

ГЕОТЕРМИЯ ДАГЕСТАНА: МЕСТОРОЖДЕНИЯ, ТЕХНОЛОГИИ, ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

¹Бутузов Виталий Анатольевич [0000-0003-2347-9715]

²Алхасов Алибек Басирович [0000-0001-3061-4121]

³Алиев Расул Магомедович [0000-0002-3061-4121]

⁴Бадавов Гасан Басирович [0000-0002-3737-0852]

¹Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар, Россия

²Институт проблем геотермии и возобновляемой энергетики – филиал ФГБУН Объединенного института высоких температур РАН, Махачкала, Россия

³Дагестанский государственный технический университет, Махачкала, Россия

⁴Институт проблем геотермии и возобновляемой энергетики – филиал ФГБУН Объединенного института высоких температур РАН, Махачкала, Россия

¹E-mail: ets@nextmail.ru,

²E-mail: alibek_alhasov@mail.ru,

³E-mail: geopromooo@yandex.ru,

⁴E-mail: lotos155@yandex.ru,

Аннотация. Дагестан в России занимает первое место по разведанным запасам геотермальных вод и второе после Камчатки по их добыче. На 13 разведанных месторождениях пробурено 141 геотермальная скважина, из которых 8 эксплуатируется с 40 скважинами. Отмечено, что в Дагестане пробурены самые глубокие геотермальные скважины – 5500 м с дебитами до 7000 м³/сутки, а максимальная добыча геотермальной воды была достигнута в 1988 г – 9,4 млн. м³ в год. Анализируются достижения дагестанской геотермальной научной школы. Преемником академической геотермии Дагестана в настоящее время является Институт проблем геотермии и возобновляемой энергетики – филиал ОИВТ РАН (ИПГВЭ). Описаны производственные структуры по бурению и эксплуатации геотермальных месторождений. Наибольшие успехи геотермии в СССР связаны с деятельностью НПО «Союзбургеотермия» (г. Махачкала) и его шестью региональными управлениями. Максимальная добыча геотермальной воды в СССР была в 1988 г. – 60 млн. м³. Геотермальные ресурсы Дагестана определяются тремя основными структурно-гидрогеологическими этапами: плиоценовым, миоценовым и мезозойским, изолированными друг от друга пластами глин.

Анализ добычи геотермальной воды с 1966 по 2019 гг. (55 лет) показал, что с 1997 г. он изменялся от 3500 до 4500 тыс. м³ в год. Приведены основные характеристики разведанных и эксплуатируемых месторождений Дагестана: Кизлярского, Тернаирского, Избербашского. Описаны структуры и способы разработки месторождений. Указано, что наиболее полную информацию содержат отчеты института «ВНИПИГеотерм». Анализируется опыт создания Дагестанской ГеоТЭС, геотермальных циркуляционных систем (ГЦС), совместно-раздельной добычи геотермальной воды из разных геологических горизонтов. Приведен пример успешной реализации поверхностной системы геотермального теплоснабжения (СГТ) с гелиоустановкой в Махачкале. Представлены данные об опыте предотвращения солеотложений и коррозии оборудования и трубопроводов, а также нейтрализации фенолов при сбросе отработанной геотермальной воды в поверхностные водоёмы. Описана концепция создания в Дагестане СГТ, их основные характеристики. Представлены типовые схемы эксплуатируемых термораспределительных станций (ТРС) в Махачкале, Кизляре и Избербаше общей тепловой мощностью 35 МВт с годовым отпуском тепловой энергии 148 тыс. МВт·ч/год. Предложена перспективная схема геотермального теплоснабжения для условий Дагестана.

Ключевые слова: геотермальное месторождение, скважина, реинжекция, дебит, минерализация, теплоснабжение, система геотермального теплоснабжения (СГТ), геотермальная тепловая электростанция (ГеоТЭС), гелиоустановка, тепловой насос.

1 Введение

Дагестан в России занимает первое место по разведанным запасам геотермальных вод и второе после Камчатки по их добыче. Разведано 13 месторождений теплоэнергетических вод с температурой 40-105°С с запасами 120,36 тыс. м³/сутки, на которых пробурено 141 скважина глубиной до 5500 м с дебитами до 7000 м³/сутки [1]. Максимальная добыча геотермальной воды была достигнута в 1988 г. – 9,4 млн. м³ в год. Регион с 1949 г. является пионером в практическом освоении геотермальных ресурсов в СНГ. Дагестанская научная геотермальная школа, основанная в 1956 г., отличается многоплановостью исследований: разведка и разработка месторождений, технология бурения и реинжекции, теория создания геотермальных циркуляционных систем, разработка многопластовых месторождений, противонакипная обработка и очистка отработанных геотермальных вод, исследование экономической целесообразности и экологических рисков [2]. Научные исследования по освоению геотермальных энергетических ресурсов сосредоточены в Институте проблем геотермии и возобновляемой энергетики – филиале Объединенного института высоких температур РАН (ИПГВЭ). Бурением скважин, эксплуатацией месторождений и систем геотермального теплоснабжения занимается ООО «Геоэкопром». В 2019 г. на его балансе было 141 геотермальная скважина, в т. ч. 40 эксплуатационных, из которых было добыто

3,827 млн. м³ геотермальной воды на восьми основных месторождениях с суммарной тепловой нагрузкой потребителей 35 МВт и годовым отпуском тепловой энергии 148 тыс. МВт.ч/год.

2 Научно-технические школы

Геотермальная научная школа Дагестана была создана одной из первых в СССР членом-корреспондентом АН СССР Хабибуллой Ибрагимовичем Амирхановым (1907-1986), (рис. 1) в пятидесятые годы. Он отличался разносторонними научными интересами, в том числе в теплофизике, геологии, геотермии, а также выдающимися организаторскими способностями. В 1950 г. он создал в Махачкале Институт физики и Дагестанский филиал АН СССР. По его предложению в 1951 г. в Институте геологии Дагестана была организована лаборатория гидрогеологических и геотермальных исследований во главе с к.т.н. Самадом Агаевичем Джамаловым (1903-1980), (рис. 2), который по совету Х.И. Амирханова в 44 года начал заниматься наукой.

Выпускник Московского высшего технического училища им. Н.Э. Баумана, руководитель строительных организаций, министр, учёный секретарь Дагестанского филиала АН СССР, член Научного совета по геотермическим исследованиям Академии наук СССР С.А. Джамалов до 1980 г. возглавлял развитие геотермии в Дагестане. Он инициировал разведку геотермальных месторождений, бурение скважины для геотермальной электростанции, переоборудование ликвидированных нефтяных скважин, разработку систем геотермального теплоснабжения [3]. Развитие его идей осуществляли соратники и ученики: В.В. Суетнов, Р.А. Левкович, М.К. Курбанов, А.С. Джамалова, И.Ш. Абдуллаева, Ю.И. Султанов, А.Ш. Мейланов, А.Н. Абдуллаев, Г.Б. Бадавов, П.Н. Ригер и другие.



