

О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ ОЗОНИРОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Дзюбо В. В., Алферова Л. И., Васильев В. М.

ON SOME FEATURES OF OZONE TREATMENT OF GROUND WATERS

Dzjubo V. V., Alferova L. I., Vasiliev V. M.

Аннотация

Введение: предметом исследований авторов являются технологические параметры процесса озонирования как ступени предварительной обработки подземных вод перед фильтрованием в технологической схеме их водоподготовки. **Методы и материалы:** в задачу исследований входило установить дозы (концентрации) растворенного озона, необходимые для окисления растворенных в воде форм железа (Fe^{2+}) и марганца (Mn^{2+}) в различных концентрациях; определить предельные дозы растворенного озона в зависимости от концентрации железа и марганца; экспериментально установить качество получаемой обработанной воды озонированием с последующим фильтрованием в зависимости от исходных концентраций железа и марганца и дозы озона. **Результаты:** влияние температуры на эффективность удаления железа при озонировании заметно сказывается при дозах озона до 1,5–1,8 мг/л, при более высоких дозах озона влияние температуры воды не значительно. В исследованных интервалах продолжительности контакта от 2 до 8 мин и доз озона от 2,5 до 1,2 мг/л эффективность удаления железа составляет 86,4–99,8 % соответственно. Марганец достаточно легко удаляется невысокими дозами озона с последующим фильтрованием, если его концентрации не превышают 0,3 мг/л, практически при любых концентрациях растворенного Fe^{2+} . Необходимая доза озона для удаления марганца до требуемых норм (0,1 мг/л) составляла 2,1–2,8 мг/л. При дозах озона в обрабатываемой воде до 5,5 мг/л и ее фильтровании со скоростью не выше 12 м/ч, остаточная концентрация марганца уменьшалась до «следовой» величины. **Заключение:** в определенных условиях при окислении озоном растворенное в воде железо (Fe^{2+}) оказывает конкурирующее действие в отношении растворенного марганца (Mn^{2+}), который при этом полностью не окисляется и, как следствие, полностью не извлекается из воды при последующем фильтровании. Увеличение (свыше 3 мг/л) дозы растворенного озона при обработке подземных вод, содержащих растворенное железо в концентрации до 3,5 мг/л и марганец в концентрации до 0,3 мг/л, приводит к обратному эффекту — ухудшению качества обработанной воды по остаточному содержанию марганца.

Ключевые слова: подземные воды, обработка воды озоном, окисление примесей озоном, доза растворенного озона, параметры озонирования.

Введение

Исследованию процессов и технологических приемов получения, аппаратурного оформления и растворения озона в воде посвящены работы

Abstract

Introduction: subject of researches of authors were technological parameters of process of ozonization as steps of preliminary processing of underground waters before filtering in the technological scheme of their water treatment. **Methods and materials:** entered a research problem: to establish doses (concentration) of the dissolved ozone necessary for oxidation of the iron forms dissolved in water (Fe^{2+}) and manganese (Mn^{2+}) in various concentration; to define limit doses of the dissolved ozone depending on concentration of iron and manganese; experimentally to establish quality of the received conditioned water by ozonization with the subsequent filtering depending on initial concentration of iron and manganese and a dose of ozone. **Results:** influence of temperature on efficiency of removal of iron at ozonization considerably affects at ozone doses to 1,5–1,8 mg/l, at higher doses of ozone influence of water temperature not considerably. In the studied contact duration intervals from 2 to 8 min and doses of ozone from 2,5 to 1,2 mg/l efficiency of removal of iron makes 86,4–99,8 %, respectively. Manganese rather easily is removed low doses of ozone with the subsequent filtering if its concentration don't exceed 0,3 mg/l, practically at any concentration of the dissolved Fe^{2+} . The necessary dose of ozone for removal of manganese to the demanded norms (0,1 mg/l), made 2,1–2,8 mg/l. At ozone doses in the conditioned water to 5,5 mg/l and its filtering with a speed not higher than 12 m/h, residual concentration of manganese decreased up to the "trace size". **Conclusion:** in certain conditions at oxidation by ozone the iron dissolved in water (Fe^{2+}) has the competing effect concerning the dissolved manganese (Mn^{2+}) which thus completely isn't oxidized and, as a result, completely isn't extracted from water at the subsequent filtering. The increase (over 3 mg/l) in a dose of the dissolved ozone when processing the underground waters containing the dissolved iron in concentration to 3,5 mg/l and manganese in concentration to 0,3 mg/l leads to a boomerang effect — deterioration of the conditioned water according to the residual content of manganese.

