

ТЕХНОЛОГИИ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ КОЛЬМАТАЦИИ ПРИ ОБРАТНОЙ ЗАКАЧКЕ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ ВОД МАХАЧКАЛА-ТЕРНАЙРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ ДАГЕСТАН

¹Джелилов Г.К., ¹Алиев Р.М., ^{1,2}Ахмедов Г.Я., ¹Рашидханов А.Т.

¹Дагестанский государственный технический университет, 367015, Махачкала, Россия

²Институт проблем геотермии и возобновляемой энергетики – филиал ОИВТ РАН,
367030, Махачкала, Россия
e-mail: ganapi@mail.ru

В работе приводятся результаты геологоразведочных данных по скважинам геотермальных вод месторождения Махачкала-Тернаир, которые позволяют оценивать перспективы использования термальных вод на отопление, горячее водоснабжение, а также для теплично-парникового хозяйства. Полученные на скважинах месторождения Махачкала-Тернаир данные можно использовать для решения вопросов поддержания пластового давления, сброса отработанных токсичных термальных вод или их захоронения. Проведенные экспериментальные работы на скважинах месторождения Махачкала-Тернаир показали, что для нагнетания отработанных геотермальных вод необходимо выбирать только материнский пласт, что связано с идентичностью химического состава раствора его воды с раствором закачиваемой воды.

Ключевые слова: геотермальная вода, обратная закачка, градиент температуры, пластовое давление, дебит скважины, кольматация пласта.

TECHNOLOGIES FOR PREVENTING FORMATION PLUGGING DURING GEOTHERMAL WATER REINJECTION AT THE MAKHACHKALA-TERNAIR FIELD, REPUBLIC OF DAGESTAN

¹Djelilov G.K., ¹Aliev R.M., ^{1,2}Akhmedov G.Ya., ¹Rashidkhanov A.T.

¹Dagestan State Technical University, 367015, Makhachkala, Russia

²Institute of Geothermal Problems and Renewable Energy – Branch of the Joint Institute for High
Temperatures of the Russian Academy of Sciences, 367030, Makhachkala, Russia

This paper presents geological exploration data from geothermal wells at the Makhachkala-Ternair field, enabling an assessment of the prospects for utilizing thermal waters for space heating, hot water supply, and greenhouse operations. The data obtained from the Makhachkala-Ternair wells can be used to address issues regarding reservoir pressure maintenance, as well as the discharge or subsurface disposal of spent, toxic thermal waters. Experimental work conducted on wells at the Makhachkala-Ternair field has demonstrated that only the source formations should be selected for the injection of spent geothermal waters, due to the chemical composition of the formation fluids being identical to that of the injected water.

Keywords: geothermal water, reinjection, temperature gradient, reservoir pressure, well flow rate, formation plugging.

Геотермальная энергетика, основанная на использовании источников горячих подземных вод, имеет широкую перспективу в развитии возобновляемой энергетики как в России, так и во всем мире [1-4,7,10,11], Республика Дагестан обладает значительным геотермальным потенциалом, что обусловлено ее расположением в зоне активного тектонического развития на стыке крупных геологических структур. Махачкала-Тернайрское геотермальное месторождение – одно из первых в стране, где была начата эксплуатация термальных вод. В настоящее время разрабатываются два термоводозабора: Махачкалинский и Тернайрский, расположенные в районе г. Махачкалы. Указанное месторождение характеризуется высокой степенью геолого-гидрогеологической изученности, чему способствовали благоприятные геологические условия для поисков залежей нефти, газа и термальных вод. По геологическим условиям водозаборы относятся к месторождениям пластового типа с относительно

простыми гидрогеотермическими условиями, характеризующимися относительно выдержанными по мощности и литологическому составу водовмещающими пластами, незначительной изменчивостью фильтрационных свойств, относительным постоянством гидрогеотермических и гидрохимических условий. Одним из основных эксплуатационных объектов, с которыми связаны перспективы широкого использования термальных вод является среднемиоценовый водоносный комплекс, в котором выделяются два водоносных горизонта: караганский и чокракский. Пластовые давления в них позволяют осуществлять многолетнюю фонтанную эксплуатацию, что отвечает всем требованиям для многоцелевого их использования в различных областях народного хозяйства.

