



ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

УДК 550.361, 621.482

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ОСВОЕНИЯ НИЗКОПOTЕНЦИАЛЬНЫХ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ВОСТОЧНОГО ПРЕДКАВКАЗЬЯ

© 2012 А.Б.Алхасов, А.Г.Каймаразов

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем геотермии Дагестанского научного центра РАН

Дана оценка современного состояния и перспектив освоения низкопотенциальных подземных вод (НПВ) Восточно-Предкавказского артезианского бассейна. Обсуждаются результаты исследования минерального состава, свойств, идентификации токсичных и загрязняющих компонентов НПВ, перспективных для использования в системах геотермального тепло- и энергоснабжения и в качестве источника питьевой воды.

Представлены перспективные технологии использования низкопотенциальной энергии геотермальных ресурсов, а также и результаты апробации различных схем умягчения и эффективной очистки от соединений мышьяка, тяжелых металлов, гумусовых кислот и других фенолсодержащих соединений скважинных вод Кизлярского района, РД.

The assessment of the modern state and prospects of low enthalpy underground waters (LUW) development for East Ciscaucasia Artesian Basin are given. The results of investigation have been considered for mineral composition, properties as well identification of toxic and polluting components LUW, promising for using in the systems of geothermal heat and hot water supply and as a source of drinking water.

The advanced technologies for low potential energy of geothermal resources utilization are represented as well the results of different schemes approbation for softening and efficient clearing from arsenic compounds, heavy metals, humic acids and other phenol containing compositions of borehole waters in the Kizlyar region RD.

Ключевые слова: экология, низкопотенциальные геотермальные ресурсы, тепловой насос, комбинированные технологии, токсичные компоненты.

Keywords: ecology, low potential geothermal resources, heat pump, combined technologies, toxic components.

Первая скважина на подземные воды была пробурена в 1898 году в Северном Дагестане на Львовских номерах, которая дала фонтан пресной воды. В дальнейшем началось интенсивное наращивание строительства артезианских скважин по всему Восточно-Предкавказскому артезианскому бассейну (ВПАБ). Обширные засушливые земли Ногайских, Кизлярских степей и полупустыни постепенно начали преобразовываться. Выросло множество новых населенных пунктов, кутанов, начали развиваться современное животноводство и аграрная промышленность, а с 50-х годов прошлого столетия нефтегазовая промышленность, и образовались города нефтяников Нефтекумск, Южносухокумск и др., источником водоснабжения которых служили артезианские воды.

Более чем за 110 лет в ВПАБ на пресные подземные воды плиоценовых водоносных горизонтов пробурено более 10 тысяч эксплуатационных скважин, дебиты которых колебались от 100 до 5000 м³/сут, а пьезометрические уровни превышали 10 – 50 м над поверхностью земли.

За все эти годы освоение артезианского бассейна использование его богатейших ресурсов происходит с грубыми нарушениями горно-геологических и санитарно-экологических норм. Так, только на северо-дагестанской территории ВПАБ пробурено и эксплуатируется на предельном гидродинамическом фонтанном режиме более 3500 артезианских скважин. Добыча на этих скважинах к середине 80-х годов прошлого столетия достигла 700 тыс. м³/сут. Не менее 80 % этих вод сбрасываются на окружающие земельные участки, что приводит как к заболачиванию и засолению значительных массивов почв и грунтов и выходу из сельскохозяйственного оборота сотен гектаров плодородных земель ежегодно, так и к истощению запасов пресных вод. Происходит снижение их уровня, уменьшаются дебиты скважин и формируются крупные депрессионные воронки с радиусами влияния в десятки километров, что сопряжено с ухудшением качества питьевых вод в результате подсоса более минерализованных из смежных водоносных горизонтов. Вокруг крупных водозаборов, расположенных вблизи городов Южносухокумск, Прикумск, Кизляр, райцентров Терекли-Мектеб, Бабаюрт и др.,



сформировались крупные депрессионные воронки, где уровни подземных вод упали на десятки метров. Почти все артезианские скважины Северного Дагестана полностью прошли амортизационный срок (25 лет), эксплуатируются по 50-70 лет и пришли в ветхое состояние. В результате, соленые воды, содержащие ряд токсичных элементов, в том числе мышьяк, тяжелые металлы, органические кислоты и др., проникают из других горизонтов в продуктивные горизонты пресных питьевых вод. Таким образом, происходит очаговое мышьяковистое и прочее загрязнение водоносных горизонтов пресных питьевых вод плиоцен-плейстоценовых отложений. Одновременно происходит деградация прилегающих к скважинам земель, так как добываемая из недр вода тут же сбрасывается круглогодично фонтанирующими артезианскими скважинами на поверхность земли, что приводит к повышению уровня соленых грунтовых вод и процессам вторичного засоления сотен гектаров земель.

Процесс фильтрации соленых вод из ниже- и вышележащих горизонтов в водоносные горизонты пресных вод привел к загрязнению и истощению ресурсов пресных вод на Южносухокумском, Кочубейском, Дербентском, Бабаюртовском месторождениях и ряде других водозаборов, имеет ныне крупноочаговый характер. Очаги загрязнения и истощения часто совпадают и интенсивно расширяются по мере усиления водоотбора, который осуществляется, как правило, без учета количества возобновляемых ресурсов из областей питания. Этот пагубный природно-техногенный процесс является, по-видимому, одной из причин мышьяковистого и другого загрязнения пресных подземных вод артезианского бассейна и будет в дальнейшем усиливаться, если отбор воды не будет приведен в соответствие с водным балансом всего артезианского бассейна или возобновлением их за счет поверхностных вод.

В настоящее время в ВПАБ без соблюдения каких-либо нормативов и зон санитарной охраны, эксплуатируется более 7000 артезианских скважин. При заложении скважин буровыми организациями и заказчиками преследовалась единственная цель: получить артезианскую воду в данном селе, городе, на нефтепромысле, кутане и т.д., и чем больше, тем лучше. Полностью игнорировались экология, охрана недр и прилегающей природной среды. То же самое продолжается и сейчас. В результате проблема современного и особенно перспективного водоснабжения обширного засушливого густонаселенного края окажется перед экологической катастрофой, если не будут предприняты срочные меры.

С целью предотвращения негативных природно-техногенных процессов необходимо объединить усилия научных и производственных организаций, заинтересованных ведомств и реализовать программу «Чистая вода для субъектов Восточного Предкавказья», которая предусматривает решение всего комплекса проблем от инвентаризации и обследования каждого водозабора до разработки постоянно действующей гидрогеолого-математической модели формирования и управления ресурсами и качеством пресных подземных вод. Производственная часть программы должна включать ликвидацию значительного количества пришедших в негодность артезианских скважин, бурение новых скважин, магазинирование поверхностных вод в истощенные водоносные горизонты, капремонт старых скважин, перевод бесконтрольно самоизливающихся скважин в регулируемый режим, реализацию передовых технологий рационального использования артезианских вод. При этом необходимо особо подчеркнуть, что артезианские воды являются главным, а для подавляющей равнинной части территории Восточного Предкавказья единственным, источником питьевого водоснабжения.