Keywords: underground waters, water processing by ozone, oxidation of impurity ozone, a dose of the dissolved ozone, ozonization parameters.

многих исследователей [1–5]. Установлены основные параметры растворения озона в воде в зависимости от температуры, давления и качества обрабатываемой воды. При этом следует отме-

тить, что основные технологические параметры получения и растворения озона в большинстве случаев проводились, как правило, на чистой воде, чтобы исключить влияние различных примесей на исследуемые процессы. Такими исследованиями занимались Ф. Ротмунд, Т. Кавамура, Д. Брине, М. Перротэ, Л. Мейлферт, Ф. Лютер, А. Инглис, Д. Фишер и другие. В дальнейшем озон, как сильный окислитель, стал использоваться в технологиях обработки природных и различных категорий сточных вод [6–8], а также в различных технологиях водоподготовки и обеззараживания воды [9, 10].

Являясь химически сильным окислителем, озон позволяет не только разрушать различные примеси в природных водах, но и переводить их в формы, способные гидратироваться и выделяться из воды в виде нерастворимых соединений, в частности, так происходит с растворенными в подземных водах железом и марганцем, которые являются самыми распространенными загрязнителями (примесями), препятствующими использованию подземных вод без предварительной обработки для коммунального (питьевого) водоснабжения [11–14].

Методы и материалы

Эффективность процесса озонирования воды как технологического приема обработки подземных вод зависит не только от эффективности параметров его синтеза (затраты электроэнергии, стоимость и т. п.), но во многом определяется эффективностью его перемешивания и растворения в обрабатываемой воде. Качество получаемой воды в технологических схемах их водоподготовки с использованием озонирования в значительной степени зависит от качественного состава исходной воды, от вида, количества и соотношения примесей в обрабатываемой воде.

Предмет исследований авторов — технология озонирования, а именно, технологические параметры озонирования как ступени предварительной обработки подземных вод перед фильтрованием в технологической схеме их водоподготовки.

В задачу исследований входило:

- установить дозы (концентрации) растворенного озона, необходимые для окисления растворенных форм железа (Fe^{2+}) и марганца (Mn^{2+}), содержащихся в подземных водах в различных концентрациях;

- определить предельные дозы растворенного озона при обработке подземных вод в зависимости от концентрации железа (Fe^{2+}) и марганца (Mn^{2+});

- экспериментально установить качество получаемой обработанной воды озонированием с последующим фильтрованием в зависимости от исходных концентраций железа (Fe^{2+}) и марганца (Mn^{2+}) и дозами озона при озонировании исходной воды;

- экспериментально определить влияние величины рН обрабатываемой подземной воды на эффективность удаления железа (Fe^{2+}) и марганца (Mn^{2+}) при озонировании с последующим фильтрованием.

Исследование работ [1–10] показало, что озон лучше растворяется при более низких температурах воды, быстрее распадается при повышении температуры воды, а увеличение давления насыщения способствует его лучшему растворению. Например, по сравнению с кислородом озон обладает растворимостью примерно в 10 раз большей для определенной температуры. Из этого следует, что в технологиях обработки воды, где необходим ввод окислителя (озон или кислород), эффективность обработки воды кислородом значительно ниже и требует подачи большего количества кислородсодержащего агента (например, воздуха), нежели озонсодержащего.

