

## ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА

И.О. Кириенкова, А.В. Львов, Л.А. Ничкова

ФГАОУ ВО Севастопольский государственный университет,  
РФ, г. Севастополь, ул. Университетская, 33  
E-mail: *nichkova@sevsu.ru, KirienkovaIO@sevastopolteplo.ru*

Статья посвящена поиску оптимального решения проблемы водообеспечения для Крымского полуострова. Выявлены основные источники водопользования, обоснован выбор в пользу подземных вод. Исходя из анализа качества воды различных скважин, выбран способ обеззараживания – с помощью гипохлорита натрия (ГХН) и умягчения воды посредством катионирования или электролиза. После такой очистки качество воды соответствует требованиям к питьевой воде. Главным достоинством предложенного решения является экономичность и высокая эффективность очистки.

**Ключевые слова:** источник водоснабжения, водоносный горизонт, обеззараживание, гипохлорит натрия (ГХН), умягчение, качество питьевой воды.

Поступила в редакцию: 17.01.2019. После доработки: 25.02.2019.

**Введение.** На современном этапе развития человечество использует огромное количество природных ресурсов, необходимых для его жизнеобеспечения. В частности, рост численности населения, хозяйственная деятельность человека влекут за собой загрязнение поверхностных вод, что на сегодняшний день считается одной из глобальных проблем. В результате загрязнения возникает проблема обеспечения людей водой промышленного, бытового назначения, питьевой водой. Особые требования выдвигаются к питьевой воде и нужно искать рациональный выход из сложившейся ситуации.

**Основная часть.** Целью данных исследований является поиск решения проблемы водообеспечения Крымского полуострова. Задачи данной работы: анализ альтернативных источников водоснабжения, исследование качества подземных вод, обоснование выбора стадий водоподготовки. В связи со сложившимися обстоятельствами, произошедшими в марте 2014 г. – включения Республики Крым и г. Севастополя в состав Российской Федерации, Крымский полуостров лишился основного источника водоснабжения. Украина перекрыла доступ к Северо-Крымскому каналу, после чего начались поиски решения данной проблемы. Были определены

следующие варианты, которые позволили бы в кратчайшие сроки обеспечить достаточным количеством пресной питьевой воды Крым и г. Севастополь, а именно опреснение морской воды, рациональное использование водохранилищ, добыча подземных вод.

Водоохранилища, существующие в Крыму, строились исходя из решения проблем конкретного населенного пункта. Одно из основных предназначений водохранилищ – использование в сельском хозяйстве, для которого объем добываемой воды недостаточно. Значительная часть водохранилищ строилась еще в 30–50-е годы XX в. и сегодня их использование нерационально, т.к. берега водохранилищ не укрепляются, не производится регулярная очистка дна, не регулируются притоки, особенно во время весенних паводков, значительная часть вод сбрасывается мимо водохранилищ и т.п. И все же основным источником водоснабжения г. Севастополя является Чернореченское водохранилище, которое относится к самым крупным водохранилищам в Крыму и имеет объем 64,2 млн м<sup>3</sup>. По состоянию на 30 марта 2017 г. объем воды в водохранилище составил 45,891 млн м<sup>3</sup>. Как видно запасы меньше максимально возможного, а пополнение водохранилища водами рек не осуществляется из-за малого количе-

ства осадков и продолжительных засушливых дней. По многолетним наблюдениям особенности распределения стока р. Черная и водоотдачи Чернореченского водохранилища создает периодическая угроза дефицита воды в системе водоснабжения г. Севастополя [1]. Всего в Крыму насчитывается 23 водохранилища. К числу крупных водохранилищ относят Альминское, Бахчисарайское, Тайганское и Белогорское – для обеспечения Бахчисарайского, Белогорского, Севастопольского районов, Аянское и Симферопольское водохранилища – для водоснабжения Симферополя, Счастливинское – для водоснабжения ЮБК, Керченское – для г. Керчь, а также Межгорное водохранилище, в котором можно запастись большими объемами воды.

Крымский полуостров, благодаря своему климату и рельефу, обладает большими запасами подземных вод. В горной части Крымского полуострова преобладают трещиноватые и закарстованные известняки, которые собирают в свои подземные резервуары всю атмосферную влагу, а также они способны питаться водой из подземных рек. В неогеновых отложениях равнинного Крыма подземные воды получают питание с Тарханкутского плато. В юго-западной части Керченского полуострова подземные воды находятся в песчаных слоях в верхней части толщи палеогеновых глин, через которые воды не могут пробиться. В северо-восточной части Керченского

полуострова находится ряд разобщенных малых артезианских бассейнов [2].