В течение длительного времени здесь в значительных объемах проводились геолого-поисковые работы, включающие геологическую съемку, сейсморазведку, гравиметрию, геотермическую съемку,

структурное, глубокое поисково-разведочное эксплуатационное бурение на нефть и теплоэнергетические воды. На месторождении на миоценовые нефтеносные отложения было пробурено 143 разведочные и эксплуатационные скважины. Начиная с 1950-х годов в пределах месторождения проводились геологоразведочные работы, направленные на решение проблемы освоения геотермальных ресурсов.

В последующем (1968-1975 гг.) с целью разведки палеогеновых и меловых отложений были пробурены скважины глубиной до 4000 м в количестве 15 скважин. В процессе разведки на нефть было установлено наличие горячих вод в песчаных отложениях караганского и чокракского горизонтов.

Специализированные работы по поискам и разведке геотермальных вод на Махачкалинской и смежной Тернаирской площадях были начаты еще в 1964 году. На I этапе они осуществлялись Северо-Кавказской разведочной экспедицией, переименованной позднее в Северо-Кавказское управление разведочного бурения (СКУРБ) министерства газовой промышленности. В значительных объемах проведены работы и по реконструкции ликвидированного фонда нефтяных скважин на термальные воды. Всего за период с 1964 по 1970 годы было реконструировано 34 скважины и пробурено 10 разведочных скважин на площади Махачкала.

Проблемы поддержания пластового давления (ППД), сброса отработанных токсичных термальных вод и захоронения промстоков на сегодня, когда происходит интенсификация освоения месторождений термальных вод и интенсивный рост отходов промышленности, стали самыми активными [5,6,8,9].

Так как термальные воды скважин (пробуренных на Тернаирской площади) характеризуются повышенной минерализацией и содержанием фенолов в настоящее время для утилизации предусматриваются закачки отработанных вод обратно в материнские пласты. В 1989 году на Тернаирской площади были проведены опытно-экспериментальные нагнетания термальной воды по ранее пробуренным на тот же чокракский горизонт 5-ти скважинам №28т, 32т, 36т, 38т, 39т. Целью этих работ было обоснования возможности создания системы обратной закачки в промышленных масштабах и соблюдения правил охраны окружающей среды. Опытные закачки термальных вод осуществлялись тематической партией по программе и новой методике гидрогеологических исследований геотермальных скважин при изучении водопроницаемости продуктивных пластов – «Методика многоступенчатых постепенных нагрузок (ММПН)», разработанной и внедренной в производство управлением «Дагбургеотермия» еще в 1983г. на Избербашском месторождении термальных вод. В методике удачно сочетаются техно-

логические принципы принудительной насосной закачки воды и естественной самоциркуляционной гидродинамической системы, основанной на эффекте термолифта. Указанные работы (по закачкам) проведены для определения приемистости пластов «В2», «В3» свиты «В» чокракского горизонта и возможных ее изменений во времени при длительном режиме нагнетаний, соответствующим эксплуатационным условиям.

По характеру водовмещающих отложений термоводоносные пласты свиты «В» являются поровыми. Обводненность свиты «В» изучена на площади Тернаир достаточно хорошо, а разгрузка водоносных пластов по мнению ряда исследователей осуществляется в Каспийское море. Полученные результаты разведки позволяют высоко оценивать перспективы использования термальных вод с помощью теплообменников не только для отопления, горячего водоснабжения, но и для теплично-парникового хозяйства (ТПХ) в пределах Тернаирской площади. Так как температура сбросной термальной воды равна 60 °С и содержит фенолы, то ее опасно сбрасывать в наземные водоемы на территории месторождения. После использования эту воду необходимо закачивать в материнские пласты. В 1989 году в этом направлении гидропартией управления были проведены экспериментальные работы на площади Тернаир. Были подготовлены три куста скважин по самоциркуляционной системе (СЦС):

I-ый куст – скв. 36т и скв. 28т (вода поступала в скважину 28т из скв. 36т и обратно);

II-ой куст – скв. 32т и скв. 39т (вода поступала в скв. 39т из скв. 32т);

III-й куст – скв. 38т и скв. 28т (вода поступала в скв. 28т из скв. 38т).

