЦ ЕГС РАН, Обнинск, Россия; AZER – Республиканский сейсмологический центр Национальной академии наук Азербайджана; ISC – International Seismological Center, UK; NEIC – National Earthquake Information Center, USA; TIF – Институт наук о Земле Национального центра сейсмического мониторинга, Тбилиси, Грузия; IDC – International Data Centre, Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty (CTBTO), Austria.

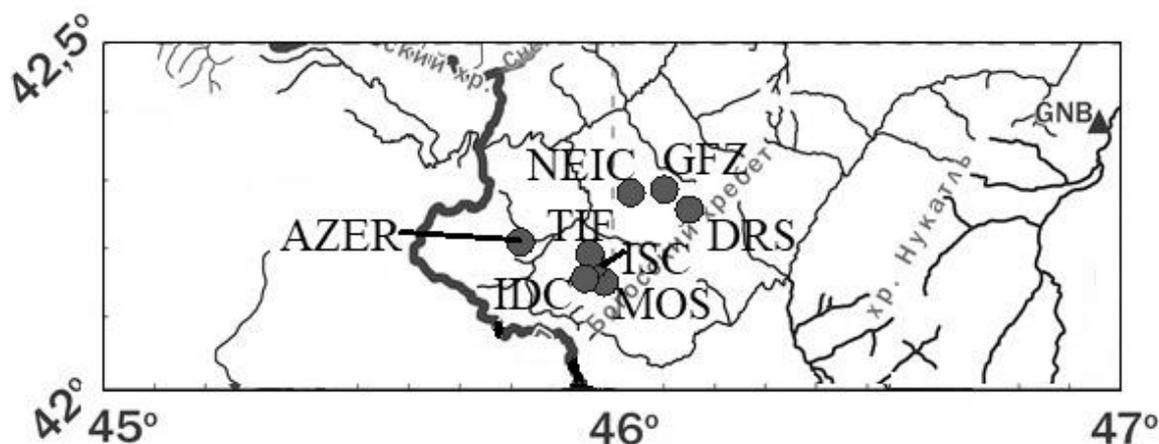


Рис. 1. Решения эпицентра Бежтинского землетрясения 3 сентября 2021 г. по данным разных сейсмологических центров (табл. 1)

Форшоковая и афтершоковая активность исследуемого землетрясения в радиусе 20 км представлена в таблице 2 и на рис. 2.

Таблица 2.

Основные параметры форшоков и афтершоков Бежтинского землетрясения 3 сентября 2021 г.

№	Дата	t_0 , ч. мин. сек.	Эпицентр		h , км	K_p [1]
			φ° , N	λ° , E		
Форшоки						
1	24.08.2021	05-38-26.02	42.43	45.99	6	4.8
2	24.08.2021	11-1.9-18.01	42.45	46.21	9	5.1
3	25.08.2021	12-31.5-9.08	42.39	45.99	6	6.3
4	26.08.2021	19-31-20.0	42.19	46.06	6	6,3
5	28.08.2021	05-56-21.05	42.10	46.24	6	8.2
6	02.09.2021	04-33-06.0	42.23	46.04	6	5.6
7	02.09.2021	10-15-15.0	42.38	46.06	3	4.8
Главный толчок						
8	03.09.2021	03-34-49.05	42.26	46.14	3	12.3
Афтершоки						
9	03.09.2021	03-56-20.0	42.24	46.13	3	7.4
10	03.09.2021	06-35-37.0	42.35	45.96	18	5.9
11	03.09.2021	06-49-14.0	42.20	45.96	54	6.0
12	03.09.2021	08-50-35.0	42.25	46.14	3	8.9
13	04.09.2021	15-2.9-04.0	42.29	46.01	24	5.3

14	04.09.2021	16-46-44.0	42.18	46.00	6	7.1
15	05.09.2021	00-09-27.0	42.24	46.03	15	4.4
16	05.09.2021	05-03-30.09	42.22	46.06	15	6.5
17	05.09.2021	06-14-19.01	42.27	46.16	15	7.2
18	06.09.2021	02-04-25.0	42.22	45.98	60	9.5
19	06.09.2021	06-40-49.0	42.27	46.01	60	7.2
20	06.09.2021	16-14-23.0	42.20	46.03	6	6.6
21	07.09.2021	18-12-27.0	42.21	40.05	6	5.9
22	07.09.2021	23-49-14.03	42.23	46.09	3	5.6
23	08.09.2021	22-46-16.0	42.04	46.03	6	4.5
24	08.09.2021	22-48-27.0	42.09	45.98	6	5.6
25	09.09.2021	22-53-48.0	42.31	46.12	9	4.9
26	11.09.2021	07-15-48.06	42.22	46.05	6	6.3
27	15.09.2021	08-03-59.0	42.07	46.21	15	6.3
28	21.09.2021	21-33-16.05	42.35	46.12	15	4.3
29	22.09.2021	00-09-13.05	42.15	45.91	63	5.3
30	23.09.2021	10-36-00.09	42.16	46.02	6	6.7
31	24.09.2021	00-22-03.8	42.34	46.07	21	4.9
32	25.09.2021	20-16-35.04	42.27	45.91	3	7.9
33	26.09.2021	20-50-12.07	42.22	46.07	6	5.7
34	30.09.2021	01-28-56.05	42.24	46.03	6	5.8

Представленный список из 7 форшоков и 26 афтершоков можно использовать для оценки энергетической ступени между энергетическим классом главного толчка и максимальными энергетическими классами форшоков ($\Delta K_{\text{ф}}$) и афтершоков ($\Delta K_{\text{а}}$): $\Delta K_{\text{ф}}=12.3-8.2=4.1$; $\Delta K_{\text{а}}=12.3-9.5=2.8$.

Осевая линия поля форшоков и афтершоков Бежтинское землетрясения ориентирована в северо-восточном направлении, что согласуется с направлением вытянутости поля изосейст на рис. 3.

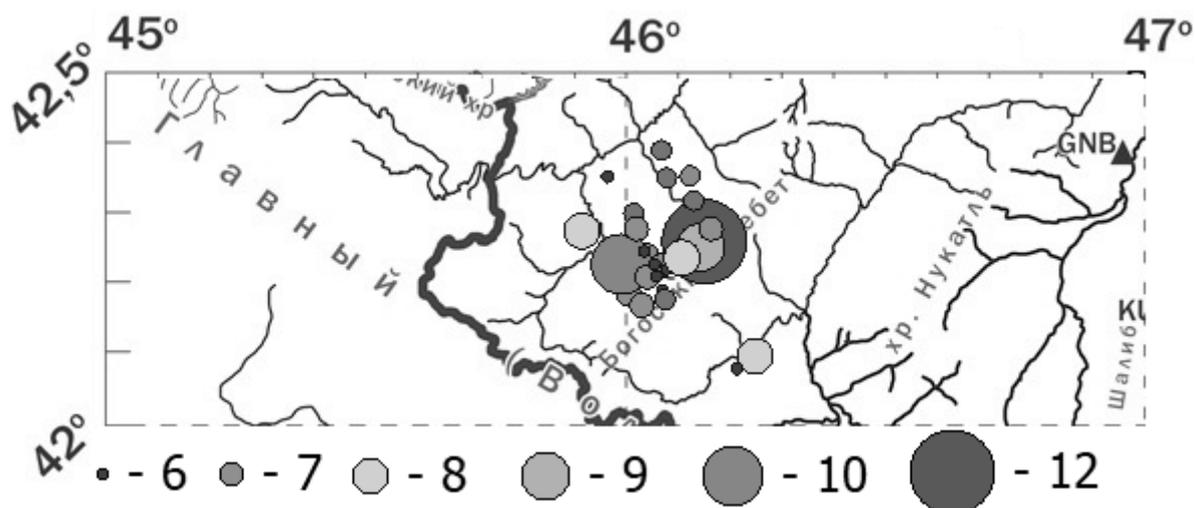


Рис. 2. Эпицентры форшоков и афтершоков Бежтинского землетрясения 3 сентября 2021 г.

Макросейсмические данные. Последствия землетрясения на территории Дагестана были обследованы сотрудниками ДФ ФИЦ ЕГС РАН и ГУ МЧС России по Дагестану с участием представителей администраций сельских поселений Цунтинского и Тляртинского районов.

Для анализа макросейсмических проявлений рассматриваемого землетрясения использовалось уравнение макросейсмического поля Блейка-Шебалина [4]:

$$I_i = bM - v \lg \sqrt{\Delta_i^2 + h^2} + C, \quad (1)$$

или, для интенсивности сотрясений в эпицентре I_0 :

$$I_0 = bM - v \lg h + C, \quad (2)$$

где I_i – интенсивность в конкретном населенном пункте на эпицентральной расстоянии Δ_i , определенная, как и I_0 , по шкале ШСИ-17 [7]; M – магнитуда землетрясения, определяемая по поверхностным волнам; h – глубина гипоцентра землетрясения в км; коэффициенты b , v и C для Дагестана и прилегающих районов в уравнениях (1) и (2) равны 1.5, 3.6, 3.1 соответственно.

Формулы (1) и (2) не учитывают геометрических размеров очага, и изосейсты без учета анизотропии затухания являются концентрическими кругами.

Макросейсмический эпицентр находился как центр изосейсты высшего балла. Глубина по макросейсмическим данным определялась из уравнения (2).

При оценке расчётной интенсивности сотрясения в эпицентре I_0 по формуле (2) получено $I_0=5.3$ балла при значении $M_s=4.6$ и глубине $h=20$ км.

В пятибалльную эпицентральною область попали населённые пункты Генух, Кидро, Бежта, Хамантли, Хонох и Санти Цунтинского района. Многие люди ощущали землетрясение в спокойном состоянии и смогли определить направление и длительность колебаний, в единичных случаях образовались или вскрылись трещины в штукатурке.

В населённых пунктах Генух и Кидро очень сильно ощущали вертикальный удар.

Интенсивность сотрясений 4-5 баллов охватила горную часть территории Дагестана: большую часть Тляратинского и Цумадинского районов и Бежтинского участка. Здесь землетрясение ощущалось населением как на верхних, так и на первых этажах домов. Люди заметили дрожание мебели, оконных стёкол, движение незакрытых дверей и окон, раскачивание люстр, в некоторых домах появились волосяные трещины в штукатурке.

В четырехбалльной области сотрясений оказались села Ботлих и Гочоб.

Интенсивность сотрясений 3-4 балла зарегистрирована в населённых пунктах Гуниб, Шамилькала, Кумух.

С интенсивностью сотрясений 3 балла землетрясение ощущалось в населенных пунктах Мухах, Дубки, Какашура, Герхмахи.

Хасавюрт, Рутул, Аксай, Махачкала – в 2-3 балльной области сотрясений.

Результаты обработки макросейсмической информации представлены в таблице 3. На рис. 3 приведена карта изосейст данного землетрясения только в пределах Дагестана по которой были определены координаты макросейсмического эпицентра, оказавшиеся равными $\varphi_m=42.12^\circ$ N, $\lambda_m=46.00^\circ$ E, $h=20$ км, изосейсты вытянуты в северо-восточном направлении.

Таблица 3.

Макросейсмические сведения Бежтинского землетрясения 3 сентября 2021 г.

№	Пункт	φ^0, N	λ^0, E	$\Delta, км$	№	Пункт	φ^0, N	λ^0, E	$\Delta, км$
	Макросейсмический эпицентр	42.12	46.00	–	13	Хунзах	42.544	46.706	92
5 баллов					3-4 балла				
1	Генух	42.177	45.982	0	14	Гуниб	42.38	46.961	80
2	Кидеро	42.194	45.954	7	15	Шамилькала	42.688	46.870	87
3	Бежта	42.134	46.125	11	16	Кумух	42.17	47.117	99
4	Хамантли	42.311	45.961	15	3 балла				
5	Хвариши	42.351	46.107	21	17	Мухах	41.700	46.991	88
6	Санга	42.242	46.254	22	18	Дубки	43.021	46.841	112

4-5 баллов					19	Какашура	42.654	47.390	122
7	Тлярата	42.105	46.356	30	20	Герхмахи	42.265	47.531	123
8	Сильди	42.455	45.928	31	2-3 балла				
9	Дагбаш	42.380	46.351	35	21	Хасавюрт	43.246	46.589	125
10	Урада	42.380	46.563	49	22	Грозный	43.309	45.670	
4 балла					23	Рутул	41.533	47.427	136
11	Гочоб	42.238	46.663	52	24	Аксай	43.373	46.443	136
12	Ботлих	42.669	46.219	55	25	Махачкала	42.972	47.493	150

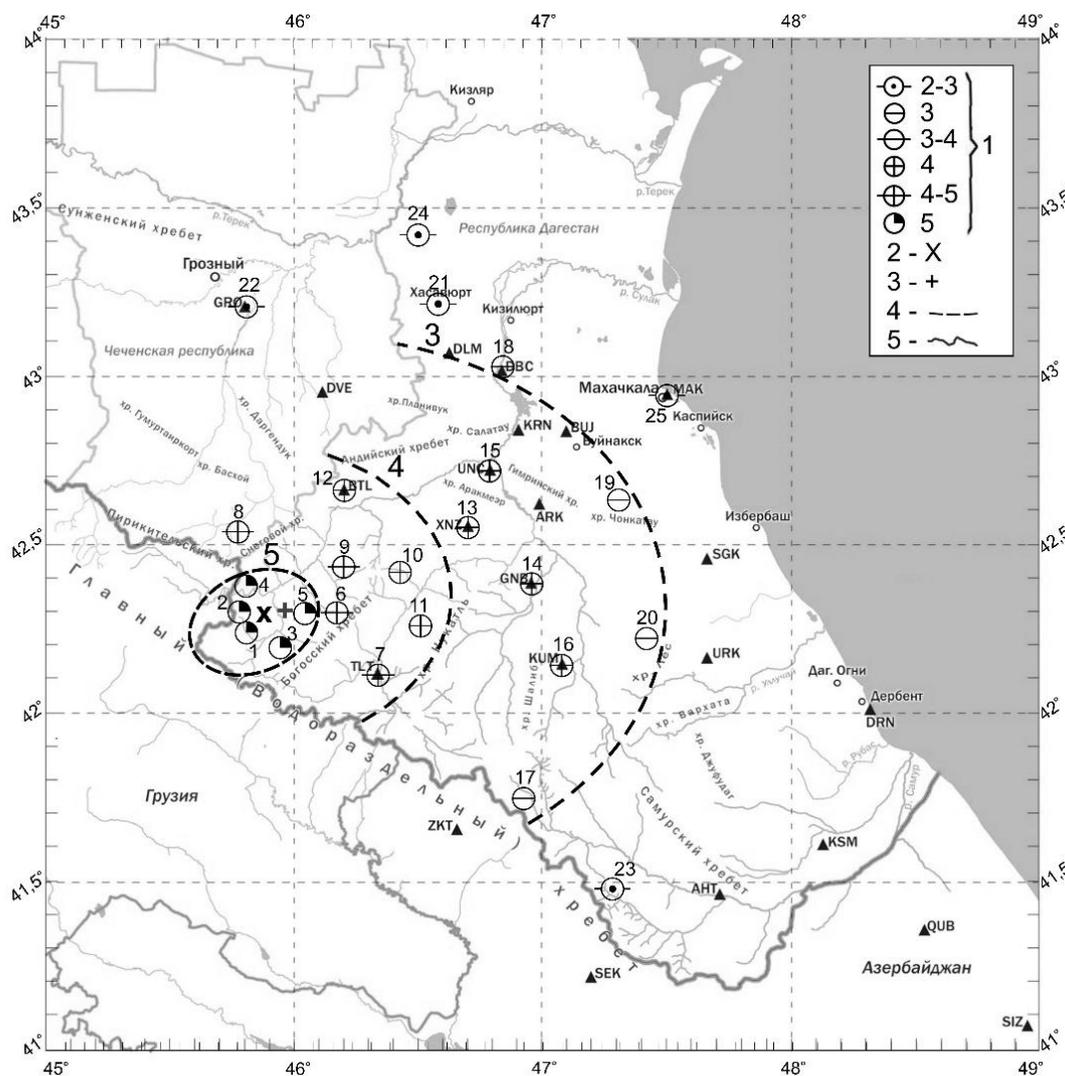


Рис. 3. Карта изосейст Бежтинского землетрясения: 1 – интенсивность сотрясений в баллах по шкале ШСИ-17; 2, 3 – макросейсмический и инструментальный эпицентры соответственно; 4 – изосейсты; 5 – государственная граница.

История сейсмичности в районе Бежтинского землетрясения. Район пересечения Разлома Главного Кавказского хребта с Леватийско-Тбилиско-Аграханским разломом (рис. 1) характеризуется высоким уровнем сейсмичности [5]. По историческим инструментальным данным [3] в этом районе происходили сильные землетрясения. Параметры исторических землетрясений в радиусе 25 км от рассматриваемого очага представлены в таблице 4 и на рис. 4. Как видно, в этом районе семерьбалльное землетрясение произошло 17 октября 1902 г. [3]. Землетрясение с наибольшей магнитудой $M_s=5.1$ зарегистрировано в инструментальный период наблюдений в 1974 г. [2, 3], эпицентр которого в 21 км северо-западнее от эпицентра Бежтинского землетрясения.

Сопоставление карт изосейст землетрясений 4 августа 1974 г. и 3 сентября 2021 г. показывает, что в обоих случаях 3-5 балльные изосейсты вытянуты в северо-восточном направлении, а пространственная ориентация больших осей совпадает.

Таблица 4.

Параметры эпицентров исторических землетрясений в очаговой зоне Бежтинского землетрясения

№	Дата день, месяц, год	t ₀ , ч. м. с.	Координаты эпицентра			M	I ₀
			φ ⁰ ,N	λ ⁰ ,E	h, км		
1	17.10.1902	07 21 00.0	42.10	45.80	7	4.5	7
2	21.03.1954	09 57 00.0	42.30	45.90	18	4.9	6
3	29.03.1961	07 29 26.0	42.30	45.90	30	4.1	4
4	04.07.1961	19 25 19.0	42.00	45.80	15	4.2	5
5	23.08.1962	02 18 51.0	42.10	45.90	18	4.2	5
6	04.08.1974	15 06 13.40	42.10	45.90	18	5.1	6–7
7	03.07.1985	23 30 37.30	42.25	46.07	25	4.0	4
8	04.07.1985	05 08 28.80	42.10	45.73	25	5.0	5–6
9	21.06.1990	22 25 54.30	42.10	45.77	25	4.4	4–5
10	22.09.1990	02 45 59.70	42.00	46.00	25	4.2	4
11	22.09.1990	09 24 37.0	41.97	45.90	25	4.2	4
12	27.05.1991	03 40 42.0	42.00	46.00	20	3.7	4
13	05.09.1994	19 13 13.50	41.97	46.16	15	4.8	6
14	16.08.1995	23 51 21.0	42.17	46.07	10	4.1	5–6
15	20.12.1996	11 42 29.0	42.03	46.15	20	3.7	4
16	18.04.2004	02 21 19.32	42.20	46.27	2.5	4.0	7–8
17	29.04.2004	19 49 32.8	42.08	46.21	16	3.7	4
18	02.05.2004	09 07 11.84	42.05	46.13	8.5	3.7	5
19	08.05.2005	18 47 06.42	41.97	45.87	11	4.2	5–6
20	08.04.2008	14 17 31.52	41.98	46.13	9	3.8	5
21	16.08.2010	17 42 43.24	41.98	46.04	17	3.8	4
22	17.06.2011	04 40 41.66	42.20	46.07	15	3.7	4
23	17.09.2013	04 09 15.47	42.14	45.75	14.5	5.0	6
24	03.09.2021	03 34 49.58	42.25	46.14	12.4	4.6	5

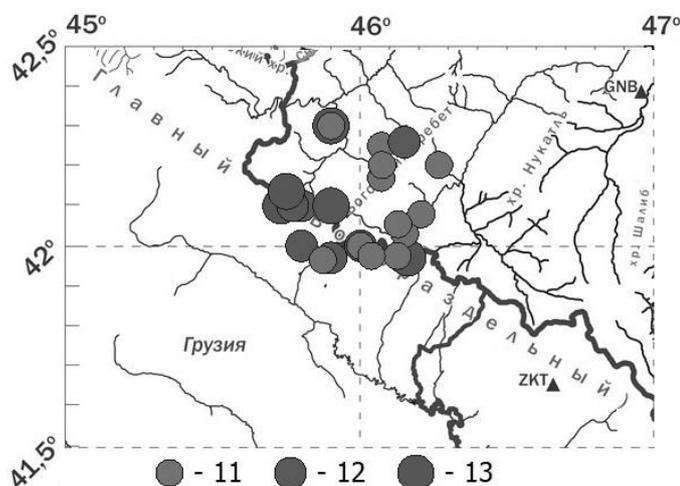


Рис. 4. Карта эпицентров исторических землетрясений в очаговой зоне Бежтинского землетрясения за период с 1902 до 2021 гг.

Заключение

Бежтинское землетрясение 3 сентября 2021 г. нарушило сейсмическое затишье в этой зоне, продолжавшееся с 1974 г., что говорит о продолжении выделения сейсмической энергии в этой зоне. По энергетическому уровню на фоне исторических землетрясений это событие можно отнести к рядовому явлению для данного района. Возможно, в среднесрочной перспективе здесь будут иметь место подобные сейсмические события.

