2. **Evchenko Victoria**, Post-graduate student of the Department of Technical Maintenance, of Machinery, Equipment and Life Safety, South Ural State Agrarian University, 454080, Chelyabinsk, prospect Lenina, 75, phone: +7 (351) 265-56-08, e-mail: vikylya1992-11@mail.ru.

3. **Popova Svetlana**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technical Maintenance, of Machinery, Equipment and Life Safety, South Ural State Agrarian University, 454080, Chelyabinsk, prospect Lenina, 75, phone: +7 (351) 265-56-08, e-mail: vetochka.79@mail.ru.

The increase in crop food production is directly related to the increase in crop yields. Higher yields depend on many factors, including seed germination of a specific crop. Pre-sowing seed treatment is one of the ways to increase seed germination. Ozone treatment of seeds is an environmentally friendly and cost-effective technique. The method belongs to the physical methods of pre-sowing treatment. Ozone treatment of seeds requires a rationale for the treatment modes and safety provisions. To provide the rationale a machine for the ozone treatment of seeds was developed. The machine is patented as a utility model. The paper provides a description of the machine design and operation. The experiment has resulted in timing the reduction of the ozone

concentration in the ozone treatment chamber to the MAC level when air is forced by the fan. The corresponding regression equations were deduced and the proportionality coefficient for the previously obtained theoretical dependence was found. They help time the reduction of the ozone concentration to the MAC level depending on the initial concentration of ozone in the seed treatment chamber, the chamber capacity, and the fan performance. With the right timing, experimental studies on justifying ozone treatment modes in various crops can be safely conducted. The timing was successfully used to justify an ozone treatment mode for marrow squash seeds. The experiment was conducted without damage to the personnel's health.

© Богданов А.В., Евченко В.В., Попова С.Ю.

УДК 628.1, 663.63

DOI: 10.31563/1684-7628-2020-53-1-131-141

А.И. Егоров, Д.П. Юхин

ОЦЕНКА НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЕМИНЕРАЛИЗОВАННОЙ ВОДЫ НА ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА И ИНЖЕНЕРНЫЕ КОММУНИКАЦИИ, ПОСРЕДСТВОМ УЧАСТИЯ БАРОМЕМБРАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ В УДАЛЕНИИ КРЕМНИЯ И БОРА

Ключевые слова: *очистка воды; водоподготовка; природная вода; соли; кремний; бор; обескремнивание; обесборивание; баромембранный метод; обратный осмос; деминерализация; обессоливание; питьевая вода; здоровье человека; коррозионность; агрессивность; нестабильность воды; стабилизационная обработка; минерализация воды; индекс карбонатного насыщения (Ланжелье); модельные организмы; контроль качества воды.*

Введение. Вода – это основа жизни на Земле и незаменимый энергетический ресурс для огромного количества технологий во всех отраслях промышленности. Общий объем ресурсов пресных вод Российской Федерации оценивается в 7770,6 км³, который постоянно сокращается.

«Доступ к безопасной воде – универсальная необходимость... и основное право человека», – задекларировала директор Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) Гру Харлем Брунтланн в речи, посвященной Международному водному дню 22 марта 2001 г., сфокусировав внимание на актуальности этой проблемы. В течение последних 50 лет ВОЗ занимается каче-

ством питьевой воды и его влиянием на здоровье людей. Одна из основных целей ВОЗ и ее членов состоит в обеспечении соблюдения права человека на доступ к питьевой воде: «Все люди независимо от стадии развития и социальных, классовых или экономических условий имеют право на источник безопасной питьевой воды». Основная функция ВОЗ в достижении этой цели – «предлагать нормы и давать рекомендации в отношении международных вопросов влияния качества воды на здоровье» [1].

В результате антропогенного влияния на окружающую среду с появлением новых отраслей промышленности и современных технологий, совершенствования существующих техно-

логических процессов в настоящее время возрастают и требования к уровню подготовки воды, используемой различными потребителями по назначению.

Для технологических процессов некоторых промышленных предприятий требования к качеству воды еще более «жесткие», чем к воде, используемой в питьевых целях. В частности, глубоко обессоленная вода широко используется предприятиями электронной и радиотехнической промышленности (для промывки некоторых видов продукции) и прочими [2].

Водоносные горизонты в большинстве случаев характеризуются повышенным содержанием железа, йода, брома, марганца, стронция и других нормируемых микроэлементов, однако существующая «стандартная» обработка подземных вод ограничивается, как правило, обеззараживанием, а иногда обезжелезиванием и деманганацией. Одной из важных причин, ограничивающих широкое использование «подземных» пресных вод является наличие в них кремния и бора. Около 60–65 % добываемого природного водного ресурса из подземных источников приходится на кремниевые и борсодержащие воды. На значительной части территории Российской Федерации (Сибирь, Дальний Восток, Кавказ и другие регионы) содержание кремния и бора в природных водах превышает установленные гигиеническими нормативами требования по ГН 2.1.5.1315-03 «Предельно-допустимые концентрации химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования» и ГН 2.1.5.2280-07 «Дополнения к изменению в ГН 2.1.5.1315-03» более 10 мг/дм³ (по кремнию) и более 0,5 мг/дм³ (по бору), что автоматически делает их непригодными для употребления в питьевых целях по СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества (Минздрав России)», указывая на их комплексную дополнительную очистку.

Мировой практикой давно доказано, что кремний является для человека незаменимым микроэлементом. Его можно обнаружить в крови, мышечной и костной тканях. По сути, он является строительным материалом, необходимым для образования и роста соединительной ткани человеческого организма (суставов, костей, кожи и т. д.). Также он помогает усвоению поступивших в организм минеральных элементов, способствует улучшению обмена веществ и транспортировке электрических сигналов по нервным волокнам.