Анализ отечественных и зарубежных исследований в области озонирования воды показал, что степень насыщения обрабатываемой воды озоном (теоретически возможные максимальные концентрации) зависит от соотношения количества подаваемой озонозооной смеси Q_{oz} , м^3 , и количества обрабатываемой воды Q_w , м^3 , (Q_{oz} / Q_w), концентрации озона в озонозооной смеси, подаваемой в обрабатываемую воду, от качества (состав примесей) обрабатываемой воды, ее температуры, давления насыщения и продолжительности насыщения.

При использовании подземных вод в качестве источника водоснабжения для каких-либо целей следует учитывать, что качество реальных (природных) подземных вод подвержено сезонному изменению [11–13], что, на наш взгляд, является существенной спецификой данного вида природных водных ресурсов и ею не следует пренебрегать при обосновании технологий водо-

подготовки, особенно с использованием озонирования, тем более для организации питьевого водоснабжения. В случае использования озона в технологиях обработки подземных вод следует учитывать и тот факт, что качественный состав подземных вод в различных регионах отличается друг от друга, а также значительно отличается от качества чистой воды, на которой проводились вышеупомянутые исследования. Поэтому будет некорректным напрямую использовать какую-либо известную технологию или технологические параметры обработки воды без учета специфики качественного состава воды, которую требуется обрабатывать. Например, реальная или фактически достигаемая концентрация озона в обрабатываемой природной подземной воде всегда будет отличаться от теоретически возможной или достигаемой при использовании чистой воды. При обосновании технологии водоподготовки в первую очередь следует детально изучить качественный состав воды водоисточника.

Помимо источников генерации озона (они не являются предметом настоящих исследований), важным элементом в технологиях озонирования природных вод считаются камеры смешения озонородной смеси и обрабатываемой воды, от эффективности работы которых во многом зависит степень насыщения воды озоном, достигаемые концентрации растворенного озона и в конечном итоге — стоимость применяемой технологии, качество и себестоимость воды, получаемой в результате обработки. Анализ работ [3, 8, 9] показал, что наиболее распространенными в технологиях водоподготовки являются камеры смешения барботажного типа, многокамерные контактные камеры, например, фирмы «Дегремон», системы ввода озона с реакторами типа «Мультизон», контактные камеры с загрузками различного типа, механические и вихревые смесители и т. п.

Из анализа результатов практического использования в технологиях водоподготовки камер смешения различного типа следует, что количество адсорбированного водой озона прямо пропорционально поверхности и продолжительности контакта фаз — вводимой озонородной смеси и обрабатываемой воды. Применительно к барботажно-аэрационным камерам, как наибо-

лее распространенным в практике водоподготовки способам насыщения обрабатываемой воды окислителями (кислородом, озоном), это означает, что массопередача озона в воду тем выше, чем большее количество газовых пузырьков находится в объеме аэрационной камеры и чем меньше их размер. Снижение степени диспергирования (измельчения) озонородной смеси, подаваемой в контактную камеру, и, следовательно, увеличение размеров подаваемых в воду газовых пузырьков приводит к уменьшению поверхности контакта газовой смеси и обрабатываемой воды и к снижению количества передаваемого в воду озона. От этого напрямую зависит величина достигаемой концентрации озона в обрабатываемой воде или, другими словами, концентрация окислителя, действие которого должно быть направлено на разрушение или устранение примесей, содержащихся в ней.

К примеру, увеличение размера газовых пузырьков с 2 до 5 мм приводит к снижению их удельной поверхности (отношение площади поверхности пузырька к его объему) в 2,5 раза.

С другой стороны, стремление получить газовые пузырьки более мелкого размера неизбежно приводит к повышенным энергозатратам, так как в этом случае требуется устанавливать мелкопористые диффузоры, отличающиеся повышенным сопротивлением при нагнетании газовой фазы. При использовании механических эмульгаторов (измельчителей) газовой фазы в воде для получения более мелких пузырьков требуется увеличение числа оборотов механических эмульгаторов, что также ведет к повышению энергозатрат. Таким образом, решение задачи обеспечения максимальной эффективности процесса озонирования сводится к оптимизации процесса диспергирования вводимого озона и передачи его в обрабатываемую воду с обязательным учетом возможного изменения качественного состава обрабатываемой воды, ее температуры и требуемой степени насыщения (концентрации озона в воде), что направлено на достижение необходимой степени очистки воды.

