

УДК 378.016:62; 628.1

Л. В. Медведева^а, Г. В. Макаrchук^б, С. М. Саркисов^б

^а *Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы
МЧС России им. Героя России Е. Н. Зиничева*

^б *Военный институт (инженерно-технический) ВAMTO им. генерала армии А. В. Хрулёва*

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОПЕРАТИВНОГО ВОДООБЕСПЕЧЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ОПАСНОСТЕЙ

В зонах экологических опасностей и при отсутствии централизованной поставки доброкачественной воды знание доступных способов безопасного водообеспечения становится для человека условием сохранения жизни. Чрезвычайную актуальность проблема безопасного водообеспечения приобретает в зоне экологических рисков катастрофических воздействий (зона боевых действий). Для решения данной проблемы необходимо исследовать, систематизировать и апробировать способы оперативной водоочистки и оперативного обеззараживания, осуществление которых не требует специальной подготовки и может быть реализовано доступными средствами в полевых условиях от всех известных видов экологической опасности (распространение токсикантов, загрязнение воды, почвы и воздуха), обусловленных антропогенными причинами (военные действия). Авторами проведено исследование методов и способов оперативной очистки и обеззараживания воды, которые не требуют создания специальных лабораторных условий и могут быть реализованы с помощью доступных средств любым человеком. В условиях экологических опасностей, а также в зонах с высоким риском эпидемиологической опасности, для решения задач безопасного водообеспечения авторами рекомендовано использовать: способы оперативного удаления из природных вод грубодисперсных примесей; коагулирование воды для оперативного удаления коллоидно-дисперсных соединений; оперативное удаление из воды органических веществ молекулярной степени дисперсности; оперативную очистку воды сорбционным методом и фильтрацией; оперативное удаление ионных примесей; оперативную аэрацию воды и оперативную очистку подземных вод; оперативное использование физических методов для удаления растворенных веществ; способы оперативного обеззараживания воды. Авторами разработана конструкция электролизера для оперативного синтеза гипохлорита натрия, который предложено использовать для обеззараживания воды. Действие гипохлорита натрия аналогично естественным процессам во всех высших организмах в борьбе с микроорганизмами и чужеродными субстанциями.

К л ю ч е в ы е с л о в а: виды экологической опасности, доброкачественная вода, эпидемиологическая безопасность, виды очистки воды, оперативная водоочистка, оперативное обеззараживание воды, оперативный электролизер, гипохлорит натрия.

Введение

Вода является необходимой средой для химических процессов в живых организмах, а уникальные физико-химические свойства воды обеспечивают:

- процесс фотосинтеза, в котором вода является источником водорода;
- стабильность условий жизни;
- функционирование кровеносной, лимфатической, экскреторной и пищеварительной систем живых организмов;
- процессы метаболизма (обмена веществ), в которых через живые организмы неоднократно проходит подавляющая масса вод биосферы.

Химический состав воды Мирового океана отражает химический состав живого вещества. Этот факт указывает на то, что «вода и живое вещество — генетически связанные части организованности земной коры» (В. И. Вернадский), а «жизнь — это одушевленная вода» (Э. Д. Раймон).

В теле человека вода занимает 60 %. По мнению ученых, потеря человеком 6...8 % влаги от веса тела вызывает обмороки, потеря 10...12 % — остановку сердца. При этом средний срок жизни человека без воды составляет 3...4 дня в зависимости от экологических условий и состояния здоровья человека.

Каждый вид негативного воздействия на гидросферу (механическое, химическое, радиоактивное, бактериальное, биологическое, тепловое загрязнение) является экологической опасностью, которая характеризуется собственной интегральной характеристикой (экологическим риском): вероятностью наступления неблагоприятных последствий для природной среды и жизнедеятельности человека [1, 2].

В настоящее время по данным ВОЗ разработано более 13 тыс. методик, с помощью которых на специальном оборудовании в лабораторных условиях можно оценить показатели качества воды [3, 4].

Перед авторами работы поставлена задача предложить способы оперативной водоочистки и обеззараживания воды доступными средствами в условиях экологических опасностей при отсутствии централизованной поставки доброкачественной воды.

Методы исследования

Наиболее распространены следующие способы исследования воды:

- органолептический метод — распознавание органами чувств (определение цвета, запаха, вкуса, прозрачности);
- химический анализ — определение содержания в воде органических и неорганических веществ;
- физико-химический анализ — определение основных показателей воды (жесткость, минерализация, щелочность, окисляемость) и содержания в воде различных компонентов (металлов, органических соединений, нефтепродуктов и т. д.);
- микробиологический анализ — определение наличия разных микроорганизмов (бактерий, паразитов и т. д.);
- радионуклидный метод — оценка радиационной безопасности жидкости [5].