Низкопотенциальные гидрогеотермальные ресурсы залегают в верхнем плиоценовом гидрогеотермическом этаже. Наиболее водообильными и перспективными для освоения в плиоценовом этаже являются ачкагельские и апшеронские водоносные горизонты. На территории ВПАБ эти горизонты представлены регионально выдержанными песчаными, песчано-галечниковыми и песчано-глинистыми отложениями. В предгорной полосе от реки Сулак вплоть до г. Нальчика апшеронские и ачкагельские отложения выходят на дневную поверхность в виде вытянутой полосы, которая многократно расширяется в западном направлении. На большей части предгорной равнины происходит постепенное погружение кровли отложений до глубин 250 – 300 м и до 800 – 1000 м в осевой части Терско-Сулакского прогиба.

Воды плиоценового гидрогеотермического этажа являются напорными самоизливающимися водами с высотой самоизлива от 3 – 5 до 120 м. С увеличением глубины погружения водоносных горизонтов увеличивается температура извлекаемой воды, и, как правило, увеличиваются высота самоизлива, дебиты скважин, минерализация воды. На значительной части ВПАБ пресные подземные воды апшеронского горизонта являются слаботермальными с температурой 25 – 55 °С.

Прогнозные эксплуатационные ресурсы ВПАБ со средней температурой 40 °С составляют 1,5 млн. м³/сут [8]. Эти ресурсы перспективны для комплексного освоения по обеспечению различных хозяйственно-бытовых нужд с использованием водоресурсного потенциала и потребностей низкопотенциальной энергетики с использованием теплового потенциала [1,2,4].

Низкопотенциальные воды практически не используются для нужд теплоэнергетики. Основная причина состоит в том, что температура таких вод недостаточна для теплоснабжения и горячего водоснабжения. В то же время, по сравнению со средне- и высокопотенциальными термальными водами низкопотенциальные воды имеют ряд преимуществ: малые капитальные затраты для их добычи, низкая минерализация и, соответственно, отсутствие или минимум проблем, связанных с солеотложением и коррозией, и наличие в регионе огромного



количества готовых к эксплуатации скважин. Только в Северном Дагестане в пределах Терско-Кумского артезианского бассейна экономический потенциал самоизливающихся скважин с низкопотенциальными водами составляет 315 тыс т у.т./год [3]. В этих условиях для использования низкопотенциальных вод наиболее перспективным является разработка и внедрение теплонасосных систем теплоснабжения (ТСТ).

Из всех нетрадиционных методов производства тепловой энергии наибольшее развитие получила выработка тепла при помощи тепловых насосов (ТН). В развитых странах (США, Дания, Германия, Франция, Швеция, Швейцария, Япония и др.) ТН интенсивно вытесняют традиционные способы теплоснабжения, основанные на прямом сжигании органического топлива. Согласно прогнозам Мирового Энергетического Совета (МИРЭС) к 2020 г. 75% теплоснабжения в развитых странах будет осуществляться с помощью ТН. Этот прогноз успешно подтверждается. В настоящее время в мире работает более 30 млн. ТН различной мощности – от нескольких киловатт до сотен мегаватт [12].

Теплонасосные установки (ТНУ), осуществляя обратный термодинамический цикл на низкокипящем рабочем веществе, черпают низкопотенциальную тепловую энергию либо из окружающей среды, либо из иных источников, и, затрачивая некоторое количество механической или электрической энергии, отдают потребителю тепло при температуре, необходимой для теплоснабжения. Эффективность ТНУ тем выше, чем меньше разность между температурой, потребной для теплоснабжения и температурой источника низкопотенциального тепла. При благоприятных условиях применение ТНУ позволяет затрачивать в 1,2–2,3 раза меньше первичной энергии, чем при прямом сжигании топлива. Применение ТНУ – это и сбережение невозобновляемых энергоресурсов и защита окружающей среды, в том числе и за счет сокращения выбросов CO_2 в атмосферу.

Наибольшее применение ТНУ получают для теплоснабжения, горячего водоснабжения жилых, административных и производственных зданий. Применение ТНУ позволяет, в частности, перейти к децентрализованным системам теплоснабжения (без протяженных дорогостоящих тепловых сетей), когда тепловая энергия генерируется вблизи ее потребителя. Внедрение таких экономичных и экологически чистых технологий теплоснабжения необходимо в первую очередь во вновь строящихся районах городов и населенных пунктах. При этом можно полностью исключить применение электродогревателей, которые потребляют в 3–4 раза больше электроэнергии, чем ТНУ.

Еще одно преимущество ТНУ – универсальность по уровню мощности; применяются ТНУ мощностью от долей до десятков тысяч киловатт.

Применение ТНУ весьма перспективно в комбинированных системах в сочетании с другими технологиями использования возобновляемых источников энергии (солнечной, ветровой, биоэнергии), т.к. позволяет оптимизировать параметры сопрягаемых систем и достигать наиболее высоких экономических показателей.

Указанные преимущества применения ТНУ обусловили их широкое и все возрастающее применение в развитых странах и во всем мире. Ставится задача не о локальном или ограниченном применении теплонасосного теплоснабжения, а о максимальном отказе от прямого сжигания для этих целей органического топлива.

Полное и экономически эффективное использование низкопотенциального геотермального тепла в системах теплоснабжения практически неосуществимо без применения ТНУ. Именно большая эффективность применения тепловых насосов при использовании низкопотенциального промышленного и геотермального тепла обусловила высокий уровень создания и применения теплонасосной техники за рубежом.

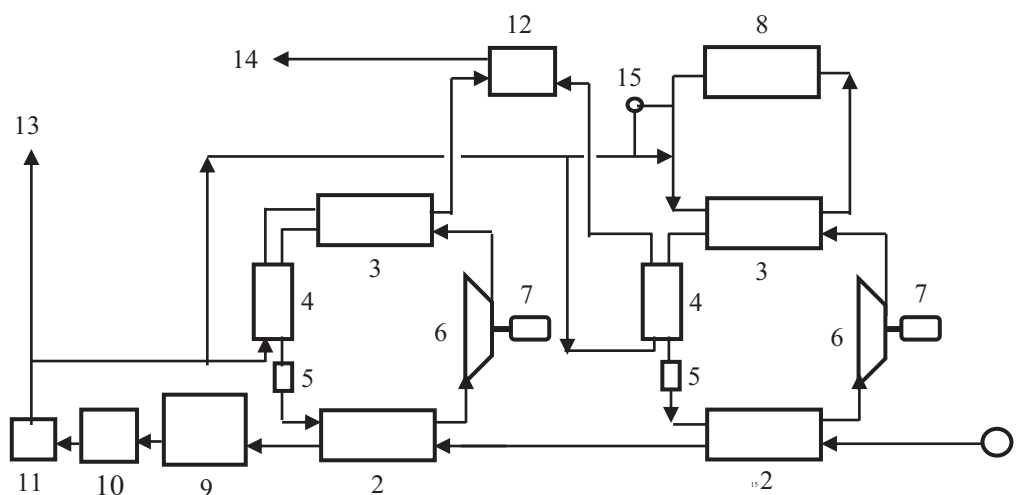
Применение ТНУ приводит к экономии топлива, уменьшению загрязнения окружающей среды и уплотнению суточных графиков электрической нагрузки энергосистем. Экономика их определяется уровнем капитальных вложений и соотношением цен на электроэнергию и топливо. Последнее обусловлено тем, что ТНУ потребляют электроэнергию, а экономят топливо за счет замещения котельных. Поэтому экономическая эффективность ТНУ тем выше, чем дешевле электроэнергия и чем дороже топливо. Срок окупаемости ТНУ (3 – 4 года) ниже нормативного срока окупаемости, принятого для систем отопления.