Например, в работе [3] показано, что в контактных камерах эффективность поглощения озона водой зависит не только от степени диспергирования озонородной смеси в обрабатываемой

воде, но и от высоты слоя воды в контактной камере, через который пропускается озоноздушная смесь. Наибольшая эффективность достигается при высоте слоя воды 4,3–6 м и диаметре газовых пузырьков 2 мм. Указанная высота слоя воды необходима для того, чтобы при движении пузырьков газа данного размера весь содержащийся в них озон успел перейти в обрабатываемую воду.

Исследования в области озонирования воды позволяют утверждать, что для достижения максимального эффекта озонирования в контактных камерах аэрационно-барботажного типа соблюдение указанных конструктивных размеров является необходимым и весьма важным, что является спецификой технологии озонирования с использованием камер подобного типа. По всей видимости, для водоочистных станций, на которых габаритные размеры сооружений водоподготовки соизмеримы с требуемой высотой контактных камер, соблюдение последней является оправданным. Для станций небольшой производительности (до 500 м³/сут), когда требуемая площадь контактной камеры несоизмеримо меньше ее строительной высоты, использование камер такого типа вряд ли является оправданным по конструктивным соображениям. Поэтому для подобных (небольшой производительности) станций подготовки подземных вод следует обосновывать выбор камер смешения другого типа, например, механического, вихревого или комбинированного [15, 16] типа.

Результаты и обсуждение

Как уже было сказано выше, характерной особенностью подземных водоисточников практически во всех регионах являются повышенные концентрации железа и, реже, марганца. Зачастую широко применяемые безреагентные методы очистки подземных вод от соединений железа и марганца, заключающиеся в фильтровании через зернистые материалы с предварительной аэрацией воды атмосферным воздухом, позволяют удалить избыточные концентрации железа при исходной величине до 15 мг/л и марганца в количестве не более 0,3 мг/л, при этом скорость фильтрования не должна превышать 5–6 м/ч. Интенсификация первой стадии очистки подземных вод (аэрация или озонирование с целью окисления) позволяет вести процесс последующего

фильтрования воды с более высокими скоростями без ущерба для качества получаемого фильтра [14].

В подземных водах некоторых территориальных районов Сибирского региона (в основном заболоченные территории), наряду с высокими концентрациями железа и марганца, отмечается повышенное содержание природных органических загрязнений — гуминовых веществ, обуславливающих цветность воды [11–13]. Железо и марганец в таких водах частично находятся в виде комплексных органических соединений, которые очень трудно или практически не удаляются безреагентными методами очистки воды. Например, в некоторых территориальных районах Сибирского региона (северо-западная часть Томской обл., Тюменская обл., Ханты-Мансийский АО) встречаются подземные воды, где присутствуют нефтепродукты, фенолы, азотистые соединения и др. Для очистки таких вод необходимо применять комплексные методы обработки [11, 14, 17], включающие методы интенсивного окисления (озонирования) примесей и обеспечивающие их очистку, как от природных, так и от антропогенных органических и неорганических загрязнений.

Исследованиями [14, 17] установлено, что при озонировании природных (подземных) вод эффективность удаления железа в первую очередь зависит от дозы (концентрации) озона, при этом чем выше доза озона, тем меньше остаточная концентрация железа в очищенной воде. Требуемое качество очищенной воды во многих случаях достигалось даже при небольших дозах озона, а при дозах озона 1,5 мг/л и более достигалось достаточно глубокое (в отдельных случаях полное) обезжелезивание подземных вод.