Например, в Евпаторийском и Сакском районах основным источником водоснабжения являются подземные воды, а именно Сарматский и Торгонский водоносные горизонты. В Феодосии – Субашский подземный источник, но он не является основным источником водоснабжения. Равнинный Крым в основном обеспечивают подземные воды Исходненского, Кумовского и Воронцовского водозаборов.

Наибольшее количество эксплуатационных запасов подземных вод, 666 тыс. м<sup>3</sup>/сут, или около 40% всех запасов подземных вод Крыма, принадлежит Северо-Сивашскому артезианскому бассейну. Значительные запасы подземных вод (452,0 м<sup>3</sup>/сут) принадлежат Альминскому артезианскому бассейну. Эксплуатационные запасы данного месторождения утверждены при СССР, и этих запасов хватит на долгое время. В пределах Горного Крыма эксплуатационные запасы подземных вод равны суммарно 261 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Что касается подземных вод в пределах г. Севастополя, то здесь располагается 5 основных водозаборов – Орловский с запасом 40 тыс. м<sup>3</sup>/сут, Инкерманский – 27,3 тыс. м<sup>3</sup>/сут, Любимовский – 9,5 тыс. м<sup>3</sup>/сут, Бельбекский – 3,5 тыс. м<sup>3</sup>/сут [1]. И этого количества недостаточно для полноценного обеспечения города и района водой. Расположение подземных вод представлено на рис. 1.

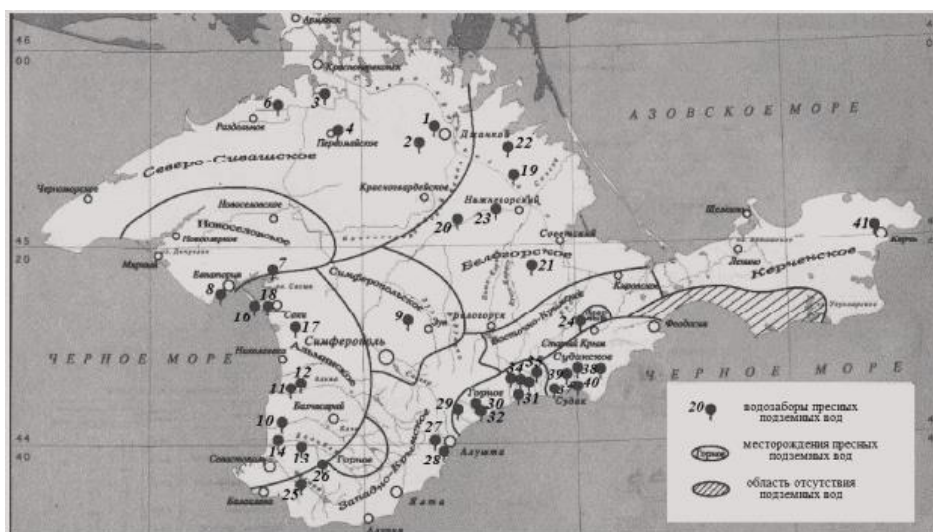


Рис. 1. Месторождения подземных вод Крымского полуострова [3]

Равнинная местность западного и восточного районов Крымского полуострова, близкое расположение к морю отражается на качестве грунтовых вод – они обладают повышенной минерализацией. Все природные воды по своему составу не являются абсолютно чистыми, они содержат в себе растворенные соли, газы и примеси. По степени минерализации, согласно классификации В.И. Вернадского, воды можно классифицировать следующим образом (единица размерности г/л):

- ультрапресные – до 0,1;
- пресные 0,1–1,0;
- солоноватые 1–10;
- соленые 10–50;
- рассолы – более 50.

Все вышеперечисленные типы вод используются в качестве питьевой или технической воды после соответствующей водоподготовки. В табл. 1 и 2 представлены данные анализа, проведенного авторами, подземных вод из скважин разных районов Крымского полуострова [4–6].