Для установления содержания в воде примесей применяются следующие способы:

- фотометрия и люминесценция — определение концентрации примесей в исследуемой жидкости на основе анализа ее свечения после УФ-обработки;
- ИК-спектрометрия — определение содержания конкретного вещества в воде с помощью инфракрасного излучения. При прохождении через раствор ИК-излучение обуславливает неравномерные колебания молекул воды и примесей, длины волн которых служат маркерами для идентификации веществ, содержащихся в воде;
- полярография — возникновение движения ионов при проведении электролитической диссоциации;
- масс-спектрометрия — исследование и анализ структуры вещества на основе данных о его массе и заряде ионов;
- потенциометрия — определение наличия фторидов и водородного показателя (рН) по измерениям электродвижущих сил;

- дозиметрия — определение в жидкости радиоактивных примесей [6, 7].

Для определения показателей качества воды в лабораториях используются специальные приборы:

- фотометры, которые применяются для обнаружения в воде химических веществ. В исследуемый раствор добавляют соответствующий реактив для окрашивания. С помощью фотометра измеряют поток светового излучения, проходящий сквозь исследуемый раствор;
- солемеры, работа которых основана на том, что концентрация растворенных веществ в воде однозначно связана с ее электропроводностью;
- мутномеры, которые используют для определения прозрачности (мутности) жидкой среды. Работа мутномеров основана на нефелометрии процессов рассеивания и поглощения светового потока при прохождении водного раствора;
- рН-метры позволяют определить величину электродвижущей силы (ЭДС), значение которой пропорционально рН исследуемого вещества;
- ОВП-метры, которые измеряют окислительно-восстановительный потенциал (редокс-потенциал или ОВП, или Eh);
- электролизеры, которые используют для выявления примесей в воде. В процессе электрохимической реакции примеси переходят в нерастворимое состояние и окрашивают раствор, по цвету и интенсивности окраски оценивают количество нежелательных веществ в воде;
- иономеры, которые измеряют концентрацию большинства ионов, присутствующих в воде;
- радиометры для дозиметрического исследования воды;
- спектральные приборы;
- турбидиметры, главной функцией которых является определение цвета, уровня пропускания и поглощения света исследуемым образцом;
- оксиметры для определения количества кислорода в воде [8, 9].

Очистка воды — процесс восстановления свойств воды, необходимых для ее безопасного использования. Видами очистки являются процессы: опреснение, дезактивация, осветление (обесцвечивание), дезодорация, обеззараживание и обезвреживание [10]. Способы и требуемые результаты по видам очистки воды представлены в табл.

Классификация видов очистки воды

Вид очистки воды	Способ очистки	Результат
Опреснение	Удаление избытка минеральных соединений	Требуемые вкусовые качества
Дезактивация	Удаление радиоактивных нуклидов	Радиационная безопасность
Осветление и обесцвечивание	Удаление взвешенных веществ и коллоидных примесей.	Эпидемиологическая безопасность
Обезвреживание	Удаление отравляющих веществ, пестицидов, компонентов ракетных топлив, ботулотоксина	Эпидемиологическая безопасность
Обеззараживание	Удаление бактерий, вирусов	Эпидемиологическая безопасность

Основу отдельных способов очистки воды составляют механические методы (разделение в центробежном поле и др.), физико-химические методы (реагентные, сорбция, ионный обмен, мембранные технологии, электродиализ, флотация) и биологические методы (аэробные, анаэробные, нитрификация, денитрификация).

Результаты исследований и их обсуждение

Поиск решения задачи оперативной водоочистки и обеззараживания воды в экстремальных условиях отсутствия централизованной поставки доброкачественной воды осуществлялся на примере анализа актуальных проблем водоснабжения войск в условиях экологических опасностей, обусловленных боевыми действиями (зона СВО).

Зона боевых действий по классификации экологических рисков является зоной риска катастрофических воздействий, обуславливающего одновременно все известные виды экологической опасности: распространение токсикантов и загрязнение воды, почвы и воздуха. Источниками развития экологических опасностей по характеру воздействия становятся транспортировка военных материалов, оборудования, уничтожение и испытание образцов оружия, функционирование всего комплекса военных средств в ходе военных действий [11, 12].

При этом возникают *одновременно* экологические риски нарушения почвенно-растительных условий, загрязнений водных объектов, нарушения гидрологического режима, подземного и поверхностного стока.

В зоне СВО расположено множество больших и малых резервуаров, накопителей воды, что в случае подрыва может привести к затоплению и отсутствию доступа к питьевой воде.

В ночь на 6 июня 2023 г. в результате подрыва были разрушены конструкции Каховской ГЭС на Днестре, которая обеспечивала электроэнергией несколько областей, а также регулировала сток из Каховского водохранилища для орошения и водоснабжения засушливых регионов. Вода из водохранилища начала неконтролируемо сбрасываться. Днестр вышел из берегов, затопив 14 населенных пунктов, расположенных ниже по течению с населением около 22 000 чел.

Под угрозой оказалось водоснабжение Крыма и прилегающих районов Херсонской области, которые получали воду из водохранилища по каналам.