ТНУ наиболее эффективны для низкотемпературных систем отопления, так как со снижением температуры конденсации увеличивается значение коэффициента преобразования. Подходящими для таких систем являются панельно-лучистые приборы, совмещенные с ограждающими конструкциями.

Эффективность использования низкопотенциальной воды в ТНУ зависит от ее конечной температуры, которая должна быть как можно ниже. Этого можно достичь как в одной ТНУ, так и в схеме с последовательным использованием воды в двух и более ТНУ. Достижения низкой конечной температуры термальной воды в одной ТНУ приводит к еще более низкой температуре испарения рабочего агента в тепловом насосе, что снижает коэффициент преобразования и эффективность работы ТНУ. При необходимости получения достаточно высоких температур конденсации рабочего агента экономическая эффективность такой установки становится минимальной. Последовательное протекание термальной воды через испарители двух и более ТНУ позволяет осуществить процесс испарения рабочего агента на разных температурных уровнях, что приводит к увеличению суммарного коэффициента преобразования ТНУ и к экономии электроэнергии, затрачиваемой на привод. В зависимости от параметров первичного теплоносителя (дебита и температуры) и требований потребителей к конечной температуре в ТСТ могут быть включены до трех ТНУ.



Принципиальная технологическая схема ТСТ, состоящая из двух ТНУ, приведена на рис. 1.



**Рис. 1. Технологическая схема геотермальной
теплонасосной системы тепло- и водоснабжения.**

- 1 – геотермальная скважина; 2 – испаритель; 3 – конденсатор; 4 – охладитель; 5 – дроссельный клапан;
6 – компрессор; 7 – электродвигатель; 8 – потребитель тепла; 9 – блок химводоочистки;
10 – резервуар чистой воды; 11 – насосная станция; 12 – теплоизолированный бак-аккумулятор;
13 – на холодное водоснабжение; 14 – на горячее водоснабжение; 15 – регулятор подпитки.

Термальная слабоминерализованная вода после снижения ее температуры в испарителях ТНУ направляется на блок химводоочистки и далее на холодное и горячее водоснабжение и на подпитку системы отопления. Первая ТНУ работает на отопление, так как на ней можно получить высокую температуру конденсации при экономически приемлемых условиях эксплуатации. Часть тепловой энергии, отбираемой в охладителе при охлаждении конденсата, направляется на горячее водоснабжение. Вторая ТНУ, куда термальная вода поступает с низкой температурой, и где оптимальными являются средние температуры конденсации, работает только на обеспечение нужд горячего водоснабжения. В технологической схеме достигается максимальное использование продукции геотермальной скважины, когда одновременно решаются проблемы отопления, горячего и холодного водоснабжения, то есть используется тепловой потенциал термальной воды и собственно сама вода на холодное и горячее водоснабжение. Такие технологические схемы в первую очередь перспективны для малых населенных пунктов, где всегда имеются проблемы отопления и снабжения населения качественной питьевой водой.

Высокая экономическая эффективность низкопотенциальных геотермальных ресурсов достигается при комплексном их освоении с использованием теплового потенциала на энергетические нужды, а самой воды на различные водохозяйственные цели. Примером такого использования является технологическая схема, приведенная на рис. 1.

В пределах ВПАБ имеется значительное количество скважин, пробуренных на артезианские воды с температурой 50 – 60 °С. Только на Махачкалинском месторождении таких скважин насчитывается более трех десятков. Минерализация воды большинства скважин не превышает 1 – 3 г/л. В настоящее время многие из них по разным причинам выведены из эксплуатации.

На рис. 2 приведена технологическая схема для освоения ресурсного потенциала простаивающих скважин. В отопительный период тепловой потенциал воды используется в системе низкотемпературного напольного отопления и для нагрева воды в системе горячего водоснабжения. Охлажденная в теплообменниках вода поступает на блок химводоочистки, и далее на потребление. В межотопительный период часть термальной воды из скважины, которая использовалась в системе напольного отопления, поступает в скважины-теплообменники для восстановления теплового поля вокруг них, а охлажденная в скважинах вода поступает на химводоочистку. В отопительный период тепло, аккумулированное в горной породе, используется в системе напольного отопления с тепловым насосом.

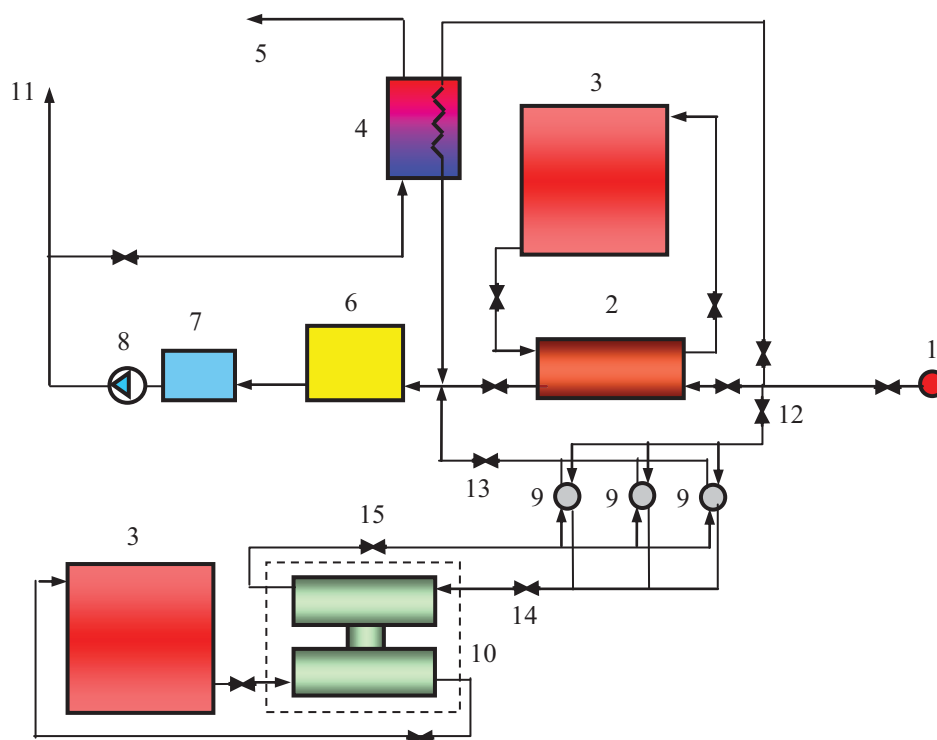


Рис. 2. Система геотермального тепло- и водоснабжения.

1 – геотермальная скважина; 2 – теплообменник; 3 – система низкотемпературного напольного отопления; 4 – теплоизолированный бак-аккумулятор; 5 – на горячее водоснабжение; 6 – блок химводоочистки; 7 – резервуар чистой воды; 8 – насосная станция; 9 – теплоаккумулирующие скважины; 10 – тепловой насос; 11 – на холодное водоснабжение; 12; 13; 14; 15 – вентили.

При разработке геотермальных систем теплоснабжения необходимо обеспечивать максимальное значение коэффициента эффективности использования термоводозабора $\eta_{геот}$, который представляет собой отношение фактически используемого в течение года теплового потенциала скважины к максимальному количеству тепла, которое можно получить при круглогодичной эксплуатации скважины на дебите, соответствующем эксплуатационным запасам, и сбрасывании температуры отработанной воды до условной температуры. Значение коэффициента $\eta_{геот}$ колеблется в следующих пределах: отопление 0,05 – 0,34; горячее водоснабжение 0,70 – 0,92.