Рис. 1. Амирханов Х.И. (источник: Яндекс.Images)



Рис. 2. Джамалов С.А. (источник: Яндекс.Images)

Второе геотермальное научно-исследовательское учреждение в Дагестане - Лаборатория геотермии была организована в 1963 г. в составе Дагестанского научно-исследовательского отдела энергетики (ДагНИОЭ) Министерства энергетики и электрификации СССР. В 1974 г. она была преобразована в Дагестанский филиал Энергетического института им. Г.М. Кржижановского (ДагЭНИИ), который специализировался на разработке гидро – и геотермальных электростанций, и систем геотермального теплоснабжения. Им был разработан проект Тарумовской ГеоТЭС, мощностью 10 МВт, методика экономической оценки систем геотермального теплоснабжения и структуры себестоимости геотермальной воды. В монографии [4] его сотрудниками был обобщён опыт геотермального теплоснабжения в Дагестане. Плодотворная деятельность ДагЭНИИ описана его сотрудником, а ныне работающим в Институте проблем геотермии, учеником С.А. Джамалова – Гасаном Басировичем Бадавовым, 1944 г.р. [2]. Трудясь в ДагЭНИИ со дня его основания и до его закрытия в 2000 г. он с трёхлетним перерывом на обучение в аспирантуре Академии коммунального хозяйства им. К.Д. Памфилова в Москве, занимался разработкой и созданием комбинированных систем геотермального теплоснабжения [5].

В 1980 г. на базе лаборатории С.А. Джамалова был организован Институт проблем геотермии (ИПГ) Дагестанского филиала АН СССР во главе с Виталием Васильевичем Суетновым (1931-1990). Большой вклад в научное развитие ИПГ внес д.г.-м.н. Магомед Курбанович Курбанов (1933- 2011), (рис. 3).



Рис. 3. Курбанов М.К. (источник: Yandex.Images)

Он являлся ученым-гидрогеологом, соединившим в себе теоретические концепции и результативную практику; он исследовал месторождения пресных, геотермальных и минеральных подземных вод на территории Дагестана и Восточного Предкавказья; обосновал концепцию создания этих месторождений на основе теории подвижек евразийской и аравийской литосферных плит, образования высокотемпературных массивов батолитов на глубинах осадочных пород 8-15 км

и высокопроницаемых пароводяных структур, миграция которых в вышележащие геологические пласты лежит в основе формирования месторождений полезных ископаемых, геотермальных, минеральных и подземных вод. М.К. Курбанов выдвинул идею о сходстве геологических условий Камчатки и Восточного Предкавказья в части формирования геотермальных месторождений. М.К. Курбанов за более чем полувековую деятельность исследовал все месторождения пресных вод Дагестана, в т. ч. самого крупного на юге России Терско-Кумского бассейна подземных вод, 13 геотермальных месторождений, открыл уникальную Дагестанскую провинцию редкоземельной геотермии из 56 потенциальных месторождений, исследовал нефтегазоносные месторождения. Основные результаты его работы изложены в монографии [6].

Большую роль в становлении и развитии ИПГ сыграл д.ф.-м.н., проф. Магомед-Камиль Магомедович Магомедов (1936-2002), руководивший институтом пятнадцать лет (1987-2002). Выпускник Московского физико-технического института, блестящий математик и физик он внес значительный вклад в математическое моделирование геотермальных месторождений и методов создания геотермальных циркуляционных систем [7] (рис. 4).

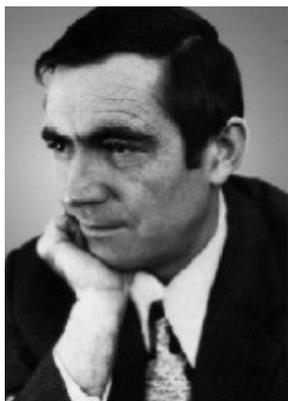


Рис. 4. Магомедов М.-К.М. (источник: Yandex.Images)



Рис. 5. Алхасов А.Б. (источник: Yandex.Images)

Преемником М.-К.М. Магомедова на посту директора ИПГ в 2002 г. стал и остается до настоящего времени сотрудник института со дня его основания д.т.н., проф. Алибек Басирович Алхасов, 1952 г.р. (рис. 5). За 18 лет плодотворной работы А.Б. Алхасов превратил ИПГ в главную геотермальную организацию России. Сегодня в его составе 101 сотрудник, в т. ч. 22 доктора и 30 кандидатов наук. А.Б. Алхасов также руководит научной школой «Актуальные проблемы освоения возобновляемых энергоресурсов им. Э.Э. Шпильрайна» и Научно-образовательным центром «Возобновляемая энергетика» [1].

Практическое использование геотермальной энергии в СССР было начато в центре Махачкалы в 1949 г. после переоборудования старой нефтяной скважины № 27 для теплоснабжения общественной бани. Геотермальная скважина № 160 в Махачкале также была переоборудована в 1951 г. для теплоснабжения городских микрорайонов. В 1953 г. от скважины № 98 и № 175 геотермальным отоплением были обеспечены здания институтов Дагестанского филиала АН СССР. В 1964 г. в Махачкале была организована первая в СССР Северо-Кавказская разведочная экспедиция по бурению и реконструкции нефтегазовых скважин на термальные воды, которая в 1966 г. была преобразована в Кавказское промышленное управление по использованию глубинного тепла Земли Мингазпрома СССР. В лаборатории этого управления к.т.н. Х.Х. Натановым были разработаны и внедрены методы обработки геотермальной воды для предотвращения коррозии и солеотложений [8].

Наибольших успехов практическая геотермия в СССР достигла в восьмидесятые годы XX века. В 1982 г. в г. Махачкале Мингазпромом СССР было организовано НПО «Союзбургеотермия», в состав которого были включены региональные управления по использованию глубинного тепла Земли в г. Махачкале (Кавказское), Петропавловске-Камчатском (Камчатское), Тбилиси (Грузинское), Грозном (Северо-Кавказское), Армавире (Кубанское). В состав НПО также был включен институт ВНИПИгеотерм.

Генеральным директором НПО был назначен Магомед Гусейнович Алиев (1928-1987), крупнейший специалист по бурению и эксплуатации нефтяных скважин [9] (рис. 6). НПО эксплуатировало в СССР 52 геотермальных месторождения с 210 скважинами. В 1984 г. объединение реализовало 56 млн. м³ геотермальной воды и 335 тыс. т. пара. В 1983 г. в СССР за год бурилось около 2200 нефтяных и газовых скважин, из которых только 885 скважин были продуктивными.