Это водохранилище выполняло следующие функции:

- водообеспечение южных областей Украины (Херсонской, Запорожской);
- охлаждения элементов Запорожской АЭС, которая расположена ниже;
- поставка воды в ирригационную систему.

26 февраля 2022 г. ВСУ подорвали Козаровицкую дамбу в районе с. Козаровичи. Были затоплены поймы реки Ирпень с образованием мелководного плеса площадью 2842 га и длиной более 20 км. Около с. Демидов ширина плеса достигла 2 км. Объем воды, поступившей в пойму из Киевского водохранилища, оценивается в 117,5 млн м³.

Войска ВСУ взорвали плотину около с. Мощун, что вызывает обоснованные опасения относительно экологических последствий произошедшего, поскольку в зону затопления попали свалки, выгребные ямы, обработанные органическими удобрениями поля.

На востоке Украины происходит затопление подземных шахт. В результате наземные и подземные источники воды загрязняются тяжелыми металлами.

Однако при ведении боевых действий вне зависимости от их интенсивности и экологических последствий задача водоснабжения войск и войсковых нужд должна решаться своевременно, ритмично и непрерывно как для обслуживания военно-полевой инфраструктуры, так и для нормального обеспечения военнослужащих РФ.

По данным открытых источников в вооруженные силы РФ каждые сутки поставляется 1,5 тыс. т питьевой воды. Водоснабжением войск занимаются специальные силы и средства для обеспечения личного состава по всей линии фронта питьевой водой, водой для военно-полевой медицины и приготовления дистиллированной воды, хозяйственных и бытовых нужд, водой для обслуживания технических средств, аккумуляторных батарей.

Чрезвычайную опасность представляют для здоровья современные отравляющие вещества, не имеющие запаха и цвета, которые противник использует для отравления личного состава. Отравляющие вещества в виде таблеток, порошков и ампул используют для отравления колодцев, водоемов, в пунктах общественного питания.

С позиций вышеизложенного личное овладение способами оперативной водоочистки и обеззараживания воды становится необходимым условием обеспечения процессов жизнедеятельности и сохранения жизни в экстремальных условиях экологических опасностей различной природы.

Способы оперативного удаления из природных вод грубодисперсных примесей

Поверхностные воды — природные воды, которые чаще всего видит человек в течение жизни. В поверхностных водах содержатся нерастворимые неорганические и органические соединения (частицы песка, глины, планктон, сульфаты, хлориды, гидроксиды железа, марганца, алюминия, органоминеральные комплексы, илстые вещества и др.).

Размеры частиц, которые находятся во взвешенном состоянии в поверхностных водах, варьируют от грубодисперсных до коллоидных, а их содержание в 1 л может достигать десятки тысяч мг.

Грубодисперсные примеси ($10^{-5} \dots 10^{-7}$ м) (суспензии и эмульсии, микроорганизмы и планктон) находятся во взвешенном состоянии благодаря гидродинамическому воздействию водного потока и обуславливают мутность воды. От них можно избавиться отстаиванием или фильтрованием. В качестве фильтра можно использовать несколько слоев ткани, марли, бинта.

При фильтровании осуществляется очистка (осветление) воды, т. к. наиболее крупные частицы не проходят через ткань и задерживаются на ее поверхности. Из задержанных частиц постепенно образуется слой плотного осадка, который постепенно приобретает фильтрующие свойства, с помощью него можно очистить воду до требуемой прозрачности. Когда производительность очистки снижается, необходимо очистить ткань от фильтрующего слоя, выстирать и использовать для повторной очистки (осветления) воды. Следует отметить, что в процессе осветления устраняются неприятные привкусы и запахи воды в результате ее *обесцвечивания* и *дезодорации* [13].

Коагулирование воды для оперативного удаления коллоидно-дисперсных соединений

Коллоидно-дисперсными соединениями являются гидрофобные, гидрофильные органические и минеральные коллоидные частицы: вирусы,

фульвокислоты, гуматы; гумусовые вещества, детергенты, кремниевая кислота $\text{SiO}_2 \times \text{H}_2\text{O}$, гидроксид железа (III).

Коллоидно-дисперсные соединения обуславливают окисляемость и цветность воды, их частицы имеют размер порядка $10^{-7} \dots 10^{-9}$ м, поэтому они не выпадают в осадок при отстаивании и не задерживаются обычными фильтрами.

Для оперативного удаления коллоидно-дисперсных соединений необходимо осуществить коагулирование воды путем добавления химических веществ, которые называются *коагулянтами* и *флокулянтами*.

Коагулянты содержатся в составе таблеток «Аквасан», а *флокулянтами* являются крахмал, целлюлоза, яичный белок, кремниевая кислота. При добавлении этих веществ происходит объединение мельчайших частиц в более крупные, которые выпадают в осадок и удаляются отстаиванием и фильтрацией [14, 15].