Кремний попадает в организм человека вместе с потребленной пищей и водой, причем дан-

ный элемент наиболее продуктивно усваивается из состава жидкости (т. е. водной части).

Зарубежными руководящими документами (директивой ВОЗ, USEPA, ЕС), например, содержание кремния в питьевой воде не нормируется. Это вызвано отсутствием данных о токсичности этого элемента и его негативном влиянии на организм человека. Кремний (Si^{4+}) по существу не является ядом в случае перорального приема. Порог токсичности, который может вызвать летальный исход для организма человека (по кремнию), составляет 500 мг/день.

Кремний и бор широко распространены в природе, а системы водоподготовки, снижающие их концентрацию в воде, обладают зачастую высокой первоначальной стоимостью и являются затратными в обслуживании. Исходя из этого, потребность в глубокой очистке воды от кремния и бора в частном жилом секторе, где соблюдение норматива контролируется водопользователем в основном в индивидуальном порядке, зачастую отсутствует. Однако в процессе водоподготовки для промышленного сектора, организаций массового производства воды (в том числе коммерческого и технологического характера) соблюдение нормативного показателя по кремнию и бору является категорически обязательным требованием к качеству.

Для технических вод промышленного производства показатель, например, кремний нормируется отдельными руководящими документами. В первую очередь это относится к воде, используемой в производстве пищевых продуктов (алкогольных и безалкогольных напитков). Также норматив по содержанию кремния введен для питательной воды паросиловых котлов, так как кремний может являться источником образования силикатных отложений.

В случае превышения установленных нормативов в большинстве ситуаций возникает совершенно непростая задача очистки воды от кремния и бора при максимальном сохранении естественных минеральных компонентов (ингредиентов), «зарожденных» в природной воде.

Условия, материалы и методы исследования. Обескремнивание воды в сфере водоснабжения достигается известными методами [3]:

- осаждением известью;
- сорбцией гидроксидами железа, алюминия, оксидом или гидроксидом магния;
- фильтрованием через магнезиальный сорбент;
- фильтрованием через активный оксид алюминия и бокситы (с регенерацией загрузки 0,1 % раствором едкого натрия);
- обработкой воды перманганатом калия в слабощелочной среде, с коагулированием полиоксихлоридом алюминия марки «Аква-Аурат»;

- электрокоагулированием (на практике не нашел аудиторию для широкого применения);
- ионным обменом;
- мембранным разделением (обратным осмосом).

Выбор метода обескремнивания (удаления «силикатов») подземной природной воды с последующим использованием в питьевых целях зависит от требований, предъявляемых к концентрации кремниевых соединений в воде, определенного физико-химического состава, производительности установки, глубины очистки, выделенной площади под строительство, местных условий эксплуатации, с учетом потребности в регенерации или полной замене «очистного» материала, утилизации промывных вод, отработанных регенерационных растворов и осадков.

Обесборивание воды в сфере водоснабжения достигается известными методами, ориентированными на извлечение «бора» в основном из концентрированных рассолов:

- экстракцией;
- соосаждением и осаждением;
- электродиализом;
- ионным обменом;
- мембранным разделением (обратным осмосом).

Максимальная степень удаления (обессоливания, деминерализации) растворенных компонентов из воды обеспечивается обратноосмотическими мембранами высокого давления.

Рассмотрим подробнее в качестве доочистки питьевой воды очень современный на сегодняшний день и часто применяемый метод мембранного разделения («обратного осмоса»).

Обратный осмос (от греч. *osmos* «толчок, давление») – процесс глубокого извлечения растворенных веществ из воды мембранным методом с размерами частиц загрязнений 0,001–0,0001 мкм. Обратный осмос (размеры пор 1–15 Ангстрем, рабочее давление 0,5–8,0 МПа) применяется для деминерализации воды и задерживает практически все ионы на 92–99 %, а при двухступенчатой системе – до 99,9 %. Радиус молекулы воды составляет 1,36 Ангстрем.

Принцип действия основан на прохождении потока воды под давлением через полупроницаемые селективные мембраны. В результате этого поток воды разделяется на два направления: одна часть воды (чистый продукт (фильтрат) – «permeate») практически полностью обессоливается и поступает на целевое использование, а другая часть, содержащая соли (рассол, ретентат – «concentrate»), отводится в канализацию. Таким образом, в мембранном процессе, в отличие от фильтрации, происходит раз-

деление исходного потока смеси на два направления – очищенный пермеат и задержанный мембраной концентрат (т. е. узел мембранной фильтрации имеет один вход и два выхода, где часть воды постоянно расходуется на очистку мембраны).

Способность полупроницаемых мембран задерживать ионы растворенных веществ совпадает с рядом увеличения их энергии гидратации: $H^+ < NO_3^- < J^- < Br^- < Cl^- < K^+ < F^- < Na^+ < SO_4^{2-} < Ba^{2+} < Ca^{2+} < Mg^{2+} < Cd^{2+} < Zn^{2+} < Al^{3+} < Fe^{3+}$.

Лучше всех задерживаются (труднее проходят или вовсе не проникают через поры полупроницаемой мембраны) многовалентные ионы [4].