Литература

1. Адиллов З.А., Асекова З.О., Гамидова А.М., Мусалаева З.А., Павличенко И.Н., Сагателова Е.Ю., Шахмарданова С.Г. // Каталог (оригинал) землетрясений Дагестана за 2021 г. – Махачкала: Фонды ДФ ФИЦ ЕГС РАН, 2021 г.
2. Асманов О.А., Арефьев С.С., Идармачев Ш.Г., Кахиани Л.А., Левкович Р.А., Папалашвили В.Г., Шебалин Н.В. Бежтинское землетрясение 4 августа 1974 г. // Землетрясения в СССР в 1975 г. – М.: Наука, 1978. – С. 31-35.
3. Общий каталог землетрясений на территории Дагестана. Макросейсмические и инструментальные данные о землетрясениях за период с VII в. н.э. до 2005 года. – Махачкала: Эпоха, 1997. – 394 с.
4. Шебалин Н.В. Методы использования инженерно-сейсмологических данных при сейсмическом районировании // Сейсмическое районирование СССР. – Москва, 1968. – С. 95-111.
5. Черкашин В.И., Сабанаев К.А., Гаврилов Ю.О., Панов Д.И. Тектоническая карта Дагестана // Труды ИГ ДНЦ РАН (Тектоника Дагестана (объяснительная записка), Вып. 60). – Махачкала: АЛЕФ, 2012. – с. 86.
6. International Seismological Centre, On-line Bulletin, Internatl. Seis. Cent., Thatcham, United Kingdom, 2016. – URL: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>
7. <https://gostassistant.ru/doc/ff36c428-dab0-4484-b9e5-76a20f893c3a>

УДК 550.348. (470.67)

DOI: 10.33580/2541-9684-2024-98-3-41-48

ОЩУТИМЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ДАГЕСТАНА И ЧЕЧЕНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ в 2020 г.

Асманов О.А., Адиллов З.А., Рагимов Т.Т.

Дагестанский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Махачкала, Россия, adilov79@mail.ru

В статье приводятся инструментальные данные и описания макросейсмических проявлений ощутимых землетрясений на территориях Дагестана и Чеченской Республики в 2020 г.

Ключевые слова: Дагестан, землетрясение, макросейсмические и инструментальные данные, карта изосейст, карта разломов.

TOUCHABLE EARTHQUAKES IN DAGESTAN AND THE CHECHEN REPUBLIC in 2020

Asmanov O.A., Adilov Z.A., Ragimov T.T.

Dagestan Branch of the Federal Research Center of Geophysical Surveys of the Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia, adilov79@mail.ru

The article presents instrumental data and descriptions of macroseismic manifestations of felt earthquakes in the territories of Dagestan and the Chechen Republic in 2020.

Keywords: Dagestan, earthquake, macroseismic and instrumental data, isoseismal map, fault map.

Введение. Опасность землетрясений Дагестана и Чеченской республики заключается в их мелкофокусном характере, в результате чего даже относительно слабые и умеренные землетрясения могут представлять опасность для населения.

В 2020 г. на исследуемой территории были зарегистрированы два пятибалльных землетрясения: 1) Шатойское землетрясение с $M_s=4.7$, которое произошло 12 декабря 2020 г. в 21^h29^m на территории Шатойского района Чеченской Республики; 2) морское землетрясение с такой же магнитудой $M_s=4.7$, которое произошло 3 ноября 2020 г. в 12^h16^m в прибрежной акватории Каспийского моря в 35 км от поселка Ялама.

Настоящая статья посвящена изучению инструментальных и макросейсмических данных этих двух ощутимых землетрясений 2020 г.

Методика обработки макросейсмических данных. Для анализа макросейсмических проявлений рассматриваемых землетрясений использовалось уравнение макросейсмического поля Блейка-Шебалина [5]:

$$I_i = bM - v \lg \sqrt{\Delta_i^2 + h^2} + C, \quad (1)$$

или, для интенсивности сотрясений в эпицентре I_0 :

$$I_0 = bM - v \lg h + C, \quad (2)$$

где I_i – интенсивность в конкретном населенном пункте на эпицентральной расстоянии Δ_i , определенная, как и I_0 , по шкале ШСИ-17 [12]; M – магнитуда землетрясения, определяемая по поверхностным волнам; h – глубина гипоцентра землетрясения в км; коэффициенты b , v и C для Дагестана

и прилегающих районов в уравнениях (1) и (2) равны 1.5, 3.6, 3.1 соответственно.

Формулы (1) и (2) не учитывают геометрических размеров очага, и изосейсты без учета анизотропии затухания являются концентрическими кругами.

Макросейсмический эпицентр находился как центр изосейсты высшего балла. Глубина по макросейсмическим данным определялась из уравнения (2).

Тектоническая позиция очагов. На рис. 1 приведена карта эпицентров исследуемых землетрясений, совмещенная с картой разломов [10]. Морское землетрясение оказалось в районе пересечения Прибрежного и Самурского разломов.

В сеймотектоническом плане Шатойское землетрясение приурочено к широтному Черногорскому разлому горного района Чеченской Республики [4, 6], где за последние 70 лет произошли более 20 землетрясений с магнитудами от $4.5 \leq M \leq 6.5$ [6, 7, 8, 9].

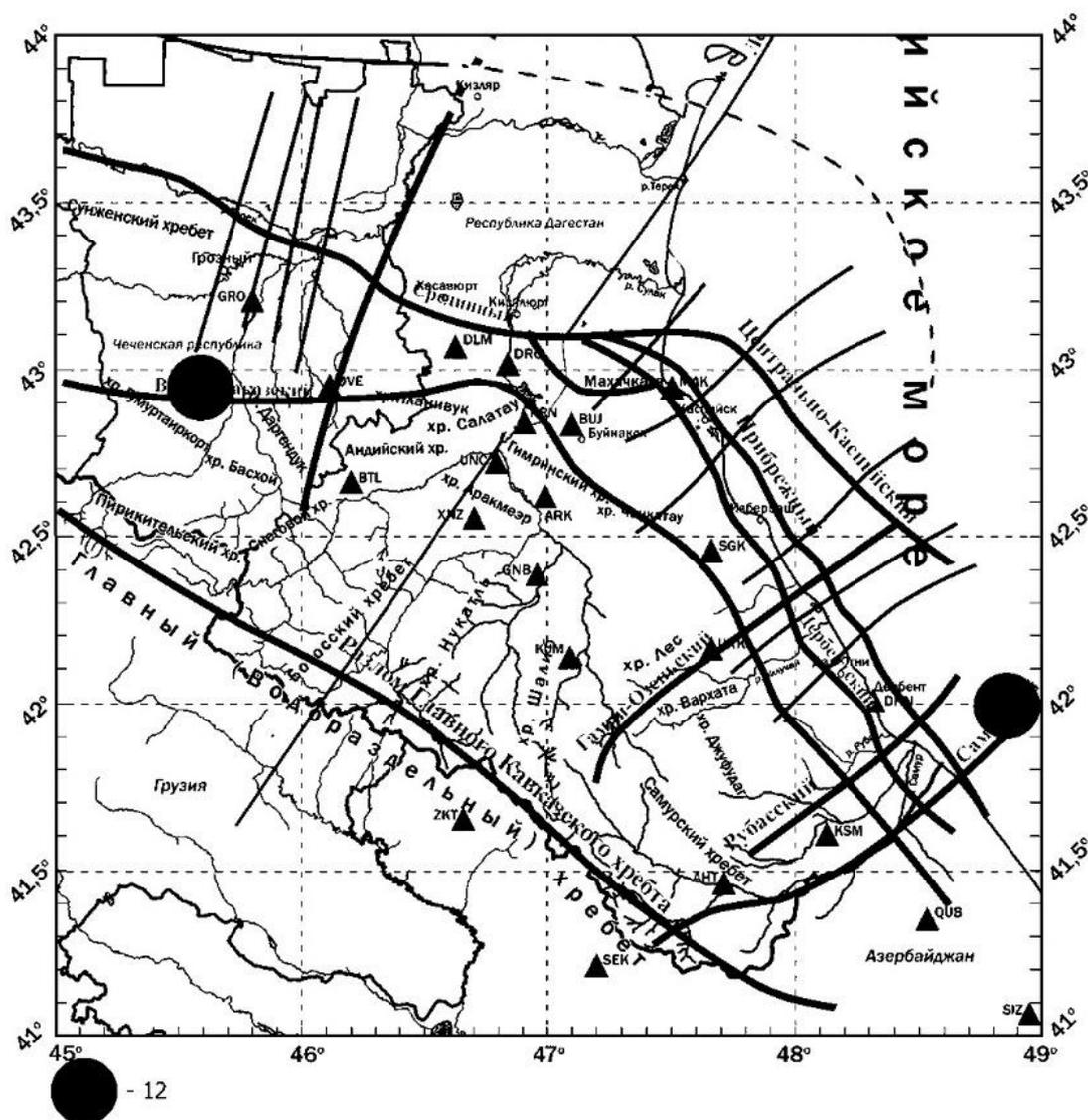


Рис. 1. Эпицентры ощутимых землетрясений 2020 г.: Шатойского 12 декабря с $K_p=12.5$ и морского 3 ноября с $K_p=12.4$ на фоне карты разломов по [10]

Шатойское землетрясение. Эпицентр землетрясения, произошедшего 12 декабря 2020 г. в $21^{\text{h}}29^{\text{m}}$, находился на территории Шатойского района Чеченской Республики, ближайшим к эпицентру населенным пунктом является село Шатой, по названию которого и именовано это землетрясение. Сейсмическое воздействие этого землетрясения ощущалось на расстоянии около 190 км. Наибольшая интенсивность в $I_0=5$ баллов по шкале ШСИ-17 [12] отмечена в четырёх населённых пунктах. Сотрясениями была охвачены территории республик Осетии, Ингушетии, Чечни и Дагестана. Землетрясение сопровождалось небольшим количеством форшоков и афтершоков.

Инструментальные данные. Шатойское землетрясение записали 889 сейсмических станций мировой сети. Его кинематические и динамические параметры представлены в табл. 1 по данным Дагестанского филиала ФИЦ ЕГС РАН [1] (сеть DAGSR). Так же приведено сопоставление регионального бюллетеня ФИЦ ЕГС РАН по Северному Кавказу с центром обработки в

г. Обнинске [3] с решениями международных сейсмологических центров, представленными в бюллетене ISC [11], и сети OBGSR.

Положение эпицентра по данным DAGSR и разных сейсмологических служб показано на рис. 2.

Таблица 1.

Основные параметры Шатойского землетрясения 12 декабря 2020 г. по данным Дагестанского филиала ФИЦ ЕГС РАН в сопоставлении с определениями других агентств

Агентство	t_0 , ч мин с	δt_0 , с	Гипоцентр					h , км	δh , км	Магнитуда/ число станций	Источник
			φ° , N	$\delta\varphi^\circ$	λ° , E	$\delta\lambda^\circ$					
DAGSR	21 29 49.73	–	42.938	–	45.585	–	16.0	–	$K_p=12.5$ [4]	[1]	
OBGSR	21 29 48.60	1.0	43.037	0.04	45.542	0.03	20	3	$MPVA=5.4$, $K_p=12.9$	[3]	
MOS	21 29 48.60	–	43.026	–	45.541	–	19.7	0.30	$MPVA=5.4$, $K_p=12.5$	[11]	
NOGSR	21 29 49.00	–	43.023	–	45.555	–	17.2	0.30	$MPVA=5.3$	[11]	
ISC	21 29 49.04	0.49	43.111	0.02	45.536	0.02	13.4	3.17	$M_s=4.1/73$, $m_b=4.5/133$	[11]	
NEIC	21 29 48.85	0.98	43.155	0.12	45.528	0.11	10.0f	–	$m_b=4.7/96$	[11]	
TIF	21 29 48.30	–	43.145	–	45.433	–	11.3	1.0	–	[11]	
IDC	21 29 46.79	0.09	43.038	0.06	45.473	0.06	0.0f	–	$m_b=4.2/27$, $M_s=4.0/71$	[11]	

Примечание. DAGSR – Дагестанский филиал ФИЦ ЕГС РАН; ; OBGSR – сеть, используемая при составлении регионального бюллетеня ФИЦ ЕГС РАН по Северному Кавказу с центром обработки в г. Обнинске; MOS – сеть телесеизмических станций ФИЦ ЕГС РАН, Обнинск, Россия; NOGSR – Северо-Осетинский филиал ФИЦ ЕГС РАН; ISC – International Seismological Center, UK; NEIC – National Earthquake Information Center, USA; TIF – Институт наук о Земле Национального центра сейсмического мониторинга, Тбилиси, Грузия; IDC – International Data Centre, Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty (CTBT), Austria.

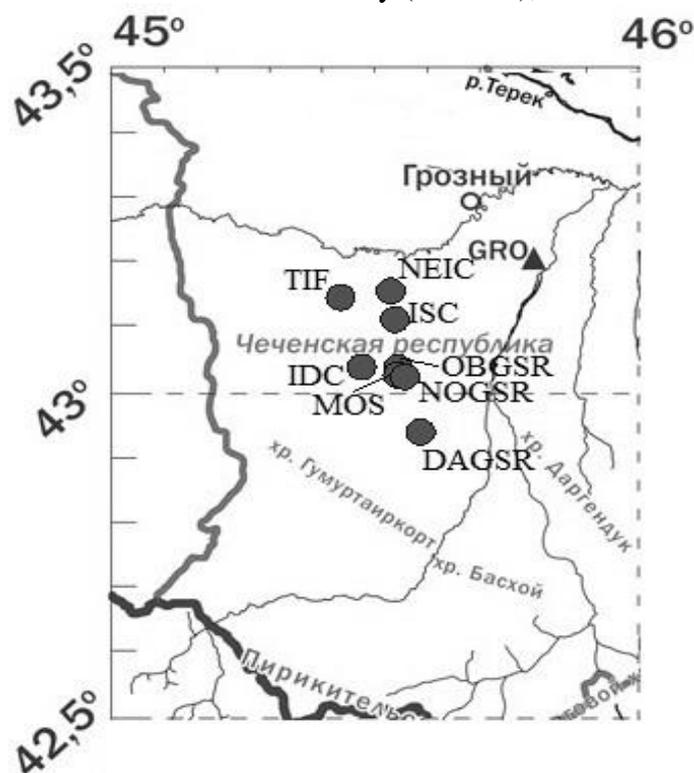


Рис. 2. Решения эпицентра Шатойского землетрясения 12 декабря 2020 г. по данным разных сейсмологических центров (табл. 1)

Как видно из табл. 1 и рис. 2, решения для эпицентра близки по данным разных служб, особенно ОБГСР, МОС, НОГСР, разброс глубин в пределах 20 км.

Макросейсмические данные. Сведения о проявлениях землетрясений получены сотрудниками КНИИ им. Х.И. Ибрагимова РАН, к.г.-м.н., в.н.с. Гайсумовым М.Я. и н.с. Бадаевым С.В. путём обследования очаговой зоны и по сообщениям пресс службы регионального управления МЧС по Чеченской Республике. Кроме того, материал собирался по телефону без выезда в населённые пункты на территории Ингушской и Осетинской республик.

На территории Дагестана обследование проводили сотрудники Дагестанского филиала ФИЦ ЕГС РАН. В результате анализа материалов было выявлено, что с наибольшей интенсивностью $I_0=5$ баллов землетрясение проявилось в Шатойском районе. Эта оценка близка к расчетному значению $I_0=5.8$, определенному по формуле (2) при $M_s=4.7$, $h_p=16$ км из табл. 1.

Согласно полученным результатам интенсивность сотрясений на исследованной территории составила от $I_0=3\div 5$ баллов, изосейсты землетрясения имеют форму эллипсов, большие оси которых вытянуты в широтном направлении (рис. 3).

В селениях Большая Вараны, Харсеной, Зоны и Шатой в зоне 5-ти бальных сотрясений, охватывающих площадь около 195 км² многие, испугались, спящие проснулись. Так же в населенных пунктах, расположенных в зоне пятибальных сотрясений, землетрясение ощущалось всеми жителями, находившимися в помещениях. В зданиях отмечено появление тонких трещин в штукатурке, прочие макросейсмические эффекты сводились к дрожанию и раскачиванию мебели, падению или смещению незакрепленных предметов, раскачиванию висящих предметов.

Оценки интенсивности сотрясений в населенных пунктах в баллах шкалы ШСИ-17 приведены в табл. 2, которой соответствует карта макросейсмических проявлений Шатойского землетрясения на рис. 3. Номера населенных пунктов на карте соответствуют нумерации в табл. 2. В населенных пунктах, в которых получены неоднозначные оценки интенсивности, использовались средние значения.

Четырехбальное сейсмическое воздействие отмечено в селениях Ачхой–Мартан, Ведено, Шара, Автуры, Буни и Грозный. Площадь четырехбальных сотрясений составляла около 4400 км². Здесь землетрясение ощутили большинство опрошенных людей, некоторые стремились покинуть помещения. Макросейсмические проявления сводились к скрипу полов и стен, дребезжанию посуды и оконных стекол, а также раскачиванию висящих предметов.

Таблица 2.

Макросейсмические сведения о Шатойском землетрясении 12 декабря 2020 г. с $K_p=12.5$

№	Пункт	φ°, N	λ°, E	$\Delta^*, км$	№	Пункт	φ°, N	λ°, E	$\Delta, км$
	Макросейсмический эпицентр	42.94	45.63	–	<u>3–4 балла</u>				
<u>5 баллов</u>					18	Первомайская	43.40	45.52	54
1	Большая Варанды	42.89	45.67	6	19	Толстой-Юрт	43.44	45.77	58
2	Харсеной	42.90	45.54	8	20	Ботлих	42.66	46.21	58
3	Зоны	42.94	45.72	8	21	Гудермес	42.66	46.21	60
4	Шатой	42.86	45.69	9	22	Ножай-Юрт	43.09	46.37	64
5	Борзой	42.84	45.63	11	<u>3 балла</u>				
<u>4–5 баллов</u>					23	Гарагорский	43.49	45.08	80
6	Итум-Кале	42.73	45.57	23	24	Дылым	43.07	46.63	82
7	Урус-Мартан	43.13	45.53	22	25	Хасавюрт	43.24	46.58	86
8	Агишты	43.02	45.89	23	26	Унцукуль	42.71	46.78	98
9	Шаладжи	43.09	45.35	28	27	Кизилюрт	43.20	46.86	105
<u>4 балла</u>					<u>2–3 балла</u>				
10	Ачхой-Мартан	43.19	45.28	40	28	Тлярата	42.10	46.35	110
11	Шали	43.15	45.90	32	29	Бабаюрт	43.60	46.77	118
12	Ведено	42.96	46.10	32	30	Буйнакск	42.82	47.11	121

№	Пункт	φ°, N	λ°, E	$\Delta^*, км$	№	Пункт	φ°, N	λ°, E	$\Delta, км$
13	Шарой	42.62	45.80	37	31	Кизляр	43.84	46.71	128
14	Автуры	43.16	46.00	40	32	Махачкала	42.97	47.49	150
15	Буниаул	42.72	46.03	40	33	Сулак	43.27	47.52	157
16	Грозный	43.31	45.68	40	34	Сергокала	42.45	47.66	168
17	Бамут	43.16	45.19	42					

Данные о проявлениях Шатойского землетрясения в населенных пунктах (табл. 2) аппроксимированы изосейстами равной балльности $I_0=3, 4, 5$. По изосейсте высшего балла определены координаты макросейсмического эпицентра: $\varphi=42.94^\circ, \lambda=45.63^\circ$. От него отсчитаны эпицентральные расстояния, представленные в табл. 2. Макросейсмический эпицентр расположен восточнее от инструментального эпицентра ($\varphi=42.94^\circ; \lambda=45.63^\circ$) на расстоянии 5 км, глубина очага $h_m = 25$ км.

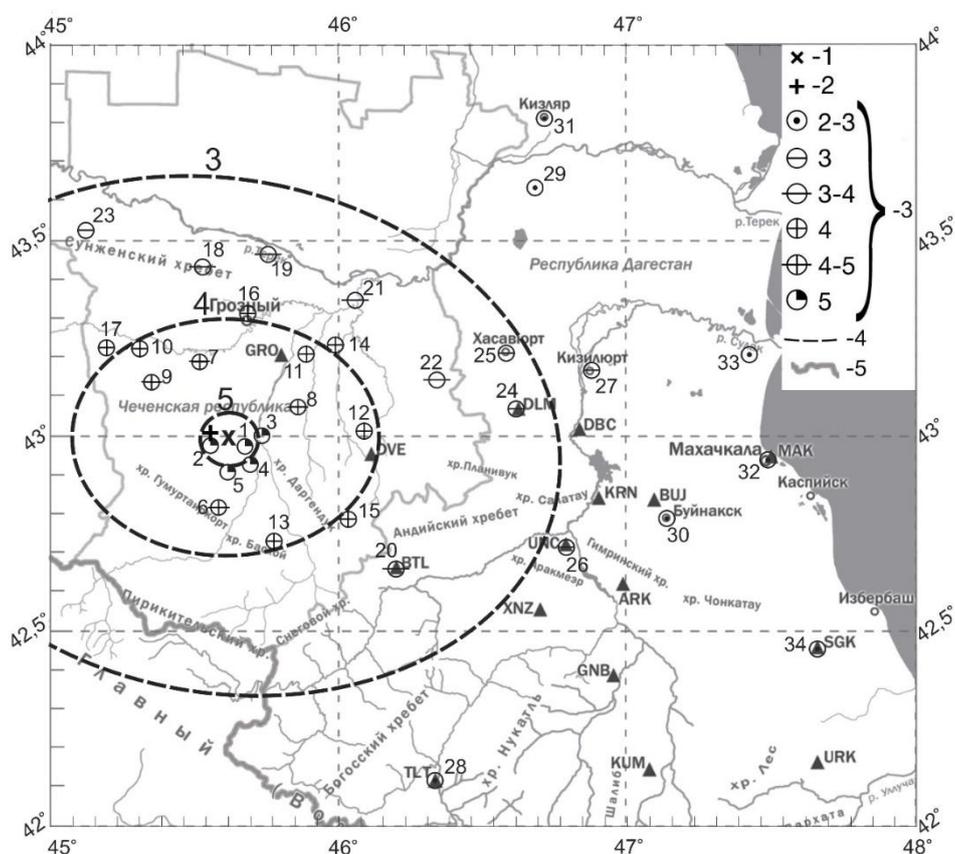


Рис. 3. Карта изосейст Шатойского землетрясения: 1, 2 – макросейсмический и инструментальный эпицентры соответственно; 3 – интенсивность сотрясений в баллах по шкале ШСИ-17

История сейсмичности. Район Шатойского землетрясения является сейсмоактивным районом Чеченской Республики. По данным различных источников интенсивность сотрясений ощутимых землетрясений в этом районе меняется от $I_0=5\div 8$ баллов (табл. 3).