Оперативное удаление из воды органических веществ молекулярной степени дисперсности

Органические вещества, придающие воде, запах и привкус, относятся к молекулярным соединениям и удаляются из воды сильными окислителями (хлор Cl_2 , перманганат калия KMnO_4 , перекись водорода H_2O_2). Хлорная известь является источником Cl_2 и доступным веществом, а KMnO_4 , как и H_2O_2 , содержатся в любой домашней аптечке. В процессе окисления вредные органические соединения превращаются в менее токсичные соединения (переходят в коллоидную форму), которые удаляют из воды отстаиванием с последующим фильтрованием через механические фильтры.

Количество органики природного происхождения в воде определяется косвенно по запаху, привкусу и цветности. Также наличие этих примесей можно определить при добавлении KMnO_4 по цвету раствора. Если раствор имеет не фиолетовый цвет, а коричневый с осадком, то в растворе присутствуют органические примеси, которые необходимо удалить.

Для удаления частиц молекулярной степени дисперсности рекомендуется сорбционный метод. Сорбенты имеют сильно развитую (пористую) поверхность, что обуславливает их способность поглощать газы и растворенные вещества (адсорбция) [16].

Процесс поглощения примесей сорбентами называют сорбцией. Сорбенты можно использовать для удаления из воды примесей растворенного железа, марганца, сероводорода, устранения цветности и мутности, взвешенных частиц, ржавчины, ила, песка, коллоидов, тяжелых металлов, органических веществ и др.

В качестве сорбентов можно использовать вещества, которые имеют хорошо развитую пористую структуру: глинистые породы, активированный уголь, древесные опилки, торф, мох, шламы, золу, полученную при сжигании древесного топлива хвойных и лиственных пород.

Для получения в полевых условиях активированного угля необходимо разжечь костер (наиболее эффективны березовые дрова). После того как дрова обуглятся, поместить их в емкость (например, ведро), и перекрыть доступ воздуха к ним. Когда угли потухнут и остынут, они становятся пригодными для использования в качестве адсорбента.

Угли костра, недогоревшего на воздухе, не пригодны в качестве фильтра, т. к. они не обладают адсорбционными свойствами (поры забиты смолами и другими продуктами горения и в основном закрыты). Активированный уголь удаляет из воды нефтепродукты, тяжелые металлы, цисты бактерий, пестициды и др. [17].

Оперативная очистка воды сорбционным методом и фильтрацией

Для очистки воды в экстремальных условиях можно изготовить следующую конструкцию: в дне емкости (пластиковая бутылка, ведро и т. д.) делают отверстия для выхода воды. На дно емкости в несколько слоев помещают чистую ткань, на которую засыпается наполнитель (в зоне СВО была доказана эффективность чередования слоев прокаленного на костре песка и активированного угля).

При пропускании воды в емкости осуществляются процессы сорбционной очистки и фильтрации. В ходе очистки вода проходит через слои засыпки, а загрязняющие вещества на гранулах засыпки превращаются в нерастворимые хлопья, которые легко удаляются.

В процессе оперативной очистки воды путем окисления органических веществ, сероводорода, железа (II) одновременно улучшаются вкусовые качества, устраняется запах воды и снижается ее цветность.

Регенерация засыпки должна осуществляться периодически либо водовоздушной промывкой вручную, или путем обратной промывки исходной водой через определенные промежутки времени в зависимости от состава примесей воды.

Для осветления и улучшения воды можно подвесить в бочке два мешка (или приспособления в виде гамака) из войлока или холста на расстоянии ≈ 200 мм друг над другом. Верхний мешок наполняется песком, нижний — угольным порошком. В дне бочки, которая располагается сверху, делается отверстие, через которое вода стекает в приемник. Возможна фильтрация через два слоя сукна [18].

Оперативное удаление ионных примесей

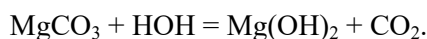
К ионным примесям относятся соли, кислоты, основания, т. е. вещества, диссоциированные в воде на ионы (Na^+ , Cl^- , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , K^+). Они придают воде жесткость, щелочность и минерализованность. Размер этих частиц $< 10^{-9}$ м.

На практике концентрацию ионных примесей снижают с помощью реагентных, термических методов и методов ионного обмена.

При кипячении воды удаляется временная жесткость. При этом образуются нерастворимые или малорастворимые карбонаты кальция и магния:



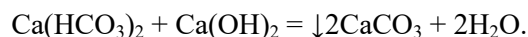
Растворимость карбоната кальция CaCO_3 при 15°C составляет 9,95 мг/л (0,199 мэкв/л), карбоната магния MgCO_3 — 110 мг/л (2,62 мэкв/л). При длительном кипячении MgCO_3 гидролизуются:



Растворимость $\text{Mg}(\text{OH})_2$ равна 8,4 мг/л, поэтому остаточная магниевая жесткость снижается до 0,29 мэкв/л.