Приведенная система позволит максимальным образом использовать ресурсный потенциал термальной скважины и эксплуатировать ее круглогодично с приближением значения $\eta_{геот}$ к коэффициенту для горячего водоснабжения.

Кроме того, при использовании термальной воды на горячее водоснабжение и на другие потребительские нужды, помимо замещения традиционного топлива, достигается дополнительный эффект за счет экономии водопроводной или технической воды.

Вредные выбросы в окружающую среду непосредственно на месте эксплуатации ТНУ отсутствуют; они появляются в месте выработки электроэнергии при сжигании топлива на ТЭС (КЭС). Использование в ТНУ электроэнергии, вырабатываемой на ГЭС, полностью исключает загрязнение атмосферы вредными выбросами. Учитывая, что в Дагестане основная доля электроэнергии (98 %) вырабатывается на ГЭС, экологическая эффективность применения ТНУ в республике становится наивысшей.

Города Махачкала, Каспийск, Избербаш, Дербент, многие населенные пункты, базы отдыха, санатории, расположенные на берегу Каспийского моря, в перспективе следует полностью перевести на теплонасосное теплоснабжение, где наряду с низкотемпературными термальными водами можно использовать тепловой потенциал морской воды. Неограниченные ресурсы морской воды позволят устанавливать в прибрежных городах ТНУ большой мощности (от 3 МВт и более), объединенных в блоки из 3 – 5 машин для облегчения регулирования и повышения надежности теплонасосной станции.

Использование ТНУ в системах теплоснабжения имеет широкие перспективы в России и на Северном Кавказе. Особенно большие перспективы имеет республика Дагестан, располагающая огромными ресурсами



низкопотенциальных термальных вод, большим количеством готовых к эксплуатации геотермальных скважин, неограниченными ресурсами низкопотенциального тепла морской воды и электроэнергией, вырабатываемой на ГЭС. На территории Дагестана первоочередными и наиболее благоприятными объектами для применения теплонасосных систем теплоснабжения, использующих теплоту низкопотенциальных термальных вод, являются объекты санаторно-курортного и туристического назначения. Строительство в Приморской зоне Дагестана учреждений лечения и отдыха одновременной вместимостью на период полного освоения до 300 тыс. мест требует отработки технологии использования теплоты низкопотенциальных термальных вод для тепло- и горячего водоснабжения с применением тепловых насосов.

Широкое внедрение в регионе геотермальных ТСТ позволит: вовлечь в хозяйственный оборот значительные ресурсы низкопотенциальных термальных вод; повысить температуру потребляемого теплоносителя до 100 °С, сохраняя приемлемую экономическую эффективность использования установок; расширить возможные пределы использования ТНУ в различных секторах экономики за счет увеличения температурного интервала потребляемой воды; получить существенную экономию органического топлива; улучшить экологическую обстановку в регионе и условия жизни значительной части населения.

В 2009 – 2012 годах в Северном Дагестане было обследовано около 200 артезианских скважин, обоснованы наиболее перспективные площади для создания опытных систем теплоснабжения на основе комплексных технологий использования НПВ, организованы стационарные пункты для гидрогеодинамического и экологического мониторинга в Ногайском, Тарумовском, Кизлярском и Бабаюртовском районах РД.

Значительное количество исследованных скважинных вод может быть использовано для обеспечения населения теплом и для покрытия его потребностей в питьевой воде. По составу макрокомпонентов в абсолютном большинстве они относятся к сульфатно-натриевому и гидрокарбонатно-натриевому типам (табл. 1) и в целом соответствуют требованиям, предъявляемым к водам хозяйственно-питьевого назначения.

Однако прямое использование целого ряда из них в хозяйственно-питьевых целях невозможно, ввиду высокого содержания токсичных и загрязняющих компонентов (мг/дм³), в том числе фенолов – 0,100 и соединений мышьяка – 0,300 и выше, а также значительного фактора цветности (выше 200 градусов), обусловленного присутствием гумусовых кислот.

Характеризуя состояние земельных угодий указанных районов республики, следует отметить, что на их территории расположена большая часть аридных зон региона. В частности, сильнозасоленные почвы и солончаки занимают от 35 до 55 % всех площадей, а незасоленные земельные площади отсутствуют вообще при общей тенденции к постоянному увеличению территорий с высокой степенью засоленности [4]. Этому способствуют и бесконтрольно изливающиеся из артезианских скважин НПВ. Следует отметить, что указанные случаи ненадлежащей эксплуатации скважин, приводящие к заболачиванию и вторичному засолению территорий, далеко не редки. Отсутствие профилактических и санитарно-гигиенических мероприятий на скважинах также привело во многих населенных пунктах к заиливанию коллекторов-сборников, и, как следствие, к ухудшению качества воды.

Использование в качестве питьевых скважинных вод низкой минерализации сегодня и на ближайшую перспективу является практически единственной возможностью водообеспечения большинства из населенных пунктов Северного Дагестана. Указанный тип подземных вод используются также для развития отгонного животноводства и оазисного земледелия.

В Кизлярском районе нами обследовано свыше 30 скважин значительной части населенных пунктов и поселений, в том числе, в с. Аверьяновка (2 скважины), с. Александрийская (2 скважины), с. Брянск (3 скважины), с. Кардоновка (2 скважины), с. Косякино (2 скважины), с. Крайновка (3 скважины), с. Имени Шаумяна (1 скважина), с. Рыбалко (2 скважины), с. Цветковка (3 скважины), с. Серебряковка (3 скважины), с. Черняевка (2 скважины), с. Сар-Сар (1 скважина), с. Хучеевка (2 скважины), кутан с/з им. М.Гаджиева (1 скважина), с/з «Кизлярский», отделение 2 (2 скважины), цветковский пост (2 скважины) и др. Из исследованных наиболее загрязненными оказались питьевые воды в с. Кардоновка (скв. 4Т, 257 мкг/дм³), в с. Брянск (скв. 1926г., 295 мкг/дм³), в совхозе «Кизлярский», отделение 2 (222 мкг/дм³). Однако тревожная ситуация складывается в самом удаленном, расположенном у северной границы района населенном пункте – с. Тушиловка, во всех скважинных водах которого отмечено содержание мышьяка от 3 до 10 раз превышающее лимитирующий показатель данного токсиканта: 504,1, 468,5, и 137,3 мкг/дм³.

В с. Кардоновка нами организован стационарный пункт гидрогеодинамического и экологического мониторинга и проведены контрольные анализы почвенных вытяжек на участках самоизливающихся вод скважины № 4Т.

Полученные результаты указывают на достаточно высокую засоленность исследованных почв: величина плотного остатка солей достигает 0,5-2,0 %; по степени засоленности их следует отнести к солончакам, а по типу засоления – к содовому хлоридно-сульфатному химизму. Проведенная почвенно-мелиоративная оценка исследованных поверхностных горизонтов позволяет сделать однозначное заключение – состояние земельных участков, прилегающих к указанной скважине, исключает возможность их использования для возделывания



плодово-ягодных и садовых культур, поскольку критерий угнетенности почв, принятый за 6 [10], превышен значительно.