Научной теорией и производственной практической деятельностью подтверждены существенные недостатки «обратноосмотического» метода подготовки питьевой воды:

- отсутствие минералов в воде (высокая очистная способность) – глубокое обессоливание. Ухудшение органолептических (вкусовых) свойств воды;
- высокие требования к качеству воды перед подачей на установку «обратного осмоса» (определенные условия применения обратного осмоса [4]);
- неспособность в очистке воды от летучих веществ органического происхождения и остаточного хлора (размер данных микроэлементов меньше молекулы воды, поэтому наблюдается их проскакивание сквозь поры мембран);
- образование труднорастворимого осадка в теле мембраны (вероятен риск кальматации, закупоривания, относительного сдвига слоев рулона (так называемого эффекта «телескопинга»));
- большая «габаритность» общей установочной системы;
- высокая начальная стоимость и последующие эксплуатационные затраты;
- применение не дешевых малораспространенных реагентов для регенерации и определенные трудности с утилизацией регенерационных вод;
- недостаточно высокая производительность готовой продукции по «пермеату» (фильтрату);
- высокие потери ввиду особого принципа действия установки (систематический сброс промывной воды в канализацию). Образуется большой объем «концентрата» (20–25 % от всего объема поступающей на очистку воды);
- непрерывный режим работы установки (т. е. некоторые сложности при проведении ТО/ТР ввиду ограничения во временной остановке процесса);

- высокая чувствительность мембран к окислителям (хлору и озону), pH^+ и $T, ^\circ\text{C}$ воды;
- высокая чувствительность мембран к высушиванию и ошибкам персонала при консервации;
- непродолжительный срок службы мембранных элементов (особенно в случае серьезных нарушений эксплуатационных требований завода-изготовителя и условий их консервации).

Вода после глубокой обратноосмотической очистки, пройдя полупроницаемую мембрану аппарата, освобождается от растворенных солей (жизненно важных микро- и макроэлементов).

Специалистам в области водоподготовки должно быть хорошо известно, что качество питьевой воды непосредственно зависит от водисточника, эффективности барьерной функции водоочистной станции, технического и санитарного состояния транспортной системы.

Рисунок 1

Визуализация фильтрующей способности в зависимости от выбранного метода очистки воды

Медико-экологические аспекты питьевого водоснабжения. Результаты широкого круга целенаправленных научных исследований, проводимых во многих странах мира, позволяют говорить о сформировавшейся глобальной проблеме дефицита качественной воды, отражающегося на состоянии здоровья населения в связи с использованием некондиционных (обедненных солями) питьевых вод поверхностных и подземных источников. Серьезность ситуации заставила Генеральную Ассамблею ООН объявить 2005–2015 гг. Международным десятилетием действий «Вода для жизни».

Всем известно, что весь перечень нормируемых вредных химических веществ построен по принципу «не более» и еще не учитывает последствий использования вод, отличающихся «дефицитом» содержания ряда природных элементов. В то же время материалы ВОЗ отмечают

связь между возросшим количеством сердечно-сосудистых заболеваний с последующим летальным исходом и потреблением мягкой воды (бедной кальцием и магнием, посредством воздействия, например, баромембранной технологии («обратного осмоса») в удалении кремния и бора). Установлено, что ее потребление может привести к повышенному риску переломов, нейродегенеративным изменениям и некоторым видам рака. Смертность от сердечно-сосудистых заболеваний на 25–30 % выше среди людей, употребляющих для питья мягкую воду, содержащую менее 75 миллиграммов кальция и магния в одном литре воды. Еще в середине 1970-х годов Национальным исследовательским экологическим центром (г. Цинциннати) на основе данных, относящихся к 135 городам США, была показана отчетливая тенденция к уменьшению общего числа сердечно-сосудистых заболеваний по

мере роста жесткости потребляемой питьевой воды. Эти исследования, проводимые на «модельных организмах», касаются изучения влияния состава подземных вод на развитие гипертонии и атеросклеротического процесса. Изучение длительного действия питьевых вод с различным уровнем Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Pb^{4+} , Cd^{2+} позволило выявить доминирующую роль Cd^{2+} в формировании устойчивых гипертонических тенденций при сочетании его с повышенным содержанием Ca^{2+} и Mg^{2+} . Обратное соотношение концентрации взятых элементов приводило к тенденции понижения кровяного давления. Роль остальных элементов оказалась малозначимой. В то же время значительное снижение содержания Ca^{2+} в питьевой воде с повышенным содержанием Na^+ приводило к повышению кровяного давления по сравнению с тем, где количество кальция было на обычном уровне. Эти опыты явились основанием для суждений о защитной роли Ca^{2+} питьевых вод по отношению к гипертоническому воздействию других элементов (Na^+ , Cd^{2+}). Кроме того, было показано, что потребление мягких вод, содержащих Cd^{2+} и Pb^{4+} , способствовало развитию атеросклероза и повышению содержания холестерина в плазме крови. Присутствие в водах Ca^{2+} в количестве 100 мг/дм³ оказывало защитное («протекторное») действие по отношению к Cd^{2+} и Pb^{4+} , вызывающим атеросклеротические эффекты. Потребление только кальцинированных вод ($\text{Ca}^{2+} = 100$ мг/дм³), не содержащих иных ценных элементов, нарушало обмен липопротеинов и приводило к появлению атеросклеротических бляшек в аорте «модельных организмов» [5].

Возможные риски и последствия для здоровья и жизни человека, возникающие при употреблении деминерализованной или слабодеминерализованной воды в питьевых целях. В докладе Франтишека Козишека (Национальный институт общественного здоровья Республика Чехия) «Последствия для здоровья, возникающие при употреблении деминерализованной питьевой воды», представленном на встрече экспертов ВОЗ в 2003 году, говорится: искусственно обработанная деминерализованная вода, которую изначально получали методом дистилляции, а затем методом обратного осмоса, должна использоваться исключительно для промышленных, технических, лабораторных и иных целей [6] (т. е. не пищевых, не питьевых).