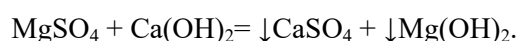
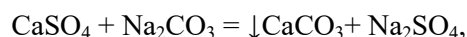
Методы реагентного умягчения основаны на обработке воды веществом, образующим с ионами Ca^{+2} , Mg^{+2} практически нерастворимые соединения: CaCO_3 , $\text{Mg}(\text{OH})_2$, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$. В качестве реагентов в условиях проведения СВО могут быть применены $\text{Ca}(\text{OH})_2$, Na_2CO_3 .

Известковый метод применяется для умягчения воды с высокой карбонатной жесткостью:



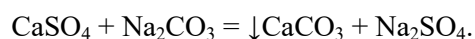
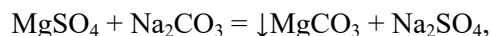
Остаточная жесткость 1,4...1,8 мэкв/л.

Содово-известковый метод применяется для устранения некарбонатной жесткости:



Жесткость снижается до 1,4...1,8 мэкв/л.

Содовый метод применяют для устранения постоянной жесткости:



В заключение следует отметить, что более полному умягчению воды способствуют: нагревание и перемешивание; создание небольшого избытка реагента (извести); увеличение числа центров кристаллизации путем добавления в воду веществ, обладающих этим свойством (например, свежего осадка CaCO_3).

Оперативная аэрация (обработка воздухом) воды и оперативная очистка подземных вод

Русские военные врачи рекомендовали в экстремальных полевых условиях устранять болотистый вкус и запах воды аэрацией при помощи воздушного насоса. Неприятные для человека запахи и привкусы воды в значительной степени обуславливают сероводород H_2S и уголекислота CO_2 [19].

Принято считать подземные воды наиболее чистыми источниками воды, но часто подземная вода содержит железо, марганец в концентрациях, превышающих предельно-допустимые концентрации (ПДК), что может стать причиной поражения мозга и нарушения работы почек человека.

При действии на подземные воды кислорода, H_2O_2 , KMnO_4 или хлора образуется осадок, который отфильтровывается через фильтр с наполнителем (кварцевым песком, углем, гранитной крошкой).

Оперативное использование физических методов для удаления растворенных веществ

Для удаления растворенных веществ из воды в экстремальных условиях можно оперативно использовать физические методы: *дистилляцию (выпаривание)*, *вымораживание*, *электролиз*.

Дистилляция — это процесс испарения молекул воды из солевых растворов при кипячении. Молекулы воды покидают раствор и собираются в пар, а молекулы соли остаются в растворе. Процесс разделения молекул воды и молекул соли в процессе кипячения имеет следующую природу: диполи воды окружают каждый ион соли и образуются гидратированные ионы (*сольваты*).

Сольват менее подвижен, чем молекула воды, т. к. его размеры значительно больше, а вес в 8...12 раз больше веса молекулы воды. В результате при нагревании сольваты остаются в объеме раствора, а свободные (не связанные в сольваты) молекулы воды испаряются, т. к. имеют меньший вес, чем сольваты. При конденсации пара образуется чистая вода, которую называют дистиллятом.

Один из способов получения дистиллированной воды: чайник ставят на огонь и кипятят воду. Под носик чайника помещается емкость для сбора дистиллята. К потоку пара, выходящего из носика, подносятся холодные емкости (например, стаканы). Внутри них конденсируется пар, который стекает в приемник для сбора воды.

Другой способ получения дистиллированной воды: в емкость (например, кастрюлю) наливают загрязненную воду. В емкость ставят миску для дистиллята. Сверху кастрюлю закрывают перевернутой крышкой, в которую наливается холодная вода или помещается снег. Нагревают воду до кипения, вода испаряется. Пар, соприкасаясь с холодом, конденсируется на дне крышки, и вода капает в приемник для сбора воды.

Для улучшения вкусовых качеств опресненной воды (дистиллята) к ней добавляют незараженную соленую воду.

В экстремальных условиях опреснение воды может быть осуществлено методом *вымораживания*. Метод основан на том, что чистая вода замерзает при температуре 0 °С, а вода, содержащая соли — при более низкой температуре. При температуре ниже 0 °С на поверхности воды с примесями образуется корка из пресного льда. Если потребность в пресной воде выше 100...200 л/сут, устраивают специальные неглубокие бассейны, называемые картами. Карты могут быть вырыты в земле или сделаны на поверхности грунта из досок. Деминерализованная вода, получаемая вымораживанием, не имеет вкуса и в ней отсутствуют микроэлементы, необходимые для нормального функционирования организма. Вследствие этого при регулярном употреблении такой воды в нее необходимо вводить минеральные вещества (0,2...0,3 г гашеной извести и 0,1 г натрия хлорида на суточную норму питьевой воды). В полевых условиях рекомендуется также в деминерализованную воду добавлять натрия фторид (1,8 мг/л), калия йодид (0,1 мг/л) и аскорбиновую кислоту (50 мг/л).