Таблица 3.

Основные параметры ощутимых землетрясений в очаговой зоне Шатойского землетрясения.

№	Дата д. м. год.	t ₀ , ч.м.с.	Эпицентр		h, км.	M _s	I ₀ , балл	Источник
			φ ⁰ , N	λ ⁰ , E				
1	05.10.1928	19-47-21	42.8	45.6	8	4.7	7	[6]
2	24.08.1935	19-49-02	42.9	45.8	30	4.5	5	[2]
3	21.04.1954	09-57-37	42.8	45.8	18	4.9	6	[6]
4	02.03.1966	02-37-03	43.03	45.71	16	5.0	6	[9]
5	04.03.1966	07-46-47	42.9	45.6	10	3.6	5	[7]
6	28.07.1976	20-17-39	43.17	45.6	18	6.2	8	[4]
7	18.10.1981	05-22-24	42.97	45.47	10	5.4	6-7	[7]
8	04.03.1984	10-06-13	42.9	45.5	25	5.0	6	[7]
9	12.03.1984	19-58-09	42.8	45.4	25	4.2	5	[7]
10	12.12.2020	21-29-49	42.94	45.59	20	4.7	5	[Наст. статья]

Карта эпицентров ощутимых исторических землетрясений в очаговой зоне Шатойского землетрясения приведена на рис. 4.

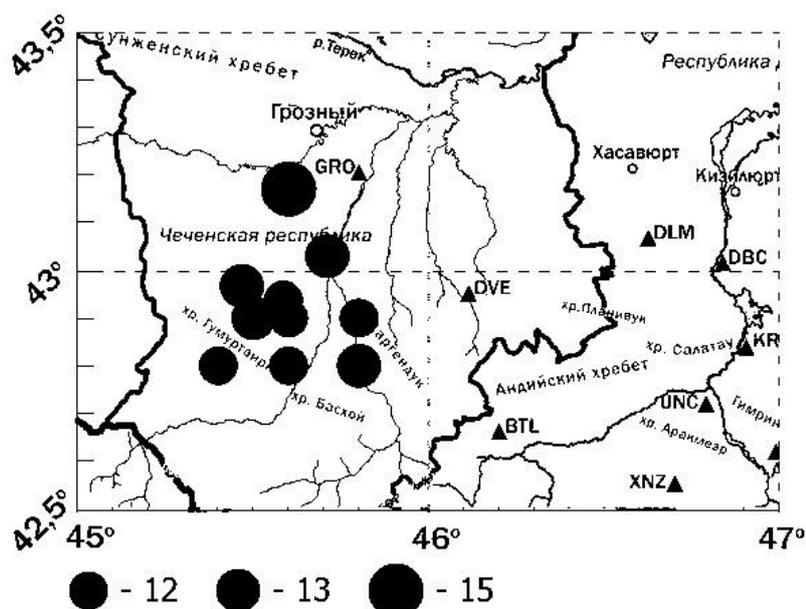


Рис. 4. Карта эпицентров ощутимых исторических землетрясений в очаговой зоне Шатойского землетрясения

Морское землетрясение 3 ноября 2020 г. Морское землетрясение с $M_s=4.7$ произошло 3 ноября 2020 г. в 12^h16^m в прибрежной акватории Каспийского моря в 35 км от поселка Ялама.

Инструментальные данные. Морское землетрясение записали 592 сейсмических станций мировой сети. Его кинематические и динамические параметры представлены в табл. 4 по данным Дагестанского филиала ФИЦ ЕГС РАН [1] (сеть DAGSR). Так же приведено сопоставление регионального бюллетеня ФИЦ ЕГС РАН по Северному Кавказу с центром обработки в г. Обнинске [3] с решениями международных сейсмологических центров, представленными в бюллетене ISC [11], и сети OBGSR.

Положение эпицентра по данным DAGSR и разных сейсмологических служб показано на рис. 5.

Таблица 4.

Основные параметры морского землетрясения 3 ноября 2020 г. по данным Дагестанского филиала ФИЦ ЕГС РАН в сопоставлении с определениями других агентств.

Агентство	t_0 , ч мин с	δt_0 , с	Гипоцентр						Магнитуда/ число станций	Источник
			φ° , N	$\delta\varphi^\circ$	λ° , E	$\delta\lambda^\circ$	h , км	δh , км		
DAGSR	12 16 47.50	–	41.985	–	48.864	–	33.0	–	$K_p=12.4$ [4]	[1]
MOS	12 16 44.80	1.28	42.208	0.04	48.927	0.03	84.0	–	$m_b=4.6/10$	[11]
ISC	12 16 44.70	0.48	42.136	0.04	48.914	0.04	70.2	5.06	$m_b=4.5/85$	[11]
NEIC	12 16 45.89	2.27	42.258	0.11	48.843	0.10	70.5	8.80	$m_b=4.5/46$	[11]
TIF	12 16 44.40	–	42.107	–	48.920	–	86.5	3.0	$ML=4.8$	[11]
IDC	12 16 44.05	1.49	42.108	0.12	48.758	0.08	60.9	14.1	$m_b=4.0/23$, $M_s=3.3/21$	[11]

Примечание. DAGSR – Дагестанский филиал ФИЦ ЕГС РАН; MOS – сеть телесеismicических станций ФИЦ ЕГС РАН, Обнинск, Россия; ISC – International Seismological Center, UK; NEIC – National Earthquake Information Center, USA; TIF – Институт наук о Земле Национального центра сейсмического мониторинга, Тбилиси, Грузия; IDC – International Data Centre, Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty (CTBT), Austria.

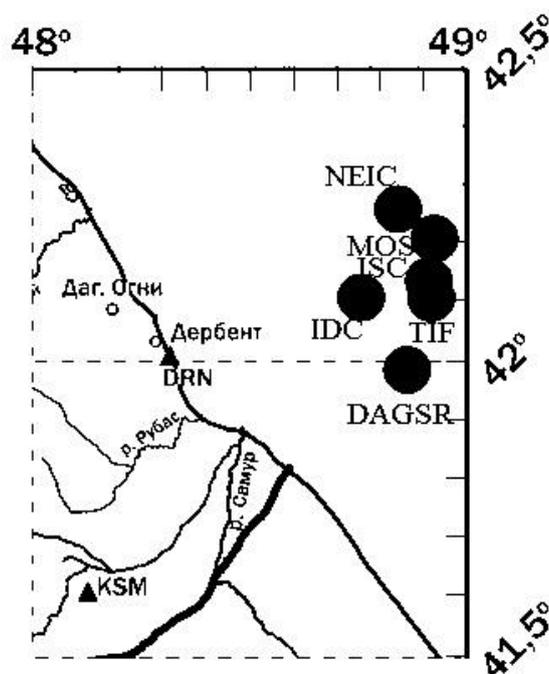


Рис. 5. Решения эпицентра морского землетрясения 3 ноября 2020 г. по данным разных сейсмологических центров (табл. 4).

Как видно из табл. 4 и рис. 5, решения для эпицентра близки по данным разных служб, особенно MOS, ISC, TIF разброс глубин от 33 км до 86.5 км.

Макросейсмические данные. Карта изосейст для морского землетрясения не была составлена из-за невозможности сбора макросейсмических данных в эпицентральной зоне. Расчетная интенсивность землетрясения в эпицентре составила 4.6 балла, а интенсивность сотрясений в г. Дербент составила около 4 баллов.

Заключение

Проанализированы инструментальные и макросейсмические данные двух ощутимых землетрясений с $M_s=4.7$, произошедших на территории Дагестана и Чеченской Республики в 2020 г.: Шатойского землетрясение, которое произошло 12 декабря 2020 г. в 21^h29^m на

территории Шатойского района Чеченской Республики; морского землетрясения, произошедшего 3 ноября 2020 г. в 12^h16^m в прибрежной акватории Каспийского моря в 35 км от поселка Ялама.

Для каждого из них определены кинематические и динамические параметры, оценена интенсивность сотрясений в эпицентре, для Шатойского землетрясения составлена карта изосейт.

Описанные сейсмические события вполне вписываются в общую схему сеймотектонической активности рассматриваемой территории, а результаты их изучения расширяют представление о подобных событиях и их последствиях, позволяя уточнить сейсмическую опасность на территории Северного Кавказа.

Литература

1. Адилев З.А., Асекова З.О., Гамидова А.М., Мусалаева З.А., Павличенко И.Н., Сагателова Е.Ю., Шахмарданова С.Г. // Каталог (оригинал) землетрясений Дагестана за 2021 г.– Махачкала: Фонды ДФ ФИЦ ЕГС РАН, 2021 г. – 96 с.
2. Ананьин И.В. Сейсмичность Северного Кавказа. – М.: «Наука», 1977. – 147 с.
3. Габсатарова И.П., Мехрюшев Д.Ю., Королецки Л.Н., Адилев З.А., Магомедов Х.Д., Саяпина А.А., Багаева С.С., Походенко В.П., Иванова Л.Е. Северный Кавказ // Землетрясения России в 2020 г. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2022. – С. 17–24.
4. Левкович Р.А., Крамынин П.И., Дейнега А.Г., Арефьев С.С. Некоторые результаты эпицентральных наблюдений Черногорского землетрясения 28 июля 1976 г. // Геодинамика и сейсмичность территории Дагестана. Труды ИГ ДАГ ФАН СССР, № 3(21). – Махачкала, 1979. – С.63-86.
5. Медведев С.В. Международная шкала сейсмической интенсивности // Сейсмическое районирование СССР – М.: Наука, 1968. – С. 151–162.
6. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. // Под ред. Н.В. Кондорской, Н.В. Шебалина. – М.: Наука, 1977. – 536 с.
7. Папалашвили В.Г. Сейсмические условия Кавказа. – Тбилиси «Мецниереба», 1997. – 223 с.
8. Раутиан Т.Г. Энергия землетрясений // Методы детального изучения сейсмичности. (Труды ИФЗ АН СССР; № 9 (176)). – М.: ИФЗ АН СССР, 1960. – С. 75–114
9. Цхакая А.Д., Папалашвили В.Г. Сейсмические условия Кавказа. – Тбилиси: «Мецниереба», 1973. – 114 с.
10. Черкашин В.И., Сабанаев К.А., Гаврилов Ю.О., Панов Д.И. Тектоническая карта Дагестана // Труды ИГ ДНЦ РАН (Тектоника Дагестана (объяснительная записка); Вып. 60). – Махачкала: АЛЕФ, 2012. –С. 86.
11. International Seismological Centre, On-line Bulletin, Internatl. Seis. Cent., Thatcham, United Kingdom, 2016. – URL: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>
12. <https://gostassistant.ru/doc/ff36c428-dab0-4484-b9e5-76a20f893c3a>

УДК 550.348. (470.67)

DOI: 10.33580/2541-9684-2024-98-3-49-55

СЕЙСМИЧНОСТЬ ДАГЕСТАНА И ПРИГРАНИЧНЫХ РАЙОНОВ ЗА ПЕРИОД 2007-2013г.г.

Исаев М.А.

Дагестанский филиал ФИЦ ЕГС РАН г. Махачкала

Проведен общий анализ сейсмичности Дагестана и прилегающих районов за период 2007-2013гг. Составлены карта эпицентров землетрясений с энергетическим классом $K=10-14$ и график распределения землетрясений по глубинам. Построена карта активности. Дано изменение во времени числа землетрясений и величины выделившейся суммарной энергии. Отмечена связь сейсмичности с зонами тектонических нарушений на рассматриваемой территории.

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

THE ANALYSIS OF DAGESTAN SEISMIC SETTING 2007-2013.

Isaev M.A.

Dagestan branch of the Federal Research Center Unified State Geosciences RAS, Makhachkala

The general analysis of Dagestan seismicity and the adjacent areas for the period 2007-2013 is carried out. The earthquakes epicenters map with the power class $K=10-14$ is made. Time-varying behaviour of earthquakes number and the size of the released total energy is given. The connection of seismicity with tectonic dislocation zones in this territory is noted.

Key words: earthquake, seismicity, water area, energy, epicenter.

Сейсмичность-это статистическое распределение интенсивности землетрясения на выделенной территории в зависимости от его повторяемости и наличия возможных очагов. Как известно, Дагестан характеризуется высокой сейсмической активностью. В настоящей работе, воспользовавшись всем имеющимся материалом (макросейсмическим и инструментальным), анализирована сейсмичность территории Дагестана с его приграничными зонами и прилегающей акватории Каспийского моря.

В данной статье 2007-2013(± 1 год) годы выбраны, как период, между двумя событиями с энергетическим классом $K=14$.

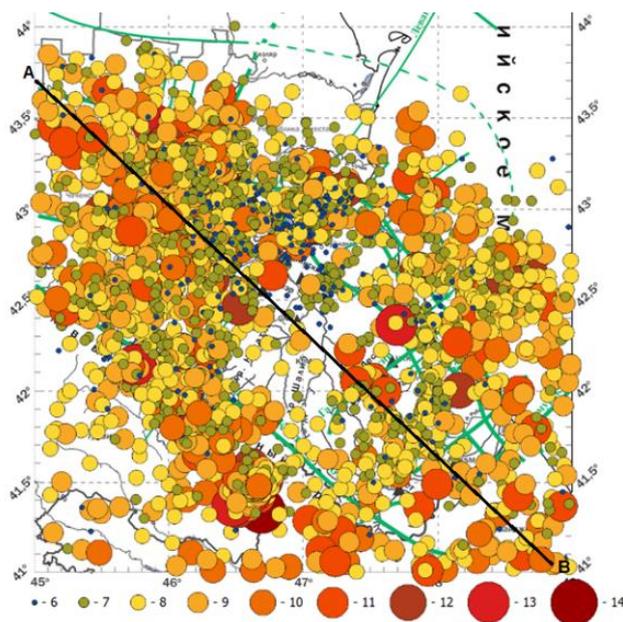


Рис.1. Общая карта распределения землетрясений за период 2007-2013гг.[1]

Рассмотрим распределение землетрясений Дагестана и прилегающих территорий с энергетическими классами $K=10-14$ (рис.2.).

Сеть сейсмических станций Дагестанского филиала ФИЦ ЕГС РАН фиксировала сейсмические события начиная с энергетического класса $K \geq 6$ на территории Дагестана и приграничных районов. Анализируем события с энергетическим классом $K=6$ и выше. Всего за выбранный период на рассматриваемой территории произошло 3258 землетрясений с энергетическими классами $K=6-14$ [1].

Сейсмичность территории Дагестана и прилегающих смежных районов за период 2007-2013гг. была неравномерной (рис.1), как по числу землетрясений, так и по выделившейся в их очагах суммарной энергии.

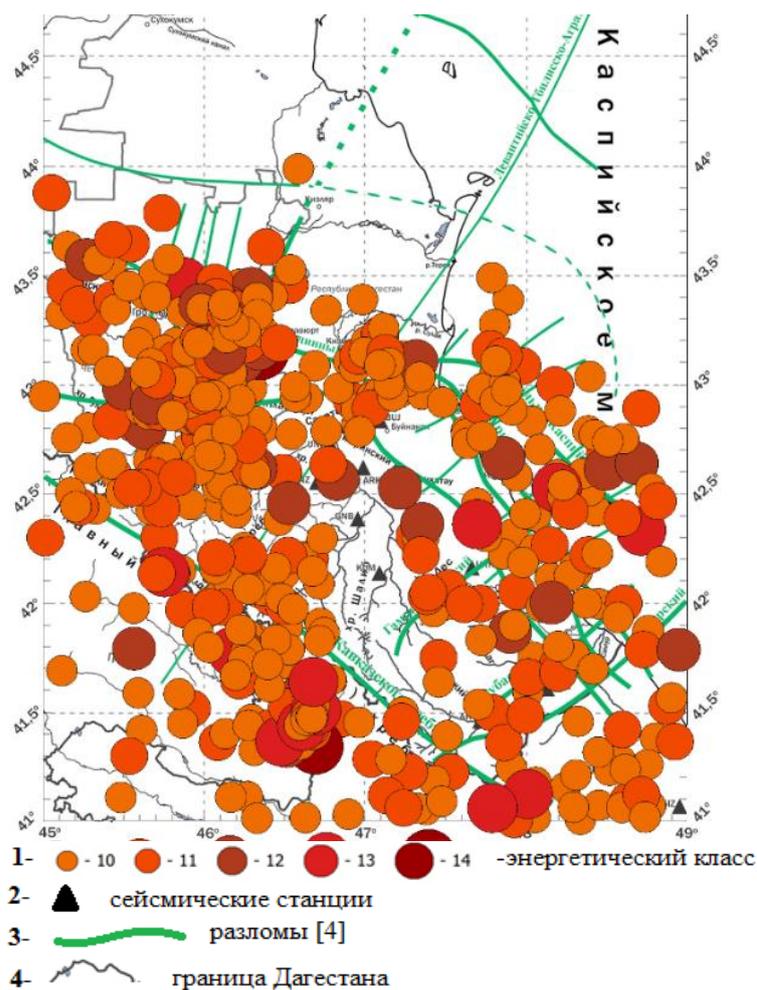


Рис.2. Карта землетрясений Дагестана и прибрежных районов с энергетическим классом $K=10-14$ за 2007-2013 гг.

В этот период произошли два сейсмических события с энергетическим классом $K=14$. Одно из них произошло на территории Чеченской республики по границе с Дагестаном 11 октября 2008 года в 9 часов 6 минут по Гринвичу, вблизи населенного пункта Курчалой. Координаты эпицентра $\varphi=43.14$; $\lambda=46.35$. Магнитуда землетрясения $M=5,7$. Сотрясаемость в эпицентре $J_0=7-8$ баллов. Глубина эпицентра $h=15$ км. Землетрясение ощущалось в Курчалое, Ойсхаре, Майртупе с силой 4-5 баллов. Произошло оно в Терско-Сунженской сейсмогенерирующей области Терско-Каспийского краевого прогиба. Почти во всех районах Чечни произошли частичные разрушения домов. Наиболее сильные разрушения в Курчалоевском районе и в Гудермесе.

Частичные разрушения были также в Шалинском, Гудермесском районах, в городах Грозный и Аргун [2].

А 7 мая 2012 года в 04 часа 40 минут на границе Дагестана и Азербайджана произошло землетрясение энергетического класса $K=14$ с магнитудой $M=5,7$ и ощущаемостью $J_0=7-8$ баллов. Это Закатальское землетрясение с координатами эпицентра $\lambda=46.689$; $\varphi=41.337$; $h=19.5$, что относится к зоне Разлома Главного Кавказского хребта. Землетрясение ощущалось на территории Азербайджана 7-8 баллов в населенных пунктах Гымыр, Чабанкел, Базар, Мухах, Тасмалы, Алиабад, Лагич, а на территории Дагестана в селениях Цахур, Камилух, Тлярата оно проявилось с силой 6 баллов. В Махачкале ощущалось силой 3-4 балла. [3].

Рассматривая карту распределения эпицентров землетрясений с $K=10-14$ на территории Дагестана и сопредельных районов, ещё следует отметить также несколько значимых событий и сейсмически активных зон.

Одно событие произошло 16.04.2013 12-26-57; $K=13$ с координатами $\varphi=42.35$ $\lambda=47.69$ и глубиной $h=11.5$ км. Эпицентр находился на суше в 30км к юго-востоку от города Избербаш. В зоне разлома Главного Кавказского хребта произошло шесть событий энергетического класса $K=13$. Из них два события, произошедшие 14 октября 2012 года 10 часов 13 минут с $K=13,44$ и 17 сентября 2013 года в 12 часов 26 минут с $K=12,9$ расположены на границе Дагестана и Грузии. Землетрясение с энергетическим классом $K=13,27$ произошло 11 октября 2008 года 9 часов 22 минуты в Чеченской Республике недалеко от границы Дагестана. На границе Дагестана и Азербайджана произошли четыре события 13 класса.

По карте распределения землетрясений видно, что землетрясения с энергетическими классами $K=10-12$ происходили чаще, отметим несколько сейсмоактивных зон на территории Дагестана и приграничных районов. «Дагестанский клин»: произошли землетрясения с энергетическими классами $K=10-13$. В акватории Каспийского моря старший класс равен $K=12,8$. В Юго-западной части Дагестана на Главном Кавказском хребте локализованы очаги землетрясений с энергетическими классами $K=13,44$ произошедшие 14 октября 2012 года и многочисленные слабые толчки. Одним из наиболее сейсмоактивных зон является Сунженский хребет. По архивным данным ДФ ЕГС РАН за рассматриваемый период, здесь локализованы землетрясения с энергетическими классами начиная с 6 класса, значимое событие в этой области произошло 11 октября 2008 года с $K=13,27$ (Курчалойское землетрясение) и многочисленные землетрясения с $K=10-12$. Центральное-Каспийское и Прибрежные разломы отмечены землетрясениями 10 и 11 классов. В центральной (в районе хребта Шали) и северной частях Дагестана наблюдается слабая сейсмичность. Все землетрясения, произошедшие в этот период, распределились по классам следующим образом:

Таблица №1.

Распределение числа землетрясений по энергетическим классам K_p

K_p	6	7	8	9	10	11	12	13	14
N	454	988	1026	513	166	77	25	7	2

По числу произошедших землетрясений самыми частыми являются землетрясения с $K=6-9$, а события с энергетическими классами $K>10$ происходили реже.

Одной из главных динамических характеристик землетрясений является сейсмическая энергия E , т.е. энергия упругих сейсмических волн, излученных очагом. Оценка её величины проводилась по шкале, предложенной Т.Г. Раутиан с использованием величины K (энергетический класс), которая непосредственно, хотя и условно, связана с сейсмической энергией ($K=\lg E$). Распределение числа землетрясений по энергетическим классам за каждый год дано в таблице 1, а график распределения количества землетрясений и выделившейся энергии по годам показано на рисунке 3.