В осенне-летний период 1989 года в течение 4-х месяцев на Тернаирской площади геотермальных вод осуществлялись опытные закачки высокоминерализованных фенолосодержащих вод без включения насосов на режимах самоциркуляции, которыми были задействованы 5 скважин (№36 тнэ, 38 тн, 28 тнэ, 39 тн и 32 тэ), где устья эксплуатационных и нагнетательных скважин, пробуренных на один и тот же чокракский водоносный горизонт, герметично соединены между собой.

Для организации круглосуточных наблюдений за процессами нагнетаний при управлении «Дагбургеотермия» была создана исследовательская группа из 4-х человек со спецмашиной, а контроль и текущую обработку полевых материалов и своевременную корректировку режимов нагнетаний производил гидрогеолог тематической партии управления.

Опытные нагнетания проводились с целью получения данных, характеризующих: приемистость скважин и изменения ее во времени; оптимальные давления нагнетания; скорость и направления перемещения фронта холодных вод, физико-химические

процессы, происходящие в системе – закачиваемая вода – пластовые воды – вмещающие породы; надежность водоупоров в кровле и в подошве пласта.

Выбор скважин по группам взаимодействия (эксплуатационная и нагнетательная) обосновывали, во-первых, разницей статических уровней, во-вторых, в них вскрыты одни и те же песчаные пласты (свита «В» пл. «В2», «В3») чокракских отложений, содержащих идентичную термальную воду, в третьих устья этих скважин расположены на небольшом расстоянии друг от друга и почти на одном гипсометрическом уровне.

До начала опытных нагнетаний скважины № 28тэ, 36тэ и наблюдательные скважины №31т, 27т, 38т (свита «В» пл. «В2») и 39т, 32т, 30т (свита «В» пл. «В3») были закрыты на восстановление давления до статического значения после окончания отопительного сезона. Затем по всем скважинам был снят фон давления и в процессе опыта систематически фиксировались все изменения давления как в центральных, так и наблюдательных скважинах.

Первый и самый продолжительный куст закачек проводился в период с 25.07 по 25.08.89 г. и состоял из скважины №28т (возмущающая с гипсометрическим уровнем – 13.2м) и скважины №36т (реагирующая – нагнетательная с гипсометрическим уровнем – 16.2 м, пробуренных на один и тот же чокракский горизонт (но с разными пластами «В2» и «В3»), герметично соединенных между собой, образуя единую замкнутую гидродинамическую систему. Опытные нагнетания проведены на 3-х режимах (на штуцерах с 15, 30, 50мм) без подключения насоса, по естественной, самоциркуляционной гидродинамической системе (СЦС) за счет превышения динамического уровня и существующего термолифта на скважине №28т (вода через фильтр свободно поступала в скважину №36т и далее в призабойную зону пласта). Термальная вода в результате выпусков из скв. №28тэ подавалась по замкнутому трубопроводу с попутным отделением газа от воды (сепарированием) с помощью вертикального нефтегазо-сепаратора типа «УПС» – 3000/16М и далее через фильтр, установленный на линии перед байпасом с водомерным счетчиком СГИ-04 свободно поступает в призабойную зону пласта скв. №36тн. В скважину №36тн закачено (самотеком) 17440м³/сут. термальной фенолосодержащей воды. За период с 17 по 19.08.89 г. в течение II-го режима работы скважины №36т произведена запись 3х кривых термограмм по стволу скважины трестом «Грознефтегеофизика».

Самоциркуляционная геотермальная система скважин №28т – №36т и результаты закачки приведены в граф. П. 10-11, табл. 1.

Первый же опытный куст закачек был возобновлен и состоял из тех же скважин в период с 22.09 по 02.10.89 г., но роль взаимодействующих скважин поменялась.