Вымораживание может иметь значение при использовании природного холода в зимнее время. Для получения небольшого количества воды зимой емкости с очищаемой водой выставляют на мороз. Первые порции льда будут представлять собой чистую воду.

При *электрохимическом* способе растворенные в воде минералы притягиваются к положительному или отрицательному электроду и остаются на поверхности электрода.

Метод *«горения растворов»* — применяют самоподдерживающиеся экзотермические химические реакции, горение компонентов в воде. Достоинства метода: низкая стоимость, доступность реактивов, простота, надежность. Рассматривается возможность применения термита. При горении термита поднимается температура до 3000 °С. Термит горит без доступа кислорода. От термитной шашки отрезается необходимый кусок, который поджигается и помещается в водный источник. Главное, чтобы был большой избыток воды,

т. к. при реакции разложения воды образуются водород и кислород. При высокой температуре выгорают все органические примеси.

Способы оперативного обеззараживания воды

При отсутствии качественной питьевой воды в экстремальных условиях, надо помнить о необходимости ее обеззараживания. Использование не обеззараженной воды может привести к отравлению, к острым или хроническим заболеваниям (дизентерия, сальмонеллез, брюшной тиф, другие заболевания желудочно-кишечного тракта).

Обеззараживание воды — уничтожение патогенных микроорганизмов в объеме обрабатываемой воды или извлечение их из этого объема. *Стерилизация* — полное уничтожение всех видов и форм микроорганизмов. Для обеззараживания применяются реагентные и безреагентные методы.

Реагентные методы — введение в воду веществ, обладающих сильным бактерицидным действием, способных разрушать ферменты бактериальных клеток (хлор, двуокись хлора, хлорная известь, гипохлориты Ca и Na, хлорамины, озон, йод и др.), или ионов серебра, меди, обладающих олигодинамическим действием. При этом бактерии и другие микроорганизмы погибают.

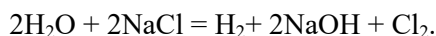
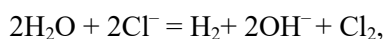
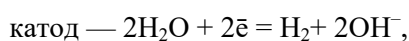
Безреагентные методы — термическая обработка, ультрафиолетовое облучение, мембранная фильтрация, обработка ультразвуком, облучение ускоренными электронами и γ -излучение, импульсный электрический разряд и др. При применении безреагентных методов обеззараживания не изменяются состав и свойства воды.

В практике полевого водоснабжения используют следующие методы обеззараживания: кипячение; реагентный с помощью химических окислителей; обеззараживание индивидуальных запасов воды введением специальных таблеток; обработка УФ-лучами; мембранная фильтрация; олигодинамический метод.

Гипохлорит натрия, который используется для обеззараживания, можно получить в полевых условиях электролизом. Для этого авторами предложена конструкция электролизера, который состоит из выпрямителя тока (батарея или изготавливается из зарядного устройства), двух графитовых электродов (например, стержней карандашей), проводов и раствора поваренной соли.

При подключении электродов к источнику постоянного электрического тока на катоде идет процесс восстановления воды с образованием водорода и гидроксильных ионов. На аноде окисляется хлор.

Процессы на электродах:

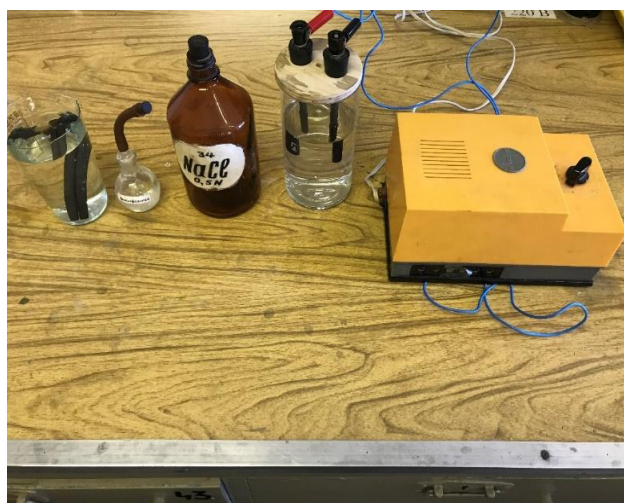


Получение гипохлорита натрия электролизом раствора хлорида натрия позволяет обеззаразить воду. Хлор, получившийся на аноде, взаимодействует с NaOH, в результате этого образуется гипохлорит натрия, который авторы предлагают использовать для обеззараживания воды.

Для электролиза использовался выпрямитель, напряжение 12 В, раствор NaCl 0,5 М, графитовые электроды (рис.). Время электролиза составляло 120 с.