Рис. 6. Алиев М.Г. (источник: Yandex.Images)

М.Г. Алиев ставил вопрос о передаче ликвидированных нефтяных и газовых скважин для переоборудования в геотермальные. Такой опыт в Дагестане был с 1949 г. В 1981-1984 г Мингазпром СССР ежегодно бурил и передавал на баланс

НПО «Союзбургеотермия» 15 геотермальных скважин. Министерство геологии СССР бурило в год также 15 геотермальных скважин, но на баланс НПО «Союзбургеотермия» передавало 1-2 скважины. М.Г. Алиев пытался решить и этот вопрос. Крупнейшим достижением советской геотермии была обратная закачка отработанной геотермальной воды в объеме до 700 тыс. м³ в год на Ханкальском месторождении в Чеченской Республике. В 1987 г. практически была готова к защите кандидатская диссертация Магомеда Гусейновича «Технологические приемы и материалы крепления высокотемпературных скважин», результаты которой востребованы и в наши дни, так как вопросы долговечности и надежности крепи скважины приобретают особую важность в связи с повышением требований к их экологической безопасности. Однако преждевременная смерть М.Г. Алиева не позволила её защитить. Большими успехами отличалась работа единственного в СССР специализированного геотермального института «ВНИПИГеотерм». Результатом его работы была разработка Генеральной схемы освоения термальных вод в СССР. Для регионов также были разработаны аналогичные схемы, например, для Дагестана, Краснодарского и Ставропольского краев [10].

В дальнейшем НПО было преобразовано в топливно-энергетическую компанию ОАО «Геотермнефтегаз» во главе с д.т.н. Расулом Магомедовичем Алиевым 1958 г.р. (рис. 7) и главным геологом Ахмедом Гаджиевичем Кадыровым, 1934 г.р. (рис. 8). В 1993 г. Р.М. Алиев защитил докторскую диссертацию «Методы и технологические процессы геотермальной теплоэнергетики» и создал кафедру нефтегазового дела при Дагестанском государственном техническом университете. В 2010 г. в связи с разделением бизнеса компания была разделена собственно на ОАО «Геотермнефтегаз» и ООО «Геоэкопром». Последняя в настоящее время осуществляет все виды геотермальной деятельности от бурения скважин до строительства и эксплуатации термораспределительных и насосных станций. В настоящее время это единственное на Северном Кавказе предприятие геотермальной отрасли, сохранившее свой технический, технологический и кадровый потенциал.

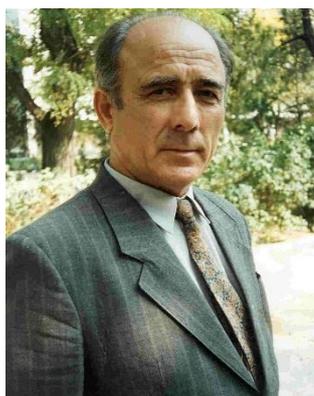


Рис. 7. Алиев Р.М.(источник: Yandex. Images)

Рис. 8. Кадыров А.Г.(источник: Yandex.Images)

В России геотермальные ресурсы сосредоточены в трех основных регионах: Дальневосточном (Камчатка и Курильские острова), Предкавказском и Западно-Сибирском.

Согласно [1, 6] в гидрогеологическом отношении территория Предкавказья представляет собой сложную водонапорную систему, состоящую из Азово-Кубанского и Восточно-Предкавказского бассейнов, разделенных Ставропольским поднятием. Восточно-Предкавказский артезианский бассейн (ВПАБ) в России изучен в наибольшей степени. На нем пробурено более 10 тыс. нефтегазовых, геотермальных и артезианских скважин. Гидрогеологические и геотермальные исследования на этом бассейне выполнялись Всероссийским институтом гидрогеологии и инженерной геологии (ВСЕГИНГЕО), Институтом проблем геотермии ДНЦ РАН, Северо-Кавказским территориальным геологическим управлением (ПГО «Севкавгеология»), ОАО «Геотермнефтегаз» и другими организациями. В вертикальном разрезе ВПАБ выделяются три гидрогеотермальных этажа: плиоценовый, миоценовый и мезозойский, изолированные друг от друга сарматскими и майкопскими глинами. В плиоценовом этаже наиболее водообильными являются ачкагыльские и апшеронские горизонты. Последние заметно превосходят ачкагыльские, их дебиты достигают 4000 м³/сутки, температура 55°С, минерализация 2 г/л. Миоценовый гидрогеотермический этаж состоит из караганских, чокракских и верхних майкопских отложений из песчаников. Особенно хорошие результаты получены на Кизлярском месторождении: дебиты 5760 м³/сутки, температура 105°С, избыточное давление на устье 14-18 бар, минерализация до 12 г/л.

На рисунке 9 представлена обзорная карта геотермальных месторождений Дагестана, составленная по данным института «ВНИПИГеотерм» и ОАО «Геотермнефтегаз», а на рисунке 10 график добычи геотермальной воды за последние 55 лет с 1966 по 2019 г.

В таблице приведены характеристики разведанных и эксплуатируемых геотермальных месторождений Дагестана по состоянию на 01.01.2020 г.

Наиболее крупными являются разведанные месторождения с запасами: Кизлярское (22 тыс.м³/сутки), Тернаирское (21,5 тыс.м³/сутки), Махачкалинское (10,2 тыс.м³/сутки), Избербашское (4,54 тыс.м³/сутки). Кизлярское месторождение состоит из водонасыщенных отложений чокракского, караганского и апшеронского горизонтов. На месторождении пробурено 17 скважин, в т. ч. 7 эксплуатационных. В 2019 г. добыча геотермальной воды составила 7,6 тыс. м³/сутки или 2,4 млн.м³/год. Реализация тепловой энергии – 52,1 тыс. МВт.ч/год.

Махачкала-Тернаирское месторождение расположено под г. Махачкала и состоит из двух выработанных нефтяных месторождений – Махачкалинского и Тернаирского. Эксплуатация месторождения была начата в 1964 г. Всего на Ма-

хачкалинском месторождении пробурено 32 скважины, из них 17 эксплуатационных, из которых добывается 1,13 тыс. м³ геотермальной воды в сутки или 0,6 млн. м³ в год с реализацией тепловой энергии 17,5 тыс. МВт.ч в год.



Рис. 9. Обзорная карта геотермальных месторождения Дагестана (составлена по данным «ВНИПИГеотерм» и ОАО «Геотермнефтегаз»)

На Тернаирском месторождении пробурено 22 скважины, в т. ч. 2 эксплуатационных (№№ 27т, 38т), из которых добывается 4 тыс. м³ в сутки высокотемпературной воды или 749 тыс. м³ в год с реализацией тепловой энергии 29,8 тыс. МВт.ч в год.

Избербашское месторождение состоит из водовмещающих песчаников чокракских отложений на глубине 870-1550 м, средняя глубина скважин 1200 м, температура на устье 55°C, минерализация до 5 г/л. На месторождении 16 скважин, в т. ч. 3 восстановленные нефтяные скважины и 13 новых, пробуренных для геотермии. В 2020 г. эксплуатируются 8 продуктивных скважин. Добыча геотермальной воды составляет 1,6 тыс. м³ в сутки или 580 тыс. м³ в год с реализацией тепловой энергии 8,8 тыс. МВт.ч в год.