Таким образом, термальная вода в результате выпусков проводимых из скважины №36т подавалась по замкнутому трубопроводу к скважине №28т за счет создаваемого термолифта на возмущающей скважине №36т и далее в призабойную зону пласта. Первые 3 часа закачки велись принудительно с помощью насосной установки ЦНС-60-330 и до окончания опытных нагнетаний по естественной самоциркуляционной гидродинамической системе на 2-х режимах нагнетания при диаметрах штуцеров – 20мм, 40мм. Продолжительность закачек составила 239 часов.

Второй куст пробных закачек проводился в период с 6 по 13.09.89 г. и состоял из скважин №28тэ и №38тн, герметично соединенных между собой, образуя единую замкнутую гидродинамическую систему. Пробные нагнетания проводились с периодическим подключением насосной установки ЦНС 60-330, а режимы нагнетаний регулировались задвижкой на устье и на нагнетательной линии в скважину №38т.

Термальная вода в результате выпусков из скважин №28тэ подавалась через насосную установку в действующий коллектор с холодной пресной проточной водой, в котором проложена линия НКТ с диаметром 73мм (длина линии НКТ составляла 200 м) с целью охлаждения подаваемой термальной воды и далее в призабойную зону пласта скважины №38т. Второй опытный куст закачек был возобновлен в обратной последовательности и проводился в период с 10.10 по 2.11.89 г. и задействовал скважины № 38т (эксплуатационная) и №28т (нагнетательная), которые объединены в замкнутую гидродинамическую систему. Опытные нагнетания проводились на 3-х режимах без подключения насосной установки за счет превышения динамического уровня и существующего термолифта на скважине №38т (вода через охладительный коллектор с проточной водой и фильтр-отстойник на байпасе свободно поступает в скважину №28т и далее в призабойную зону пласта). Режимы нагнетаний регулировались штуцерами с диаметром 30, 40, 63 мм.

Третий опытный куст закачек проводился в период с 6 по 20.10.1989 г. и были задействованы скважины №32т (эксплуатационная) и №39т (нагнетательная), герметично соединенных между собой, образуя единую замкнутую гидродинамическую систему. Опытные нагнетания проводились на 4-х режимах и каждый режим регулировался штуцерами с диаметром 20, 30, 40 мм. Схема закачек не позволила проводить опытные нагнетания с подключением насосной установки, которая находилась на большом удалении от обеих взаимодействующих скважин. Поэтому опытные работы велись на режимах самоциркуляции за счет создаваемого термолифта при помощи выпусков воды на устье скважины №32тэ.

Результаты опытных работ (выпуски и нагнетания)
по скважинам Махачкала-Тернаирского месторождения

№№ п/п	№ скважины горизонт, интервал перфорации, м	Результаты испытаний (выпусков)								Коэф-т продуктив- ности, м³/сут. атм				
		Дата продолжитель- ность, в сут. (час)	Статическое давление, атм.		Дебит, м³/сут. д шт.	Динамическое давление, атм.		Температура, °С						
			Р уст.	Р пл.		Р уст.	Р заб.	Т уст.	Т заб. Тпл.					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11				
1.	28г чокрак св. «В» пл. «В₂» 1900-1850	18-19.06.75г.	13,1	196,8	2640	11,2	194,2	99	102,5	1015,4				
		1 (24)			30									
		19-20.06.75г.			4000				7,2		192,8	99,5	103	1000
		1 (24)			50									
		20-21.06.75г.			4420				3,2		191,9	100	103	902
		1 (24)			св.излив									
28.06-10.07.75г.	4300	3,3	192,2	99,5	—	935								
		11.616 (278,8)			100									
2.	36г чокрак св.«В» пл.«В₃» перфориров. 1956-1966 (1966-1973) открытый ствол	06-07.08.86г.	9,5	208	1200	11,0	199,83	97	—	146,87				
		0,916 (22)			40									
		07-08.08.86г.			1450				12,0		200,65	96	—	195,95
		1.0416 (25)			30									
		08-09.08.86г.			450				14,08		204,16	85	—	117,18
		1.01875 (24,45)			15									
3.	39г чокрак св.«В» пл«В₃», 2062-2040 2030-2022 2002-1992	21-22.09.89г.	9,5	209	1149	3,9	199,29	75	—	118,33				
		1,125 (27)			30									
		25-26.09.89г.			1439				2,5		197,71	80,5	103	127,46
		0,875 (21)			40									
		26-28.09.89г.			1630				1,5		196,48	84	130,19	
		1.95875 (47)			50									
		28-29.09.89г.			1763				1,4		196,85		138,27	
		1,25 (30)			100									