Немецкое Общество Питания пришло к подобным выводам и рекомендовало воздержаться от употребления дистиллированной воды. Общество в своем докладе поясняет, что жидкости человеческого организма всегда содержат элек-

тролиты (калий и натрий), концентрация которых находится под контролем самого организма. Всасывание воды эпителием кишечника происходит при участии ионов натрия. Если человек выпивает деминерализованную воду, кишечник вынужден «добавлять» ионы Na^+ к этой воде (т. е. возникают безвозвратные потери), извлекая их из организма и повышая дефицит полезных компонентов. Жидкость никогда не выделяется из организма в виде чистой воды, параллельно человек теряет и электролиты, поэтому необходимо пополнять их запас, употребляя пищу и качественную воду.

В процессе приготовления пищи на мягкой воде, прошедшей глубокий уровень очистки после установки «обратного осмоса», из продуктов (овощи, мясо, злаки) до 60 % теряются важные и полезные элементы.

Изначально было понятно, что «осмотически обработанная» вода является непригодной для потребления в пищу без дополнительного комплексного обогащения минеральными веществами, так как:

- деминерализованная вода имеет «бедные» и неприятные вкусовые характеристики;
- деминерализованная вода не является безопасной и полезной для здоровья и жизни;
- деминерализованная вода очень агрессивна и нестабильна, ее необходимо нейтрализовать, в противном случае подача ее в распределительную сеть будет сопровождаться негативными последствиями.

Утверждение о полезности «дистиллята» американскими учеными может быть принято только в случае кратковременного употребления в пищу такой воды и в малых количествах. Употребление дистиллированной воды плохо влияет на внутренние биохимические процессы организма человека. В частности, нарушается солевой баланс, выполняющий важнейшую функцию среди других обменных процессов биологического организма.

Солевой баланс отвечает за правильное сочетание количества и качества солей в физиологических и анатомических структурах человека. Нарушение этого баланса в большую сторону приводит к отложению солей, а в меньшую – к истончению тканей и, как следствие, к неправильной их работе.

Истончение костной ткани из-за нехватки солей делает кости хрупкими, и далее возможен целый спектр заболеваний, связанный с изменениями организма человека. Истончение хрящевой ткани делает хрящ менее эластичным, что в свою очередь приводит к истиранию его стенок и очень болезненным последующим заболеваниям.

Описывая другие симптомы, возникающие вследствие нехватки минералов в организме человека, можно перечислить ряд серьёзных расстройств:

- дефицит магния в организме вызывает прерывистое сердцебиение, мышечные судороги, гормональный дисбаланс, пародонтоз, повышенное кровяное давление;

- дефицит железа в организме вызывает анемию и синдром повышенной усталости;

- дефицит меди в организме вызывает дисфункцию щитовидной железы, ухудшение пищеварения, быстрое возникновение гематом. Поскольку большинство ферментов в почках являются зависимыми от меди, то его недостаток вызывает неправильную работу печени;

- дефицит цинка в организме вызывает анорексию, кожные расстройства, снижает либидо и ухудшает «вкусно-обонятельный» процесс;

- дефицит йода в организме вызывает сгущение желчи в желчном пузыре и дисфункции щитовидной железы;

- дефицит минеральных веществ (в том числе, фтор) в питьевой воде негативно сказывается на состоянии зубной эмали и т. д.

Как мы видим, минеральные микроэлементы, необходимые для сбалансированного обмена веществ, невозможно на 100 % восполнить биологическими добавками или какой-либо пищей, поскольку данные соли находятся в соединении с молекулами воды, которые обеспечивают доставку микроэлементов через мембраны тканей органов человека.

Если «обратноосмотическую» воду после воздействия мембранного метода пытаться минерализовать, т. е. обогатить полезными микроэлементами, которые прошли через поры полупроницаемой мембраны, то придется выполнять малоэффективные и практически непрерывные действия:

- во-первых, это двойная работа восполнения отнятого (т. е. натурального содержимого природного происхождения);

- во-вторых, минерализация «обратноосмотической» воды не обеспечивает в нужной мере гармоничного сочетания микроэлементов в водном соединении (имеет сниженный полезный эффект).

Представляется рациональным использовать системы очистки воды, которые позволяют минимизировать комплекс мер по восстановлению качества продукта. Всегда удобнее пользоваться продуктом, который не отнимает лишнего времени, обеспечивает надёжный и полезный результат.

На одной из рабочих встреч по подготовке руководства по качеству питьевой воды ВОЗ

рассмотрела вопрос о том, каким должен быть оптимальный минеральный состав деминерализованной воды. Эксперты сделали акцент на возможных неблагоприятных последствиях употребления воды, из которой удален ряд веществ, всегда присутствующих в натуральной питьевой воде. В конце 70-х годов ВОЗ стала спонсором исследований, которые могли бы дать основополагающую информацию для выпуска руководства по качеству обессоленной воды. Исследование проводилось группой ученых из Института общественного здоровья имени А.Н. Сысина и Академией Медицинских Наук СССР под руководством профессора Сидоренко и доктора медицинских наук Рахманина. В 1980 году был опубликован итоговый отчет в виде внутреннего рабочего документа. Он содержал следующий вывод: «Деминерализованная (обессоленная) вода имеет не только неудовлетворительные органолептические показатели, но и оказывает неблагоприятное влияние на организм человека и животных».

В рамках Отчета ВОЗ 1980 года было отмечено: «Употребление питьевой воды с низкой минерализацией способствует вымыванию солей из организма. Изменения водно-солевого баланса в организме человека были отмечены не только при употреблении деминерализованной воды, но и воды со слабой минерализацией от 50 до 75 мг/дм³».