Количество выделяемой сейсмической энергии за этот период по годам колебалось в пределах от $2,07 \times 10^{12}$ до $3,05 \times 10^{13}$ дж (рис.3).

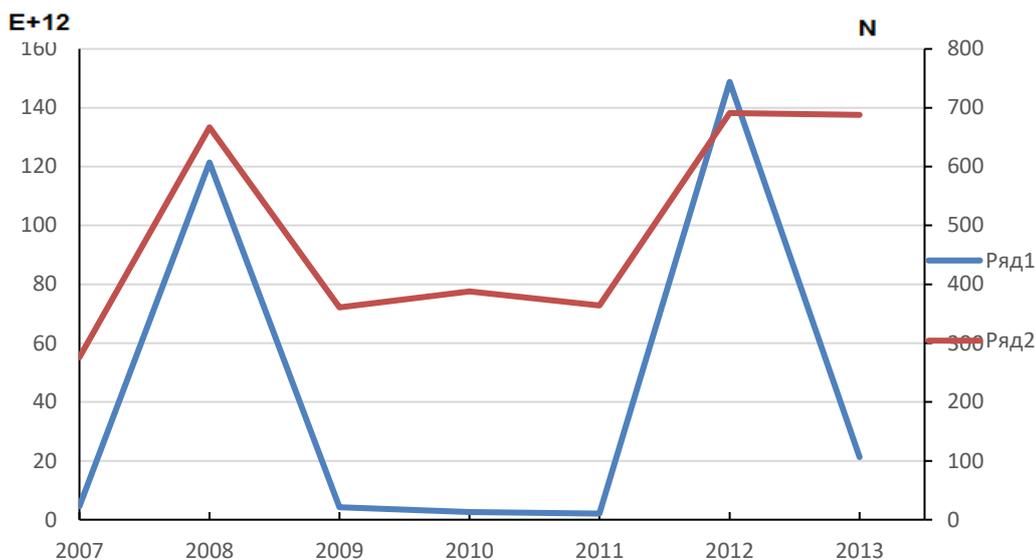


Рис.3. График значения числа землетрясений и сейсмической энергии по годам на территории Дагестана и прибрежных районов за 2007-2013годы.

- 1- выделившаяся энергия за каждый год (E,дж).
- 2- количество землетрясений по годам (N).

Судя по величине, высвобождаемой при сейсмическом толчке энергии, разрывы в очагах сильных землетрясений могут протягиваться на несколько сот километров. Сейсмические события с большой энергией возникают реже, чем события с меньшей энергией. Общефизические представления о разрушениях, а также наблюдения над естественной сейсмичностью формируют точку зрения, основные моменты которой сводятся к тому, что каждое вновь возникшее землетрясение вносит свой вклад в изменение конфигурации поля напряжений, т.е. оно является следствием действия предыдущих землетрясений. Таким образом, очаг большого землетрясения можно рассматривать как суммарный итог развития процесса разрушения в некоторой окрестности этого очага. В свою очередь большое землетрясение - это своего рода поле неустойчивости, которое оказывает существенное влияние на последующую сейсмическую жизнь региона, возбуждая как массовое появление афтершоков, так и предопределяя более отдаленные последствия. Оно, например, может спровоцировать целую серию других больших землетрясений. Вся их совокупность может рассматриваться как фактор, влияющий на последующее развитие сейсмического процесса и как система связанных событий, причем график повторяемости - интегральное выражение этой связи [4].

В рассматриваемый период самое большое количество землетрясений зафиксировано в 2012 году, а выделившаяся энергия больше в 2008 и 2012 гг. Из рисунка видно, что максимальные значения выделившейся за год энергии зависят не только от количества произошедших землетрясений, но и от энергетического класса землетрясений. Видно, что чем больше землетрясений с большими энергетическими классами, тем больше выделившаяся энергия.

Для количественной характеристики сейсмичности района определены еще два параметра: коэффициент γ наклона графика повторяемости землетрясений, который показывает распределение землетрясений по энергетической величине K и сейсмическая активность A_{10} — плотность очагов землетрясений определенного диапазона величины K , отнесенной к единице объема или площади S области и к единице времени T . Обобщенный «Закон повторяемости землетрясений» (по Ю.В. Ризниченко) выражается, как распределение $N=N(K)$ числа землетрясений по их величине $K=lgE$, позволяющий выяснить приближенное постоянство или изменчивость наклона $\gamma=-d \lg N/dK$ графика $N(K)$ [5].

Вычислены значения A_{10} и γ на каждый год отдельно.

Таблица № 2

Значения A_{10} и γ по годам на территории Дагестана за период 2007-2013 гг.

годы	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
A_{10}	0,46	0,324	0,442	0,442	0,51	0,339	0,418
γ	0,156	0,399	0,198	0,114	0,163	0,376	0,209

По таблице мы видим, что в 2007 год значения γ минимальные по сравнению с 2008 годом. В 2008 году произошло землетрясение с $K=14,5$ и поэтому значение $\gamma=0,399$ достигло до максимального значения за этот период. После проявления этого землетрясения значение γ до 2012 года опять минимальные. В этом году произошло событие с $K=14,4$ и значение $\gamma=0,376$.

Сейсмическая активность (A_{10}) является одним из основных параметров, характеризующих сейсмический режим территории. Под сейсмической активностью в некоторой точке понимается число очагов землетрясений в заданном диапазоне энергетического класса, которые возникают в окрестности этой точки в единице пространства в единицу времени [4].

Построена карта активности A_{10} . На карте активности видно, что самыми активными зонами являются: на западной части Дагестана Сунженский хребет, хребты Даргендук и Планивук, в центральной части хребет Салатау и Андийский хребет, на западе Каспийское море и его Прибрежная зона и на юге Главный Водораздельный и Самурский хребты. В этих зонах произошли события всех энергетических классов.

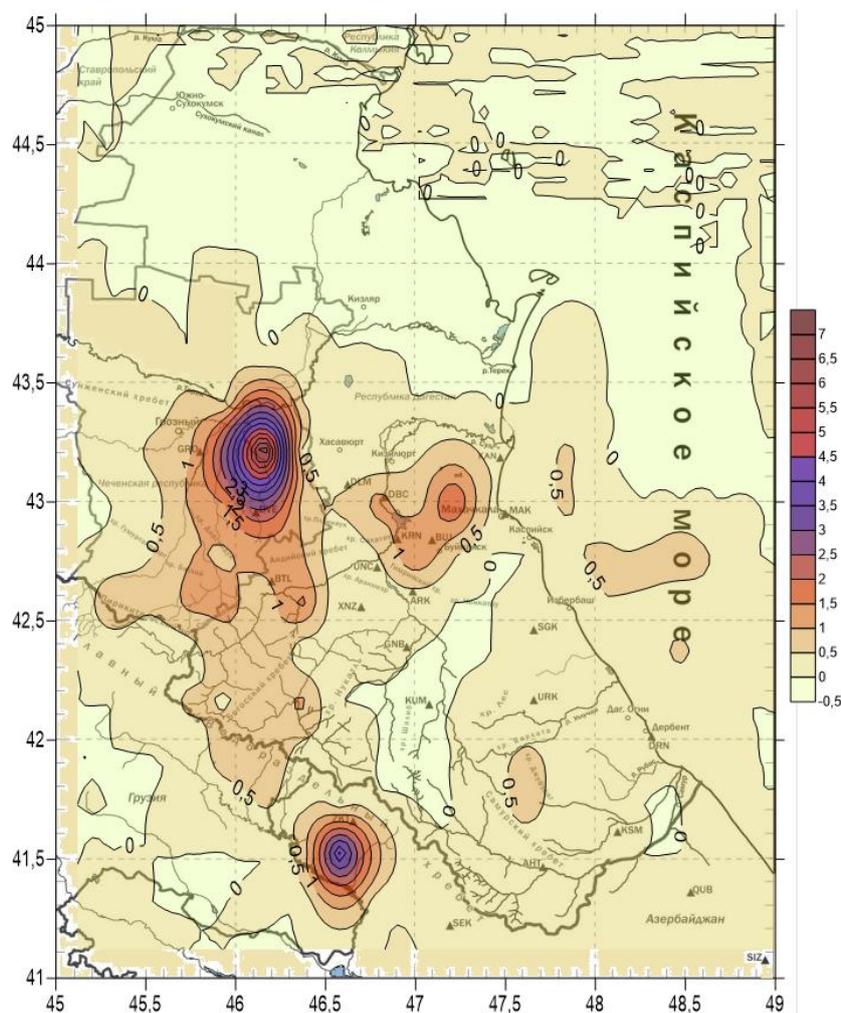


Рис.4. Карта активности A_{10} для территории Дагестана и приграничных районов за 2007-2013 годы.

Среди основных параметров очага наибольший интерес представляет и глубина гипоцентра, которая, как правило, определяется с наименьшей точностью. Знание точного пространственного положения очагов позволяет выявлять их связи с особенностями глубинного строения земной коры.

Для дальнейшего анализа сейсмичности региона рассмотрим вертикальный разрез землетрясений по глубине, он показывают размещение гипоцентров в сейсмоактивных зонах. Вертикальный разрез АВ (см. рис1) землетрясений с $K=6-14$ сейсмофокального слоя с координатами от $\varphi=43,50$; $\lambda=45,00$ до $\varphi=41,00$ $\lambda=49,00$; $D=250$ км. В основном большинство землетрясений произошло на глубине от 1 до 35 километров. Самое большое количество землетрясений произошло на глубине 5-15 км. И этот интервал глубин охвачен землетрясениями всех энергетических классов.

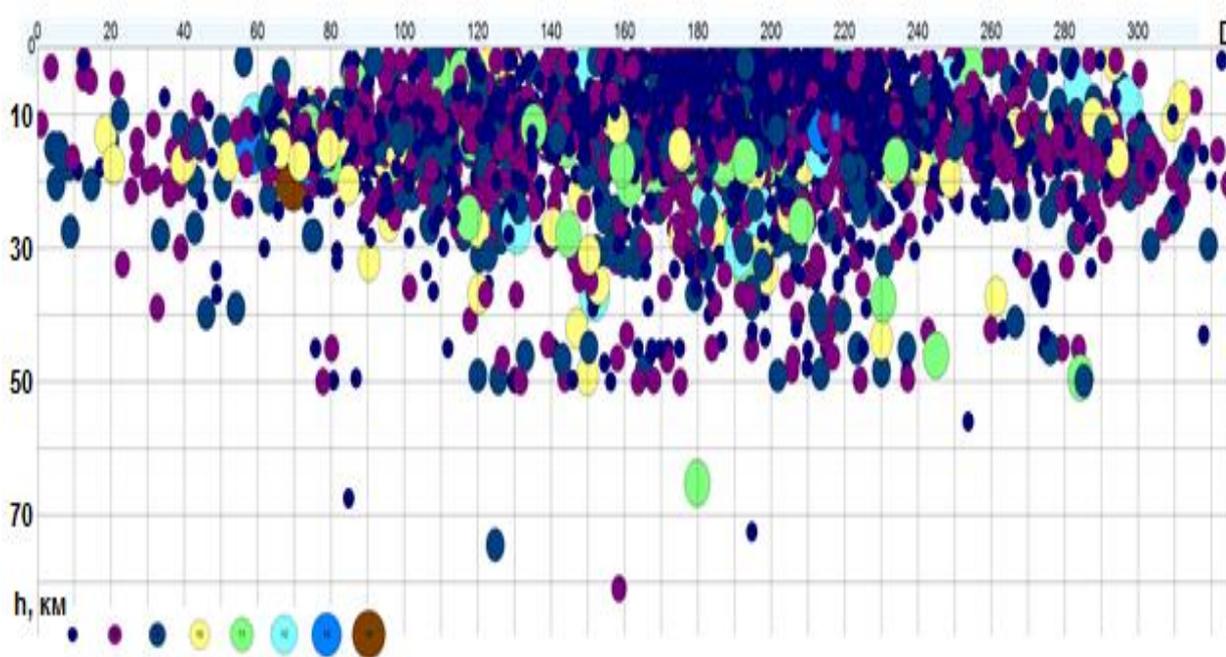


Рис.5.Вертикальный разрез землетрясений с $K=6-14$ по глубине за период 2007-2013гг.

Для определения глубины землетрясений территории Дагестана и прибрежных районов применялся осреднённый Кавказский годограф. Исходя из этого, принимать представленное распределение землетрясений по глубинам надо с достаточной долей относительной ошибки. А для выявления более надёжных закономерностей необходимо, гораздо большая точность определения глубин очагов и один и тот же уровень представительности энергетического класса по всей рассматриваемой площади. Характерно, что на расстоянии от 35 км и больше очаги землетрясений на разрезе по глубине очень редки. На глубинах 56 и ниже произошло шесть землетрясений. Общее распределение землетрясений по глубинам дано в таблице 3.

Таблица №3.

Распределение числа землетрясений по глубинам за 2007-2013гг.

h, км	0-5	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-40	41-45	46-50	51-55
N	396	522	1194	650	193	111	63	40	27	50	6

Создание физической модели сейсмического режима, самый короткий путь к решению проблемы прогноза землетрясений, и ряда других важнейших практических задач, стоящих

перед сейсмологами. Все долгосрочные прогнозы относятся ко всей территории того или иного региона. Необходимы детальные исследования, в том числе и по определению местоположения потенциальных очагов землетрясений методом преимущественных меж эпицентральных расстояний между очагами землетрясений одного и того же ранга. Уточнению местоположения может способствовать слежение за миграцией сейсмической активизации, обусловленной прохождением деформационных волн вдоль соответствующих разломных структур [6].

Вывод

Анализ полученных данных свидетельствует о значительной пространственно-временной неравномерности сейсмической активности по площади. Изучение современной сейсмогеодинамики в регионах, и самих сейсмических очагов, несомненно, внесет существенный вклад в развитие представлений о сейсмогенезе, а также в совершенствование сейсмогеодинамических моделей и методов прогнозирования землетрясений.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания №075-00682-24) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckprf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

Литература

1. Архив Дагестанского филиала ГС РАН. – Махачкала: Фонды ДФ ГС РАН 2007-2013 годы. [Электронный ресурс] <https://dbgsras.ru/site/earthquake?nofilter=1>
2. Асманов О.А., Левкович Р.А., Гайсумов М.Я., Керимов И.А., Габсатарова И.П. и др. Макросейсмические проявления Курчалойского землетрясения 11 октября 2008 года с $K_p=14,5$; $M_s=5,7$; $J_0=7-8$ (Чеченская республика) В сб.: Землетрясения Северной Евразии в 2008 г. Обнинск, ГС РАН 2014. с.421-432.
3. Асманов О.А., Даниялов М.Г., Магомедов Х.Д. Проявления Закатальского землетрясения 7 мая 2012 года ($K_p=14,4$) на территории Дагестана. В сб.: Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Седьмой Международной сейсмологической школы: - Обнинск. ГС РАН, 2012.с. 35-38.
4. Ризниченко Ю.В. Избранные труды. Проблемы сейсмологии. М.: Наука, 1985. 408 с.
5. Ризниченко Ю.В. Об изучении сейсмического режима. Изв. АН СССР. Сер. Геофизическая, 1958 г. №9.
6. Ананьин И.В. Сейсмичность Северного Кавказа. М.: Наука, 1977. 148 с.

УДК 550.37

DOI: 10.33580/2541-9684-2024-98-3-56-59

СТАНЦИЯ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОРНЫХ ПОРОД STEM-04

Марченко¹ М.Н. Идармачев² Ш.Г.

¹*МГУ им. М.Ю. Ломоносова, Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1.*

²*Институт геологии ДФИЦ РАН*

Станция STEM-04 разработана доцентом кафедры малоглубинной электроразведки МГУ им. М.Ю. Ломоносова с участием сотрудников Института геологии Дагестанского ФИЦ РАН (Идармачев Ш.Г.) в процессе работы по выполнению проекта Президиума РАН: «Фундаментальные основы прорывных технологий в интересах национальной безопасности» № программы 1,56 2018 г. Необходимость разработки новой установки для геофизического мониторинга опасных геологических процессов в районах водохранилищ с высотными плотинами была обусловлена устареванием старой установки, ее элементной базы и программного обеспечения. Новая установка, по сравнению со старой модификацией (Георезистор), позволяет планировать измерительный процесс автономно на точке наблюдений. Установка смонтирована в компактной радиопрозрачной коробке с внешним аккумулятором, которая может заряжаться от солнечной батареи и укомплектована GSM модемной связью для оперативного сбора данных. Установка прошла лабораторные испытания.

Ключевые слова: Двухполярный меандр, скважность импульсов тока, интерфейс связи, COM –порт, модем типа Bitcord.

Станция StEM-04 разработана для наблюдения изменений во времени электрических характеристик геологических разрезов в целях мониторинга и предсказания опасных геологических процессов. Предназначена для выполнения долговременных прецизионных наблюдений за электрическим сопротивлением горных пород.

Таблица 1.

Характеристики станции

№	Характеристика	Значение	Прим.
1	Номинальное напряжение питания	Внешнее 12 В	От 10 до 15 В
2	Потребляемая мощность станции без учета генератора	4.5 Вт	300-350 мА при 12 В
3	Количество измерительных каналов	4	
4	Выходное напряжение генератора	35÷40 В	
5	Максимальный выходной ток генератора	1 А	
6	Форма тока генератора	Двухполярный меандр с паузами	Скважность 0,5
7	Номинальное входное сопротивление измерительных каналов	2 Мом	
8	Пределы входного напряжения измерительных каналов	± 2,048 В	
9	Длительность паузы тока	1 с	Рабочая частота 0,25 Гц
10	Скорость производства измерений	12 отсчетов в минуту	
11	Пределы интервалов между кадрами	От 1 до 240 мин.	
12	Точность временной привязки кадров	1 мин.	
13	Размерность таблицы результатов	80 кадров	
14	Интерфейс связи	RS232	
15	Диапазон рабочих температур	От -5 до +50°С	

- Станция StEM-04 смонтирована во влагозащищенном пластиковом радиопрозрачном корпусе.
 - Выход генератора и входы измерительных каналов №№ 1ч3, включая независимые аналоговые земли для каждого канала, выведены на многоконтактный разъем типа ШР.
 - Вход измерительного канала № 0 подключен к 2-м токоизмерительным резисторам номиналом 5,1 Ом каждый (всего 10,2 Ом). Резисторы включены последовательно в выходную цепь генератора.
 - Выход токоизмерительного сигнала выведен на 2-е клеммы на корпусе станции – для обеспечения возможности независимого контроля выходного тока генератора.
 - Модуль GPS с антенной расположен на стенке корпуса с внутренней стороны.
- Положение антенны обозначено меткой «GPS».

На корпусе станции расположены:

Клеммы подключения питания (красная и черная);

Крепление плавкого предохранителя (2А);

Светодиод индикации включения питания;

Многоконтактный разъем для подключения питающих и приемных линий;

Клеммы выхода токоизмерительного сигнала (две черные);

Разъем DB9F интерфейса RS232.

- В цепи питания располагается диод для защиты от ошибок подключения полярности питания и плавкий предохранитель на 2А.

Принцип работы

Станция StEM-04 выполняет:

- генерацию тока в питающей линии АВ,
- непрерывные измерения силы тока в АВ и сигналов пропускания и ВП в приемных линиях электроразвешивочной установки,
- накопление и статистическую обработку результатов измерений,
- сохранение результатов в энергонезависимой памяти и передачу данных по запросу Пользователя.

Временная привязка измерений производится по данным встроенного GPS-приемника.

Общая принципиальная схема подключения станции и размещения ее на объекте исследований приведена на рис. 1.

Параметры связи

Обмен данными/командами с прибором осуществляется по интерфейсу RS232.

Параметры связи: baud=9600, parity=none, data=8, stop=1, RTS/CTS handshaking = OFF

Связь ПК со станцией для обмена данными может выполняться:

- По кабелю COM-COM, если у ПК есть COM-порт;
- По кабелю-переходнику COM-USB, если у ПК нет COM-порта, а есть USB-порт;
- С помощью модемов типа Bitcord (SprutNet) BGS2 RS232/RS485 KIT, GSM/GPRS

Bitcord (SprutNet) BGS2 - промышленный CSD терминал для опроса приборов учета, передачи данных, отправки SMS. Сразу 2 интерфейса: RS232 и RS485; HARD RESET; WATCHDOG TIMER

Управление станцией

Управление станцией производится путем подачи текстовых команд (ASCII) по интерфейсу RS232. Для изменения настроек и приема результатов работы станции предусмотрены специальные команды.