Для определения активного хлора в колбу отмеряли 1 мл пробы, приливали 50 мл воды дистиллированной, 5 мл 10%-го раствора йодистого калия, 2 мл серной кислоты концентрацией 2 н. При этом выделяется йод, количество которого эквивалентно хлору. Раствор йода, который титровался 0,01 н раствором тиосульфата натрия до светло-желтой окраски, затем добавлялся 1 мл 0,5%-го раствора крахмала и продолжалось титрование до исчезновения синей окраски.

На титрование в среднем требуется 22,9 мл тиосульфата натрия. Содержание активного хлора составляет при этом 8 129,5 мг/л. Этот раствор используется для хлорирования воды. Обеззараживают воду обычно 1...2%-м раствором хлорной извести, т. е. полученный раствор необходимо разбавлять в 4...8 раз.



Электролиз раствора NaCl

В настоящее время установлено, что действие гипохлорита натрия аналогично естественным процессам во всех высших организмах, т. к. некоторые клетки организма синтезируют хлорноватистую кислоту и сопутствующие ей радикалы для борьбы с микроорганизмами и чужеродными субстанциями.

Заключение

Результатами исследования задач и проблем водообеспечения в условиях отсутствия централизованной поставки доброкачественной воды в зоне экологических рисков катастрофических воздействий (зона боевых действий) авторами систематизированы, успешно апробированы и предложены способы водоочистки и обеззараживания воды, которые могут быть осуществлены оперативно и доступными средствами в условиях экологических опасностей.

Для условий одновременных экологических рисков нарушения почвенно-растительных условий, загрязнений водных объектов, нарушения гидрологического режима, подземного и поверхностного стока предложен наиболее полный перечень оперативных методов и способов: использование физических методов для удаления растворенных веществ; аэрация (обработка воды воздухом) воды и оперативная очистка подземных вод; удаление ионных примесей; очистка воды сорбционным методом и фильтрацией; удаление из воды

органических веществ; коагулирование воды для оперативного удаления коллоидно-дисперсных соединений; очистка природных (поверхностных) вод (осветление, обесцвечивание и дезодорация); обеззараживание воды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Никифоров А. Ф., Кутергин А. С., Семенищев В. С., Никифоров С. В. Экологические основы охраны водных ресурсов: учебное пособие. Екатеринбург : Изд-во Уральского ун-та, 2019. 192 с.
2. Matthew R. A., Barnett J., McDonald B., O'Brien K. L. Global environmental change and human security. London : MIT Press, 2010. Pp. 118—130.
3. Шевцов М. Н. Водно-экологические проблемы и использование водных ресурсов. Хабаровск : Изд-во Тихоокеанского гос. ун-та, 2015. 197 с.
4. Myers N. The environmental dimension of security problems // The Environmentalist. 1986. No. 6. Pp. 251—257.
5. Максимова Т. А., Мишаков И. В. Экология гидросферы: учебное пособие для вузов. М. : Юрайт, 2024. 136 с.
6. Дурников Д. А. Экология водоемов: учебное пособие. Барнаул : Изд-во АлтГУ, 2013. 116 с.
7. Халибекова А. К. Potable water treatment: efficient methods // Science and innovation. 2022. Vol. 1. Iss. 7. Pp. 533—537.
8. Коновалов А. В., Коновалов М. А. Снижение экологических рисков, связанных с водными ресурсами // Проблемы анализа риска. 2020. Т. 17. № 1. С. 30—37.
9. Борзов А. А., Локишин А. А., Локина Е. А. Очистка маломутных высокоцветных вод сибирских рек для технологического водоснабжения // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2021. № 1. С. 46—50.
10. Экспериментальное обоснование целесообразности обеззараживания и очистки воды и стоков ферратом натрия / Е. Н. Аракчеев, В. Е. Брукман, М. В. Брукман, А. В. Конягин, В. А. Дьяченко, А. П. Петкова, Р. Э. Некрасов // Гигиена и санитария. 2017. № 96(3). С. 216—222.
11. Организация водоснабжения российских войск в Сирийской Арабской Республике: монография / В. Б. Коновалов, В. И. Кириленко, С. В. Саркисов, И. М. Руднев, А. А. Сорокин СПб. : Изд-во Политехнического университета, 2019. 160 с.
12. Бузыкин В. И., Шуваев И. Д. Водоснабжение войск в полевых условиях. М. : Воениздат, 1955. 120 с.
13. Пац Н. В., Наст О. А. Валеолого-гигиенические и медицинские аспекты использования бытовых фильтров очистки воды молодежью в областном центре Беларуси // Здоровье человека, теория и методика физкультуры и спорта. 2019. № 5(16). С. 97—105.
14. Головин В. Л., Попова Т. Ю., Безбородов С. А., Медведь П. В. Определение органических примесей природных вод при обосновании технологических средств обработки // Инновации и инвестиции. 2020. № 6. С. 208—214.
15. Бойкова Т. Е., Богданович Н. И., Мауричева Т. С. Применение флокулянтов в процессе водоподготовки // Современные наукоемкие технологии. Инженерно-технические науки — машиностроение и технологии. 2019. № 1(57). С. 91—99.
16. Бойкова Т. Е., Богданович Н. И., Канарский А. В. Оценка эффективности применения реагента Feix-3 для очистки поверхностной воды при низкой температуре // Вестник технологического университета. 2018. № 7. С. 41—45.
17. Валеев С. И., Старовойтова Е. В., Сулумханова Х. Л. Новые методы анализа загрязнений в окружающей среде: современные технологии и оборудование // Вода: химия и экология. 2023. № 11. С. 84—91.
18. Власова А. Ю., Шкиндерова И. Н., Савдур С. Н. Повышение эффективности очистки воды питьевого качества путем внедрения сорбционного метода // Вода: химия и экология. 2023. № 10. С. 10—15.
19. Косиченко Ю. Н., Сильченко В. Ф. Технологии удаления сероводорода в процессе обработки подземных вод // Экология и водное хозяйство. 2020. № 1(04). С. 43—59.