После аналитической оценки гигиенических, органолептических свойств и иной информации ученые выдали полезные рекомендации по составу «обратноосмотической» воды:

- минерализация: 200–400 мг/дм³ (для хлоридно-сульфатных вод);

- минерализация: 250–500 мг/дм³ (для гидрокарбонатных вод).

Основываясь на доступных и достоверных данных, ученые-исследователи рекомендовали следующие концентрации кальция, магния и величину жесткости воды для питьевых целей:

- для магния: минимум 10 мг/дм³, оптимальное содержание 20–30 мг/дм³;

- для кальция: минимум 20 мг/дм³, оптимальное содержание около 50 (в диапазоне от 40 до 80) мг/дм³;

- для общей жесткости (суммарное содержание солей кальция и магния): 2–4 ммоль/дм³.

Рекомендации ученых-исследователей были основаны на экспериментальных данных, участие в которых принимали «модельные организмы» (крысы, собаки) и непосредственно «люди-добровольцы».

В процессе эксперимента учеными были изучены многие показатели: динамика массы

тела, метаболизм (основной и азота), ферментная активность, водно-солевой обмен и его регуляторная функция, содержание минеральных веществ в тканях и жидкостях организма, гематокритное число и активность антидиуретического гормона.

Институт медицины Национальной Академии наук США рекомендует суммарную дозу потребления фтора (из всех пищевых источников) 0,05 мг/кг массы тела человека, аргументируя это тем, что прием такого количества фтора (F^-) минимизирует риск заболевания кариесом, не провоцируя иных побочных отрицательных эффектов (например, флюороза). Необходимо еще учитывать местные климатические условия, в которых потребляется вода, обогащенная F^- .

За последние три десятилетия деминерализация получила широкое распространение как метод обеспечения «питьевой» водой и массового ее потребления. В мире существует свыше 11 тысяч предприятий, выпускающих деминерализованную и слабодеминерализованную воду. Суммарный выпуск готовой продукции оценивается в 6 миллиардов галлонов (22,7 млрд литров) воды в день. В некоторых регионах, таких как Средневосточная и Западная Азия, этим способом производится более половины всей питьевой воды. Как правило, деминерализованная вода подвергается дальнейшей обработке: в нее добавляют различные соли, перемешивают («купажируют») с малыми объемами сильноминерализованной воды для улучшения вкусовых характеристик и придания некоторых полезных свойств и уменьшения агрессивности по отношению к распределительным сетям и сантехническому оборудованию. Тем не менее, деминерализованные воды могут сильно различаться по своему составу, например, по минимальному содержанию минеральных солей.

Потенциальная возможность негативного воздействия деминерализованной воды на здоровье человека заинтересовала не только страны, в которых остро ощущается нехватка питьевой воды, но и те локации, где наиболее «популярны» бытовые системы ее обработки, а также использование «бутилированной» продукции. Некоторые марки «бутилированной» питьевой воды представляют собой деминерализованную воду, немного обогащенную минеральными веществами для «придания» ей благоприятных вкусовых характеристик.

Возможные негативные последствия от систематического употребления деминерализованной воды в питьевых целях:

- отрицательное воздействие на слизистую оболочку кишечника, желудочно-кишечный

тракт, метаболизм и гомеостаз минеральных веществ, и другие функции организма;

- недостаточное поступление (или полное прекращение) в организм кальция и магния;
- недостаточное поступление ряда жизненно важных «макро- и микроэлементов»;
- потери кальция, магния и других ценных элементов в процессе приготовления пищи;
- поступление в организм токсичных металлов.

В контексте вышесказанного производство и обеспечение водой, обедненной солями и минералами (после «обратного осмоса»), направлено вразрез с ключевой концепцией: «Питьевая вода должна быть безопасной в эпидемиологическом и радиационном отношении, безвредной по химическому составу, должна иметь благоприятные органолептические свойства и обязательно быть полезной для здоровья человека и животных».

Многие крупнейшие государственные и коммерческие компании в рамках собственной разработанной Политики «в области охраны труда, промышленной, пожарной и экологической безопасности» при осуществлении всех видов деятельности признают приоритетом жизнь и здоровье работников перед результатами производственной и экономической деятельности.

Возможные последствия от воздействия деминерализованной воды на состояние инженерных коммуникаций (сетей холодного и горячего хозяйственно-питьевого водоснабжения). Основные проблемы, возникающие при эксплуатации инженерных систем, – накипеобразование (отложение солей), коррозия (поглощение тела металла) и микробиологическое обрастание (биопрцессы).

Для предотвращения негативных процессов, влияющих на работу систем водоснабжения и теплоснабжения, требуется специальная обработка (подготовка) воды, выбор методов которой обусловлен такими ключевыми специфическими показателями качества, как агрессивность и коррозионность.

Понятие «коррозионность» относится к коррозионным свойствам воды, характеризующим отношение раствора к металлу трубопроводной системы и емкостных сооружений. Коррозионность (абсолютная) обусловлена химическим составом и температурой воды.

Оценка коррозионно-опасных и накипеобразующих развитых свойств воды основана на рассмотрении карбонатного равновесия с учетом влияния температуры воды и общей минерализации (солесодержания).

Одним из широко распространенных расчетных критериев оценки стабильности воды и в

настоящее время является индекс карбонатного насыщения (индекс Ланжелье, I_L):

$$I_L = pH - pH_s,$$

где pH – величина водородного показателя (pH) исходной воды, ед. pH^+ ; pH_s – величина pH равновесного насыщения воды карбонатом кальция, ед. pH^+ .