**Таблица 1.** Показатели качества воды из скважин г. Севастополя и Республики Крым [4, 6]

Показатель	Ед. измерения	Нормативы (ПДК), не более	Камышовая бухта	Гарнизон Кача	Евпатория, пгт Заозерное	Мыс Сарыч	с. Гончарное (колодец)	г. Феодосия	г. Керчь	Вязовая роща
1. Водородный показатель	рН	6–9	8,2	7,35	7,95	7	7,6	6,8	8–8,5	7,2
2. Сухой остаток	мг/л	1000	274	1083	640	220	600	306	7380	3700
3. Жесткость общая	мг-экв./л	7,0	4,1	10,1	5	7,3	2,3	5,75	57,5	53
4. Запах	баллы	2	1	1	0	0	0	0	0	0
5. Цветность	градусы	20	5	3	3	0	0	1	0	1
6. Мутность	ЕМФ	2,6	2	0,83	0,5	1	1	0	0	0
7. Железо общее	мг/л	0,3	<0,1	<0,1	0,1	0,01	-	0,1	0,015-0,02	0,02
8. Коли-индекс	ед.	3	8	0	0	0	0	0	0	0
9. Глубина	м	-	15	175	132	35	~5	49	29	52

Продолжение **Таблицы 1** [4, 5]

Показатель	Ед. измерения	Нормативы (ПДК), не более	Фиолентовское шоссе	пос. Андреевка	пос. Любимовка	с. Россошанка, Байдарская долина	Балка Голландия
1 Водородный показатель	рН	6–9	7,7	6,8	6,8	7,5	7,0
2. Сухой остаток	мг/л	1000	456	650	650	455	549
3. Жесткость общая	мг-экв./л	7,0	6,1	9,1	8,2	9,9	5,8
4. Запах	баллы	2	0	1	0	0	1
5. Цветность	градусы	20	2	3	0	0	0
6. Мутность	ЕМФ	2,6	0,55	0,5	0,6	0	2,8
7. Железо общее	мг/л	0,3	0,16	<0,1	<0,05	0,1	<0,05
8. Коли-индекс	ед.	3	5	0	7	0	6
9. Глубина	м	-		135	55	1027	121

В зависимости от степени минерализации воды находят различное применение. Для питьевых и хозяйственных нужд, для орошения допускается применение слабосоленых вод без их спе-

циальной подготовки. При соответствующей технологической подготовке воды с повышенной минерализацией доступны для любого назначения.

Исходя из классификации вод по

условиям залегания к источникам пригодным для питьевого назначения относят следующие:

– грунтовые воды – подземные воды, залегающие на глубине 1 м от поверхности земли в водоупорном слое, который, в свою очередь, может располагаться на глубине более 1,5 м. Грунтовые воды пригодны для питья, хотя легко подвергаются загрязнению. Уровень грунтовых вод колеблется в зависимости от сезона;

– межпластовые воды – подземные воды, залегающие между пластами водоупорных слоёв, но уровень воды в нём более постоянный, в отличие от грунтовых вод;

– артезианские воды. Данный водоносный горизонт залегает на глубине более 100 м. И если в предыдущих случаях копают колодцы, то здесь бурят скважины. Считается, что артезианская скважина обладает неограниченным дебетом, эти воды являются наиболее пригодными для питья.

Учитывая нормативные показатели качества питьевой воды, согласно Сан-ПиН 2.1.4.1074-01 [4], и сходя из представленного анализа, можно сделать вывод, что для употребления воды из данного метода обеззараживания. ГХН менее токсичен по сравнению с другими препаратами, содержащими активный хлор (диоксидом хлора, хлораминами). ГХН обладает эффектом последствия (в отличие, например, от ультрафиолетового обеззараживания) и при накоплении воды в емкостях и длительном ее хранении, предотвращает цветение воды (развитие фитопланктона), а также образование плесени и развитие паразитов. Технология подготовки питьевой воды с использованием ГХН надежна, проста в эксплуатации.

Центр спорта «Эволюция» в настоящее время применяет данный метод обеззараживания, предложенный авторами.

ГХН наиболее безопасный для подготовки питьевой воды. К достоинствам применения ГХН можно отнести следующее: производство дезинфектанта непосредственно на скважине на электролизной установке, и, как следствие, отсутствие затрат на покупку готового

ных скважин необходима ее предварительная обработка. В целом, по органолептическим показателям вода из скважин соответствует нормативам, поэтому обработка воды в данном случае должна включать обеззараживание, а также опреснение в связи с повышенной минерализацией вод отдельных районов и умягчение для снижения жесткости. Данные стадии водоподготовки общеизвестны и авторами они применялись непосредственно к конкретному источнику воды. В ходе работы были использованы методики исследования качества воды на определение следующих показателей: жесткость, сухой остаток, pH, общее содержание железа, в соответствии с ГОСТ Р 52407-2005, ГОСТ 18164-72, ГОСТ 4011-72 [7].