Результаты исследования уровней загрязнения грунта соединениями мышьяка до глубины 150 см, ввиду значительного превышения показателей ПДКп и ОДКп для мышьяка [10], позволяют квалифицировать экологическую ситуацию как чрезвычайно опасную или близкую к ней по всем четырем лимитирующим показателям: транслокационному, водному, воздушному и общесанитарному.

Нами обследовано свыше 50 скважин большей части населенных пунктов и поселений Тарумовского района, вплоть до северной границы района (республики), в том числе, в с. Тарумовка (10 скважин), в крупнейшем населенном пункте района – с. Кочубей и на территории, прилегающей к одноименной железнодорожной станции (12 скважин), в ст. Александро-Невская (2 скважины), в с. Калиновка (3 скважины), с. Карабаглы (1 скважина), ст. Коктюбей (2 скважины), в усадьбе колхоза им. Максима Горького (2 скважины), в с. Новогеоргиевка (2 скважины), в с. Новодмитриевка (3 скважины), в с. Новоромановка (1 скважина), в с. Раздолье (2 скважины), в с. Таловка (4 скважины), в с. Юрковка (1 скважина) [9]. Наименее благоприятная ситуация в связи с загрязнением питьевых вод соединениями мышьяка складывается в селах Новогеоргиевка (202 мкг/дм^3) и Новоромановка (215 мкг/дм^3). В три и более раз превышают значение лимитирующего показателя концентрации мышьяка в НПВ с. Раздолье, с. Калиновка, с. Тарумовка (скв. № 13-Т), кутана колхоза им. К.Маркса (30-й км трассы Кочубей – Артезиан). Однако наиболее тяжелое положение с обеспечением населения питьевой водой имеет место в селе Таловка и в станице Александро-Невская, во всех скважинных водах которых содержание мышьяка превышает значение ПДК.

В Бабаюртовском районе обследовано свыше 30 скважин в населенных пунктах: с. Бабаюрт – административном центре района, с. Геметюбе, с. Алимпашаюрт, с. Люксембург, с. Камбулат, с. Татаюрт, с. Качалай, с. Казиярт; в поселениях Львовские: Львовское 1, Львовское 2, Львовское 5, Львовское 6, – а также вдоль авто-трасс: Махачкала – Кизляр, Махачкала – Новая Коса. Созданы три стационарных пункта для гидродинамического и экологического мониторинга: в с. Геметюбе и на скважинах, расположенных вдоль авто-трассы Махачкала – Новая Коса. Наиболее опасная ситуация, связанная с потреблением некондиционной питьевой воды, складывается в микрорайоне «Водник» районного центра – с. Бабаюрт, в селах Люксембург, Каратюбе, поселениях Львовское-1 и Львовское-6, в скважинных водах которых отмечено содержание мышьяка: от 220 до 270 мкг/дм^3 . А также в селах Мужукай и Янгылбай, единственные скважины которых характеризуются содержанием мышьяка, более чем вдвое превышающем лимитирующий показатель – 50 мкг/дм^3 .

В целом НПВ Ногайского района по содержанию мышьяка можно признать условно благополучными. Так, концентрация As в водах 9 из 16 обследованных скважин районного центра с. Терекли-Мектеб оказалась ниже значения лимитирующего показателя ПДК. Наиболее загрязненными соединениями мышьяка оказались воды скважины 5/82 с. Терекли-Мектеб ($136,1 \text{ мкг/дм}^3$) и скважины с. Ленинаул, расположенной у здания сельской администрации ($121,8 \text{ мкг/дм}^3$).

Наиболее привлекательными для создания и апробации комбинированных технологий освоения НПВ представляются геотермальные воды с. Кардоновка (скв. № 4Т), используемые сегодня в бальнеологических целях. Поскольку температура этих вод составляет $45-47^\circ\text{C}$, а дебит скважины при полном открытии устьевой задвижки достигает $1100 \text{ м}^3/\text{сут.}$, их можно использовать для теплоснабжения и водоснабжения масштабного потребителя, а именно, жилых и административных зданий села, в том числе новой школы на 300 мест. С другой стороны, их относительно невысокая минерализация – 1700 мг/дм^3 – позволяет говорить о перспективах их хозяйственно-питьевого водопользования.

Предварительно были опробованы методы очистки кардоновских вод и их имитатов от токсичных загрязнителей с помощью нанофильтров и трековых мембран, получивших в последние годы широкое распространение в практике водоснабжения, а также в пищевой промышленности, в медицине и в других областях на основе развития биотехнологий. В частности, была проведена оценка сорбционной способности наноструктурных углеродных материалов (УНТ марки РТubes BC 15/1) и промышленных активных углей (БАУ, АГ-3, СКТ-3) для очистки вод от мышьяка [5].

Однако, несмотря на то, что в серии опытов с использованием БАУ и УНТ были получены вполне удовлетворительные результаты, нам не удалось преодолеть главный недостаток многих, в том числе электрокоагуляционных способов очистки природных вод и промышленных стоков от соединений мышьяка: не была достигнута степень очистки вод на уровне ПДК [6, 7].

Опробованные нами трековые мембраны (производитель ООО «Экомембраны») оказались весьма эффективными для очистки пробы кардоновской воды от гумусовых веществ, но недостаточно эффективными для сорбции соединений мышьяка.

Наиболее эффективными методами очистки вод от мышьяка в настоящее время продолжают оставаться методы, основанные на использовании соединений железа (III), как в реагентном [14], так и в адсорбционном вариантах [15]. Из реагентных широкое распространение получили осадительные методы с использованием недорогих природных материалов.

Принимая во внимание химический состав, показатель активной реакции, характер загрязняющих и токсичных веществ в воде, а также наличие свободных территорий в окрестности указанной скважины с. Кардоновка (табл. 1 и 2), мы остановили выбор за осадительными методами очистки кардоновской воды от соединений мышьяка с использованием хлорида железа (III), которые могут быть легко реализованы в открытых бассейнах или прудах.

Выбор метода обусловлен следующими факторами: способ достаточно рентабельный, не требует дорогостоящего аппаратного оформления; активная реакция очищаемых вод способствует образованию реагента-осадителя - оксида железа (III) непосредственно в сфере реакции; вероятность соосаждения от сопутствующих загрязнителей (гумусовые кислоты и другие соединения фенольного ряда) на стадии осаждения мышьяка; расположение узла очистки воды от самых токсичных компонентов вод в «голове» технологической схемы включает «размывание» мышьяка в последующих стадиях водоподготовки.

Для апробирования технологии очистки и умягчения НПВ с. Кардоновка была использована водоочистительная установка напорного типа ВД-ТМ 205 Fex2, производимая ООО «ЭкоМембраны» (Россия), трековые мембраны которой вполне удовлетворительно проявили себя для целевой очистки вод от растворенного гумусового вещества.

В тоже время последовательность модулей установки в варианте поставки производителя оказалась недостаточно эффективной в плане оптимальной выработки ресурса модулей (картриджей), различающихся избирательностью в отношении различных видов и групп загрязнителей воды.