3 Результаты геотермальных исследований и разработок

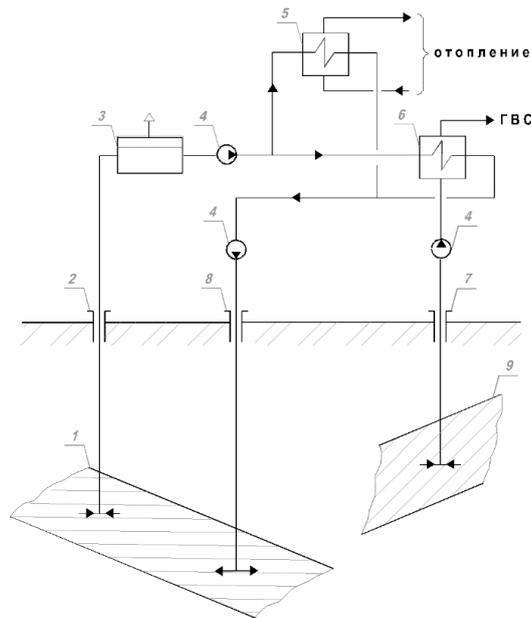
Наиболее полную информацию по геотермальным ресурсам и месторождениям дают отчеты о НИР института «ВНИПИГеотерм» и ОАО «Геотермнефтегаз» (Махачкала) [11]. Опыт Дагестана и других регионов СССР был обобщен при разработке Правил разработки месторождений теплоэнергетических вод. В последней редакции [12] представлен действующий вариант таких Правил.

В работах СССР по геотермальной электроэнергетике лидирующее положение занимал Дагестанский филиал ЭНИН им. Г.М. Кржижановского – ДагЭНИН. В восьмидесятые годы прошлого века под научным руководством ДагЭНИНа был разработан проект бинарной геотермальной электростанции, мощностью 10 МВт (Дагестанская ГеоТЭС) [6, 13, 14]. Для этой цели на Тарумовском месторождении были пробурены 4 самые глубокие в СССР геотермальные скважины, глубиной по 5,5 км, две из которых обеспечивали дебиты пароводяной смеси по 7000 м³/сутки с температурой 170°С при минерализации 210 г/л с содержанием лития, рубидия, цезия, йода, брома, стронция, причём извлечение этих компонентов значительно снижала окупаемость ГеоТЭС. Содержание в геотермальной воде метана (4,5 м³ в одном кубометре теплоносителя) также улучшало энергетические показатели ГеоТЭС.

Одной из актуальных проблем российской геотермии является ограниченное применение геотермальных циркуляционных систем (ГЦС) в пористых коллекторах в песчаниках и алевролитах, которые характерны для большинства российских геотермальных месторождений [6]. Основными технологическими показателями ГЦС являются температура геотермального теплоносителя, его расход, расстояние между продуктивной и реинжекционными скважинами, а также давление нагнетания отработанного теплоносителя. Успешный многолетний опыт реинжекции накоплен на Кизлярском месторождении на чокракских отложениях. Термоводоносные горизонты здесь состоят из кварцевых песчаников. В 2002 г. при добыче на месторождении 1722,4 тыс. м³ геотермальной воды её закачка составила 795,8 тыс. м³ (48%) [1]. На схеме (рисунок 11) представлена принципиальная схема ТРС, работавшая с реинжекцией более 10 лет. Геотермальный теплоноситель чокракского горизонта «1» из скважины «2» поступает в бак-газоотделитель «3» и далее насосом «4» подается в теплообменник «5» отопления и теплообменник «6» горячего водоснабжения (ГВС), в котором он подогревает слабоминерализованную термальную воду из апшеронского горизонта. Охлажденный теплоноситель чокракского горизонта насосом «4» закачивался в реинжекционную скважину «8» и возвращался в чокракский пласт.



Рис. 10. Добыча геотермальной воды в Дагестане с 1966 по 2019 годы



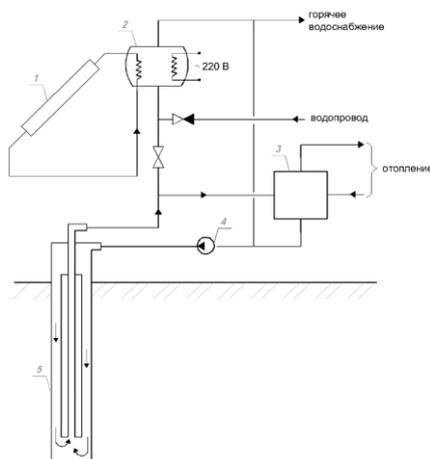
1 – чокракский геотермальный пласт; 2 – геотермальная скважина чокракского пласта; 3 – бак-газоотделитель; 4 – насос; 5 – теплообменник ГВС; 7 – геотермальная скважина апшеронского пласта; 8 – реинжекционная скважина; 9 – апшеронский пласт

Рис. 11. Принципиальная тепловая схема ТРС в г. Кизляре с реинжекцией отработанного теплоносителя

Данная реинжекционная система в 1987-1989 гг. была опробована на Кизлярском и Тернаирском месторождениях на самоциркуляционном режиме, работающем за счет разности плотностей геотермальной воды [15]. На Кизлярском месторождении в 80-х годах была обустроена скважина для совместно-раздельной добычи геотермальной воды (рисунок 4). Теплоноситель чокракского горизонта «4» с температурой 115°C с минерализацией 23 г/л с глубины 1000 м из скважины «1» поднимался к устью и в межтрубном пространстве нагревал слабоминерализованную термальную воду (2,1 г/л) апшеронского горизонта с 48°C до 85°C при дебите 24 кг/с [1].

В Дагестане впервые в СССР была разработана технология переоборудования нефтяных скважин в геотермальные [5]. В те годы до трети эксплуатируемых в Дагестане геотермальных скважин были переоборудованы из ликвидированных нефтяных скважин.

В Дагестане разработаны и применяются не только глубинные системы геотермального теплоснабжения (СГТ), но и поверхностные, глубиной менее 400 м. На рисунке 12 представлена схема поверхностной СГТ с солнечной водонагревательной установкой (гелиоустановкой) в г. Махачкале, мощностью 15 кВт. Гелиоустановка обеспечивает восстановление теплового режима горных пород в межотопительный период [16]. Теплоноситель насосом «4» подается в скважину–теплообменник «5», глубиной 100 м и после нагрева теплом горных пород поступает в бак-аккумулятор «2» или в тепловой насос «3» мощностью 9,4 кВт.



1 – солнечный коллектор; 2 – бак-аккумулятор; 3 – тепловой насос; 4 – циркуляционный насос; 5 – скважина-теплообменник

Рис. 12. Схема поверхностной СГТ с солнечной водонагревательной установкой

В баке он при необходимости догревается до требуемой температуры теплоносителем солнечных коллекторов «1» или электронагревателем и подается на горячее водоснабжение. Теплоноситель из скважины–теплообменника «5» может также подаваться в тепловой насос «3» и после него в систему отопления. На примере опытной эксплуатации геотермальной системы было показано, что в зимнее время теплоснабжение объекта, возможно, осуществлять от скважины-теплообменника, а в летнее время – пополнять тепловую энергию горных пород теплоносителем гелиоустановки.