№№ п/п	№ скважины горизонт, интервал перфорации, м	Водо- проводи- мость, м²/сут.	Коефф-т пьеэпро- водности, м³/сут.атм	Результаты нагнетаний							
				Дата продолжительность, в сут. (час)	Статическое давление перед нагнетанием, атм.		Дебит, м³/сут. д шт.	Давление на устье, атм.	Температура, °С		Коефф-т приемисто- сти, м³/сут. атм.
					Р уст.	Р пл.			Туст.	Тзаб.	
1	2	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1.	28г чокрак св.«В» пл.«В₂» 1900-1850	248	38,92x10 ⁵	22.09-02.10.89г. 9,96 (239,20) 10-17.10.89г. 5,66 (135,90) 17-20.10.89г. 2,78 (65,60) 20-31.10.89г. 10,77 (258,55)	9,4	196,8	338,8 20 460 30 465 40 330 63	10,0 10,8 10,7 12,5	60 52 45 44	104	565 330 360 106
2.	36г чокрак св.«В» пл.«В₃» перфориров. 1956- 1966 (1966-1973) открытый ствол	26,70	23,41x10 ⁵	25-27.07.89г. 2,25 (54) 31.07-10.08.89г. 10,10 (242,50) 10-17.08.89г. 6,89 (165,4) 22-25.08.89г. 3,27 (78,45)	9,5	208	595,8 15 557 15 664,4 30 820,5 св.излив	12,0 12,0 12,4 12,5	82 83 86 89	104	240 220 230 270
3.	39г чокрак св.«В» пл.«В₃» 2062-2040 2030-2022 2002-1992	70,71	12,78x10 ⁵	06-11.10.89г. 4,77 (114,5) 11-13.10.89г. 1,854 (44,50) 13-17.10.89г. 3,804 (91,3) 17-20.10.89г. 2,006 (48,15)	9,5	209	210 30 43,0 40 32,0 20 42,0 30	10,56 10,24 10,24 9,9	60 42 33 27	103	200 60 40 100

Самоциркуляционная геотермальная система скважин и результаты опытных работ по скважинам Махачкала-Тернаирского месторождения представ-лены в таблице. Следует отметить, что на всех ре-жимах выполненных опытных нагнетаний невольно были выбраны наихудшие условия (без снятия те-плового потенциала, т.е. без потребителя с опреде-ленным запасом «прочности»).

По результатам проведенных работ (нагнета-ний) можно сделать выводы:

1. Скважины №28г, 36г, 39г можно использо-вать как нагнетательные, а скважину №38г как до-бычную. При этом получены такие параметры:

- коэффициент приемистости скважины – 200-560 м³/сут.атм.;
- при давлениях нагнетания – 0.6-3.2атм;

– при температуре закачиваемой воды на устье – 44-89°C.

2. Ориентировочно могут принимать термальную воду:

– скважина №28т – до 500 м³/сут. при давлениях нагнетания – 1.3 атм.;

– скважина №36т – до 800 м³/сут. при давлениях нагнетания – 3.0 атм.;

– скважина №39т – до 200 м³/сут. при давлениях нагнетания – 1.0 атм. при нормальной подготовке оборудования устьев скважин и закачиваемой воды.

Скважина №38т не принимает из-за технического несоответствия призабойной части ствола скважины для опытных закачек.