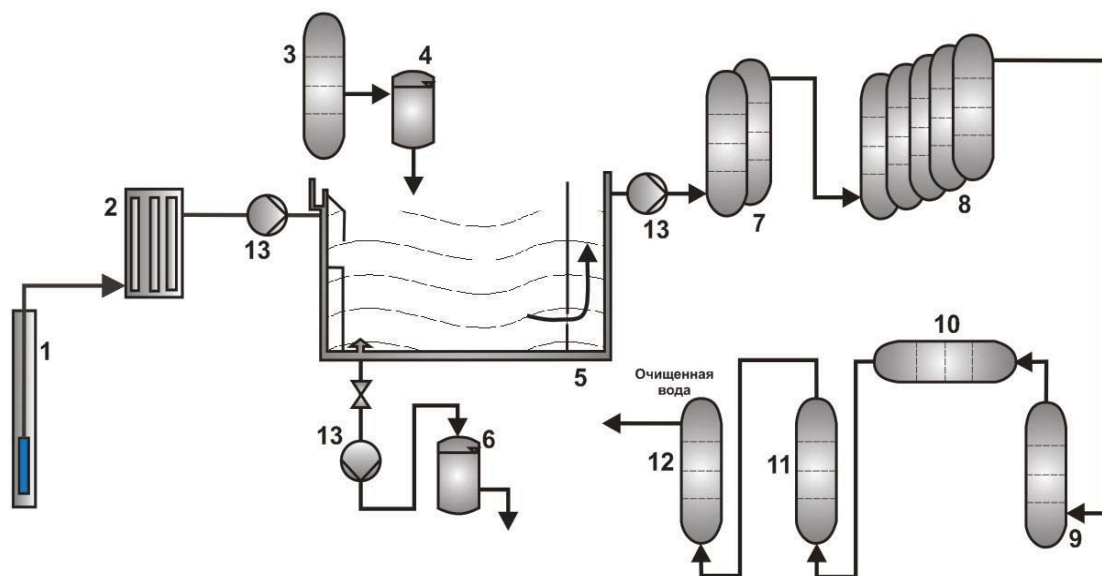


Рис. 3. – Общая технологическая схема очистки и умягчения НПВ с. Кардоновка (скв 4Т, Кизлярский р-н, РД)

1. – геотермальная скважина; 2. – теплообменник; 3. – модуль реагента-осадителя; 4. – дозатор;
5. – резервуар-осадитель; 6. – шламонакопитель; 7. – блок модулей для механической очистки с картриджами FS-10TH + ВДК-Fe2; 8. – блок модулей с трековыми мембранами ВДК-ТМ3 * 5; 9. – модуль с угольным картриджем СВС (+ Ag); 10. – модуль универсальной очистки с картриджем ВДК-УС (NL);
11. – модуль для умягчения НПВ с картриджем БС (Na⁺-ионообменная смола);
12. – постфильтр с картриджем ВДК-У4(NL); 13. – насосы

В связи с чем, исходя из целей и задач по очистке и умягчению НПВ с. Кардоновка, мы унифицировали последовательность блоков очистки в водоочистительной установке ВД-ТМ 205 Fex2, доукомплектовав ее модули картриджами типа Slim Line 10" «Гейзер» (ООО «Акватория», г.С-Петербург, Россия) и «Посейдон» (ООО «Дон-Полимер-Маркет», г.Воронеж, Россия).

Общая схема очистки и умягчения НПВ с. Кардоновка (скв №4Т), реализована в масштабе укрупненного эксперимента в последовательности технологических операций:

- I- очистка НПВ от соединений мышьяка;
- II- очистка НПВ от механических примесей и взвесей;
- III- очистка НПВ от гумусовых и фенолсодержащих веществ;
- IV- умягчение НПВ, очистка от ионов жесткости.



На первой стадии в пробу кардоновской воды объемом 50 дм³ вводили в качестве осадителя раствор хлорида железа (III) с содержанием Fe³⁺ 234 мг/см³, что соответствовало весовому соотношению As / Fe(III) ~ 1 : 250 (табл. 2).

Технологическую пробу, прошедшую очистку от соединений мышьяка, направляли в водоочистительную установку, состоящую из следующих модулей:

а) модуль очистки от механических примесей, из последовательно соединенных картриджей: типа FS-10TH и типа ВДК-MFe2;

б) модуль очистки от растворенного гумусового вещества, из последовательно соединенных 5 картриджей на трековых мембранах ВДК-ТМЗ и одного угольного картриджа СВС;

в) модуль умягчения (очистки от ионов жесткости), из последовательно соединенных картриджей: ВДК-UF (NL) + БС (Na⁺-ионообменная смола) + ВДК-У4(NL).

В качестве контролируемых параметров процесса были выбраны: остаточное содержание соединений мышьяка и железа, активная реакция пробы НПВ на каждом этапе очистки; показатели, характеризующие содержание гумусовых и иных фенолсодержащих веществ: цветность, окисляемость перманганатная, фенольный индекс; жесткость общая, содержание ионов Ca²⁺, Mg²⁺, ее обуславливающих, а также другие общепринятые показатели шестикомпонентного анализа вод. Контрольные отборы проб проводили с периодичностью от 0,5ч до 6ч, с учетом характера показателя качества воды. Температура пробы во всех сериях опытов составляла 22-25 °С.

Исследования показали, что предлагаемая технологическая схема позволяет последовательно очистить НПВ с. Кардоновка (скв 4Т) от установленных в ее составе загрязнителей и токсичных компонентов и довести ее качество до кондиции питьевой воды.

Так, в соответствии с технологическими стадиями очистки НПВ содержание мышьяка было снижено с 200 мкг/дм³ до следовых количеств, а содержание Fe³⁺-катионов осадителей – до 0,1 мг/дм³, что в 3 раза ниже значения ПДКв.(Fe).

Использование 5-ти кассетного картриджа на трековых мембранах позволило достичь 10-ти кратного снижения значения цветности исходной пробы НПВ (178° → 12°), с доведением этого показателя качества до регламентированного значения для питьевой воды: 20 градусов. При этом показатель окисляемости перманганатной снижен с 16,6 до 1,5 мгО₂/дм³ при нормативе не более 5 мгО₂/дм³ согласно нормам СанПиН 2.1.4.559-96. Содержание низших структурных аналогов гумусовых кислот – фенолов в процессе очистки вод снизилось более чем в полтора раза. Результаты шестикомпонентного анализа дают основание для вывода о значительном умягчении технологической пробы НПВ: показатель общей жесткости пробы снижен втрое. При этом жесткость по кальцию снизилась в 25 раз, а жесткость по магнию в 2 раза (табл. 2).

На основании полученных результатов была предложена общая технологическая схема (рис. 3) очистки и умягчения НПВ с. Кардоновка.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 12-08-96501-р_юг_а).

Таблица 1.