На основании исследований, проведенных авторами на скважине Центра спорта «Эволюция» в г. Евпатория, пгт. Заозерное [6], и обеззараживания воды с применением гипохлорита натрия (ГХН), полученного на электролизной установке на данном предприятии, что также апробировано авторами, можно убедиться в целесообразности и эффективности дезинфектанта и его транспортировку. Электролизный процесс получения дезинфектанта осуществляется с помощью специальных устройств – электролизеров. Сам по себе электролизный процесс является высокоэффективным и не требует значительных затрат на электроэнергию. В целом данный метод экономичный. После такой обработки вода соответствует нормативным требованиям по бактериологическим показателям.

Исходным сырьем для получения ГХН на электролизной установке является поваренная соль. Для обработки воды из подземных источников концентрация активного хлора в растворе, полученном на электролизной установке, составляет 7-8 г/л. И при определенных параметрических процессах до 10 г/л.

Согласно расчетам для обработки воды на скважине предприятия Центр спорта «Эволюция» требуемый расход активного хлора 30–40 г/ч, а суточный расход рабочего раствора ГХН до 100 л, при среднегодовой производительности

скважины 12,8 м<sup>3</sup>. При возможности бесперывной работы установки обеззасоривания в течение 8–16 ч [6].

Умягчение воды может осуществляться с помощью ионообменных смол. Такие фильтры эффективны при очистке разных объемов воды и больше подходят для умягчения воды в отдельных домах, квартирах или на малых предприятиях. Они эффективны и недорогостоящие. Устраняя с помощью ионообменных фильтров из воды соли жесткости, полезные компоненты сохраняются, в то время как, например, обратноосмотические установки дорогостоящи и способны превращать воду в дистиллят, практически полностью избавляя ее от полезных микроэлементов. В промышленных масштабах воду также умягчают катионированием, т.е. посредством фильтрования воды через гранулированный катионит, который представляет собой полимерную нерастворимую в воде кислоту, вступающую в ионный обмен с растворенными в воде солями кальция и магния, сорбируя их ионы из раствора и отдавая в раствор эквивалентное количество катионов.

Большим преимуществом катионитов является их повторное применение. Регенерация таких фильтров заключается в 3 этапах. Первый этап – взрыхление катионита с помощью обратного тока воды, т.е. напор воды подается снизу вверх. Сама регенерация заключается в промывании катионита насыщенным раствором поваренной соли. Задержанные катионитом ионы кальция и магния при такой регенерации, замещаются ионами натрия, т.е. восстанавливается обменная способность катионита, а CaCl<sub>2</sub> и MgCl<sub>2</sub> – продукты регенерации идут в канализацию, т.к. хорошо растворимы в воде. По окончании регенерации слой катионита промывают осветленной водой для удаления остатков продуктов регенерации, после чего начинают новый цикл умягчения. В результате использования поваренной соли не образуется накипь на теплонапряженной поверхности и сантехнике.

В настоящее время в России применяют сульфокатиониты (сульфоуголь), а также карбоксильные катиониты, кото-

рые пригодны для умягчения воды с высоким содержанием солей (применяются даже для морской воды). Сульфокатиониты содержат способные к обмену катионов активные сульфогруппы, карбоксильные катиониты – активные карбоксильные группы. В зависимости от степени ионизации активных групп, которая обусловлена их химической природой, определяется вероятный режим эксплуатации катионитов. Сильноионизованные катиониты (сильнокислотные), к которым относятся сульфокатиониты, способны к обмену в растворах с широким интервалом значений pH. Слабоионизованные катиониты (слабокислотные) – карбоксильные – могут обменивать ионы водорода на металл только в щелочных и лишь отчасти нейтральных растворах.