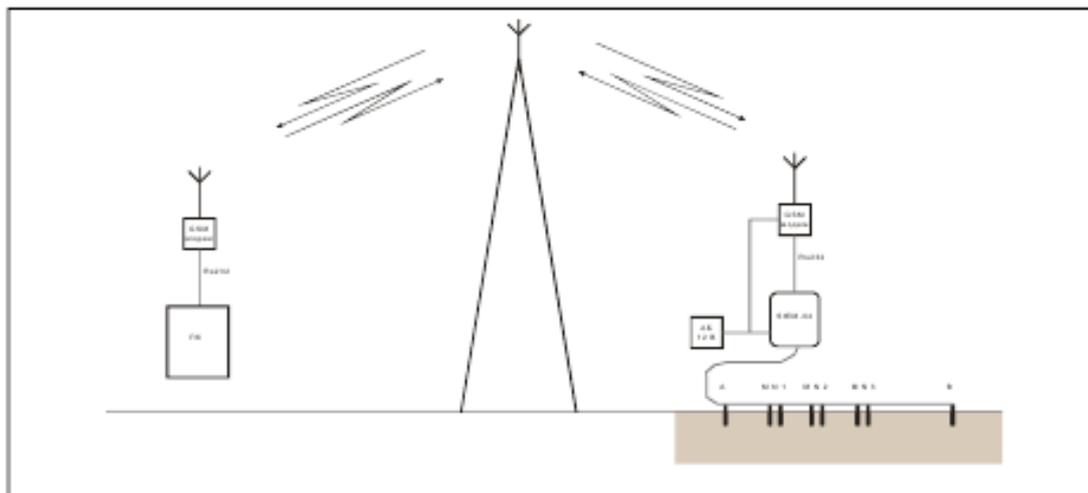


Рис. 1. Общая схема подключения станции и размещения ее на объекте исследований

Передача команд и получение данных от станции к ПК возможно с помощью стандартных программ-терминалов для COM-портов типа Terminal.exe или аналогичных. В режиме «Отладка» (Debug ON) станция передает в порт данные АЦП, результаты измерений по каждому периоду и по каждому кадру. Для работы с этим потоком данных разработана программа Debug_. Контроль нормальной работы генератора (в т.ч. оценка силы выходного тока АВ) может выполняться внешним вольтметром, мультиметром или осциллографом. По поведению сигнала падения напряжения на токоизмерительном резисторе, включенном последовательно в выходную цепь генератора, можно судить о корректности работы генератора, силе тока на АВ, качестве заземлений питающей линии

Измерительная установка

Наблюдения методом сопротивлений станцией StEM-04 производятся с помощью гальванически заземленной неподвижной электроразведочной установки. Установка содержит 2 питающих электрода (А и В) и до 3-х пар приемных электродов (М и N). Взаимное расположение электродов может быть разным в зависимости от решаемой задачи и условий наблюдений. Возможно размещение измерительных установок в скважинах.

Электроразведочная установка монтируется стационарно и не перемещается все время наблюдений на объекте.

При наземных наблюдениях рекомендуется использовать установки срединного градиента, трехэлектродную или дипольную осевую.

Приемные и питающие электроды рекомендуется монтировать в заглоблнениях (см. Рис. 2) для защиты от прямого воздействия солнечных лучей и атмосферных осадков. Для уменьшения собственных потенциалов и переходных сопротивлений электродов рекомендуется:

- Использовать в качестве материала электрода – свинец, медь, латунь, нержавеющую сталь;
- Контакт электрода и грунтов осуществлять через влажную глинистую (суглинистую) прослойку (забутовку).

Для улучшения помехозащищенности измерительных каналов рекомендуется для каждой приемной пары MN обеспечивать гальванический контакт с грунтом нулевой точки соответствующего канала - через отдельный электрод. Желательное положение этого отдельного электрода – между соответствующими приемными электродами М и N.

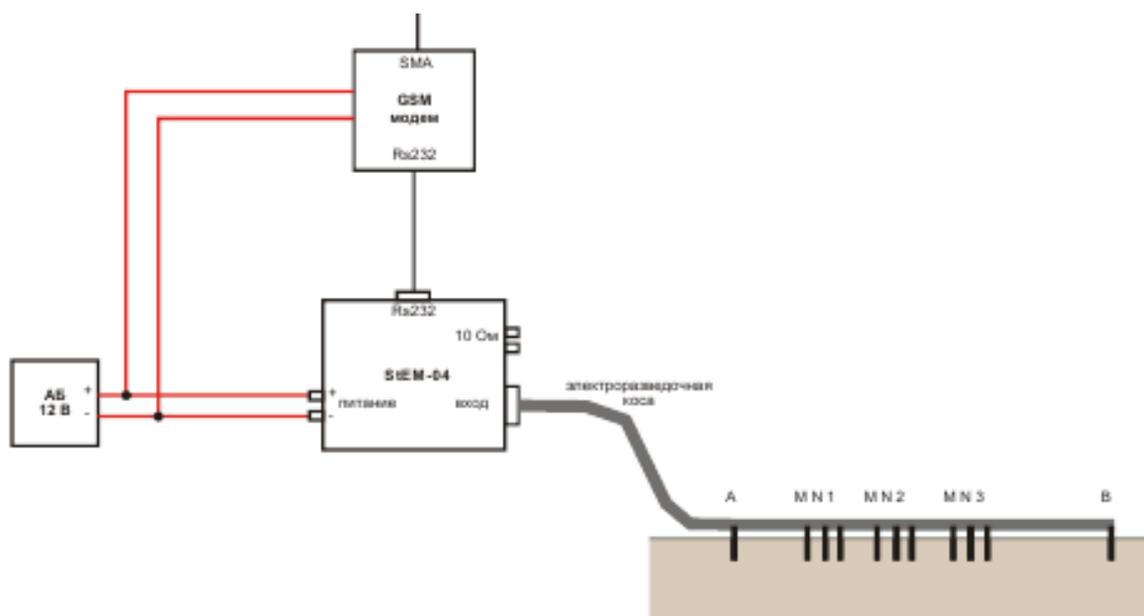


Рис. 2. Схема подключения станции к измерительной косе

Удаленная работа со станцией

Удаленная работа со станцией выполняется с помощью модема типа Bitcord (SprutNet) BGS2 (RS232/RS485 KIT, GSM/GPRS) по протоколу CSD.

Программа stem предназначено для получения данных с устройства **StEM-04**.

Программа является консольным приложением, работающим под управлением .net framework 4.0.

В процессе работы приложение выполняет следующие шаги:

- подключение к gsm модему через com-порт
- адрес порта задается в файле конфигурации
- установка соединения между модемами ПК и устройства
- номер телефона задается в файле конфигурации
- передача команды запроса данных (READ_DATA)
- получение данных, содержащихся в буфере прибора
- сохранение данных в файл на ПК
- файл создается в рабочей директории и именуется в соответствии с текущими датой и временем

- передача команды установки интервала сбора данных (SETUP_INTERVAL)
- интервал сбора данных задается в файле конфигурации
- завершение соединения

В процессе работы программа создает файл журнала (trace.log) в рабочей директории, в который заносятся информационные сообщения о работе приложения. Эти же сообщения (в расширенном виде) выводятся на экран (при наличии).

Более подробная информация программного обеспечения работы станции приведена на сайте: <https://www.windowcentral.com/how-create-automated-task-using-task-scheduler-windows-10>.

Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания ИГ ДФИЦ РАН по теме НИР Рег. номер НИОКТР 122032200277-4.

УДК 553.435 (470.67)

DOI: 10.33580/2541-9684-2024-98-3-60-65

ГЕОМОРФОЛОГИЯ РЕЧНЫХ ДОЛИН СЕВЕРНОГО СКЛОНА ВОСТОЧНОГО КАВКАЗА

Тулышева Е.В., Юсупов А.Р.
Институт геологии ДФИЦ РАН

Современное геоморфологическое районирование Кавказа и его восточный сектор в основном занимает следующее положение: горная страна Крымско-Кавказская, провинция - Большой Кавказ, область - Восточный Кавказ, подобласть - Приказбекская и Чечено-Ингушская, Известняковый Дагестан, Водораздельный и Боковой хребты, южный склон Восточного Кавказа, юго-восточный склон, Юго-Восточный Кавказ, Апшероно-Кобыстанские Нагорья. Осевая зона Восточного Кавказа включает в себя морфоструктуры Водораздельного и Бокового хребтов, южного и юго-восточного склонов. На карте геоморфологического районирования Юго-Восточный Кавказ выделен в самостоятельную область. Большой Кавказ разделен на пять областей: Северо-Западная, Западная и Центральная, Восточная и Юго-Восточная. Этого разделения придерживается большинство исследователей. Кроме того выделена пассивная морфоструктура, разделяющая Главный и Боковой хребты, Бежтино-Самурская грабен-синклинальная котловина.

Ключевые слова: геоморфология, неотектоника, морфоструктуры, котловины, Главный Кавказский хребет, речные долины.

GEOMORPHOLOGY OF RIVER VALLEYS OF THE NORTHERN SLOPE
OF THE EASTERN CAUCASUS

Tulysheva E.V., Yusupov A.R.
Institute of Geology DFRC RAS

Modern geomorphological zoning of the Caucasus and its eastern sector mainly occupies the following position: mountainous country of the Crimean-Caucasian region, province - Greater Caucasus, region - Eastern Caucasus, subregion - Prikazbek and Chechen-Ingush, Limestone Dagestan, Vodorazdelny and Bokovoy ridges, southern slope of the Eastern Caucasus, southeastern slope, Southeastern Caucasus, Apsheron-Kobystan Highlands. The axial zone of the Eastern Caucasus includes morphostructures of the Vodorazdelny and Bokovoy ridges, southern and southeastern slopes. On the map of geomorphological zoning, the Southeastern Caucasus is allocated as an independent region. The Greater Caucasus is divided into five regions: Northwestern, Western and Central, Eastern and Southeastern. This division is supported by most researchers. In addition, a passive morphostructure dividing the Main and Lateral Ridges, the Bezhta-Samur graben-syncline basin, has been identified.

Key words: geomorphology, neotectonics, morphostructures, basins, Main Caucasian Ridge, river valleys.

На основании неотектонического районирования в дагестанской части Восточного Кавказа с юга на север выделяются крупные, активно развивающиеся вплоть до голоцена, асимметричные зоны с юга ограниченные поднятиями, а севера - неотектоническими опусканиями [1,2,8,9].

Представляет интерес хронология становления отдельных структур Восточного Кавказа. Образование Терского и Сунженского хребтов началось еще в миоцене. В среднем-верхнем сармате эти структуры в виде поднятий влияли на характер распределения мощностей и фаций соответствующих отложений. В меотисе, а затем в понте они, возможно, незначительно возвышались над уровнем морского бассейна. В начале плиоцена это холмогорье, подобно всему восточному Предкавказью, подверглось эрозии и денудации, а затем в акчагыле и апшероне было втянуто в общее погружение. Лишь в самом конце апшерона - начале плейстоцена Терский и Сунженский хребты появились в рельефе, как прообраз современных форм. Активизация воздымания приходится на время пограничное между нижним и средним плейстоценом. К этому времени и следует приурочивать становление этих хребтов. Время формирования передовых хребтов Дагестана (Черные горы, Нарат-Тюбе, Карабурун и др.), очевидно, было идентичным. В апшероне-нижнем плейстоцене, активный рост отмечается для Бенойской, Хадумской брахиантиклинали [3].

Главный хребет образовался в палеогене, опережающий рост Бокового хребта приходится на апшерон- начало плейстоцена, активизация Салатау-Гимринской цепи хребтов - на нижний - средний плейстоцен. Формирование структуры Дагестанского клина в целом относят к поздне-плиоценовому и четвертичному времени. С плейстоценом связывают резкое возобновление движений по Гляратинскому разлому и связанного с ним формированием Бокового хребта. Это же, видимо, характерно для всей зоны Главного Кавказского разлома, частью которой является Гляратинский.

Речная сеть на северном склоне Кавказа была заложена еще в палеогене, когда в осевой части геосинклинали образовался крупный остров. В олигоцене и раннем миоцене существовали уже зрелые долины субмеридианального направления с крупными дельтами на прибрежных равнинах. Мощные песчаные накопления дельтового характера наблюдаются в разрезах майкопской серии в бассейнах Терека, Сулака и Сунжи.

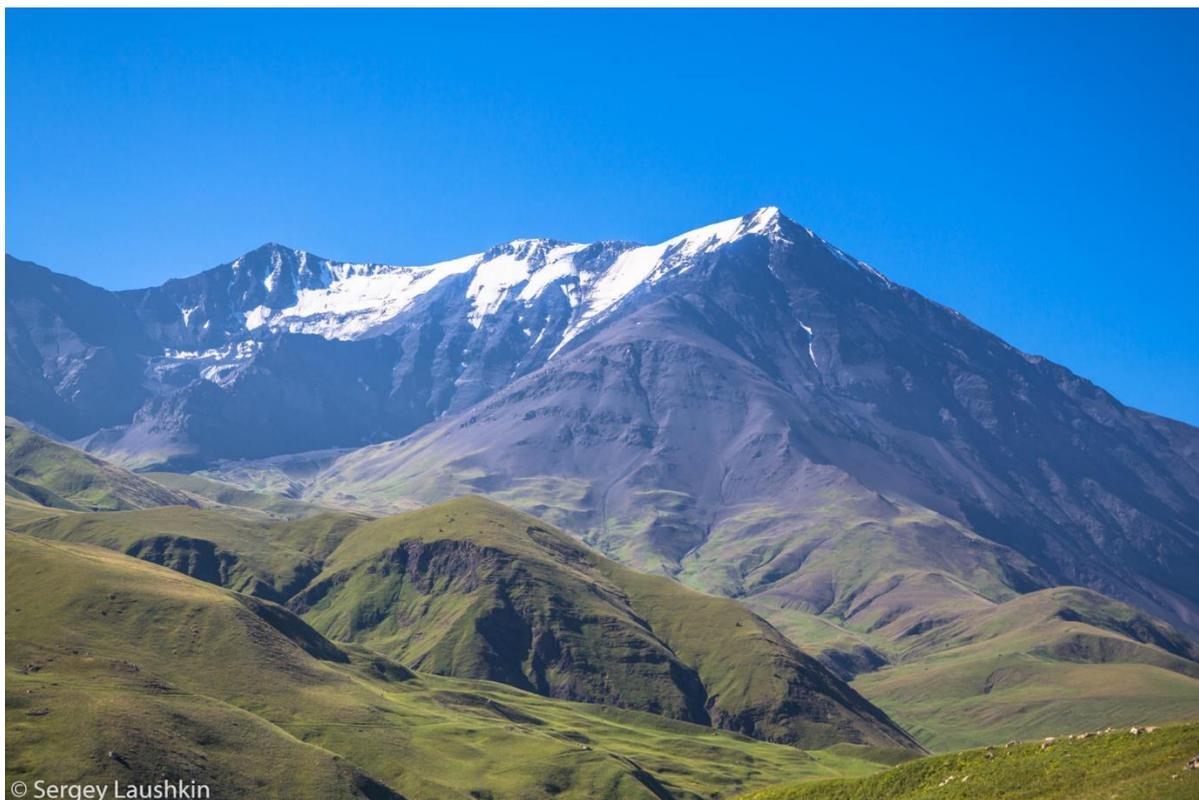
Общее меридианальное направление речных долин сохранилось в средне-позднем миоцене и плиоцене. В среднем плиоцене на Северном Кавказе существовало две системы субмеридианальных рек - западная и восточная с главным водоразделом на Центральном Кавказе. В их пределах явно обозначились современные поперечные (в низовьях погребенные) долины Кубани, Урупа, Лабы и Белой на западе; Терека, Сунжи, Аргуна и Сулака на востоке. По-видимому, тогда была заложена и продольная долина Самура.

Регрессия Каспия в балаханский век вызвала падение уровня моря на 500-700 м и резкое переуглубление речных долин, следовательно изменения и базиса эрозии. А в акчагыльское время возникла крупнейшая трансгрессия, которая захватила периферию всего Восточного Кавказа.

В позднем плиоцене продолжалось, а плейстоцене полностью завершилось формирование современных субмеридианальных речных долин с серией хорошо выраженных междуречных и внутриволинных террас на северном склоне Кавказа.

По гипсометрическому положению линии водораздела хребет Кябьяк выше Самурского хребта. На первом отмечают такие вершины, как Цимирцы, Деавгай (4016 м), на продолжении хребта на правобережье р. Ахтычай отмечают вершины гор - Шалбуздаг (4112 м), Ярудаг (4110 м), Шагдаг (4243 м) с высотами более 4000 м. На Самурском хребте самая большая вершина Алахундаг (3801 м). На всем протяжении Главного хребта, вдоль правобережья р. Самур самая высокая вершина - г. Гутон (3648 м) и только вершина г. Базар-Дюзи (граница Главного хребта между Восточным и Юго-Восточным его сегментами) составляет 4466 м, являясь исключением закономерности, что Главный хребет ниже Бокового на 500-1000 м. (Фото. 1).

А в остальных случаях эта закономерность выдерживается, она проявляется и при соотношении хребтов Кябьяк и Самурский. По морфоструктурному облику хребет Кябьяк имеет более крутые склоны (чем Главный), долины левых притоков р. Ахтычай, протекающие по нему, имеют глубоко врезанные ущельеобразные долины (Катух-чай, Огалматхет, Мициратхет, Камин-чай и др.), висячие по отношению к р. Ахтычай. [10,11] Аналогичная характеристика и правых притоков р. Самур, стекающих с хребта Кябьяк. Долины этих притоков резко отличаются от долин правых притоков р. Ахтычай, стекающих с водораздельного хребта (Маза, Фий, Гдым, Кизил-Дере, Дали-чай). Следовательно, по таким признакам, как гипсометрия водораздельной линии, крутизна склонов, геоморфологическая характеристика долин водотоков, наличие современных ледников (г. Деавгай) хребет Кябьяк с полным основанием нужно отнести к Боковому хребту. К геоморфологическим можно добавить геологические признаки - Главный Кавказский разлом (надвиг), контролирующий магматизм Кахетинского диабазового пояса и металлогению, проходит именно между Водораздельным и Кябьякским хребтом, являющимся продолжением Бокового хребта на Востоке. (Фото 2).



© Sergey Laushkin

Фото 1. Гора Базар-Дюзи. Боковой хребет.



Фото 2. Хребет Кябьяк.

Бежтино-Самурская продольная депрессия представляет собой узкую зону, разделяющую Главный и Боковой хребты Восточного Кавказа, испытавшую менее значительные новейшие поднятия. Центральная и западная части этой зоны отвечают Бежтинскому грабен-синклинорию и его западному протяжению, а восточная (Самурская) часть наложена несколько наискось на восточный участок Бокового хребта и структуры южной части северного крыла антиклинория Главного хребта. Ширина ее 10-20 км, при длине 300 км.[4,5,] Она обладает менее глубоко расчлененным рельефом, чем смежные поднятия, и на ряде участков несет остатки древней денудационной поверхности (предположительно средне-верхнемиоценовой), сохранившейся на высоте 2,5-3,5 км в виде участков сглаженного пологохолмистого рельефа. Амплитуда новейших поднятий на большей части Бежтинской зоны от 2,5 до 3,5 км.

Второе, менее значительное, поперечное поднятие находится в западной части зоны - в Тушетии, в верховьях р.р. Алазани и Пшавской Арагви. Здесь широко распространены останцы горного рельефа (3,5-3,7 км), возвышающиеся над средне-верхнемиоценовой денудационной поверхностью.

Поперечные поднятия разделяют три относительно опущенных участка Бежтино-Самурской зоны, где амплитуда новейшего поднятия не достигает 3 км. Это, во-первых, самый восточный участок зоны, к которому приурочена продольная долина р. Самур. Во-вторых, это средний участок зоны между истоками Аварского и Андийского Койсу, представляющий очень пологий овальный прогиб, в котором сохранились остатки миоценового пенеблена на высотах 2,6-2,8 км.

Наконец, в самой западной части впадины находится небольшая, но резко выраженная Верхнетерская впадина. Она имеет форму короткого овала, длинная ось которого вытянута в с-в направлении, поперечно к простиранию Кавказа. К ней приурочена переуглубленная долина р. Терека между селениями Казбеги и Коби, заполненная рыхлыми четвертичными отложениями мощностью до 400-500 м., подпруженным продольным Казбекским разломом. Впадина в целом лежит в пределах Казбек-Цхинвальской зоны поперечного разлома.

Севернее с Главным антиклинорием граничит Бежтино-Самурский грабен (описанный выше), отделяющий его от антиклинория Бокового хребта. Бежтинская часть депрессии простирается от западной границы сегмента до г. Гутон, проходя в пределах Дагестана по долинам верховьев Андийского Койсу (Тушетская Алазань, Метлюда), Аварского Койсу (Хзан-Ор, Джурмут). От г. Гутон на восток грабен не выражен, но депрессия выделяется геоморфологически. Граница между антиклинориями здесь проходит по зоне Ахтычайского разлома (Главному надвигу), проходящему по долине р. Самур до селения Гельмец, затем по долине р. Курдул (правый приток р. Самур), имеющей сток обратный по отношению к главной реке (Самуру). В долинах этих водотоков отмечаются аллювиальные котловины - Мишлеш-Гельмецкая и Курдульская. (Фото 3).

Далее через выположенный перевал Ахтычайский разлом переходит в долину р. Ахты-чай, где он так же выражен аллювиальными котловинами - Борчинской, Хнов-Даличайской. Затем разлом переходит из долины р. Ахты-чай на ее правобережье, пересекая ее притоки - Гдым, Фий, Мазачай, в которых он так же сопровождается аллювиальными котловинами. От Мазинской котловины разлом через перевал переходит в верховье р. Усук-чай, в долине которой, при его пересечении, формируется Курушская аллювиально-делювиальная котловина, прослеживающаяся в ю-в направлении до Шахдагского массива (г.г Скала, Базар-Дюзи) - границы с Юго-Восточным Кавказом, где происходит периклинальное погружение основных антиклинорных структур Восточного сегмента. На продолжение этой депрессии отмечаются долины рек Юго-Восточного Кавказа, берущие начало с Шахдагского массива и текущие в Каспий в ю-в направлении. (Фото 4).



Фото 3. Курдульская аллювиальная котловина.



Фото 4. Шахдагский массив.

Котловины в речных долинах, которые мы отмечали выше, представляют собой расширенные участки долин с развитым комплексом низких, главным образом, аккумулятивных террас (до пяти отмечено в долинах р.р. Ахты-чай, Усух-чай, Курдул). В Курушской котловине широко развиты делювиально-элювиальные склоновые отложения, поэтому мы назвали ее аллювиально-деллювиальной [12, 13].

Котловины своим происхождением обязаны расположением непосредственно в зоне глубинного, долгоживущего разлома и оперяющих его тектонических нарушений более низкого порядка, в зонах смятия, дробления, сопровождающих их. К ним приурочены рудные поля - Курдульское, Борчинское, Хновское (месторождение Кизил-Дере, проявления в долинах Гдым, Фий), Мазинское, Курушское.