**Состав скважинных вод северо-дагестанского артезианского бассейна
(Кизлярский, Тарумовский, Бабаюртовский районы РД)**

№	Район отбора скважинных вод	Сухой остаток, мг/л	Жест-кость общая, мг-экв/л	pH	Основные химические компоненты, мг/л						As,мкг/л
					Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻ (CO ₃ ²⁻)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	
	скважинные воды Кизлярского района (по данным экспедиции ИПГ ДНЦ РАН, 2010г., 2012 г.; выборочно)										
1	с. Кардоновка, скв.№4Т	1639	1,10	8,66	390,06	0,53	985,2	6,31	9,73	599,4	246,6
2	с. Кардоновка скв.пит.воды	1666	1,36	6,15	404,24	5,50	1018,7	6,31	12,46	617,3	159,2
3	с. Тушиловка	1187	2,02	7,36	96,77	12,1	1134	14,82	17,7	621,2	504,1
4	с. Брянск	1324	1,48	8,02	244,7	н/обн	1024,8	13,62	9,72	510,8	295,2
5	с/х им. Шаумяна	788	1,50	7,95	19,5	1,5	725,9	21,04	5,47	270	224,4
	скважинные воды Тарумовского района (по данным экспедиции ИПГ ДНЦ РАН, 2010-2011 гг.; выборочно)										
1	с. Новоромановка	604	1,14	8,14	79,78	33,2	570,4 (27,0)	11,62	6,80	256,5	215,5



№	Район отбора скважинных вод	Сухой остаток, мг/л	Жесткость общая, мг-экв/л	pH	Основные химические компоненты, мг/л						As, мкг/л
					Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻ (CO ₃ ²⁻)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	
2	с. Таловка	733	1,00	8,11	49,64	34,6	579,5 (13,5)	12,02	4,86	244,3	132,7
3	с. Калиновка	646	0,60	8,06	37,23	30,6	475,8	5,57	3,90	204,5	157,3
4	с/х им. Горького	747	0,8	8,24	47,36	23,9	616,1	8,81	4,37	273,5	246,1
5	ж/ст. Кочубей	753	0,98	7,81	61,3	1,3	884,5	9,61	6,08	375	301,0
скважинные воды Бабаюртовского района (по данным экспедиции ИПГ ДНЦ РАН, 2009-2010 гг., 2012 г.; выборочно)											
1	с. Люксембург	803	1,32	8,35	53,2	51,2	539,9 (33,0)	14,03	7,53	232,3	260,2
2	с. Бабаюрт, мк/р «Водник»	707	1,04	8,29	34,04	82,2	518,5	15,13	3,47	233,1	216,1
3	с. Каратюбе	154,1	0,64	7,2	31,9	45,5	683,2	10,42	1,46	305,0	227,7
4	тр. Новая Коса скв. №2	110,4	1,04	7,86	19,14	н/обн	634,4	8,81	7,29	243,5	358,3
5	тр. Новая Коса скв. №1	132,4	1,32	7,81	31,9	3,2	878,4	15,23	6,8	345,5	174,7

Таблица 2

Очистка пробы НПВ с. Кардоновка на комбинированной установке ВД-ТМ 205 Fex2 (ООО «Экоембраны») (объем пробы на каждом цикле – 50 дм³; объемная скорость, V 100 мл/ 3мин; ~ 2л/час).

№№	Время, час	Стадии очистки вод (содержание компонентов, мг-экв/дм ³ ; мг/ дм ³ ; (мкг/ дм ³ As))													
		Характеристика фильтров: предфильтры (войлочный /полипропиленовый/ + ВДК-MFe2)													
		Цв, ⁰	Окисл., мгО/дм ³	фенол	pH	минер	жест. общ.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻ (CO ₃ ²⁻)	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	As	Fe _{общ}
		Состав исходной пробы на стадии очистки от соединений мышьяка													
1		178	16,6	0,057	8,46	1720	2,03	17,2	14,2	623,3	955(105)	326,1	37,2	202	0,30
		Состав пробы после ее очистки от соединений мышьяка													
2	0	142	14,3	0,052	7,10	1680	2,03	17,2	14,20	623,3	886	403	37,2	> 2	2,30
3	6	128	12,3	0,050	7,41	1656	2,0	17,0	14,0	581,4	906	390	39,1	н/обн	0,12
4	12	130	11,9	0,048	7,52	1645	2,0	17,0	14,0	549,4	909	392	40,2	н/обн	0,08
5	24	136	12,4	0,049	7,65	1631	2,0	17,0	14,0	550,7	910	365	42,5	н/обн	0,09
		физико-химические показатели коллективной пробы после первого цикла очистки													
6	0	129	12,3	0,048	7,55	1648	2,01	17,01	14,2	594,5	890	391	39,3	н/обн	0,09
7	6	15	0,85	0,042	8,10	1580	1,83	14,6	13,5	626	903	390	36		0,09
8	12	17	1,21	0,040	8,15	1531	1,70	13,0	12,9	640	902	379	36		0,09
9	24	21	1,65	0,038	8,30	1526	1,45	9,05	12,6	663	920	372	36		0,10
		физико-химические показатели коллективной пробы после второго цикла очистки													
10	0	18	1,45	0,043	8,20	1587	1,98	16,7	13,9	646,8	908	388	36,5	н/обн	0,09
11	6	18	1,50	0,040	8,75	1420	0,94	5,50	8,01						след
12	12	17	1,46	0,038	9,00	1467	0,65	1,10	7,20	807	844(63)	395	35,5		след
13	24	21	1,42	0,036	9,15	1480	0,52	0,20	6,20	862	817(90)	402	35,5		след
		физико-химические показатели коллективной пробы после третьего цикла очистки													
14		18	1,47	0,037	9,03	1470	0,63	0,60	7,20	828	844(62)	400	35,5	н/обн	след



Библиографический список

1. Алхасов А.Б. Геотермальная энергетика: проблемы, ресурсы, технологии. М.: Физматлит, 2008. 376 с.
2. Алхасов А.Б. Перспективы освоения геотермальных ресурсов Северного Кавказа // Перспективы энергетики, 2003. Т. 7. С. 367 – 375.
3. Алхасов А.Б. Энергоэффективные технологии освоения ВИЭ Дагестана // Возобновляемая энергетика: проблемы и перспективы: Материалы 2 Международной конференции. Махачкала, 2010. С.52 – 65.
4. Алхасов А.Б., Алишаев М.Г., Алхасова Д.А., Каймаразов А.Г., Рамазанов М.М. Освоение низкопотенциального геотермального тепла. М.: Физматлит, 2012. 281 с.
5. Апандиев Р.Б., Шабанова З.Э., Каймаразов А.Г. Оценка сорбционной способности наноструктурных углеродных материалов и промышленных активных углей для очистки вод от мышьяка // Актуальные проблемы освоения возобновляемых энергоресурсов: Материалы Ш Школы молодых ученых им. Э.Э.Шпильрайна. Махачкала, 2010. С. 84-88.
6. Коваленко А.С., Фомин А.В., Венгель П.Ф., Рогов В.В., Молчанов С.В. Способ очистки сточных вод от мышьяка // Роспатент №2078052. Дата регистр. 27.04.1997.
7. Кожемякин В. А., Градова И.О., Почтарев А.Н. Электрокоагуляционный способ очистки сточных вод от мышьяка и взвешенных частиц // Химия и технология халькогенов и халькогенидов: Тез. докл. II Всесоюзного совещания. Караганда, 1982. 226 с.
8. Курбанов М.К. Геотермальные и гидроминеральные ресурсы Восточного Кавказа и Предкавказья. М.: Наука, 2001. 260 с.
9. Мамаев Г.С., Камалутдинова И.А., Каймаразов А.Г., Апандиев Р.Б. Перспективы освоения низкопотенциальных геотермальных ресурсов Тарумовского района Дагестана // Актуальные проблемы освоения возобновляемых энергоресурсов: Материалы IV Школы молодых ученых им. Э.Э.Шпильрайна. Махачкала: АЛЕФ, 2011. С. 309-314.
10. Мирзоев Э.М.-Р., Алишаев М.Г. Теоретические основы рассоления почв дождеванием и освоение трудномелиорируемых земель Дагестана. Махачкала, 1990. 168 с.
11. МУ 2.1.7.730-99. Почва, очистка населенных мест, бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почвы. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест.
12. Петин Ю.М. Новое поколение тепловых насосов для целей теплоснабжения и эффективность их использования в России // Перспективы энергетики, 2004. Т. 8. С. 27-38.
13. Соколов Е.Я., Бродянский В.М. Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения. М.: Энергия, 1967. 336 с.
14. Соложенкин П.М., Зубули А.И., Катсяннис И.А. Очистка сточных вод от соединений мышьяка хемосорбционной фильтрацией // Хим. Технология. 2007. Т.8. №6. С. 277-283.
15. Сибиряков А. Железоокисный сорбент для водоподготовки // Материалы 9 Международного водного форума «ЭКВА-ТЭК-2010» (1-4 июня 2010). М.: МВЦ "Крокус Экспо", 2010.
16. Фортис В. Е., Шпильрайн Э.Э. Возобновляемые источники энергии на энергетической сцене мира / Возобновляемая энергетика: проблемы и перспективы: Материалы Международной конференции. Т.1. Махачкала, 2005. С.14 – 30.
17. Шпильрайн Э.Э. Экологические аспекты применения возобновляемых источников энергии для децентрализованного энергоснабжения // Перспективы энергетики. 2002. Т.5. С. 299 – 306.