Авторами данной работы экспериментально установлено, что влияние температуры на эффективность удаления железа при озонировании заметно сказывается при дозах озона до 1,5–1,8 мг/л, при высоких дозах озона влияние температуры воды незначительно. Более существенным является влияние продолжительности контакта различных доз озона с обрабатываемой водой. Так, в исследованном интервале продолжительности контакта от 2 до 8 мин и доз озона от 2,5 до 1,2 мг/л эффективность удаления железа составляет 86,4–99,8 % соответственно. Следует

отметить, что требуемое удаление железа озонированием с последующим фильтрованием при исходных его концентрациях не более 3–3,5 мг/л достигается в исследованном интервале доз озона при продолжительности контакта в камере смешения 0,5–2,5 мин, что свидетельствует о высокой окислительной способности озона по отношению к железу. Что же касается марганца, то требуемая эффективность его удаления без использования озона (особенно при повышенных концентрациях, более 0,5 мг/л) достигалась не во всех случаях. Это объясняется, по всей видимости, тем, что в воде содержатся устойчивые соединения марганца, которые не окисляются атмосферным кислородом.

Для эффективного удаления марганца из воды в процессе ее обработки необходимо создать условия, при которых марганец переходит в нерастворенную форму и может выделяться из воды. Суть этих условий сводится, в основном, к следующему:

- повышение значения рН воды при недостаточном окислительно-восстановительном потенциале в случае использования слабых окислителей;
- увеличение окислительно-восстановительного потенциала среды применением сильных окислителей без корректировки значения рН воды;
- совместное применение более сильного окислителя и повышение значения рН воды.

Авторы данной работы в своих исследованиях изучали возможность удаления марганца с использованием в технологии очистки подземных вод метода предварительной интенсивной (глубокой) аэрации воды атмосферным воздухом с целью корректировки величины рН путем удаления (отдувки) свободной углекислоты. Полученные результаты исследований методов аэрации-дегазации воды позволили предположить целесообразность данного метода. Кроме этого, определялись эффективные дозы озона при извлечении растворенного марганца из воды, в которой он содержался в различных соотношениях с растворенным Fe^{2+} .

Проведенные исследования в различных регионах Сибири, где качественный состав подземных вод различен, показали, что эффективность удаления марганца из воды разная. Экспериментальные исследования показали, что марганец

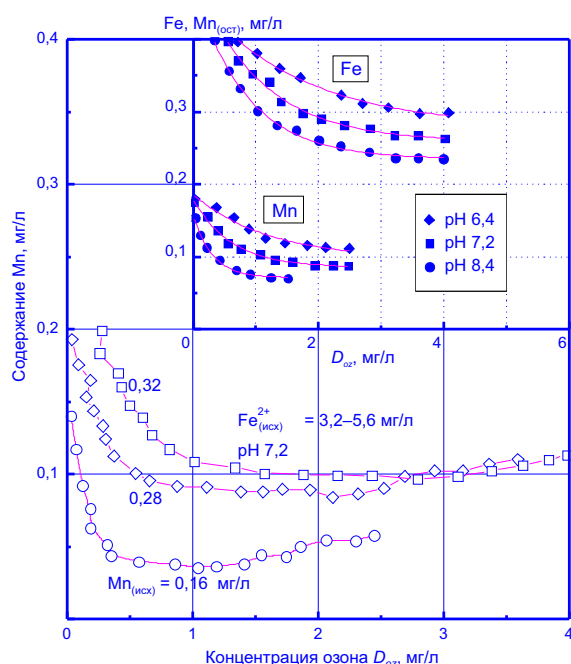
достаточно легко удаляется озонированием невысокими дозами с последующим фильтрованием, если его концентрации не превышают 0,3 мг/л, практически при любых концентрациях растворенного Fe^{2+} . В данном случае достаточно важным является вопрос об эффективном использовании растворенного в воде озона, поскольку при высоких концентрациях железа значительная доля озона расходуется в первую очередь на его окисление и поэтому для достижения требуемой степени очистки воды от марганца требуются повышенные концентрации озона. Данное обстоятельство является спецификой технологии озонирования подземных вод, содержащих одновременно растворенные железо и марганец. Необходимая доза озона для удаления марганца до требуемых норм (0,1 мг/л), составляла 2,1–2,8 мг/л. При повышенных дозах озона (до 5,5 мг/л) в обрабатываемой воде и последующем фильтровании обработанной озоном воды со скоростью не выше 12 м/ч остаточная концентрация марганца уменьшалась до «следовой» величины.