В 1936 году американский ученый Ланжелье (W.F. Langelier) предложил использовать разработанную им формулу для оценки стабильности (термостабильности) раствора (таблица 1).

При величине $I_L = 0$ вода считается стабильной, при $I_L < 0$ – вода агрессивна, при $I_L > 0$ – вода пересыщена по карбонату кальция (имеет склонность к образованию накипи $CaCO_3$).

Возможные негативные последствия от воздействия деминерализованной воды:

- снижение качества воды посредством растворения металла из тела трубопроводов;
- сокращение срока эксплуатации трубопроводного транспорта и емкостных сооружений (старение, износ, «эрозия металла», ослабление прочностных характеристик и прочее);
- утечки питьевой воды из сети (рост безвозвратных потерь в окружающую среду и снижение рентабельности производственного процесса);
- негативное воздействие на окружающую среду при утечках в сети и коррозии металла.

В период эксплуатации систем и сооружений по добыче сырой и подготовке питьевой воды производился отбор проб и лабораторный контроль показателей качества «исходной и питьевой» воды с анализом ее стабильности, агрессивности (согласно таблице X.3 – Степень агрессивного воздействия жидких неорганических сред на металлические конструкции по СП 28.13330.2012 «Защита строительных конструкций от коррозии. Актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85»), оценкой коррозионности в отношении тела металла трубопроводов и емкостных сооружений. В рамках установленной методики по СНиП 2.04.02-84* «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» произведен практический расчет (таблица 1) показателя насыщения $CaCO_3$ двух проб воды на основании полученных результатов химико-аналитического (лабораторного) контроля качества.

Результаты исследования и обсуждение.

Исходя из полученных расчетно-эксплуатационных значений, наблюдаем следующее. В соответствии со шкалой $-3,0 < I_L < +3,0$ (таблица 2) даже природная вода выходит за пределы минимального оценочного критерия «индекса Ланжелье» на 11 %. Поэтому исходная и очищенная вода относятся к средам с «чрезвычайно высокой коррозией» (подтверждением этому также является низкая минерализация (таблица 1)) – способность воды к поглощению.

Таблица 1 Результаты измерений и расчета индекса карбонатного насыщения

Назначение водного ресурса	Фактические характеристики, свойства воды и расчетные показатели	Величина	Индекс Ланжелье (LSI)
Исходная (природная) вода «до очистки» (по проекту относится к «ультрапресной воде»)	Водородный показатель, ед. pH^+	6,60	–3,33
	Общее солесодержание (TDS), мг/дм ³	52,00	
	Жесткость по $CaCO_3$, мг/дм ³	12,02	
	Щелочность по $CaCO_3$, мг/дм ³	16,03	
	Температура, °C (по шкале Цельсия)	7,20	
	A (расчетный показатель)	0,0716	
	B (расчетный показатель)	2,4392	
	C (расчетный показатель)	0,6800	
I_{L1} («до очистки») = $pH - pH_{S1} = 6,6 - ((9,3 + 0,0716 + 2,4392) - (0,6800 + 1,2050)) \approx -3,33$		1,2050	
Очищенная (питьевая) вода «после очистки» (баромембранные технологии («обратный осмос») не применялись в процессе водоподготовки)	Водородный показатель, ед. pH^+	6,50	–3,59
	Общее солесодержание (TDS), мг/дм ³	51,20	
	Жесткость по $CaCO_3$, мг/дм ³	8,02	
	Щелочность по $CaCO_3$, мг/дм ³	15,63	
	Температура, °C (по шкале Цельсия)	8,20	
	A (расчетный показатель)	0,0709	
	B (расчетный показатель)	2,4189	
	C (расчетный показатель)	0,5040	
I_{L2} («после очистки») = $pH - pH_{S2} = 6,5 - ((9,3 + 0,0709 + 2,4189) - (0,5040 + 1,1940)) \approx -3,59$		1,1940	

Также необходимо учесть, что наряду с фактической нестабильностью воды (проявлением агрессивности, коррозионности) в водных средах систем водоснабжения и теплоснабжения также содержится растворенный кислород, ко-

торый соответственно сохраняет свое присутствие и усиливает влияние жидкости на металлические поверхности контакта в момент нагрева теплоносителя (например, для нужд теплоснабжения ($t^0_{\text{воды}} = +70-95$ °C) и горячего

хозяйственно-питьевого водоснабжения ($t^0_{\text{воды}} = +60-75\text{ }^{\circ}\text{C}$)) и имеет высокую концентрацию O_2 , в 150–200 раз превышающую нормативное значение (по растворенному кислороду – для «закрытых» систем отопления: 0,05 мг/кг). С учетом полученных данных (таблица 1), агрессивное действие воды в сочетании с повышенной температурой (в процессе ее подогрева) и в присутствии растворенного кислорода / углекислоты CO_2 , существенно ускоряет деструкцию (сокращение полезного ресурса, повышение

амортизации): котлоагрегатов, теплообменных аппаратов, инженерных металлических сетей горячего водоснабжения и внутренней поверхности емкостных сооружений хранения воды (для слабо подогретых сред: $+18-25\text{ }^{\circ}\text{C}$), что в свою очередь будет сопровождаться незапланированным капитальным ремонтом систем и сооружений жизнеобеспечения, дополнительным расходованием денежных средств компании и соответственно снижением общей рентабельности по результатам данной эксплуатации.