© Медведева Л. В., Макачук Г. В., Саркисов С. М., 2025

Поступила в редакцию
20.07.2025

Ссылка для цитирования:

Медведева Л. В., Макаrchук Г. В., Саркисов С. М. Методы и средства оперативного водообеспечения в условиях экологических опасностей // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2025. Вып. 3(100). С. 61—74. DOI: 10.35211/18154360_2025_3_61.

Об авторах:

Медведева Людмила Владимировна — д-р пед. наук, проф., Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России им. Героя России Е. Н. Зиничева. Российская Федерация, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский пр-т, 149; nauka-v-pechat@mail.ru

Макаrchук Галина Васильевна — канд. пед. наук, доц., Военный институт (инженерно-технический) ВАМТО им. генерала армии А. В. Хрулёва. Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, ул. Захарьевская, 22; galya104@mail.ru

Саркисов Михаил Сергеевич — курсант, Военный институт (инженерно-технический) ВАМТО им. генерала армии А. В. Хрулёва. Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, ул. Захарьевская, 22; nauka.university@mail.ru

Ludmila V. Medvedeva^a, Galina V. Macarchuk^b, Mihail S. Sarkisov^b

^a **Saint Petersburg University of State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia**

^b **Saint Petersburg Military Institute (Engineering and Technical) VAMTO named after Army General A. V. Khrulev**

METHODS AND MEANS OPERATIONAL WATER SUPPLY UNDER CONDITIONS OF ENVIRONMENTAL HAZARDS

In the zones of environmental hazards and lack of centralised supply of good quality water, knowledge of available methods of safe water supply becomes a condition for human life preservation. The problem of safe water supply becomes extremely urgent in the zone of ecological risks of catastrophic impacts (war zone). To solve this problem it is necessary to research, systematise and test methods of operational water treatment and operational water disinfection, the implementation of which does not require special training and can be implemented by available means in the field conditions of all known types of environmental hazards (spread of toxicants, water, soil and air pollution) caused by anthropogenic causes (military operations). The authors have conducted a study of methods and techniques for rapid water purification and disinfection, which do not require the creation of special laboratory conditions and can be implemented with available means by anyone. In conditions of environmental hazards, as well as in areas with a high risk of epidemiological danger, to solve the problems of safe water supply, the authors recommend using: methods of operative removal of coarse-dispersed impurities from natural waters; coagulation of water for operative removal of colloidal-dispersed compounds; operational removal of organic substances of molecular dispersibility from water; operational water purification by sorption and filtration; operational removal of ionic impurities; operational aeration of water and operational treatment of groundwater; operational use of physical methods for removal of dissolved substances; methods of operative water disinfection. The authors have developed a design of electrolyser for operative synthesis of sodium hypochlorite, which is proposed to be used for water disinfection. The action of sodium hypochlorite is similar to natural processes in all higher organisms in the fight against microorganisms and foreign substances.

Key words: types of environmental hazards, benign water, epidemiological safety, types of water treatment, operational water treatment, operational water disinfection, operational electrolyzer, sodium hypochlorite.

For citation:

Medvedeva L. V., Macarchuk G. V., Sarkisov M. S. [Methods and means operational water supply under conditions of environmental hazards]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2025, iss. 3, pp. 61—74. DOI: 10.35211/18154360_2025_3_61.

About authors:

Ludmila V. Medvedeva — Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Saint Petersburg University of State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia. 149, Moskovsky ave., Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; nauka-v-pechat@mail.ru

Galina V. Macarchuk — Candidate of Pedagogical Sciences, Docent, Saint Petersburg Military Institute (Engineering and Technical) VAMTO named after Army General A. V. Khrulev. 22, Zakharievskaya st., Saint Petersburg, Russian Federation; galya104@mail.ru

Mihail S. Sarkisov — Cadet, Saint Petersburg Military Institute (Engineering and Technical) VAMTO named after Army General A. V. Khrulev. 22, Zakharievskaya st., Saint Petersburg, Russian Federation; nauka.university@mail.ru