Bibliography

1. Alkhasov A.B. Geothermal energy: problems, resources, technologies. M.: Fizmatlit, 2008. 367 p. (rus)
2. Alkhasov A.B. Prospects of development of geothermal resources in Northern Caucasus // Perspektivy energetiki, 2003. V.7. Pp. 367 – 375. (rus)
3. Alkhasov A.B. Energy efficient technologies of RES (renewable energy sources) development in Daghestan // Renewable energy: Problems and Prospects / Proceedings of the 2nd International conference. Makhachkala, 2010. Pp. 52 -65. (rus)
4. Alkhasov A.B., Alishaev M.G., Alkhasova D.A., Kaymarazov A.G., Ramazanov M.M. Development of low potential geothermal resources . M.: Fizmatlit, 2012. 281 p. (rus)
5. Apandiev R.B., Shabanova Z.E., Kaymarazov A.G. Assessment of sorption ability of nano structural carbon materials and industrial active carbons for purification of waters from arsenic // Aktualnyye problemy osvoyeniya vozobnovlayemykh energoresursov. IV Shkola molodykh uchonykh: Proceedings. Makhachkala: ALEF, Makhachkala, 2010. Pp. 84 – 88. (rus)
6. Kovalenko A.S., Fomin A.V., Vengel P.F., Rogov V.V., Molchanov S.V. The method for sewage treatment from arsenic // Patent of RF №2078052. April, 27. 1997. (rus)
7. Kozhemyakin V.A., Gradova I.Yu., Pochtarev A.N. Electrocoagulation method for sewage treatment from arsenic and suspended particles // Khimiya i Tekhnologiya khalkogenov i khalkogenidov: Abstracts of the IInd All-Union conference. Karaganda, 1982. 226 p. (rus)
8. Kurbanov M.K. Geothermal and hydromineral resources of Eastern Caucasus and Ciscaucasia. M.: Nauka, 2001. 260 p. (rus)



9. Mamaev G.S., Kamalutdinova I.A., Kaymarazov A.G., Apandiev R.B. Prospects of low potential geothermal resources development for Tarumovka region of Daghestan // Aktualnyye problemy osvoyeniya vozobnovlyemykh energoresursov. IV Shkola molodykh uchonykh: Trudy [Actual Problems of renewable energy resources development. IV School of Young Scientists: Proceedings]. Makhachkala: ALEF, 2011. Pp. 309 – 314. (rus) .
10. Mirsoyev E.M.-R. Alishaev M.G. The theoretical grounds of soil desalinization by sprinkling and development of difficult meliorated grounds of Daghestan. Makhachkala, 1990. 168 p. (rus)
11. Petin Yu.M. The new generation of heat pumps for heat supply and efficiency of their use in Russia // Perspektivy energetiki, 2004. V.8. Pp. 27 – 38. (rus)
12. MU. Soil, cleaning of populated areas, domestic and industrial waste, sanitary protection of soil. Hygienic assesment of soil quality for populated area: 2.1.7.730-99. (rus)
13. Sokolov E.Ya., Brodyanskiy V.M. Energy grounds of heat transformation and cooling processes. M.: Energiya, 1967. 336 p. (rus)
14. Solozhenkin P.M., Zubuli A.I., Catsoyannis I.A. The sewage treatment from arsenic compounds by chemisorption filtration method // Chimicheskaya Tekhnologiya, 2007. V.8. №6. Pp. 277-283. (rus)
15. Sibiriyakov A. Iron oxide sorbent for water preparing // Materialy 9 Mezhdunarodnogo vodnogo foruma "EKVATEK-2010" . M.: MVTs "Krokus Ekspo", 2010. (rus)
16. Fortov V.E., Shpilrain E.E. Renewable energy sources on the energy scene of the world // Renewable energy: Problems and Prospects / Proceedings of International Conference. V.1. Makhachkala, 2005. Pp.14 – 30. (rus)
17. Shpilrain E.E. Environmental aspects of renewable energy sources utilization for decentralized energy supply // Perspektivy energetiki, 2002. V.5. Pp. 299 – 306. (rus)

УДК 502/504

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КИПЕНИЯ ОЗОНОБЕЗОПАСНОГО ХЛАДАГЕНТА R410A В ИСПАРИТЕЛЯХ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН

© 2012 Букин В.Г д.т.н., Хо Вьет Хынг.

Астраханский государственный технический университет

В работе приведены результаты экспериментального исследования теплообмена при кипении озонобезопасного хладагента R410A в испарителях холодильных машин и возможность его использования вместо запрещаемого фреона R22.

The results of experimental research boiling heat transfer of ozone-friendly R410A refrigerant in evaporators machines and the possibility of its use in place of the prohibited refrigerant R22

Ключевые слова: озонобезопасный, теплоотдача, кипение, хладагент.

Keywords: ozone-safe, heat transfer, boiling, refrigerant.

В последнее время большое внимание уделяется взаимодействию фреонов с окружающей средой или их экологической опасностью. По степени разрушения озонового слоя различают хладагенты класса ХФУ (хлорфторуглероды) чрезвычайно вредные для окружающей среды, например R12; ГХФУ (гидрохлорфторуглероды) менее вредные для окружающей среды, например R22; ГФУ (гидрофторуглероды) безопасные для окружающей среды - хладагенты будущего.

В России активно продолжается процесс перехода на экологически безопасные хладагенты. В Астраханском государственном техническом университете на кафедре холодильных машин выполнены исследования по замене экологических вредных фреонов [1]. Хладагент класса ГФУ R410A является перспективным хладагентом, который представляет собой смесь в равных массовых долях озонобезопасных хладагентов R32 и R125, с нулевым значением потенциала разрушения озона (ODP=0), потенциал глобального потепления (GWP) в 4,5 раз меньше, чем у фреона R12. Исследований по теплоотдаче при кипении R410A на трубах с развитой поверхностью к настоящему времени недостаточно, поэтому работы хладагента R410A в испарителях холодильных машин являются актуальными.

Для изучения этого вопроса было проведено эксперименты на стенде и по методике, описанной ранее [2].

Высокая интенсификация кипения может быть получена на трубах с частично замкнутым объемом. Трубы с частично замкнутым объемом используемые в данной работе запатентованы авторами. [3]