Специфика химического и газового составов геотермальных вод обуславливает необходимость разработки способов предотвращения коррозии и солеотложений оборудования и трубопроводов, а также очистку их при реинжекции по требованиям пластовых условий и нейтрализацию фенолов при сбросе в поверхностные водоемы. В отличие от методов, применяемых в традиционной энергетике, изменяющееся динамическое, химическое, тепловое и газовое равновесие, потребовало разработки новых химических и физических способов обработки воды.

Из химических способов для поддержания значения геотермальной воды в диапазоне pH 6,5÷7,5 наилучшие результаты дало дозирование серной кислоты и полифосфатная обработка, комбинированная обработка гексаметафосфатом натрия (ГМ ФН) и силикатом натрия, добавление оксиэтилендифосфановой кислоты [16]. Наряду с вакуумной дегазацией широкое применение в ООО «Гео-экпром» получила упрощенная схема с резким сбросом давления термальной воды и осаждением солей в атмосферных баках. Положительные результаты, полученные на Кизлярском и Тернаирском месторождениях, показали возможность использования магнитных и ультразвуковых аппаратов для защиты оборудования от солеотложений [16-18]. В этих работах были отмечены следующие проблемы: малая степень использования теплового потенциала скважин, отсутствие водоподготовки, низкая рентабельность, несовершенство схем систем геотермального теплоснабжения. Разработаны методика оценки экономической целесообразности геотермального теплоснабжения и структуры себестоимости термальной воды.

В Дагестане разработана технология очистки геотермальных вод от мышьяка и органических соединений, с доведением ее качества до норм питьевой воды [20].

В настоящее время ведутся исследования по реализации следующих геотермальных проектов: развитие систем геотермального теплоснабжения в городах Махачкала и Кизляр, сооружение в Южно-Сухокумске опытной Дагестанской ГеоТЭС, создание энергобиологического комплекса на базе разведанных геотермальных месторождений Дагестана, создание Тернаирской геотермально-парогазовой установки бинарного типа, строительства предприятия по извлечению ценных компонентов из геотермальных рассолов.

4 Геотермальное теплоснабжение Дагестана

Геотермальное теплоснабжение в СССР впервые было начато по предложению С.А. Джамалова в центре Махачкалы [3]. Ликвидированная нефтяная скважина № 27 была переоборудована в геотермальную и обеспечила теплоснабжение общественной бани. В 1951 г. также в Махачкале была пробурена первая в СССР специальная геотермальная скважина № 160 с дебитом 2000 м³/сутки с температурой на устье 63°C при избыточном давлении 15 атм. Данная скважина до настоящего времени обеспечивает отопление и горячее водоснабжение прилегающих жилых и административных зданий. В 1953 г. от скважин № 98 и № 175 геотермальным отоплением были обеспечены здания Института физики и Института геологии Дагестанского филиала АН СССР [22].

Опыт геотермального теплоснабжения Дагестана был обобщен в монографии Б.А. Локшина «Использование геотермальных вод для теплоснабжения» [22], не потерявшей актуальности до настоящего времени, а также в Нормах проектирования ВСН 56-87 «Геотермальное теплоснабжение жилых и общественных зданий» [23], разработанных институтом ЦНИИЭП инженерного оборудования (г. Москва).

Были отмечены следующие проблемы: малая степень использования теплового потенциала скважин, отсутствие водоподготовки, низкая рентабельность, несовершенство схем геотермального теплоснабжения. Была разработана методика оценки экономической целесообразности геотермального теплоснабжения и структуры себестоимости термальной воды.

В последующие годы работы по этому направлению были продолжены сотрудниками Дагестанского филиала ЭНИН им. Г.М. Кржижановского (Бадавов Гасан Басирович, Ригер Павел Николаевич).

Сотрудником ДагЭНИН Бадавовым Г.Б. в бытность аспирантом Академии коммунального хозяйства им. К.Д. Памфилова под руководством к.т.н. Шмидта Владимира Антоновича была разработана и успешно апробирована в Махачкале (1973-1980 гг.) прогрессивная система геотермального отопления жилых зданий с пиковым электрообогревом, которая впоследствии стала основной схемой теплоснабжения потребителей от термораспределительных станций в гг. Махачкала и Кизляр [4, 24], (рис.13).

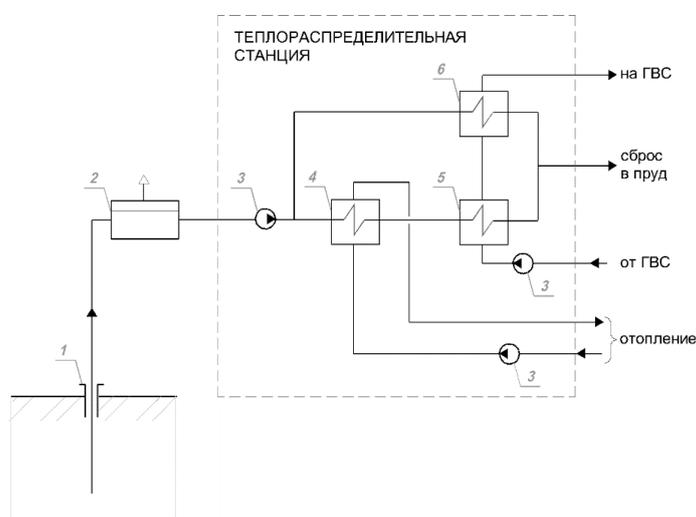


Рис. 13. Бадавов Г.Б. (источник: Yandex.Images)

В настоящее время новые СГТ в Дагестане разрабатываются в Институте проблем геотермии и возобновляемой энергетики и в ООО «Геоэкопром» [25].

В 2020 г. в Дагестане ООО «Геоэкопром» эксплуатируются три основные геотермальные месторождения - Махачкала-Тернаирское, Кизлярское и Избербашское. В городах Махачкала, Кизляр и Избербаш имеются промысловые участки этого предприятия. Геотермальное теплоснабжение потребителей обеспечивается от 8 термораспределительных станций (ТРС), общей установленной мощностью 35 МВт и 60 км тепловых сетей. Годовая реализация тепловой энергии составляет 148 тыс. МВт.ч (100%), в т. ч. населению 72%, бюджетным организациям – 21,5 %, предприятиям – 6%, транспортным организациям - 0,5%. В настоящее время доля ООО «Геоэкопром» на рынке тепловой энергии Дагестана составляет 5,3%.

В Махачкале с 1997 г. эксплуатируются три ТРС от двух геотермальных скважин общей мощностью 13 МВт, которые отапливают 177 тыс. м² зданий и обеспечивает ГВС 10 тыс. человек. На рисунке 14 представлена принципиальная тепловая схема одной из этих ТРС. Из скважины «1» геотермальная вода подается в бак-дегазатор «2» и далее насосом «3» в теплообменники отопления и горячего водоснабжения (ГВС) «4, 5, 6». При этом производится двухступенчатый подогрев ГВС. Общий годовой отпуск теплоэнергии по месторождению составляет 29,8 тыс. МВтч. На 2021 г. тариф на геотермальное тепло в г. Махачкале установлен в размере 554 руб./МВт.ч.