Таким образом, для обоснования выделения морфоструктур осевой зоны Восточного Кавказа должны использоваться антиклинории Главного и Бокового хребтов, Бежтино-Самурская впадина, ограниченная Тляратинским и Главным Кавказским разломом. К геолого-структурным признакам добавляются геоморфолого-неотектонические: высотное положение водораздельных линий хребтов, геоморфологические характеристики долин приразломных водотоков, наличие ледников, острровершинность, крутые склоны.

Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания ИГ ДФИЦ РАН по теме НИР Рег. номер НИОКТР 122032200278-1.

Литература

1. Гвоздецкий Н.А. Физическая география Кавказа. М.: Изд-во МГУ, вып. 1, 1954, 208 с.
2. Геология СССР. Т. 9, Северный Кавказ. Ч.1., М.: Недра, 1968, 759 с.
3. Короновский Н.В., Кожевников А.В., Панов Д.И. и др. История геологического развития и формирования структуры центральной части Терско-Каспийского передового прогиба. // Геология и полезные ископаемые Большого Кавказа. М.: «Наука» 1987, с. 147-174.
4. Лилиенберг Д.А. Новая схема геоморфологического районирования Дагестана. // Материалы V конф. мол. ученых Ин-та географии АН СССР. М.: ИГ АН СССР, 1957, с. 41-44.
5. Лилиенберг Д.А. Орографический парадокс осевой зоны Кавказа и некоторых орогенов шовного типа – Геоморфология №2, 1993, с. 102-108.
6. Милановский Е.Е. Новейшая тектоника Кавказа. Изд-во «Недра», М., 1968, 483с.
7. Никитин М.Ю. Речные террасы и новейшая тектоника Горного Дагестана (Бассейн р. Сулак) - Бюл. МОИП Отдел геол. 1979, т. 54, вып. 5, с.88-104.
8. Никитин М.Ю. Неотектоника Восточного Кавказа. - Бюл. МОИП, отдел геол., 1987, т. 62, № 3, с. 21-36.
9. Никитин М.Ю. Неотектоника горного Дагестана. // Геология и полезные ископаемые Большого Кавказа. Изд-во «Наука» М., 1987, с. 221-239.
10. Сафронов И.Н. Геоморфология. // Геология СССР. Т. IX, ч. 1, Кавказ, Изд-во «Недра», М., 1968, с. 657-676.
11. Сафронов И.Н. Проблемы геоморфологии Северного Кавказа и поиски полезных ископаемых. Ростов Н/Д. Изд-во Ростов. ун-та, 1983, 160 с.
12. Тулышева Е.В. (Мацапулина Е.В.) К дискуссии о природе орографического парадокса осевой зоны Восточного Кавказа - Геоморфология №4, 1996, с. 19 – 24.
13. Тулышева Е.В. Речные долины Дагестана и их неотектоническая обусловленность. Дис. к.г.н. Махачкала 2002, 218 с.
14. Хаин В.Е. Основные принципы геоморфологического районирования горных стран в связи с особенностями развития их рельефа. - Докл. АН СССР, т. 74, 1950, № 3, с. 583-587.
15. Хаин В.Е. Становление рельефа Кавказа как итог его тектонического развития. - Тр. Конференции по геоморфологии Закавказья. Баку, Изд-во АН Аз СССР, 1957, с. 7-15.

УДК 550:34

DOI: 10.33580/2541-9684-2024-98-3-66-75

ОСОБЕННОСТИ И ГЕНЕЗИС ЗАВАЛЬНОЙ ПЛОТИНЫ КЕЗЕНОЙ-АМ

Маковозова З.Э., Васьков И.М., Цокова Б.Х
Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(государственный технологический университет), Владикавказ

В работе приведены результаты полевых и камеральных исследований современной тектоники, геолого-геоморфологических и литолого-фациальных особенностей пород, слагающих борта долины и завальную плотину озера Кезеной-Ам. Установлено, что одной из основных причин катастрофического обвала, приведшего к образованию исследуемого озера, привела новейшая тектоническая активность территории, выраженная в своеобразной мозаичной складчато-блоковой архитектуре территории. Проведенный корреляционный анализ с аналогичными обвално-оползневыми процессами типа «Кариухохского» [1-2] (Северная Осетия) и Флимз [23] (Альпы, Австрия) подтвердил, что образование и функционирование таких процессов возможно при быстром выделении большого количества энергии, накопленной в результате тектонических подвижек.

Ключевые слова: обвал, экзогенные процессы, тектоника, фации, мергелистые известняки, поверхность выравнивания.

FEATURES AND GENESIS OF THE KEZENYOY-AM LANDSLIDE DAM

Makovozova Z.E., Vaskov I.M., Tsokova B.Kh
North Caucasus Mining and Metallurgical Institute (State Technological University), Vladikavkaz

The paper presents the results of field and office studies of modern tectonics, geological-geomorphological and lithological-facies features of the rocks that make up the sides of the valley and the landslide dam of Lake Kezenoy-Am. It has been established that one of the main causes of the catastrophic collapse that led to the formation of the studied lake was the latest tectonic activity of the territory, expressed in a unique mosaic folded-block architecture of the territory. The conducted correlation analysis with similar landslide processes of the Kariukhokh type [1-2] (North Ossetia) and Flims [23] (Alps, Austria) confirmed that the formation and functioning of such processes is possible with the rapid release of a large amount of energy accumulated as a result of tectonic movements.

Keywords: landslide, exogenous processes, tectonics, facies, marly limestones, leveling surface.

Введение

Озеро Кезеной-Ам — это высокогорное и самое большое озеро на Северном Кавказе. Оно расположено на границе двух республик: в Чеберлоевском районе Чеченской республики и Ботлихском районе Дагестана (рис.1.). Водоем был образован в результате создания естественной плотины ниже слияния рр. Харсум и Кауха. Питание озера происходит за счет рек и ручьев, и также выбивающих в самой котловине ключей. Поверхностный сток у озера отсутствует, но ввиду сильно развитых в этом районе процессов карстования пород подземный сток происходит через карстовые полости в карбонатных породах [3-6]. **Объектом исследования** является завальная плотина озера и борта долины, сложенные комплексом осадочных пород, представленных в основном разнообразными известняками с органическими остатками хорошей сохранности, мергелями, песчаниками, гипсами и глинами. **Целью исследований было** выяснение факторов образования завальной плотины озера Кезеной Ам и соответствующих трансформаций бортов долины. **Методы исследований:** полевое изучение плотины Кезеной-Ам, слагающих и окружающих её пород, выявление особенностей тектоники и геологического развития района с использованием результатов предыдущих исследований, интернет ресурса *Google Earth*, сравнения с характерными особенностями развития аналогичных процессов в других регионах мира, описанных в доступных публикациях.

Характеристика объекта исследования

Полевое обследование объекта производилось группой геологического клуба СКГМИ «Крокус» 13 октября 2024г. под руководством к.г.-м.н., доцента кафедры «Прикладная геология» Маковозовой З.Э. с последующим анализом результатов выполненных ранее геологических

изысканий, карт и фотоматериалов. В результате представляется следующее геологическое строение и развитие района.

Обрамляющие высокогорное озеро хребты сложены породами верхнеюрского и мелового возраста и представлены, преимущественно, карбонатами, а в рельефе образует скалистые хребты из светло-серых, желтоватых и красноватых мергелистых известняков, нередко доломитизированных. Рассекаемый озерной долиной хребет Кашкерлам представлен полосой меловых отложений, которая подразделяется на две отличные друг от друга толщи, соответствующие двум отделам меловой системы: нижний мел – песчано-глинистый и верхний – карбонатный. Полевые наблюдения свидетельствуют о преобладающем развитии мергелистых известняков (рис. 1) в окрестностях озера Кезеной-Ам. [7].



Рис. 1. Мергелистый известняк с левого борта озерной долины (сканфото Васькова И.М. 16.10.24г.).

Система хребтов сложена породами ниже- и верхнемелового возраста: известняки доломитизированные, песчанистые и детритусовые, известняковые брекчии, мергели, гипсы, реже глины, мелкозернистые песчаники, карбонатные алевролиты. Общая мощность меловых отложений территории колеблется в пределах 900-1400 м. Преобладание карбонатных пород обусловило классическое развитие карстовых форм рельефа. На хребтах Пастбищной системы доминирует карбонатный тип карста (рис. 2).



Рис.2. Комплекс карбонатных пород в правом борту долины озера. Тонкоплитчатые мергелистые известняки в правой части снимка и обвальная масса с «бешеной мукой» - в левой (фото М. Пащенко, 13.10.2024г.).

Многочисленные карбонатные карстовые пещеры и ниши (в том числе сквозные и со следами антропогенной обработки) обычно приурочены к привершинным южным склонам и сквозным ущельям, пересекающим систему хребтов.

Рельеф исследуемой территории среднегорный структурно-денудационный, выраженный куэстовидными хребтами. Северные макросклоны хребтов этой горной системы, совпадают с моноклинально залегающими пластами горных пород, относительно протяжены и пологи. Южные макросклоны - крутые и обрывистые (рис. 3).

В верхней своей части южные макросклоны куэстовидных хребтов имеют вид отвесных обрывов высотой в десятки метров. Происхождение куэстового рельефа предопределено новейшей историей геологического развития восточной части Большого Кавказа.

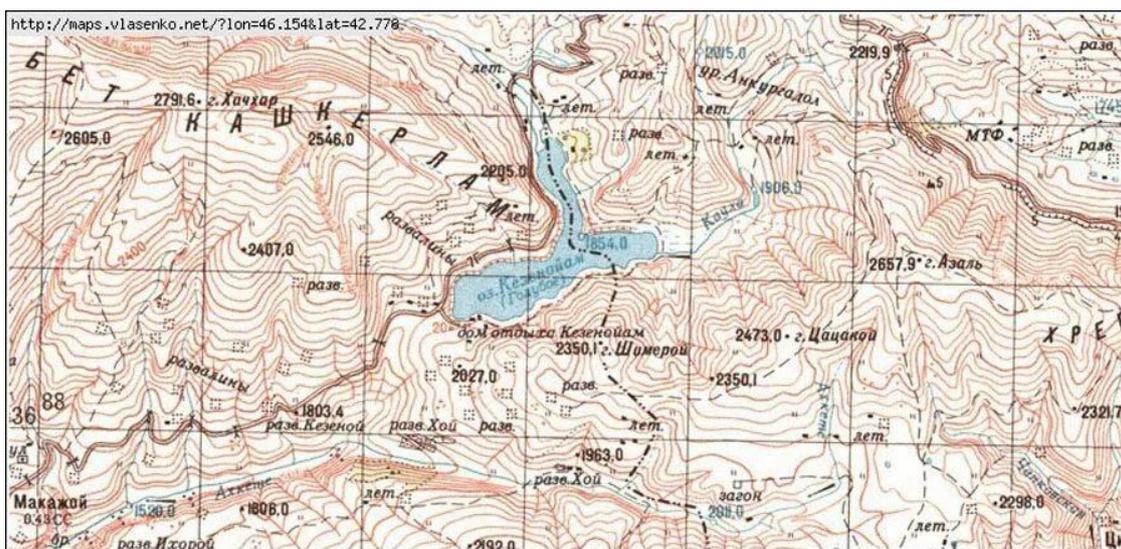


Рис.3. Топографическая карта района оз. Кезеной-Ам

При детальном анализе современных снимков интернет-ресурса *Google Earth* в пределах северного макросклона Восточного Кавказа выделяется следующие зоны: линейных структур сжатия; раннечетвертичная зона растяжения и блок с древней поверхностью выравнивания, включающий озёрную котловину Кезеной-Ам (рис. 4).



▶▶▶▶▶ основное направление линейных структур (сжатия);
 ▶▶▶▶▶ Хр. Кашкерлаш отдельные хребты и их названия
- - - - - границы предполагаемой раннечетвертичной (?) зоны растяжения

Рис. 4. Северный склон Восточного Кавказа с выделенными основными структурными зонами. Слева сверху – Каспийское море.

Выявленные элементы геологического строения территории и завальной плотины

Такой сложный процесс, как возникновение и развитие катастрофических обвалов, не происходит вследствие какого-либо одного природного явления, а является производным от взаимодействия процессов, развивающихся синергетически, а именно – геологического и климатического [8,9,10,12].

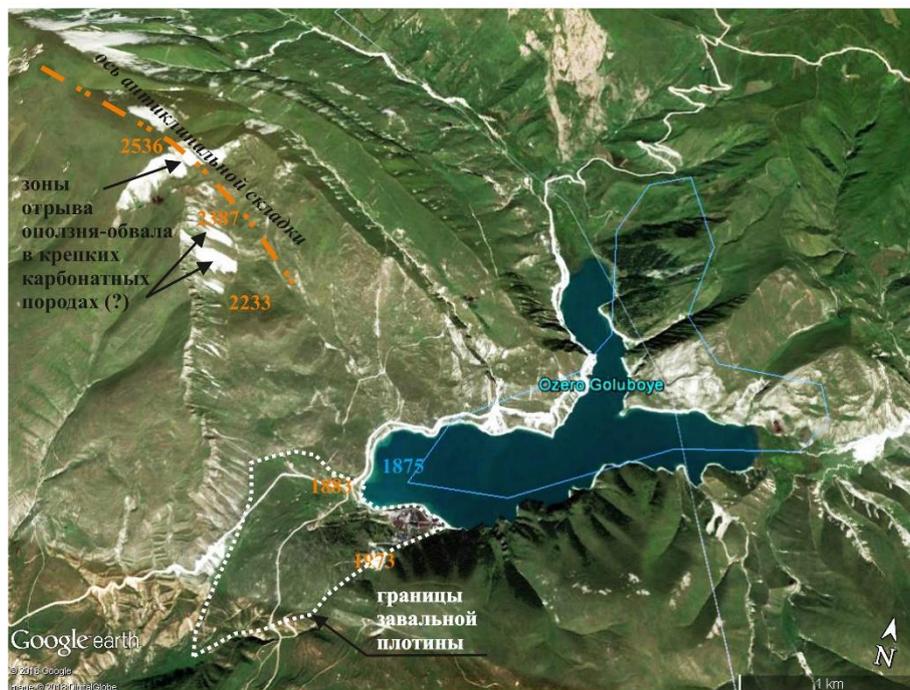


Рис. 5. Озеро Кезеной-Ам и его высокогорное обрамление с элементами дешифрирования. Google Earth, 2014

Для определения морфометрических характеристик на базе интернет ресурса Google Earth были построены пересекающиеся профили – «Продольный» по долине левой образующей долины озера Кезеной-Ам, через завальную плотину и далее по каньону до высоты 1500 м и «Поперечный» - по линии хребта Кашкерлам и по гребню завала.

Таблица

Продольный профиль по долине озера Кезеной-Ам

Высоты, м	Проложение, м	Уклоны, %	углы град.	Азимуты хода	Описание
2300-2350	90	555	29	193	задернованный склон
-2394	160	281	15,5	193	2394 гребень водораздела
-2350	190	263	150	186	коренные породы – мергелистые известняки
-2300	110	454	24,5	192	
-2250	100	500	27	180	
-2200	120	417	22,5	165	
-2150	160	312	17,5	245	
-2100	170	294	16,5	245,5	
-2050	170	294	16,5	245,5	до высоты 2000м – трава

-2000	210	238	13,5	245	ниже – высыпки белого цвета с травой
-1950	90	555	29	245	
-1900	370	135	7,5	245	вынос на пологий склон белых обломков
-1866	210	162	9,5	246	0-300м вынос белых обломков
-1866	2510	0	0	253	озеро Казеной-Ам
-1880	340	68	4	245,5	ВСВ склон завальной плотины
-1850	340	115	6,5	233	склон задернован, продольные рытвины тоже
-1800	390	128	7	214	дорога, на склонах белый делювий
-1750	260	192	11	188	поворот дороги, белесые полки выхода пластов
--1700	170	294	16,5	196	
-1650	420	119	6,5	227	справа выход белого пласта, 70м по склону
-1600	1420	35	2	245,4	водоток из родника на 690м (выс. 1627м)
-1550	1320	38	2	256,8	на 840 м. правый приток и пласт белых пород
-1500 высота 894	830	60	3,5	242,6	на 320м правый приток, пласт белых пород до 150 м над дном долины.
протяженность профиля 10150		средний 88	сред. 5		

Поперечный профиль

Высоты, м	Проложение, м	Уклоны, ‰	углы град.	Азимуты хода	Описание
2533-2500	170	194	11	152,6	известняк мергелистый, разрушенные скалы. Место отрыва обвальных масс
-2450	220	227	12,5	154,4	белые высыпки на увалистом задернованном склоне
-2400	150	333	18,5	160,2	
-2350	200	250	14	160,8	склон ступенчатоувалистый, задернован.
-2300	150	333	18,5	155,6	
-2250	270	185	10,5	155	
-2200	430	116	6,5	155	мелкие ступени типа волн

-2150	100	500	26,5	150	
-2100	130	385	21	152	
-2050	140	357	19,5	158	скалы ступенчатые под травой
-2000	110	455	24,5	154	
-1950	140	357	19,5	148	наклонная площадка (поверхность пласта?)
-1900	140	357	19,5	151	ступень и площадка
-1866	280	121	6,5	158,6	задернованная поверхность обвала.
высота 670	2630	254	14,5		
-1900	200	170	10	162,5	задернованная поверхность обвала.
-1950	220	227	13	125,6	коренной задернованный склон
-2000	320	227	13	135	
-2050	360	139	8	122	
-2100	250	200	11,5	98	высыпки известковые, желтого цвета
проложение	3980				

На основе полученных морфометрических характеристик был рассчитан объём завального тела в пределах 5,3 млн м³.

Выявлено место отрыва и траектория движения обвальных масс (рис. 5, 6, поперечный профиль). Установлено, что сброс воды из озера происходит по системе карстовых полостей с выходом её в виде родника на высоте 1627м в каньоне долины р Хорсум. Определенные величины таких параметров как уклоны (около 90 промилей) и углы наклона поверхностей рельефа и днищ долин (5°) непосредственно указывают на наличие древней поверхности выравнивания (рис. 4, 6).

Полевыми наблюдениями определено, что воды озера Кезеной-Ам через гребень завальной плотины не переливались. Скорее всего, такого перелива не происходило и ранее, т.к. по каньону, ниже границы распространения отложений обвальных масс, не отмечено следов деятельности водных потоков. Аллювиальные отложения и русла отмечаются в каньоне ниже родника. Перегиб верхней кромки бортов каньона по правому и левому борту имеет одинаковую высоту в поперечном сечении (1500-1690м). Примерно одинаковая и крутизна бортов, но, если по левому не просматриваются выходы коренных (до четвертичных) пород, широко развиты кустарники и луговая растительность, то по правому борту каньона на всем его протяжении обнажаются пачки и отдельные пласты мощностью до 100м мергелистых известняков верхнего мезозоя (рис. 6). Залегание пластов и пачек мергелистых известняков на протяжении 6км (от выс. 1620 до 1500м) субгоризонтальное. Изгиб пластов с ЮВ падением отмечается в основании южного склона хребта Кашкерлам с высоты 1750м.

Долина – каньон р. Хорсум прослеживается по азимуту 242° на протяжении 7,6 км от завальной плотины до крутого изменения направления на 120°. Водоток резко изменяет направление своего течения по разрывной структуре, прослеживаемой на протяжении 16 км до селения

Ботлих. При этом первые 5,5 км пересекают тектонический блок с древней поверхностью выравнивания (рис.6), далее через 10,5 км теряется в зоне растяжения (рис. 6,4). Данный факт позволяет представить размерность блоков фундамента зоны развития древней поверхности выравнивания.

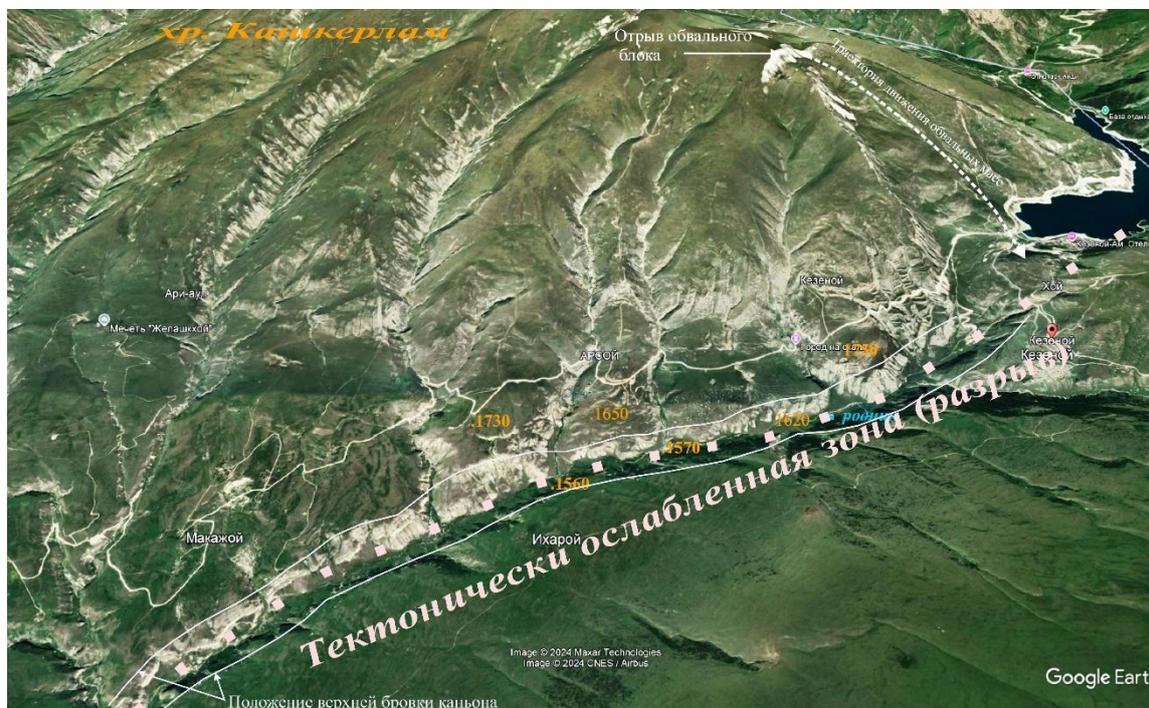


Рис. 6. Относительное расположение хребта Кашкерлам, зоны обвала, котловины озера Кезеной-Ам и каньона в пределах древней поверхности выравнивания (правый нижний угол снимка)

Обвальным процессам, происходящим в восточной части северного макросклона Большого Кавказа, с начала XXI уделяется большое внимание. Исследователями выявлено что крупномасштабные (более $n 10^6 \text{ м}^3$) обвалы охватывают массивные прочные породы разных типов. Это кристаллические сланцы нижнего триаса Памира – Усойский обвал [4] и нижнеюрские толщи подводных вулканитов Центрального Кавказа – Геналдонский обвал [2]; в крепких мезозойских известняках Восточного Кавказа (где они классифицируются как «оползни», например Вихлинский) [9] и Центрального Кавказа (Кариухохский обвал и Пуртский завал [1,2]).