Также установлено (рисунок), что при содержании марганца в воде в небольших концентрациях оптимальные значения доз озона должны быть в пределах 1,0–2,2 мг/л. Увеличение дозы озона с целью получения более глубокого извлечения марганца приводило к обратному эффекту — остаточное содержание марганца в очищенной воде возрастало, что объясняется переходом его из нерастворимой формы (Mn^{4+}) в растворимую (Mn^{7+}), когда он не задерживается при фильтровании, а очищенная вода при этом приобретает достаточно устойчивый красноватый оттенок. К аналогичному выводу пришли авторы [17], выполнившие исследования на различных подземных водоисточниках.

Установленный отрицательный эффект является еще одной специфической особенностью использования технологии озонирования для обработки подземных вод, в которых содержится марганец. Данное обстоятельство следует учитывать при обосновании технологии обработки подземных вод с использованием озонирования для питьевого водоснабжения.

Заключение

Технология озонирования подземных вод как технологический прием их обработки име-



Влияние pH воды и дозы озона на степень удаления Fe и Mn (предварительное озонирование воды и одноступенчатое фильтрование на альбитофиле: $H_3 = 1,2$ м; $d_{\text{эб}} = 1,6-1,8$ мм; $u_{\text{ф}} = 12$ м/ч)

ет свою специфику. Как технологический прием удаления основных загрязнений, содержащихся в подземных водах, озонирование должно сочетаться (соответствовать) в технологических схемах с качественным составом обрабатываемой воды. Параметры озонирования должны соответствовать качественному составу примесей и их концентрации в обрабатываемых подземных водах. В определенных условиях при окислении озоном растворенное в воде железо (Fe^{2+}) оказывает конкурирующее действие в отношении растворенного марганца (Mn^{2+}), который при этом полностью не окисляется и, как следствие, полностью не извлекается из воды при последующем фильтровании. Чрезмерное увеличение (свыше 3 мг/л) дозы растворенного озона при обработке подземных вод, содержащих растворенное железо в концентрации до 3,5 мг/л и марганец в концентрации до 0,3 мг/л приводит к обратному эффекту — ухудшению качества обработанной воды по остаточному содержанию марганца.

Литература

1. Апельдина, Е. И., Алексеева, Л. П., Черская, Н. О. (1992). Проблемы озонирования при подготовке питьевой воды. Водоснабжение и санитарная техника, № 4, сс. 22–27.

2. Hoigne, J. (1988). The chemistry of ozone in water. Process technologies for water treatment: Plenum Publ. Corp., pp. 16–22.

3. Бо, Д. (2000). Практика озонирования в обработке питьевых вод. Водоснабжение и санитарная техника, № 1, сс. 26–29.

4. Bernhardt, H., Hoyer, O., Schoenen, D. (1996). UV-disinfections of treated surface water. In: Ozone, Ultraviolet light, Advanced Oxidation Processes in Water Treatment. Amsterdam, p. 68–74.

5. Дзубо, В. В., Алферова, Л. И. (1997). Исследование возможности и эффективности озонирования подземных вод Западной Сибири для питьевого водоснабжения. Известия вузов. Строительство, № 6, сс. 85–89.

6. Драгинский, В. Л., Алексеева, Л. П. (1996). Применение озона в технологии подготовки воды. Информационный центр «Озон». Информационные материалы, вып. 2, сс. 4–6.

7. Разумовский, С. Д., Заиков, Г. Е. (1974). Озон и его реакция с органическими соединениями. М.: Наука, 322 с.