1 – геотермальная скважина; 2 – бак-дегазатор; 3 – насос; 4 – теплообменник отопления; 5 – теплообменник ГВС I ступени; 6 – теплообменник ГВС II ступени

Рис. 14. Геотермальная система теплоснабжения г. Махачкала

В Кизляре с 1970 г. эксплуатируется 7 скважин и три ТРС общей установленной мощностью 20,7 МВт, в том числе пять скважин, разбуренных на чокракский горизонт глубиной 2900 м с температурой на устье 100°C, с дебитом каждой 75-145 м³/ч, при давлении 7-10 бар и две скважины на апшеронский горизонт глубиной 1000 м с температурой на устье 46°C, дебитом каждой 25-100 м³/ч, при давлении 3,5 бар. На рисунке 7 представлена принципиальная тепловая схема одной из двух таких ТРС, особенностью которой является работа скважин чокракского горизонта на подогрев открытой системы отопления и ГВС, подпитка которой производится апшеронской водой после ее подогрева чокракской. Из чокракского геотермального пласта «1» теплоноситель через скважину «2» поступает в бак-дегазатор «3», оттуда насосом «5» подается в теплообменник «4» отопления и ГВС. Теплоноситель из апшеронского пласта «9» через скважину «8» насосом «5» подогревается в теплообменнике теплоносителем чокракского горизонта и направляется на подпитку системы теплоснабжения. Третья ТРС использует геотермальный теплоноситель чокракского горизонта.

Общая протяженность геотермальных тепловых сетей Кизляра - 9 км, годовой отпуск теплоэнергии 52,1 тыс. МВт.ч. Геотермальным отоплением обеспечивается 106 тыс. м² зданий (11,3% жилого фонда города) при тарифе 206 руб./МВт.ч. На 2021 г. тариф на геотермальное тепло в г. Кизляре установлен в размере 195 руб./МВт.ч.

Геотермальное горячее водоснабжение Избербаша обеспечивается с 1967 г. от 10 скважин при температурах на устьях 43-62°C и соответствии ГОСТу на питьевую воду. В городе работают две ТРС общей мощностью 3,9 МВт, принципиальная схема одной из них представлена на рисунке 8.

Геотермальный теплоноситель из скважины «1» подается в бак-дегазатор «2», из которого насосом «3» направляется на горячее водоснабжение потребителей. Общая протяженность геотермальных тепловых сетей – 21,7 км, годовой отпуск теплоэнергии 8,8 тыс. МВт.ч, ТРС обеспечивают ГВС 6 тыс. человек. На 2021 г. тариф на геотермальное тепло в г. Избербаше установлен в размере 680 руб./МВт.ч.

Основной проблемой геотермального теплоснабжения при существующей системе тарифообразования является его низкая конкурентоспособность по сравнению с теплогенерацией на природном газе. На наш взгляд целесообразно разработать типовую комбинированную систему теплоснабжения, в которой базовая нагрузка обеспечивается геотермальным теплоносителем, а пиковая - традиционными газовыми котлами или электроэнергией [24]. Особенностью этой СГТ является очистка охлажденного теплоносителя для обеспечения холодного водоснабжения [25].

Выводы

1. Дагестан из всех регионов России в геотермальном отношении является наиболее изученным. На 13 разведанных месторождениях пробурено 141 скважина. В 2019 г. на четырех основных геотермальных месторождениях Дагестана было добыто 3,8 млн. м³/год с перспективой увеличения до 10 млн. м³ в год.

2. В регионе успешно были освоены технологии создания геотермальных циркуляционных систем и комбинированного использования теплоносителей из разных геологических горизонтов. В Дагестане с 1980 г. работает единственное в России специализированное научное учреждение – Институт проблем геотермии и возобновляемой энергетики – филиал ОИВТ РАН, а добычей геотермальных вод и их реализацией занимается ООО «Геоэкопром».

3. Важнейшей научно-технической проблемой геотермальной энергетики России является создание экономически обоснованных геотермальных циркуляционных систем (ГЦС). На основании теоретических работ ИПГВЭ и опыта работы ООО «Геоэкопром» необходимо развивать геотермальное теплоснабжение и ГЦС в г. Кизляре и в Махачкале.

4. На основании анализа и обобщения 30-летнего опыта эксплуатации СГТ в Дагестане, в т. ч. тепловых, гидравлических режимов, коррозии и солеотложений трубопроводов и оборудования необходимо разработать Республиканские нормы проектирования и эксплуатации систем геотермального теплоснабжения.

5. Для Дагестана целесообразно разработать комплексную схему использования геотермальной энергии для теплоснабжения и холодного водоснабжения населенных пунктов, а также технологических установок по извлечению редкоземельных металлов.

6. В настоящее время наиболее острыми проблемами, тормозящими развитие систем геотермального теплоснабжения, наряду с гидродинамическими и теплофизическими исследованиями в скважинах, являются разработка бесконтактных измерительных приборов и оборудования для учёта геотермального теплоносителя, совершенствование методов регулирования теплоподачи, методов поддержания равновесного давления и температуры на устьях скважин и наземных сооружений, способов обратной закачки отработанного теплоносителя.

Литература

1. Алхасов А.Б. Геотермальная энергетика: проблемы, ресурсы, технологии. – М.: Физматлит. 2008. 376 с.
2. Бутузов В.А. Геотермальное теплоснабжение: столетний опыт работы российских научных школ // Энергия: экономика, техника, экология. 2019. № 5. С.16-32.
3. Джамалов С.А., Левкович Р.А., Суетнов В.В. Тепло Земли и его практическое использование. Изд-во «Наука». – М., 1965. 110 с.
4. Гаджиев А.Г. Султанов Ю.И., Ригер П.Н. и др. Геотермальное теплоснабжение. – М.: Энергоатомиздат. 1984. 120 с.