Обвалы и высокоэнергетические лавинообразные потоки вызывают значительные изменения рельефа самих склонов и придонных частей долин.

На основе анализа изученных крупномасштабных обвалов определено, что при движении и обрушению обвальных масс в долину под прямым углом к течению водотока создается естественная плотина с ассиметричными откосами. Завальная плотина при этом приобретает выраженную гребневую часть, ось которой имеет наклон вкрест движения лавинных масс. Основу таких природных сооружений обычно составляют крупные и гигантские породные блоки, а более мелкие обломки выстраиваются на противоположном склоне до высоты в несколько сотен метров. Перед такими плотинами возможно образование больших озер: Сарезское, Яшикуль, Кезеной-Ам и др.

Важной особенностью такого обвально-осыпного процесса является наличие к западу от оз. Кезеной-Ам в интервале высот по гребню 2233 – 2536 м пластов светло-белых известняков и осыпей под ними, что характерно для зон катастрофических обвалов в карбонатных породах. О породах, напоминающих муку тонкого или тончайшего помола, которые в момент разрядки напряжения массивов горных пород ведут себя подобно пасте, пишут многие исследователи

изучающие горные удары. Это т.н. «бешеная мука» присутствует в составе практически всех отложений крупномасштабных обвалов и являются своеобразным маркером катастрофического обвального процесса, отличающегося высокой энергией разрядки геостатических напряжений. Авторами были отмечены такие породы на правом борту долины озера (рис. 2).

Породы-маркеры катастрофического обвала в случае объекта Флимс, как и в случае обвала, приведшего к образованию завальной плотины, это так называемая «бешеная мука». Известняки с частичным содержанием мергелей, испытавшие высокую энергетическую нагрузку, перекристаллизованы, с измененной структурой и светло окрашены, «выбелены» или «обожжены». Т.е. непосредственно зона разрыва сплошности пород – есть зона формирования «бешеной муки»).



Рис. 7. Отложения Кариухохского обвала, «Бешеная мука» с кавернами (0,6м по длине) и включением угловатых обломков до 60%. (фото И.М. Васькова, 31.03.2018г)



Рис. 8. Разрез ущелья Руинаулта. На фотографии на рис. **В** показана аллювиальная терраса в 40 м над Фордеррейном в местности Руинас Даллас Фоппас, Русло древней реки (черная стрела), расположенное на скалах Руинас Даллас Фоппас. [[О. Адриан Пфиффнер](#). Лавина в Флимсе: структура и последствия].

Выводы.

1. Механизм образования крупномасштабных обвалов, причиной которых является быстрая разрядка высоких значений накопленной геодинамической энергии, требует дальнейшего детального изучения с целью оперативного выявления центров её (энергии) сосредоточения и достижения критических значений.

Такое понимание необходимо для выработки краткосрочного прогноза развития опасных геологических процессов в т.ч. землетрясений.

2. «Визитной карточкой» таких процессов является фация «бешеной муки», литолого-фациальные условия образования которой представляют научный и практический интерес для понимания процесса перехода низкопрочных пород в состояние «течения».

Литература

1. Васьков, И.М. О классификации катастрофических обвалов // Труды института геологии ДНЦ РАН. 2016. Вып. 66, «Геология, геодинамика и геоэкология Кавказа» С. 360-366.
2. Васьков, И.М. Катастрофические обвалы: происхождение и прогноз. Монография // Владикавказ: ООО НПКТ «МАВР», 2016. 370 с.
3. Даукаев, А.А., Абубакарова, Э.А. Экзогенные процессы в горных районах Чеченской республики: синергетические и геологические аспекты // Вестник КНИИ РАН. Серия «Естественные и технические науки». Грозный. 2022. С.93-99.
4. Идрисов, И.А., Мамаев, С.А., Ибаев, Ж.Г. Особенности распространения и развития крупных оползней Дагестана // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. Махачкала, 2013. С.96-100.
5. Идрисов, И.А. Крупные скальные оползни Восточного Кавказа // Материалы конференции: «Современные проблемы геологии, географии и геоэкологии». Грозный, 2013. С.227-231.
6. Идрисов, И.А. Запрудные (оползневые) озера Восточного Кавказа // Известия ДГПУ. Естественные и точные науки. №2. 2014. С.96-101.
7. Кедич, А.И., Голосов, В.Н., Харченко, С.В. Экзогенные процессы в прогляциальных зонах гор: количественные оценки и их точность // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2022. – Т. 164, кн. 1. – С. 109–134. – doi: 10.26907/2542-064X.2022.1.109-1345. *Леонов Ю.Г.* Большой Кавказ в альпийскую эпоху. М.: ГЕОС, 2007.
8. Лукк, А.А., Шевченко, В.И. Сейсмичность, тектоника и GPS-геодинамика Кавказа // Физика Земли. Москва, 2019. С.99-123.
9. Магомедов, К.К. Вихлинский оползень в Дагестане и его археологическое значение // Труды Института геологии Даг. Филиал Академии наук СССР, Вып. 29, Махачкала, 1984. С. 109-115.
10. Овсяченко, А.Н., Рогожин, Е. А., Зайцева, Н. В., Лукашова, Р. Н. Андийские сейсмодислокации в Дагестане: опыт дистанционных исследований при сейсмическом районировании Восточного Кавказа // Геология и геофизика Юга России. №3, 2012. С.45-53.
11. Попов А. А. Плотина Вайонт 9 октября 1963 года // <http://russos.livejournal.com/878767.html>
12. Хромовских, В.С. Каменный дракон. М.: Мысль, 1984. С. 95. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://lib.rus.ec/b/185878/read>.
13. Anderson, DL (1985) Appendix B: static slope analysis method used for the Vaiont slide analysis. In Hendron and Patton: The Vaiont slide, a geotechnical analysis based on new geologic observations of the failure surface. US Army Corps of Engineering Technical Report GL-85-5, Volume 2, B1-B8. Available at: www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a158193.pdf
14. Atkinson, B. K. (1984), Subcritical crack growth in geological materials, *J. Geophys. Res.*, 89(B6), 4077–4114, doi: [10.1029/JB089iB06p04077](https://doi.org/10.1029/JB089iB06p04077).
15. Boyer, R.A., 1913, Etude géologique des environs de Longarone (Alpes Vénitiennes)., bulletin de la société géologique de France, 13, 451-485, A027.
16. Caloi, P. (1966) “L’evento del Vajont nei suoi aspetti geodinamici”, *Annals of Geophysics*, 19(1), pp. 1–74. doi: 10.4401/ag-5037.
17. Ciabatti, M., 1964, La dinamica della frana del Vaiont, *giornale di geologia*, 32, 139-160, Contains experimental data, http://serials.cib.unibo.it/cgi-ser/start/it/spogli/df-s.tcl?prog_art=4717352&language=ITALIANO&view=articoli_p, A030

18. Crosta G.B. & Agliardi F., 2003, Failure forecast for large rock slides by surface displacement measurements, *Canadian Geotechnical Journal*, 40, 176-191, DOI, 10.1139/T02-085, Contains experimental data, <http://pubs.nrc-cnrc.gc.ca/rp/rppdf/t02-085.pdf>, A006
19. Chowdhury, R. 1978, Analysis of the Vaiont Slide - New Approach, *ROCK MECHANICS*, 11, 29-38, DOI, 0035-7448/78/0011/0029/, <http://www.springerlink.com/content/n861854840126v25/>, A034
20. Ghirotti, M., 2003 Edoardo Semenza: L'importanza della geologia e della geomorfologia per l'identificazione dell'antica frana del Vaiont, Masè C & Turrini M.C eds., *Commemorazione di Edoardo Semenza*, , 161-171, Università di Ferrara, Italy, 20-May-2003, C018
21. Hutchinson, J.N., 1987, Mechanisms producing large displacements in landslides on pre-existing shears, 1st Sino-British Geological Conference, 9, 175-200, Taipei - Cina, <http://www.afs.enea.it/protprev/www/linee-guida2/bibliografia.htm>, C011
22. Li, N., Tang, C., Zhang, X. *et al.* Characteristics of the disastrous debris flow of Chediguan gully in Yinxing town, Sichuan Province, on August 20, 2019. *Sci Rep* 11, 23666 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-03125-x>
23. Poschinger, A. Long run out mass movements: The example of the Flims rockslide, Switzerland. *Proceeding of International Workshop. Vladikavkaz. Russia, 18–20 September 2012. P. 22–23.*
24. Rozell N. The giant waves of Lituya Bay, University of Alaska Fairbanks Geophysical Institute. 2021. <https://www.gi.alaska.edu/alaska-science-forum/giant-waves-lituya-bay>
25. Vardoulakis I., 2001, Thermo-poro-mechanical analysis of rapid fault deformation, *POWDERS & GRAINS*, The 4th International Conference on Micromechanics of Granular Media, Sendai-Japan, 21-may-2001, C001

УДК 551.1/4; 911.2; 911.9

DOI: 10.33580/2541-9684-2024-98-3-76-82

ПРИРОДНОЕ И АНТРОПОГЕННОЕ ВЛИЯНИЕ НА ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ
ВЕРХОВЬЯ БАСЕЙНА РЕКИ АВАРСКОЕ КОЙСУ
(РЕСПУБЛИКИ ДАГЕСТАН)

*Черкашин В.И., Ибаев Ж.Г., Курбанисмаилова А.С.,
Исаева Н.А., Гусейнова А.Ш., Мамаев А.С., Ахмедов А.С.
Институт геологии ДФИЦ РАН*

В статье рассматривается вопрос изменения геоэкологического состояния верховья бассейна реки Аварское Койсу (Дагестан) под воздействием природных факторов и антропогенной нагрузки. Основой получения соответствующих результатов, на данной территории, послужили длительные наблюдения за состоянием и изменением климата, геодинамической обстановкой, а также влиянием антропогенной нагрузки.

Ключевые слова: горная река, бассейн реки, климат, геодинамика, опасные эндогенные и экзогенные процессы, антропогенная нагрузка.

NATURAL AND ANTHROPOGENIC INFLUENCE ON THE GEOECOLOGICAL STATE OF
THE UPPER REACH OF THE AVAR KOISU RIVER BASIN
(REPUBLIC OF DAGESTAN)

*Cherkashin V.I., Ibaev Zh.G., Kurbanismailova A.S.,
Isaeva N.A., Guseinova A.Sh., Mamaev A.S., Akhmedov A.S.
Institute of Geology DFIC RAS*

The article examines the issue of changes in the geoeological state of the upper reaches of the Avarskoye Koisu River basin (Dagestan) under the influence of natural factors and anthropogenic load. The basis for obtaining the relevant results in this area was long-term observations of the state and climate change, geodynamic conditions, as well as the influence of anthropogenic load.

Key words: mountain river, river basin, climate, geodynamics, dangerous endogenous and exogenous processes, anthropogenic load.

Введение

Территория Республики Дагестан включает в себя множество бассейнов рек, как крупных, так и мелких. Всего в Республике протекает более 4 тыс. малых, средних и крупных рек общей протяженностью более 25 тыс. км. Выделено пять основных бассейновых районов Дагестана: Кумский, Теречный, Сулакский, Шура-озень, Рубасский и Самурский. В данной работе будет рассмотрена проблема геоэкологического состояния одного из истоков Сулакского бассейна (верховье реки Аварское Койсу) в условиях изменения климата, влияния геодинамических факторов – сейсмичность, экзогенные процессы (обвалы, оползни, сели и др.), а также влияние антропогенной нагрузки.

Гидрография и водный режим. Распределение речной сети, ледников и озёр определяется особенностями климата, рельефа и геологического строения отдельных частей территории. Горный район является областью аккумуляции влаги. Здесь располагаются истоки многочисленных рек, образующих мощные речные системы. Густота речной сети возрастает по мере увеличения высоты.

Климат. Климат является одним из определяющих факторов на состояние водных систем на планете, а тем более в горной ее части где формируется начало водных артерий. Горные реки являются чувствительным элементом на даже незначительное изменение климата и как следствие всей экосистемы верховья рек. Детальные наблюдения за динамикой изменения климата позволяют получить достаточно точное представление о происходящих процессах в водных средах и как следствие их влияние на ландшафты и водные ресурсы региона.

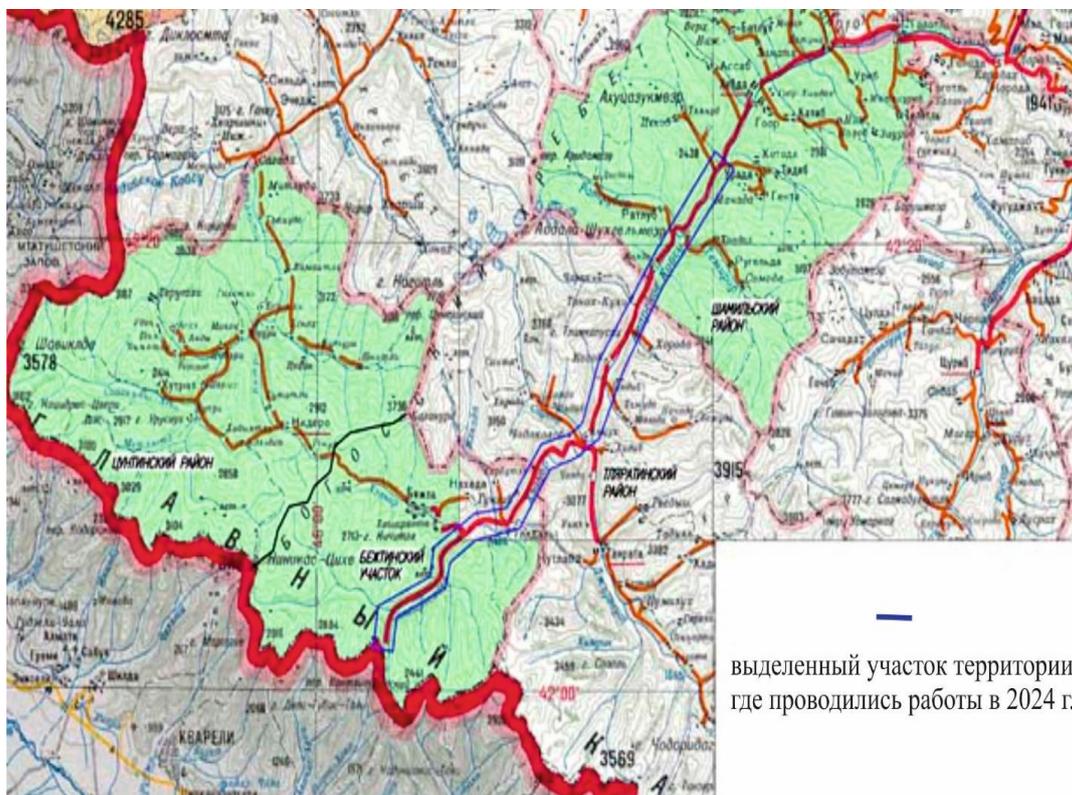
Геодинамика. Другим фактором, влияющим на гидродинамический режим водных объектов, является сейсмичность и как следствие происходят экзогенные процессы (оползни, обвалы, сели и др.) которые приводят к нарушению ландшафта, изменению русла и к другим негативным факторам. Необходимо также отметить, что тектоника горной части и особенно в районе бассейна реки Аварское Койсу обусловлена повышенной сейсмичностью. Согласно СНиП II-7-81* участок долины р. Аварское-Койсу в районе работ относится к 9-и бальной зоне (карты А, В) и 10-и бальной зоне (карта С) по шкале MSK- 64.

Антропогенная нагрузка. Немаловажным фактором, влияющим на экологическое состояние водных объектов, является также и антропогенная нагрузка, связанная с освоением горных территорий, промышленная и сельскохозяйственная деятельность которая может оказывать негативное воздействие на водные ресурсы, качество воды и биологическое разнообразие [13]. Исследование взаимодействия между изменением климата и антропогенной нагрузкой позволит определить основные факторы, влияющие на геоэкологическое состояние бассейнов горных рек, и разработать эффективные методы управления и возможного снижения негативного влияния человеческой деятельности на ландшафт.

География и геология района.

Проведенные работы по изучению водной артерии Аварское Койсу не случаен, поскольку эта река и Андийское Койсу являются основой начала одной из самой полноводной реки Дагестана – Сулак. Другим немаловажным фактором является то, что река имеет большое народно-хозяйственное значение в области сельского хозяйства и водообеспечения населения данной территории.

На первом этапе наших работ был выбран участок самой реки Аварской Койсу и ее приток Хзанар (на рисунке 1 участок работ выделен синим цветом).



—
выделенный участок территории,
где проводились работы в 2024 г.

Рисунок 1. Бассейн притоков верховья реки Аварское Койсу.

Река Аварской Койсу берет свое начало в недрах Главного Кавказского хребта, а вернее со склон горы Гутон. Общая протяженность реки составляет около 180 км. Это достаточно бурная и глубоководная река, в некоторых местах ее глубина составляет 10 м. С точки зрения геологии, район отнесен к альпийской орогенной области Большого Кавказа и имеет достаточно сложный по строению структурный комплекс, включающий в себя герцинский, киммерийский и альпийский этап развития [4,12]. Отложения палеозоя представлены сложным, малоизученным комплексом сильно метаморфизованных пород, прорванных интрузиями различного возраста.

Юрская система представлена в нижней части песчаниками и железистыми известняками, в нижней части доломитами [5].

Меловая система прослеживается сплошной полосой вдоль всего северного склона Кавказа и сложена доломитизированными известняками и мергелями [11].

В пределах высокогорного и среднегорного рельефа получило развитие межгорной депрессии и системы глубоко расчленённых горных хребтов. Межгорные эрозионно-тектонические депрессии представляют собой характерные элементы рельефа, в формировании которых принимали участие и четвертичные ледники. Среди элементов рельефа широко представлены формы, связанные с процессами избирательного выветривания и структурные террасы.

Четвертичные отложения широко развиты как в горных областях Кавказа, так и межгорных депрессиях представляет собой рельеф области новейшей неогеновой складчатости. Эта область охватывает зону развития моноклиналиных и складчатых структур палеогеновых и неогеновых отложений предгорий. В рельефе ей соответствуют низкие горные гряды и возвышенности, которые местами приобретают характер плато. В связи с молодостью складчатых структур и их активном ростом в позднем плиоцене и в четвертичное время здесь наиболее отчётливо выражена прямая связь тектоники и рельефа [3].

Гидрография и водный режим.

Основной особенностью гидрологического режима горных рек Дагестана являются зависимость от высоты местности, направления горных хребтов и экспозиций склонов по отношению к господствующим воздушным течениям.

В пределах территории Горного Дагестана выделено три гидрологические области:

I – высокогорная (высокогорный Дагестан);

II – внутригорная (внутригорный Дагестан);

III – внешнегорная (внешнегорный Дагестан).

Территория, где проводились наши работы относится ко второй группе гидрологической области Дагестана.

Внутригорная (II) гидрологическая область включает реки с северных склонов Главного Кавказского хребта и северо-восточных склонов Бокового хребта [11]. Область занимает территорию с высотными отметками от 200 до 4480 м. Большой перепад высот объясняется наличием здесь относительно низко расположенных межгорных впадин и плато. Область характеризуется относительно малой увлажнённостью и сравнительно низким речным стоком. Воды рек второй (II) области отличаются высокой мутностью, достигающей величины 5000 - 6000 г/м³. Формирование режима рек в значительной степени определяет геологическое строение. В Известняковом Дагестане в верховьях рек наблюдается инфильтрация руслового стока с последующей отдачей ниже по течению (р. Андийское Кой-су на участке Агвали, Ботлих, Тлох и др.). II область занимает 29 % территории Горного Дагестана и формирует до 70 % стока главнейших рек – Сулак и Самур.

В питании рек Горного Дагестана участвуют талые воды сезонных и высокогорных снегов и ледников, жидкие осадки и подземные воды. По классификации П. С. Кузкина, реки разделены на:

1) реки с паводковым режимом;

2) реки с половодьем и паводками.

Реки с паводковым режимом характерны для водозаборов, высота которых не превышает 1500 м. Режим данного типа характеризуется высокими краткосрочными (от 1 до 10 дней)

дождевыми паводками в весенне-летний и осенний периоды. Большая часть стока (до 50-60 %) приходится на весну.

Реки с половодьем и паводковым режимом характерны для водозаборов, высота которых выше устойчивого снежного покрова (от 1500 до 1800 м). Половодье в зависимости от времени прохождения может быть:

- а) весенним;
- б) весенне-летним;
- в) летним.

Средние даты начала половодья совпадают с датой устойчивого перехода 13-часовой температуры воздуха через 0 °С. Наиболее интенсивное нарастание стока рек данного типа происходит в диапазоне высот от 1800 до 2000 м, выше и ниже этих меток нарастание стока более медленное, а в низкогорье – наименьшее.

Связь стока рек со средней высотой является как бы интегральной характеристикой условий его формирования в пределах отдельных склонов. Также чётко определяется зависимость формы стока от нормы осадков в бассейне рек.