8. Жуков, Н. Н., Драгинский, В. Л., Алексеева, Л. П. (2000). Озонирование воды в технологии водоподготовки. Водоснабжение и санитарная техника, № 1, сс. 2–4.

9. Кожин, В. Ф., Кожин, И. В. (1974). Озонирование воды. М.: Стройиздат, 159 с.

10. Grasso, D., Weber, W. J., Dekam, J. A. (1989). Effects of preoxidation with ozone on water quality: a case study. American Water Works Association Journal, vol. 81, p. 22–28.

11. Артеменок, Н. Д. (1987). Особенности показателей качества подземных вод Западно-Сибирского артезианского бассейна. В: Рациональное использование природных вод, улучшение их качества и очистка производственных стоков на железнодорожном транспорте. Днепропетровск: Изд-во ДИИТ, сс. 66–72.

12. Алексеев, М. И., Дзубо, В. В., Алферова, Л. И. (1999). Формирование состава подземных вод Западно-Сибирского региона и особенности их использования для питьевого водоснабжения. Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета, № 1, сс. 183–199.

13. Ермашова, Н. А. (1982). Некоторые геохимические особенности подземных вод палеогенового комплекса юго-восточной части Западно-Сибирского артезианского бассейна. В: Вопросы изучения поверхностных и подземных вод Сибири, Иркутск, сс. 90–96.

14. Дзубо, В. В. (2007). Подготовка подземных вод для питьевого водоснабжения малых населенных пунктов Западно-Сибирского региона. докт. техн. наук. Томск.

15. Алферова, Л. И., Дзубо, В. В. (2005). Интенсификация стадии аэрации в технологиях очистки подземных вод. Вода и экология: проблемы и решения, № 3, сс. 3–7.

16. Дзубо, В. В., Алферова, Л. И. (2003). Аэрация-дегазация подземных вод в процессе очистки. Водоснабжение и санитарная техника, № 6, сс. 21–25.

17. Драгинский, В. Л., Алексеева, Л. П. (1997). Очистка подземных вод от соединений железа, марганца и органических загрязнений. Водоснабжение и санитарная техника, № 12, сс. 16–19.

References

1. Apeltsina, E. I., Alekseev, L. P., Cherskaya, H. O. (1992). Problemy ozonirovaniya pri podgotovke pit'evoy vody [Ozonization problems by preparation of drinking water]. *Water Supply and Sanitary Technique*, № 4, pp. 22–27. (in Russian).
2. Hoigne, J. (1988). The chemistry of ozone in water. *Process technologies for water treatment: Plenum Publ. Corp.*, pp. 16–22.
3. Bo, D. (2000). Praktika ozonirovaniya v obrabotke pit'evykh vod [Practice of ozonization in processing of drinking waters]. *Water Supply and Sanitary Technique*, № 1, pp. 26–29. (in Russian).
4. Bernhardt, H., Hoyer, O., Schoenen, D. (1996). UV-disinfections of treated surface water. In: *Ozone, Ultraviolet light, Advanced Oxidation Processes in Water Treatment*. Amsterdam, p. 68–74.
5. Dzyubo, V. V., Alferova, L. I. (1997). Issledovanie vozmozhnosti i effektivnosti ozonirovaniya podzemnykh vod Zapadnoy Sibiri dlya pit'evogo vodosnabzheniya [Research of opportunity and efficiency of ozonization of underground waters of Western Siberia for drinking water supply]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*, № 6, pp. 85–89. (in Russian).
6. Draginskij, V. L., Alekseeva, L. P. (1996). Primenenie ozona v tekhnologii podgotovki vody [Use of ozone in technology of preparation of water]. *Informacionnyj centr «Ozon». Informacionnye materialy*, vol. 2, pp. 4–6. (in Russian).
7. Razumovsky, S. D., Zaikov, G. E. (1974). Ozon i ego reakciya s organicheskimi soedineniyami [Ozone and its reaction with organic compounds]. M.: Nauka, 322 p. (in Russian).
8. Zhukov, N. N., Draginsky, V. L., Alekseeva, L. P. (2000). Ozonirovanie vody v tekhnologii vodopodgotovki [Ozonization of water in technology of water treatment]. *Water Supply and Sanitary Technique*, № 1, pp. 2–4. (in Russian).
9. Kozhinov, V. F., Kozhinov, I. V. (1974). Ozonirovanie vody [Water ozonization]. M.: Stroyizdat, 159 p. (in Russian).
10. Grasso, D., Weber, W. J., Dekam, J. A. (1989). Effects of preoxidation with ozone on water quality: a case study. *American Water Works Association Journal*, vol. 81, p. 22–28.
11. Artemenok, N. D. (1987). Osobennosti pokazatelej kachestva podzemnykh vod Zapadno-Sibirskogo artezijskogo bassejna [Features of indicators of quality of underground waters of the West Siberian artesian basin]. In: *Rational use of natural waters, improvement of their quality and cleaning of production drains on railway transport*. Dnepropetrovsk: Izdatel'stvo DIIT, pp. 66–72. (in Russian).
12. Alekseev, M. I., Dzyubo, V. V., Alferova, L. I. (1999). Formirovanie sostava podzemnykh vod Zapadno-Sibirskogo regiona i osobennosti ih ispol'zovaniya dlya pit'evogo vodosnabzheniya [Formation of composition of underground waters of the West Siberian region and feature of their use for drinking water supply]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta*, pp. 183–199. (in Russian).
13. Ermashova, N. A. (1982). Nekotorye geohimicheskie osobennosti podzemnykh vod paleogenovogo kompleksa yugovostochnoj chasti Zapadno-Sibirskogo artezijskogo bassejna [Some