3. При проведении закачек воды с температурой ниже 40-60°C фильтрационные параметры пластов ухудшаются в соответствии с увеличением вязкости воды по сравнению с пластовой.

4. Необходимо для нагнетаний выбирать только материнские пласты.

5. В настоящее время эти воды могут быть использованы в народном хозяйстве только по 2-х контурной системе с применением коррозионно-стойкого оборудования и внедрением ГЦС.

Для обоснования возможности и экономической целесообразности создания геотермальной циркуляционной системы (при наличии потребителей) на флангах Тернаирской площади необходимо, кроме скважин №43т, 45т пробурить (недалеко от них) на

термальную воду еще минимум одну скважину – как наблюдательную, так как указанные скважины находятся от основных очень далеко (около 3-х километров). Далее необходимо выполнить большой объем продолжительных опытных работ (температурные, геофизические, гидродинамические и технико-экономические расчеты) для составления проекта разработки Махачкала-Тернаирского геотермального месторождения с целью теплоснабжения и горячего водоснабжения г. Махачкала. Для решения этих задач необходимо выполнить специальные работы (опытные, продолжительные опытно-промышленные выпуски, нагнетания и систематические наблюдения) на разведочных, эксплуатационных и наблюдательных скважинах чокракского комплекса с изучением процессов коррозии и солеотложений, выполнением как сокращенных, так и полных химических анализов термальной воды.

В результате проведенных работ должны быть получены исходные параметры к пересчету эксплуатационных запасов термальных вод для обеспечения потребности города в количестве 18 тыс.м³/сут. и должен быть решен вопрос о внедрении ГЦС. Путем создания ГЦС можно рассмотреть не только возможность приращения запасов термальных вод всего месторождения, но и поддержание пластового давления (ППД), охраняя окружающую среду от вредного влияния фенолосодержащих токсичных вод.

Список литературы

1. Курбанов М.К. Гидротермальные и гидроминеральные ресурсы Северного Кавказа и Предкавказья. Москва: Наука. 2001. 277 с.
2. Бадавов Г.Б. Достижения и перспективы развития геотермального производства в Республике Дагестан // Малая энергетика. 2013. №1-2. С. 98-101.
3. Бутузов В.А., Алхасов А.Б., Алиев Р.М., Бадавов Г.Б. Геотермия Дагестана: месторождения, технологии, эксплуатация // Окружающая среда и энергоснабжение (ОСЭ). 2021. №2. С. 4-20.
4. Алхасов А.Б. Технология комплексного освоения геотермальных ресурсов Северо-Кавказского региона // Теплоэнергетика. 2018. №3. С. 31-34.
5. К вопросу утилизации отработанных геотермальных вод. Чалаев Д.Р., Очаков В.В. // Геотермальная бюллетень. 1993. Т. 7-8. С. 12-16.
6. Экологические аспекты использования термальных вод. Янин Е.П. // Экологическая экспертиза. 2019. №2. С. 74-89.
7. Геотермальная энергия: потенциал, проблемы и перспективы развития. Ал Д.Б., Аль-Идриси М.С. // Молодой ученый. 2025. №25 (576). С. 27-36.
8. Абдуллаев А.Н., Бадавов Г.Б. Защита скважины от солеотложения при одновременно раздельной эксплуатации многопластовых месторождений геотермальных вод // Термомеханика геотермальных систем: Сб. науч. Трудов, АН СССР. Даг. фил. Ин-т проблем геотермии, Махачкала: Даг. науч. центр АН СССР. 1990. С. 21-24.
9. Ахмедов Г.Я. О проблемах возврата отработанных геотермальных вод в материнский пласт. В сборнике: Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. ГЕОКАВКАЗ-2025. Материалы XV Международной научной конференции. Москва. 2025. С. 76-80.
10. Kumar A. [et al.]. Geothermal energy holds immense promise as a sustainable and renewable resource, providing a reliable and continuous power source while emitting minimal greenhouse gases. 2022.
11. U.S. Department of Energy. Enhanced Geothermal Systems: A Promising Source of Round-the-Clock Energy. 2025.