Таблица 2 Нормативные значения для оценки индекса карбонатного насыщения

Индекс Ланжелье (LSI)	Характер, степень воздействия водной среды (раствора)
+3,0	Чрезвычайно высокое накипеобразование
+2,0	Очень высокое накипеобразование
+1,0	Серьезное накипеобразование
+0,5	Тенденция к накипеобразованию
+0,2	Легкое накипеобразование
0,0	Стабильный раствор
-0,2	Очень легкая степень коррозии
-0,5	Легкая степень коррозии
-1,0	Тенденция к коррозии
-2,0	Очень высокая коррозия
-3,0	Чрезвычайно высокая коррозия

Одним из альтернативных вариантов в искусственной обработке воды, заключающейся в повышении ее минерализации и снижении агрессивности, коррозионной активности, является технологическое решение по «стабилизационной обработке» (с добавлением, например, суспензии гашеной извести $\text{Ca}(\text{OH})_2$ или Na_2CO_3) и параллельному «ингибированию трубопроводов» (например, раствором триполифосфата натрия), дозированием химических реагентов для корректировки индекса карбонатного насыщения (Ланжелье) в воде с ориентацией его в комфортную зону (рабочий диапазон) и систематическим выполнением мониторинга «чувствительности» величины водородного показателя. Оптимальная величина индекса карбонатного насыщения находится зачастую в интервале значений от 0,0 до +0,2 (уточнение производится по результатам практической деятельности в соответствии с местными и иными условиями) – относится к стабильной воде. Стабильность – это свойство воды не выделять и не растворять осадок карбоната кальция. При нарушении стабильности вода способна растворять защитные пленки на внутренней поверхности трубопроводов в результате появления в воде угольной кислоты / CO_2 в агрессивной форме, что наблюдается в работе.

Согласно расчетно-эксплуатационным результатам, вода изначально имеет отрицательный показатель (индекс) карбонатного насыщения, который еще «до очистки: $-3,33$ » ниже на 11 % нормативно-минимального значения « $-3,0$ » (таблица 2), а «после очистки» снижается еще на

7,81 % от исходной величины и составляет « $-3,59$ ». Это подчеркивает рост степени агрессивности, коррозионной активности воды по отношению к металлу транспортной системы при условии максимального сохранения первоначального состава в процессе ее обработки (по проекту предусмотрено: химическая обработка воды реагентами (окислитель (озон), коагулянт, флокулянт) и доочистка посредством напорных механических каркасно-засыпных фильтров: песок (I-я ступень), цеолит (II-я ступень) и уголь активный сорбционный «АГ-3» (III-я ступень).

В рамках предмета обсуждения данной работы, связанной с удалением, в частности, кремния (кремниевой кислоты) из природной воды, целесообразно переориентировать свое внимание с первоначального выбора (на перспективу) метода «обратного осмоса» в сторону адаптации на установке более гуманного варианта ее обработки (рисунок 1), расположенного на пограничном уровне очистки «микрофильтрация – ультрафильтрация» (0,03–0,06 мкм).

Выводы. Анализ данных литературных источников [1–6] и расчетно-эксплуатационных результатов, представленных в работе, позволяет более глубоко проникнуть в суть проблемы и прийти к выводу о целесообразности сохранения полезных и безопасных для здоровья и жизни человека, безвредных (в техническом отношении) для инженерных коммуникаций свойств воды, а сторонникам производства «идеально чистой (деминерализованной) воды» рекомендуется вовлекать и строго соблюдать

технологии искусственной минерализации с подбором правильного состава (рецептуры) минеральных ингредиентов в зависимости от климатических и иных условий, водных проблем региона, употребляющего питьевую продукцию, и соответственно от требований СанПиН 2.1.4.1116-02 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды, расфасованной в емкости. Контроль качества» в случае применения баромембранной технологии («обратного осмоса высокого давления») в удалении, например, кремния и бора.

Учитывая изложенные научно-исследовательские [5–6] и полученные производственно-эксплуатационные (таблица 1) фактические результаты, очень глубокий метод «деминерализации» воды (в случае, например, удаления избыточного кремния и бора с применением «обратного осмоса высокого давления») может быть губительным в отношении здоровья человека и повлечет к необратимым сложным последствиям в сфере жизнеобеспечения и производства. Поэтому, чтобы понизить порог концентрации кремния в фильтрате обрабатываемой воды с 12–15 мг/дм³ до 10 мг/дм³ и менее, не обязательно привлекать в водоподготовке «мощные» баромембранные технологии с высокой селективной способностью. Целесообразным действием в подборе методов очистки считается ориентирование на наиболее «гуманные» и в то же время эффективные варианты в отношении минимизации «стрессового» воздействия на солевой состав, свойства обрабатываемой воды.

Каждый из нас также должен понимать, что максимально сохранив природные свойства, состав воды в процессе ее подготовки для питьевых нужд, мы никогда не восстановим в полной мере утраченную жизненно важную и полезную ее ценность даже посредством профессиональной искусственной обработки (минерализации, кондиционирования), которую в нее изначально заложила «природа». Тем более, если обратиться к источнику [4], по уровню задержания растворенных и иных загрязнений «обратный осмос» расположен в самом конце «технологической очистной линейки» (рисунок 1), держа устойчивый курс на получение высокого показателя КПД очистки с самой высокой степенью обессоливания – до 98–99 %.

Концепция данного метода автоматически формирует выражение: «Лучшее – враг хорошего!»

Поэтому крайне важно найти равновесный баланс / компромисс между степенью (глубиной) очистки воды, здоровьем человека и комфортным функционированием инженерных коммуникаций, извлекая из этого основные ценности для каждой из сторон в конкретном эксплуатационном регионе.