5. Бадавов Г.Б. Достижения и перспективы развития геотермального производства в Республике Дагестан // *Малая энергетика*. 2013. № 1-2. С. 98-101.
6. Курбанов М.К. Гидротермальные и гидроминеральные ресурсы Восточного Кавказа и Предкавказья. – М.: Наука 2001. 260 с.
7. Магомедов К.М. Теоретические основы геотермии. – М.: Наука, 2001. 277 с.
8. Натанов Х.Х. Подготовка геотермальных вод к использованию. М.: Стройиздат. 1980. 80 с.
9. Коликов Ю.М. Из плеяды творцов и создателей. Махачкала ГУП «Типография ДНД РАН». 2008. 128с.
10. Алиев М.Г., Омаров М.А. Основные научно-технические и практические задачи развития геотермального теплоснабжения в СССР // *Сб. науч. тр. ВНИПИгеотерм и ВНИИЭгазпром*. – М., 1985. С. 3-11
11. Генеральная схема освоения ресурсов термальных вод в СССР до 2000 года / Под ред. Алиева М.Г. Отчет о НИР ВНИПИгеотерм. № ГР 01840074899, Инв. № 02850047479. Махачкала, 1984.
12. Правила разработки месторождений теплоэнергетических вод (ПБ-07-599-03). Госгортехнадзор России [электронный ресурс] www.goshelp.ru. Дата обращения 20.03.2019.
13. Васильев В.А. Поваров О.А. Разаренов В.П. Состояние и перспективы развития геотермальной энергетики в России // *Проблемы развития геотермальной энергетики в странах СНГ и деятельность Международного Геофонда* // *Материалы семинара 25-26 ноября 2003 г. М.: ЭНИН им. Г.М. Кржижановского*. 2003. С. 95-104.
14. Алхасов А.Б., Алхасова Д.А., Рамазанов А.Ш., Каспарова М.А. Перспективы освоения высокотемпературных ресурсов Тарумовского геотермального месторождения // *Теплоэнергетика*. 2016. С. 25-30.
15. Алишаев М.Г., Гайдаров Г.М., Каспаров С.А., Курбанов М.К., Рамазанов Ю.М. Самоциркулирующая геотехнологическая система // *Материалы Всесоюзной конференции «Народнохозяйственные и методологические проблемы геотермии»*. Махачкала. 1984. С. 21-25. № 6. С. 25-30.
16. Алхасов А.Б., Алишаев М.Г., Алхасова Д.А., Каймаразов А.Г., Рамазанов М.М. Освоение низкопотенциального геотермального тепла / Под ред. академика В.Е. Фортова. – М.: Физматлит. 2017. 277 с.
17. Угрехилидзе Г.П., Николаев В.А. Периодическая обработка поверхностей теплообмена ОЭДФК для предотвращения карбонатных отложений // *Теплоэнергетика*. 1993. № 4. С. 59-62.
18. Абдуллаев А.Н., Бадавов Г.Б. Защита скважины от солеотложения при одновременно-раздельной эксплуатации многопластовых месторождений геотермальных вод // *Термомеханика геотермальных систем: Сб. науч. тр./АН СССР, Даг. фил., Ин-т пробл. геотермии; [Отв. ред. Магомедов К.М.]*. Махачкала: Даг.науч.центр АН СССР, 1990. С. 51-56.
19. Слесаренко В.В., Васильев В.В. Особенности применения гидромагнитных аппаратов в системах водоподготовки // *Энергосбережение и водоподготовка*. 2005. № 5. С. 21-24.
20. Алхасов А.Б. Технология комплексного освоения геотермальных ресурсов Северо-Кавказского региона // *Теплоэнергетика*. 2018. № 3. С. 31-35.
21. Джамалов С.А. Использование термальных вод Дагестана в народном хозяйстве // *Проблемы геотермии и практического использования тепла Земли* // *Труды I Всесоюзного совещания по геотермическим исследованиям (1-6 марта 1956)*. Том II. Изд-во Академии наук СССР. М., 1961. С. 290-295.

22. Локшин Б.А. Использование геотермальных вод для теплоснабжения. – М.: Стройиздат. 1974.
23. Нормы проектирования ВСН 56-87. Геотермальное теплоснабжение жилых и общественных зданий. М.: Стройиздат. 1989. 50 с.
24. Султанов Ю.И., Ригер П.Н., Бадавов Г.Б., Мейланов А.Ш. Опыт эксплуатации и пути повышения эффективности геотермальных систем теплоснабжения (на примере Даг. АССР). – В кн.: Альтернативные источники энергии. Материалы советско-итальянского симпозиума 1982 г. Часть III. Использование геотермальной энергии. М.: ЭНИН, 1983. С. 157-165.
25. Алхасов А.Б., Алиев Р.М., Бадавов Г.Б. Перспективы освоения геотермальных ресурсов Дагестана // Материалы XI Школы молодых ученых «Актуальные проблемы освоения возобновляемых энергоресурсов» имени Э.Э. Шпильрайна. Махачкала, 2018. С. 77-87.

References

1. Alkhasov A.B. *Geothermal'naya energetika: problemy, resursy, tekhnologii* [Geothermal energy: problems, resources, technologies]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2008. 376 p.
2. Butuzov V.A. Geothermal heat supply: a century of experience of Russian scientific schools. *Energiya: ekonomika, tekhnika, ekologiya* [Energy: economics, technology, ecology]. 2019. No. 5. P.16–32.
3. Dzhamalov S.A., Levkovich R.A., Suetnov V.V. *Teplo Zemli i yego prakticheskoye ispol'zovaniye* [Heat of the Earth and its practical use]. Moscow, Nauka Publ, 1965. 110 p.
4. Gadzhiev A.G. Sultanov Yu.I., Riger P.N. etc. *Geotermal'noye teplosnabzheniye* [Geothermal heat supply]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1984. 120 p.
5. Badavov G.B. [Achievements and prospects for the development of geothermal production in the Republic of Dagestan]. *Malaya energetika* [Low power engineering] 2013. No. 1–2. P. 98–101.
6. Kurbanov M.K. *Gidrotermal'nyye i gidromineral'nyye resursy Vostochnogo Kavkaza i Predkavkaz'ya* [Hydrothermal and hydromineral resources of the Eastern Caucasus and Ciscaucasia]. Moscow, Nauka Publ., 2001. 260 p.
7. Magomedov K.M. *Teoreticheskiye osnovy geotermii* [Theoretical foundations of geothermy]. Moscow, Nauka Publ., 2001. 277 p.
8. Natanov Kh.Kh. *Podgotovka geotermal'nykh vod k ispol'zovaniyu* [Preparation of geothermal water for utilization]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1980. 80 p.
9. Kolikov Yu.M. *Iz pleyady tvortsov i sozidateley* [From the pleiad of makers and creators]. Makhachkala, DNC RAS Publ. 2008. 128 p.
10. Aliev M.G., Omarov M.A. [The main scientific, technical and practical tasks of the development of geothermal heat supply in the USSR]. *Proceedings of VNIPIgeotherm and VNIIEgazprom*. Moscow, 1985. P. 3–11.
11. *General'naya skhema osvoeniya resursov termal'nykh vod v SSSR do 2000 goda* [General scheme for the development of thermal waters resources in the USSR until 2000, Ed. Aliev M.G.]. *Otchet o NIR VNIPIgeoterm* [Research report VNIPIgeotherm]. No. GR 01840074899, Inv. No. 02850047479. Makhachkala, 1984.
12. Rules for the development of thermal power water deposits (PB-07-599-03). Gosgortekhnadzor of Russia [electronic resource] www.goshelp.ru. Date of treatment 03/20/2019.