References

1. Kurbanov M.K. *Hydrothermal and hydromineral resources of the North Caucasus and Ciscaucasia* [Hydrothermal and hydromineral resources of the North Caucasus and Ciscaucasia]. Moscow: Nauka. 2001. 277 p.
2. Badavov G.B. Achievements and prospects for the development of geothermal production in the Republic of Dagestan. *Malaya energetika*. 2013. No. 1-2. Pp. 98-101.
3. Butuzov V.A., Alkhasov A.B., Aliev R.M., Badavov G.B. Geothermy of Dagestan: deposits, technologies, operation. *Okruzhayushchaya sreda i energovedeniye (OSE)*. 2021. No. 2. Pp. 4-20.
4. Alkhasov A.B. Technology of integrated development of geothermal resources of the North Caucasus region. *Teploenergetika*. 2018. No. 3. Pp. 31-34.

5. Chalayev D.R., Ochakov V.V. On the issue of utilization of spent geothermal waters. *Geothermal'naya byulleten'*. 1993. V. 7-8. Pp. 12-16.
6. Yanin E.P. Ecological aspects of the use of thermal waters. *Ekologicheskaya ekspertiza*. 2019. No. 2. Pp. 74-89.
7. Al D.B., Al-Idrisi M.S. Geothermal energy: potential, problems and development prospects. *Molodoy uchenyy*. 2025. No. 25 (576). Pp. 27-36.
8. Abdullaev A.N., Badavov G.B. Well protection from scaling during simultaneous separate exploitation of multi-layer geothermal water fields. *Termomekhanika geothermal'nykh sistem: Sb. nauch. Trudov, AN SSSR. Dag.fil. In-t problem geotermii, Makhachkala: Dag. nauch. tsentr AN SSSR*. 1990. Pp. 21-24.
9. Akhmedov G.Ya. *O problemakh vozvrata otrabotannykh geothermal'nykh vod v materinskiy plast. V sbornike: Sovremennyye problemy geologii, geofiziki i geoekologii Severnogo Kavkaza. GEOKAVKAZ-2025* [On the problems of returning spent geothermal water to the source formation. In the collection: Modern Problems of Geology, Geophysics, and Geoecology of the North Caucasus. GEOCAUKAZ-2025]. Proceedings of the XV International Scientific Conference. Moscow. 2025. Pp. 76-80.
10. Kumar A. [et al.]. Geothermal energy holds immense promise as a sustainable and renewable resource, providing a reliable and continuous power source while emitting minimal greenhouse gases. 2022.
11. U.S. Department of Energy. Enhanced Geothermal Systems: A Promising Source of Round-the-Clock Energy. 2025.

Сведения об авторах
Принадлежность к организации

Джелилов Галим Курбанмагомедович

соискатель ученой степени кандидата наук, старший преподаватель кафедры физики, ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет», 367015, Махачкала, Россия

Алиев Расул Магомедович

доктор технических наук, заведующий кафедрой нефтегазового дела, ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет», 367015, Махачкала, Россия

Ахмедов Ганапи Янгиевич

доктор технических наук, заведующий кафедрой физики, ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет», 367015, Махачкала, Россия

Рашидханов Арип Таймасханович

старший преподаватель кафедры электроэнергетики и возобновляемых источников энергии, ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет», 367015, Махачкала, Россия

Information about authors
Affiliations

Dzhelilov Galim Kurbanmagomedovich

Senior Lecturer at the Department of Physics, Dagestan State Technical University, Candidate of Science, 367015, Makhachkala, Russia

Aliyev Rasul Magomedovich

Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Oil and Gas Engineering, Dagestan State Technical University, 367015, Makhachkala, Russia

Akhmedov Ganapi Yangievich

Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Physics, Dagestan State Technical University, 367015, Makhachkala, Russia

Rashidkhanov Arip Taimaskhanovich

Senior Lecturer, Department of Electric Power Engineering and Renewable Energy Sources, Dagestan State Technical University, 367015, Makhachkala, Russia

Поступила в редакцию 25.04.2026 г.