Еще одним эффективным способом умягчения воды является электродиализ, этот метод также был исследован и апробирован авторами. Электродиализ подразумевает процесс удаления из воды ионов растворенных веществ, посредством переноса их через ионообменные мембран (типа МК-40, МА-40) в поле постоянного электрического тока. Воздействие постоянного электрического тока позволяет выделить из раствора определенные ионы. Частицы с отрицательным зарядом отделяются от частиц с положительным зарядом, в результате их движения через мембрану к соответствующим электродам. В результате применения технологии электродиализа в анодной и катодной области собираются щелочные католиты и кислые анолиты, а опресненная вода выводится через другую часть аппарата. В отличие от обратного осмоса и ультрафильтрации процесс электродиализа позволяет удалять только ионы. Важно в процессе электродиализа предварительно обработать исходный раствор. Для этого обычно применяют регулирование величины pH или другого вида очистки, на основе химических или физических методов. Удаление взвешенных и коллоидных частиц также способствует улучшению работы мембран. Применяют неактивные (пористые) и активные (ионообменные) мембраны. Эффективность работы ионообменных мембран проверена авторами в ходе исследования. Также приме-

няют биполярные мембраны с последующим получением кислот и оснований из их солей. Основные требования к ионообменным мембранам: высокая селективность, электрическая проводимость, химическая стойкость и механическая прочность при работе.

**Заключение.** На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что оптимальным источником водоснабжения на Крымском полуострове являются подземные воды, запасы которых велики, но многие источники до сих пор остаются неизученными. Эксплуатация подземных вод не требует больших затрат. Исходя из приведенного анализа качества подземных вод, можно судить об их пригодности для использования, в том числе и для питьевого назначения, но только при предварительной подготовке. В ходе работы выделены основные этапы обработки воды из скважин: обеззараживание, избавление воды от солей жёсткости, частичное опреснение.

Анализ вод показал, что не все воды заражены болезнетворными вирусами и бактериями, но это абсолютно не означает, что в дальнейшем вода будет бактериологически безопасна. Преимущества обеззараживания на электролизной установке с помощью ГХН очевидны и описаны в работе. Удаление солей жесткости необходимо для предотвращения возникновения проблем со здоровьем, образования накипи нагревательных приборов, порчи сантехники и вещей при стирке. В качестве этапа умягчения предлагается катионирование, либо электродиализ, как наиболее рациональные и экономичные методы. Данная технология очистки может быть применена в любых регионах Республики Крым и г. Севастополя.

## INVESTIGATION OF QUALITY OF UNDERGROUND WATERS OF THE CRIMEAN PENINSULA

I.O. Kirienkova, A.V. Lvov, L.A. Nichkova

Sevastopol State University, RF, Sevastopol, Universitetskaya St., 33

The article focuses on the search for the optimal solution to the problem of water supply for the Crimean Peninsula. The main sources of water use are identified; the choice in favor of groundwater is justified. Based on the analysis of the water quality of various wells, a method of disinfection is chosen – with the help of sodium hypochlorite (SPCN) and water softening by cation. After this treatment, the water quality meets drinking water requirements. The main advantage of the proposed method is cost-effectiveness and high efficiency of cleaning.

**Key words:** water supply source, aquifer, disinfection, sodium hypochlorite, softening, drinking water quality.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Постановление* Правительства Севастополя от 02.03.2017 № 165-ПП «Об утверждении схемы водоснабжения и водоотведения города Севастополя на период до 2021 года с учетом перспективы до 2035 года». 2017. 120 с.

2. *Шутов Ю.И.* Воды Крыма. Симферополь: Таврия, 1979. 96 с.

3. *Каюкова Е.П., Барaboшкина Т.А., Косинова И.И.* Ресурсный потенциал пресных вод Крыма [Электронный ресурс] // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 2014. № 4. С. 106. Режим доступа: <http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/heologia/2014/04/2014-04-15.pdf> (дата обращения: 10.01.2019).

4. *СанПиН 2.1.4.1074-01.* Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. М.: Изд-во Рид Групп, 2012. 128 с.

5. *Актуальная информация об артескважинах, протоколы лабораторных измерений* Российского Федерального геологического фонда «Росгеолфонд» ГБУ Севастополя «Экоцентр», 2018 г.

6. *Кириенкова И.О., Львов А.В.* Решение проблемы подготовки воды питьевого назначения в Крыму // Развитие методологии современной экономической науки и менеджмента: материалы I Междисциплинарной Всерос. науч.-практ. конф. (г. Севастополь, 4-5 мая 2017 г.). 2017. С. 707–709.

7. *ГОСТ Р 51232-98.* Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества. М.: Стандартинформ, 2005. 21 с.