geochemical features of underground waters of a paleogenov complex of southeast part of the West Siberian artesian basin]. In: *Voprosy izucheniya poverhnostnykh i podzemnykh vod Sibiri*, Irkutsk, pp. 90–96. (in Russian).

14. Dzyubo, V. V. (2007). Podgotovka podzemnykh vod dlya pit'evogo vodosnabzheniya malyykh naseleennykh punktov Zapadno-Sibirskogo regiona [Preparation of underground waters for drinking water supply of small settlements of the West Siberian region]. *Dr. of tech. sciences*. Tomsk. (in Russian).

15. Alferova, L. I., Dzyubo, B. B. (2005). Intensifikatsiya stadii ahratsii v tekhnologiyah ochistki podzemnykh vod [An aeration stage intensification in technologies of purification of underground waters]. *Water and ecology*, № 3, pp. 3–7. (in Russian).

16. Dzyubo, V. V., Alferova, L. I. (2003). Ahratsiya-degazatsiya podzemnykh vod v processe ochistki [Aeration decontamination of underground waters in the course of cleaning]. *Water Supply and Sanitary Technique*, № 6, pp. 21–25. (in Russian).

17. Draginsky, V. L., Alekseeva, L. P. (1997). Ochistka podzemnykh vod ot soedinenij zheleza, marganca i organicheskikh zagryaznenij [Purification of underground waters of compounds of iron, manganese and organic pollution]. *Water Supply and Sanitary Technique*, № 12, pp. 16–19. (in Russian).

Авторы

Дзюбо Владимир Васильевич, д-р техн. наук
Томский государственный архитектурно-строительный университет
E-mail: dzv1956@mail.ru

Алферова Лариса Ивановна

Томский государственный архитектурно-строительный университет
E-mail: alflar@mail.ru

Васильев Виктор Михайлович, д-р техн. наук

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
E-mail: gidr1@spbgasu.ru

Authors

Dzyubo Vladimir Vasiljevich, Dr. of Engineering
Tomsk State University of Architecture and Building
E-mail: dzv1956@mail.ru

Alferova Larisa Ivanovna

Tomsk State University of Architecture and Building
E-mail: alflar@mail.ru

Vasiliev Viktor Mihajlovich, Dr. of Engineering
Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering
E-mail: gidr1@spbgasu.ru