13. Vasil'ev V.A. Povarov O.A. Razarenov V.P. [State and prospects for the development of geothermal energy in Russia]. *Problemy razvitiya geotermal'noy energetiki v stranakh SNG i deyatel'nost' Mezhdunarodnogo Geofonda: materialy seminara* [Problems of the development of geothermal energy in the CIS countries and the activities of the International Geofund. Proceedings of G.M. Krzhizhanovsky ENIN Workshop], November 25-26, 2003. Moscow, 2003. P. 95–104.
14. Alkhasov A.B., Alkhasova D.A., Ramazanov A.Sh., Kasparova M.A. [Prospects for the development of high-temperature resources of the Tarumovskoye geothermal field]. *Thermal Engineering*. 2016. P. 25–30.
15. Alishaev M.G., Gaidarov G.M., Kasparov S.A., Kurbanov M.K., Ramazanov Yu.M. [Self-circulating geotechnological system]. *Narodnokhozyaystvennyye i metodologicheskiye problemy geotermii: materialy Vsesoyuznoy konferentsii* [National economic and methodological problems of geothermy: Proc. of the All-Union conference]. Makhachkala. 1984. P. 21-25. No. 6. P. 25–30.
16. Alkhasov A.B., Alishaev M.G., Alkhasova D.A., Kaimarazov A.G., Ramazanov M.M. *Osvoyeniye nizkopotentsial'nogo geotermal'nogo tepla* [Development of low-potential geothermal heat, Ed. Acad. V.E. Fortov.] Moscow, Fizmatlit Publ., 2017. 277 p.
17. Ugrehilidze G.P., Nikolaev V.A. [Periodic treatment of heat transfer surfaces with OEDFK to prevent carbonate deposits]. *Thermal Engineering*. 1993. No. 4. P. 59–62.
18. Abdullaev A.N., Badavov G.B. [Well protection from salt deposition during simultaneous–separate operation of multilayer deposits of geothermal waters, Ed. Magomedov K.M.] *Thermomechanics of geothermal systems: Proc. Institute for Geothermal Research Dag. Branch AS USSR*. Makhachkala, 1990. P. 51–56.
19. Slesarenko V.V., Vasil'ev V.V. [Features of the use of hydromagnetic devices in water treatment systems]. *Energy saving and water treatment*. 2005. No. 5. P. 21–24.
20. Alkhasov A.B. [Technology of integrated development of geothermal resources in the North Caucasus region]. *Thermal Engineering*. 2018. No. 3. P. 31–35.
21. Dzhamalov S.A. [Application of thermal waters of Dagestan in the national economy]. *Problemy geotermii i prakticheskogo ispol'zovaniya tepla Zemli: trudy I Vsesoyuznogo soveshchaniya po geotermicheskim issledovaniyam (1-6 marta, 1956)* [Problems of geothermics and practical use of the Earth's heat: proceedings of the I All-Union Conference on geothermal research (March 1-6, 1956)]. Vol. II. AS USSR Publ. Moscow, 1961. P. 290–295.
22. Lokshin B.A. *Ispol'zovaniye geotermal'nykh vod dlya teplosnabzheniya* [Use of geothermal water for heat supply]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1974.
23. *Normy proyektirovaniya VSN 56-87. Geotermal'noye teplokhodosnabzheniye zhilykh i obshchestvennykh zdaniy* [Standards for the design of VSN 56-87. Geothermal heating and cooling supply of residential and public buildings]. Moscow, Stroyizdat. 1989. 50 p.
24. Sultanov Yu.I., Riger P.N., Badavov G.B., Meilanov A.Sh. [Operational experience and ways of increasing the efficiency of geothermal heat supply systems (on the example of the Dagestan ASSR)]. *Al'ternativnyye istochniki energii: materialy sovetsko-ital'yanskogo simpoziuma 1982 g. Chast' III. Ispol'zovaniye geotermal'noy energii*. [Alternative energy sources: Proc. Soviet–Italian Symposium, 1982. Part III. Geothermal energy utilization]. Moscow, ENIN, 1983. P. 157–165.
25. Alkhasov A.B., Aliev R.M., Badavov G.B. [Prospects for the development of geothermal resources in Dagestan]. *Aktual'nyye problemy osvoyeniya vozobnovlyayemykh energoresursov: materialy XI Shkoly molodykh uchenykh imeni E.E. Shpil'rayna*. [Actual problems of the development of renewable energy resources: Proceedings of the XI E.E. Spilrain School of Young Scientists]. Makhachkala, 2018. Pp. 77–87.

GEOTHERMY OF DAGESTAN: DEPOSITS, TECHNOLOGIES, OPERATION OF HEAT SUPPLY

¹Butuzov Vitaly

²Alkhasov Alibek

³Aliyev Rasul

⁴Badavov Hasan

¹Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilina, Krasnodar, Russia

²Institute for Geothermal Research and Renewable Energy, Makhachkala, Russia

³Institute for High Temperatures RAS, Makhachkala, Russia

⁴Dagestan State Technical University, Makhachkala, Russia

¹E-mail: ets@nextmail.ru,

²E-mail: alibek_alhasov@mail.ru,

³E-mail: geopromooo@yandex.ru,

⁴E-mail: lotos155@yandex.ru,

Abstract. Dagestan is first in Russia in explored reserves of geothermal water and second after Kamchatka in their production. There are 141 geothermal wells drilled at 13 explored fields, of which 4 are operated with 48 wells. The deepest geothermal wells were drilled in Dagestan - 5500 m deep with flow rates up to 7000 m³ / day. The maximum production of geothermal water was reached in 1988 – 9.4 million m³ per year. The achievements of the Dagestan geothermal scientific school are analyzed in the paper. The successor to the academic geothermy of Dagestan is currently the Institute for Geothermal Research and Renewable Energy of the JIHT RAS (IPGVE).

The production structures for the drilling and exploitation of geothermal deposits have been described. The greatest successes of geothermy in the USSR are associated with the activities of the Soyuzburgeothermiya NPO (Makhachkala) and its six regional departments. The maximum production of geothermal water in the USSR was in 1988 - 60 million m³. Geothermal resources of Dagestan confined to three main structural-hydrogeological levels (SGHE): Pliocene, Miocene and Mesozoic, isolated from each other by clay strata. Analysis of geothermal water production from 1966 till 2019 (55 years) has shown that since 1997 it varied from 3500 to 4500 thousand m³ per year. The main characteristics of the explored and exploited deposits of Dagestan are given: Kizlyar, Thernair, and Izberbash fields. The structures and methods of field development are described.

The most complete information is shown to be contained in the reports of the VNIPIgeotherm Institute. The experience of creating the Dagestan Geothermal Power Plant, geothermal circulation systems (GCS), and co-production and separate extraction of geothermal water from different geological horizons has been analyzed. An example of the successful implementation of a surface geothermal heating system (SGHS) with a solar power plant in Makhachkala is given. Data on the experience of scaling and corrosion of equipment and pipelines prevention, as well as the neutralization of phenols during the discharge of waste geothermal water into surface water bodies are presented. The concept of creation of SGHS in Dagestan and their main characteristics have been described. Typical schemes of operating thermal distribution stations in Makhachkala, Kizlyar and Izberbash with a total thermal capacity of 35 MW with an annual heat output of 148 thousand MWh/year are presented. A promising scheme of geothermal heat supply for the conditions of Dagestan is proposed.

Keywords: geothermal field, well, reinjection, flow rate, mineralization, heat supply, geothermal heat supply system, geothermal power plant, solar plant, heat pump.