Коллеги, надеюсь, после такого никто из нас не останется равнодушным к здоровью людей и техническому состоянию коммуникаций, сохранив и то, и другое, как общественно значимые и незаменимые жизненные ценности, приложив к производству питьевой воды свои профессионализм и душу!

Библиографический список

1. Зуев, Е.Т. Питьевая и минеральная вода. Требования мировых и европейских стандартов к качеству и безопасности [Текст] / Е.Т. Зуев, Г.С. Фомин. М.: Протектор, 2003. 320 с., ил.
2. Латышева, Е.А. Обессоливание воды [Текст]: учебно-методическое пособие по выполнению курсового проекта / Сост.: Е.А. Латышева, Е.А. Мезенева, С.В. Колобова. Вологда: ВоГУ, 2016. 56 с.
3. Фесенко, Л.Н. К выбору метода удаления бора из кремнийсодержащих артезианских вод [Текст] / Л.Н. Фесенко, Р.В. Федотов, С.И. Игнатенко // Водоснабжение и водоотведение Мегаполиса. II-я Международная конференция, посвященная памяти академика РАН С.В. Яковлева. М., 2011. 338–345 с.
4. Беликов, С.Е. Водоподготовка [Текст]: справочник / Под ред. д. т. н., действительного члена Академии промышленной экологии С.Е. Беликова. М.: Аква-Терм, 2007. 240 с.
5. Эльпинер, Л.И. Медико-экологические аспекты кризиса питьевого водоснабжения: гигиена и санитария [Текст] / Л.И. Эльпинер. М., 2013. 38–44 с.
6. Всемирная организация здравоохранения. Нутриенты в питьевой воде. Вода, санитария, охрана здоровья и окружающей среды: вред деминерализованной воды – TestAqua [Текст]. Женева, 2005. 50 с.

Сведения об авторах

1. **Егоров Александр Иванович**, соискатель, руководитель группы по обслуживанию оборудования водоснабжения и водоотведения, ООО «Газпром добыча шельф Южно-Сахалинск», ПАО «Газпром», e-mail: alex.shtorm@mail.ru.

2. **Юхин Дмитрий Петрович**, кандидат технических наук, доцент кафедры теплоэнергетики и физики, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, 450001, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, д. 34, e-mail: amelenteva@mail.ru.

В работе внимание сосредоточено на общественно значимых аспектах: оценка возможных последствий для здоровья и жизни человека при длительном употреблении в питьевых целях «деминерализованной» или, наоборот, «модифицированной» (с корректированным минеральным составом, искусственно обогащенной солями) воды; оценка достаточности минимального, а также оптимального содержания важных для человека элементов (минералов) в питьевой воде с целью удовлетворения качества продукции технологическим, санитарным и иным нормам, исключая вред здоровью и жизни человека; оценка негативного воздействия «деминерализованной» воды на инженерные коммуникации (сети холодного и горячего хозяйственно-питьевого водоснабжения). Описана вероятность ком-

плексного негативного воздействия «деминерализованной» воды на здоровье и жизнь человека и инженерные коммуникации (трубопроводный транспорт) готовой питьевой продукции, произведенной посредством участия баромембранной технологии (в частности, метода «обратного осмоса высокого давления»), с привязкой к технологическому процессу «обескремнивания и обесборивания» подземной природной воды. Произведены литературный обзор, оценка результатов химико-аналитического контроля фактического водного ресурса «до и после очистки», расчет с анализом индекса карбонатного насыщения (Ланжелье) и оценка необходимости перспективной адаптации «обратного осмоса» на действующей блочно-модульной типовой станции очистки природной воды.

A. Egorov, D. Yukhin

NEGATIVE EFFECT OF DEMINERALISED WATER ON HUMAN HEALTH AND PROCESS UTILITIES DUE TO BAROMEMBRANE TECHNOLOGY OF SILICON AND BORON REMOVAL

Key words: *water purification; water treatment; natural water; salts; silicon; boron; silicon removal; boron removal; baromembrane method; reverse osmosis; demineralisation; desalination; drinking water; human health; corrosion; aggressiveness; water instability; stabilisation treatment; water mineralisation; Langelier saturation index; model organisms; water quality control.*

Authors' personal details

1. **Alexander Egorov**, external Post-graduate student, head of the group for servicing water supply and sanitation equipment, «Gazprom dobycha shelf Yuzhno-Sakhalinsk», Public Joint Stock Company Gazprom, e-mail: alex.shtorm@mail.ru.

2. **Dmitry Yukhin**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Heat and Power Engineering and Physics, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State Agrarian University», 450001, Ufa, 50-letiya Oktyabrya St., 34, e-mail: amelenteva@mail.ru.

The study deals with the following aspects: it assesses the possible implications of both demineralised and modified (adjusted mineral composition and fortified with salts) water used for drinking purposes on human health and life; it also evaluates adequacy of the minimum and optimal content of essential elements (minerals) in drinking water to meet the technological, sanitary and other standards, and eliminate a bad impact on human health and life; it assesses the negative effect of the demineralised water on process utilities (cold and hot utility and drinking water supply). The paper describes the potential negative effect of the demineralised water on human health and life as well on drinking

water process utilities (pipeline transport). The demineralised drinking water is produced based on the baromembrane technology (high-pressure reverse osmosis) and associated with the technological process of removing silicon and boron from underground natural water. The study reviewed the available literature sources, evaluated results of the chemical and analytical control performed on the water resource before and after the water treatment (pre-and post-treatment), analysed and identified the Langelier saturation index and estimated the need to adapt the «reverse osmosis» method for the existing block and modular plant of natural water treatment in the long run.

© Егоров А.И., Юхин Д.П.