Аварское Койсу в районе посёлка Анцух образуется слиянием двух её истоков – рек Джурмут и Хзанор, берущих начало на северо-восточном склоне Главного Кавказского хребта. В частности, Джурмут берёт начало на склоне г. Гутон, течёт, огибая хр. Нукатль, в узкой долине. Значительная часть площади лежит выше 1500 м над уровнем моря, в том числе 10 % выше 3000 м.

Общие характеристики:

Длина реки 144 км. Вместе с истоком Джурмут - 178 км.

Площадь бассейна 7660 км². Средний уклон — 15,2 %.

Общее падение 2440 м от истока Джурмут (исток Джурмут вытекает на высоте 2740 м, устье Аварского Койсу находится на высоте 300 м). Средняя высота реки 2160 м. Площадь оледенения в бассейне реки составляет 6,8 км².

Питание реки смешанное: ледниковое, снеговое и дождевое. Река Аварское Койсу характеризуется весенне-летним половодьем и низкой зимней меженью. Распределение стока внутри года происходит не равномерно. Наиболее многоводной река бывает в период с мая по август, в течение которого проходит до 65 % годового объёма стока.

Общее число рек в бассейне достигает 1440, из них 52 реки имеют длину более 10 км. Основными притоками являются реки: Джурмут, Хзанор, Сараор, Мазадинка, Темирор, Тобот, Каракойсу.

По степени минерализации и химическому составу воды чрезвычайно пестрые. В таблице 1 приведены данные химического состава, а в таблице 2 микро компонентного состава вод реки Аварского Койсу.

Таблица 1.

Химический состав поверхностных вод реки Аварское Койсу

№ п/п	Наименование химических веществ	Ед. изм.	Норма по СанПиН 21.4.1074-01	Содержание компонентов, мг/дм ³	
				min	max
1	Сухой остаток	мг/дм ³	1000 (1500)	190	248
2	Жесткость общая	мг-экв/л	7,0 (10)	2,5	3
3	Водородный показатель	(рН)	6-9	7	8,7
4	Нефтепродукты	мг/дм ³	0,1	0	0,07
5	Сульфаты (SO ₄)	-«-	500,0	72	120
6	Хлориды (Cl)	-«-	350,0	7	14
7	Нитриты (NO ₂)	-«-	3	0,004	0,05
8	Нитраты (NO ₃)	-«-	45	0	1,0
9	Аммоний (NH ₄)	-«-	2	0,04	0,45
10	Железо (Fe)	-«-	0,3 (1,0)	0,05	0,23

Таблица 2.

Микро компонентный состав поверхностных вод реки Аварское Койсу

№ п/п	Наименование химических веществ	Ед. изм	Норма по СанПиН 2.1.4.1074-01	Содержание микрокомпонентов, мг/дм ³
1	Стронций (Sr)	мг/дм ³	7,0	2,1
2	Серебро (Ag)	мг/дм ³	0,05	0,006
3	Кадмий (Cd)	-«-	0,001	<0,001
4	Кобальт (Co)	-«-	0,1	<0,005
5	Никель (Ni)	-«-	0,1	0,004
6	Хром (Cr)	-«-	0,05	<0,005
7	Медь (Cu)	-«-	1,0	0,004
8	Цинк (Zn)	-«-	5,0	0,054
9	Свинец (Pb)	-«-	0,03	<0,005
10	Марганец (Mn)	-«-	0,1(0,5)	<0,002
11	Бор (B)	-«-	0,5	0,05
12	Мышьяк (As)	-«-	0,05	<0,002
13	Ртуть (Hg)	-«-	0,0005	<0,0005
14	Селен (Se)	-«-	0,01	<0,001
15	Йод (I)	-«-	-	<0,50
16	Бром (Br)	-«-	0,2	<0,20
17	Фтор (F)	-«-	1,5	<0,27
18	Молибден (Mo)	-«-	0,25	0,001
19	Бериллий (Be)	-«-	0,0002	<0,0002

Климат.

Дагестан делится на три климатические зоны:

- равнинная зона, высота над уровнем моря 28 - 150 м. Климат на равнинах сухой, континентальный. Зима малоснежная, лето жаркое и сухое.

- предгорная зона, высота над уровнем моря 150 (200) - 850 (1000) м. В предгорной части климат более умеренный и влажный.

- горная зона, высота над уровнем моря свыше 850 (1000) метров. Снежный покров невелик, но держится довольно долго. Конец весны и начало лета — самый влажный период. На высотах лето прохладное, в долинах и котловинах — теплое.

Район изысканий расположен в горной части Дагестана, ближайшей метеостанцией является станция Тлярата с отметкой 1500 м БС.

В таблице 3 приведены основные климатические параметры по метеостанции Гуниб, наблюдения на которой по основным метеорологическим элементам ведутся с 1936 года, а за отдельными параметрами с 1913 года. Отдельные климатические характеристики даны по метеостанции г. Махачкалы согласно СНиП 23-01-99*.

Таблица 3.

Основные климатические параметры по метеостанции с. Тлярата

Наименование	Значение параметра
Район исследований согласно СНиП 2.05.02 – 85*	IV дорожно-климатическая зона
Среднегодовая температура воздуха, °С	7,0
Абсолютный максимум температуры воздуха, °С	+ 35
Абсолютный минимум температуры воздуха, °С	- 22
Температура воздуха наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,98, °С	- 17
Температура воздуха наиболее холодной пятидневки	- 14

Наименование	Значение параметра
обеспеченностью 0,92, °С	
Среднегодовое количество осадков, мм	621
Средняя дата образования устойчивого снежного покрова	13.XI
Средняя дата схода снежного покрова	09.IV
Наибольшая декадная высота снежного покрова, см	33
Средняя годовая скорость ветра, м/с	1,0
Среднее количество дней с туманом за год	10

Температура воздуха. Температурный режим района изысканий обусловлен характером атмосферной циркуляции. Существенное влияние на температурный режим оказывает высотная поясность. Это проявляется в резко выраженном контрасте суточных температурах воздуха. Среднегодовая температура воздуха имеет положительное значение (7,0° С). Период с отрицательными среднемесячными температурами воздуха продолжается с декабря по февраль.

Январь – самый холодный месяц (его среднемесячная температура воздуха минус 3,3° С). Абсолютный минимум так же наблюдался в январе – минус 22° С.

Наиболее высокие температуры воздуха приурочены к июлю – августу, самым тёплым месяцам (их среднемесячная температура воздуха плюс 16,7° С). К августу приурочен абсолютный максимум температуры воздуха плюс 35° С.

Амплитуда экстремальных значений температуры воздуха составляет по метеостанции Гуниб 57°. Температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,98 приведена по городу Махачкала и составляет минус 17° С и обеспеченностью 0,92 минус 14° С.

Осадки. На рассматриваемой территории характер распределения осадков определяется особенностями общей циркуляции атмосферы и орографическими особенностями территории. В целом по району за год выпадает 621 мм. Основное количество выпадает с апреля по октябрь (544 мм), и годовая сумма осадков на 87,5 % складывается из осадков тёплого периода. В годовом ходе осадков минимум наблюдается в январе, максимум приходится на июнь. Суточный максимум осадков обеспеченностью Р = 1 % по метеостанции Гуниб не рассчитывался, наиболее близкой по величине осадков является метеостанция Закаталы, по ней осадки, возможные раз в сто лет, составляют 164 мм.

Снежный покров. Общее количество выпадающих зимой твёрдых осадков невелико. В связи с этим средняя декадная высота снежного покрова не превышает 5 см, наибольшая из средних декадных высот - 12 сантиметров, максимальная декадная высота составляет 33 см. Мягкий, несмотря на высокогорность, климат и частые оттепели приводят к тому, что устойчивый снежный покров образуется только к середине декабря, а разрушается к середине апреля. Снежный покров в среднем держится 63 дня.

Ветер. Территория изысканий со всех сторон защищена горными хребтами, потому ураганных ветров здесь не бывает, максимальная наблюденная скорость ветра по метеостанции Гуниб составляет 23 м/с. Среднегодовая скорость ветра составляет 1,0 м/с. Большую часть года, особенно в летне-осенний период, преобладает практически безветренная погода. Направление сильных ветров, как правило, совпадает с направлением речных долин и межгорных котловин.

Атмосферные явления. В районе проведения изысканий возможно образование туманов в течении всего года, с некоторым перевесом в сторону холодного периода. В среднем за год бывает 10 туманных дней, с общей продолжительностью туманов 49 часов.

В тёплый период года наблюдается в среднем 31 день с грозой, общая продолжительность гроз составляет 61,8 часа. С гололёдом в среднем бывает 2 дня в году, с изморозью 7 дней.

Сейсмичность

Необходимо отметить, что сохраняющиеся и поныне новейшие тектонические движения в бассейне р. Аварское-Койсу, особенно в его горной части, обуславливают высокую сейсмичность этой территории. Согласно СНиП II-7-81* участок долины р. Аварское-Койсу в районе работ относится к 9-и бальной зоне (карты А, В) и 10-и бальной зоне (карта С) по шкале MSK-64 [8,10]. Для определения сейсмичности территории Российской Федерации нормативными являются карты ОСР-97. В комплект карт, рекомендованный Госстроем России к применению в практике гражданского и промышленного строительства, входят три карты ОСР-97(А, В и С), предназначенные для обеспечения проектирования и сейсмостойкого строительства объектов разных категорий ответственности и сроков службы. Эти карты составлены для разных периодов повторяемости сейсмических сотрясений - один раз в 500 лет, (карта ОСР- 2015-А), в 1000 лет (карта ОСР-2015-В), 5000 лет (карта ОСР-2015-С), что соответствует разной степени вероятности (10%, 5% и 1%) возможного превышения сейсмической интенсивности в течение 50 лет.

При анализе сейсмичности исследуемого участка особый интерес представляют зоны сочленения областей с разной направленностью тектонических движений, т.е. зоны расположения предполагаемых глубинных разломов [9]. Как известно «сейсмическую погоду» определяют сильные землетрясения. За последние 30-40 лет на территории Кавказа инструментальным путем зарегистрированы довольно много сильных землетрясений, в том числе: Дагестанское – 14.05.1970 г. (8–9 баллов), Салатауское - 23.12.1974 г. (7 баллов), Буйнакское - 9.01.1975 г. с силой в эпицентре равной 8 баллам, Кумторкалинские - (31.01. с силой в 7 баллов и 21.02., 14.04.1999 г.) и др. [8] Для определения сейсмичности территории РФ нормативными являются карты ОСР-2015. Одним из самых главных и негативных факторах последствий сейсмических событий, в горной ее части, является проявление экзогенных событий – оползни, сели и др. События которые могут привести к перекрытию водных артерий, их загрязнению и как следствие все это может привести к нарушению гидрологического режима, изменению химического состава водных артерий как в горной и предгорной ее частей [6].

Учитывая вышесказанное нами проведены инженерно-геологические изыскания на исследуемом участке, что позволило охарактеризовать инженерно-геологические условия по совокупности факторов как сложные III категории (СП 11-105 97 Часть I). На территории, прилегающей к площадке исследований, развиты геологические процессы – склоновые (оползневые), эрозионные (овражная эрозия) сейсмические процессы (землетрясения 9 баллов), которые могут быть отнесены, согласно СНиП 22-01-95 «Геофизика опасных процессов», к категории весьма опасных.

Антропогенная нагрузка

Речные бассейны, как целостные системы, представляют собой объекты особого интереса в контексте исследований в области различных наук. Являясь центрами исторического развития, эти системы выступают важными источниками пресных вод, поддерживающих жизнь многих экосистем и обеспечивающих необходимые условия для деятельности человека. Однако антропогенное воздействие и изменение климата угрожают чистым пресным водам, что актуализирует проблему доступа к ним, особенно в контексте устойчивого развития, определенного целями устойчивого развития [6].

Однако современные тенденции антропогенного воздействия и климатических изменений оказывают существенное воздействие на структуру, экосистемные услуги и функции речных бассейнов, влекущее за собой серьезные последствия для доступности чистых пресных вод. Промышленные выбросы, неудовлетворительные сельскохозяйственные практики и утилизация бытовых сточных вод оказывают значительное давление на водные ресурсы, приводя к деградации водных экосистем и ухудшению их качества.

Другим немаловажным фактором является перекрытие рек с целью создания водохранилищ для будущих ГЭС. Особенно остро эта проблема стоит в горной части, где для

строительства ГЭС перекрываются реки с целью накопления воды, что приводит к нарушению гидродинамического режима и к изменению состава и свойств горных пород, а это в свою очередь, к различным опасным процессам – оползням, обвалам, селям и т.д. Согласно статистике, до 80% современных оползней связано с деятельностью человека [7].

Заключение

В заключении необходимо отметить, что река Аварское Койсу имеет значительную хозяйственную ценность. Во-первых, она необходима для ирригации зелёных насаждений, находящихся рядом, во-вторых, река снабжает водой близлежащие населённые пункты. Кроме этого необходимо помнить, что как сама река, так и прилегающие окрестности в настоящее время вовлекаются в систему туристической деятельности. Все это накладывает определенные обязательства как местных, так и республиканских властей на определенные действия, которые позволят сохранить столь уникальную часть территории республики Дагестан и не только в этом районе.

Работа представлена в рамках крупного научного проекта «Динамика геоэкологического состояния бассейнов горных рек Северо-Восточного Кавказа, Азербайджана и Ирана в условиях изменения климата и растущей антропогенной нагрузки» (соглашение № 075-15-2024-644).

Литература

1. Ананьин И.В. О сейсмическом эффекте близких землетрясений на Восточном Кавказе. Тр. ИФЗ АН СССР, № 33(200), М., 1964.
2. Атаев З.В., Абдурахманова А.Г. Экологические проблемы устойчивого развития социоприродного комплекса Республики Дагестан. – Махачкала: Алеф, 2007. – 282 с.
3. Атаев З.В. Ландшафты Высокогорного Дагестана и их современное состояние. // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. – Махачкала: ИПЦ ДГПУ. – 2007, №1. – С.90-99.
4. Большой Кавказ в альпийскую эпоху. (под редакцией Ю.Г. Леонова). - М.: ГЕОС, 2007. - 368 с.
5. Гаврилов Ю.О. Осадконакопление в ранне- и среднеюрском водоеме Большого Кавказа (в связи с трансгрессиями и регрессиями // Литология и полезн. ископаемые. 1989. № 2. С. 3-15.
6. ГОСТ 17.0.0.01-76* Система стандартов в области охраны природы и улучшения использования природных ресурсов. Основные положения
7. Идрисов И.А., Мамаев С.А., Сулейманов В.К., Черкашин В.И. Причина и следствие селевых процессов (Дербент - 2012) // Сергеевские чтения (выпуск 25), «Региональная инженерная геология и геоэкология». Дербент. 2024. С. 232-237
8. Каталог ISC 1964-2010: <http://www.isc.ac.uk/Cite/cite.html>
9. Милановский Е.Е. Рифтогенез в истории Земли (рифтогенез на древних платформах) // М.: Недра, 1983.
10. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. /Под ред. Н.В. Кондорской и Н.В.Шебалина. Пб.Кавказ.- М: Наука, 1977. - С.69-171.
11. Сидоренко А.В. [Гидрогеология СССР. Северный Кавказ. Том IX - [Url: https://djuv.u](https://djuv.u) Online / file / F6iN6GkgFYDPQ]
12. Смирнова М.Н. О внутреннем строении доюрского основания Теско-Каспийского передового прогиба // М. Изв. Вузов. Геология и разведка, №3 – 1974 - С. 10-18.
13. Эльдаров Э.М., Алиев Ш.М., Атаев З.В., Эфендиев И.И. Геоэкологические факторы территориальной организации сельского населения Дагестана // Проблемы региональной экологии. №6. – М., 2007. – С.146-155.

ЮБИЛЕЙНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СЕРГЕЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ. РЕГИОНАЛЬНАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ И ГЕОЭКОЛОГИЯ»

Юбилейная конференция «XXV Сергеевские чтения. Региональная инженерная геология и геоэкология» состоялась 28-30 марта 2024 года в конференц-зале отеля «Алые паруса» г. Дербента и была традиционно организована Институтом геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН (ИГЭ РАН) и Научным советом РАН по проблемам геоэкологии при участии Российской национальной группы МАИГ. Принимающей стороной в этом году стал Институт геологии Дагестанского федерального исследовательского центра РАН при спонсорской поддержке ООО «Геоцентр МГУ», ООО «Геотек» и компании «BRUG. Geobrugg». Конференция была посвящена 110-летию со дня рождения академика Евгения Михайловича Сергеева (1914-1997).



Участники конференции

Оргкомитет конференции возглавили председатель Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии, научный руководитель Института геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, академик РАН В.И. Осипов (сопредседатель) и директор Института геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, д.г.-м.н., проф. Е.А. Вознесенский (сопредседатель). В составе оргкомитета работали Е.В. Булдакова (отв. секретарь, ИГЭ РАН) и члены комитета Г.С. Аманова (ИГЭ РАН), М.В. Коробов (ИГЭ РАН), М.А. Маркова (технический секретарь, ИГЭ РАН), Д.С. Савченко (ИГЭ РАН), Е.А. Сенцова (МГУ им. М.В. Ломоносова).

Программный комитет представляли А.В. Аникеев (ИГЭ РАН), О.Н. Еремина (ИГЭ РАН), П.С. Микляев (ИГЭ РАН), Г.П. Постоев (ИГЭ РАН), Н.А. Румянцева (ИГЭ РАН), А.Л. Стром (филиал АО «Институт Гидропроект»), В.И. Черкашин (Институт геологии ДФИЦ РАН).

В работе конференции приняли очное участие 132 человека, еще 33 слушателя приняли участие в дистанционном формате.

Пленарную сессию конференции открыл директор Института геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН проф. Е.А. Вознесенский. В рамках пленарной сессии выступили В. Маринос (президент Международной ассоциации по инженерной геологии, Греция) с докладом «Современные задачи инженерной геологии», В.Т. Трофимов (МГУ им. М.В. Ломоносова) с докладом «Развитие теоретического базиса региональной инженерной геологии: от исходных позиций И.В. Попова к современному состоянию», О.Н. Еремина (Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН) с докладом «Вклад академика Е.М. Сергеева в развитие региональной инженерной геологии».

В завершении работы пленарной сессии были объявлены лауреаты медали Е.М. Сергеева «За вклад в развитие инженерной геологии». В 2024 году ими стали к.г.-м.н. Т.И. Аверкина, президент МАИГ В. Маринос и д.г.-м.н. А.Л. Стром.

В 2024 году секционные заседания прошли по следующим темам:

- 1) Особенности инженерно-геологических условий различных регионов;
- 2) Геоэкологические и инженерно-геологические проблемы урбанизированных и техногенно-нагруженных территорий;
- 3) Инженерная геодинамика горно-складчатых и платформенных областей: геологические процессы и их парагенезис;
- 4) Инженерно-геологическое и геоэкологическое районирование как инструмент региональных исследований;
- 5) Моделирование и искусственный интеллект при исследованиях инженерно-геологических структур;
- 6) Дистанционное зондирование Земли в региональных инженерно-геологических и геоэкологических исследованиях.



Доклад И.А. Идрисова

В работе секционных заседаний с устными докладами выступили специалисты из Москвы, Махачкалы, Новосибирска, Краснодара, Казани, Перми, Екатеринбурга, Санкт-Петербурга, Уфы, Архангельска, Сочи, Пензы, Чабоксар.

Институт геологии Дагестанского федерального исследовательского центра РАН представил доклады «Климатическая изменчивость ландшафтов северо-восточного Кавказа как фактор динамики современных экзогенных рельефообразующих процессов» (З.В. Атаев), «Причина и следствия селевых процессов (Дербент – 2012)» (И.А. Идрисов, С.А. Мамаев, В.К. Сулейманов, В.И. Черкашин), «Деформационные процессы на неустойчивом скальном массиве «Гуниб» в Дагестане» (Ш.Г. Идармачев). Также в сборнике были опубликованы материалы «Инженерно-геологические и геоморфологические условия г. Избербаш в связи с подтоплением» (С.А. Мамаев, Ж.Г. Ибаев, М.А. Мусаев, А.С. Мамаев, А.Ш. Гусейнова, Н.А. Исаева, А.С. Ахмедов, А.С.

Курбанисмаилова), «Искусственное пополнение запасов подземных вод в геологических резервуарах на территории Республики Дагестан» (Ш.Г. Самедов, И.М. Газалиев), «Пространственно-временное распределение сейсмической активности в северо-восточном секторе Восточного Кавказа» (Р.А. Магомедов, М.А. Мусаев), «Опыт применения дипольного зондирования массива горных пород в районе Чиркейской ГЭС для контроля их устойчивости» (Ш.Г. Идармачев, А.В. Дещеревский, И.Ш. Идармачев), «Путеводитель экскурсии по Известняковому Дагестану» (И.А. Идрисов, А.Л. Стром). Путеводитель был дополнительно издан самостоятельным оттиском. В работе конференции принял участие ученый секретарь Дагестанского федерального исследовательского центра РАН Ж.Г. Ибаев.



Экскурсия по Ахтынскому историко-краеведческому музею

По окончании научной программы конференции были проведены две полевые геологические экскурсии по различным районам горного Дагестана для ознакомления с особенностями природного и культурно-исторического наследия региона.

Мамаев С.А., Атаев З.В.

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).*

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-81133 от 25 мая 2021 года

Ежеквартальный научный журнал
"Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН"
Выпуск № 3 (98) 2024

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 20.09.2024 г. Формат 60×84¹/₈.
Гарнитура «Таймс». Бумага офсетная. Печать ризографная.
Усл. п. л. 8,9. Уч.-изд. л. 4,3. Тираж 200 экз. Заказ №24-06-97. Цена свободная.



Отпечатано в типографии АЛЕФ
367002, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. С. Стальского, 50
Тел.: +7 (8722) 935-690, 599-690, +7 (988) 2000-164
www.alefgraf.ru, e-mail: alefgraf@mail.ru