

СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 628.162+ 628.316

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ОЧИСТКИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОДЫ НЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СИСТЕМ ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

С. В. Андreyuk

*К. т. н., доцент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов
Брестского государственного технического университета, г. Брест, Республика Беларусь, e-mail: a_asv75@mail.ru*

Реферат

Приводится аналитический обзор достижений и публикаций по разработке водоочистных устройств нецентрализованных систем питьевого водоснабжения. С учетом проведенного анализа предлагаются и обосновываются результаты собственных экспериментальных исследований по оптимизации технологического режима очистки воды от нитратов на ионообменных смолах для нецентрализованных локальных и индивидуальных систем питьевого водоснабжения. Исследование наиболее эффективных анионитов проводилось с применением математического планирования экспериментов, целью которого являлось изучение влияния основных факторов работы ионообменной колонки на эффективность удаления нитратов подземных вод. Полученные частные решения экспериментально-статистических зависимостей в области оптимальных значений позволяют оценить изменение эффекта очистки воды от нитратов по уравнениям линейной регрессии с учетом варьирования скорости фильтрации, соотношения высоты ионообменной колонки и ее диаметра, температуры обрабатываемой воды. Разработаны технологические схемы и устройства для очистки и кондиционирования подземных вод нецентрализованных индивидуальных систем питьевого водоснабжения с использованием метода ионного обмена для удаления нитратов.

Ключевые слова: очистка, кондиционирование воды, нецентрализованные системы, питьевое водоснабжение, нитраты, ионный обмен, технологические схемы.

TECHNOLOGICAL SCHEMES FOR WATER PURIFICATION AND CONDITIONING OF NON-CENTRALIZED DRINKING WATER SUPPLY SYSTEMS

S. V. Andreyuk

Abstract

The article provides an analytical review of the achievements and publications on the development of water treatment devices for non-centralized drinking water supply systems. It contains the results of our own experimental research on the optimization of the technological regime of water purification from nitrates on ion-exchange resins for non-centralized local and individual drinking water supply systems. The study of the most effective anion exchangers was carried out using mathematical planning of experiments, the purpose of which was to study the influence of the main factors of the operation of the ion-exchange column on the efficiency of removing nitrates from groundwater. The obtained particular solutions of the experimental-statistical dependencies in the range of optimal values make it possible to assess the change in the effect of water purification from nitrates according to linear regression equations taking into account the variation in the filtration rate, the ratio of the height of the ion-exchange column and its diameter, and the temperature of the treated water. Technological schemes and devices have been developed for the purification and conditioning of underground waters of non-centralized individual drinking water supply systems using the ion exchange method to remove nitrates.

Keywords: purification, water conditioning, decentralized systems, drinking water supply, nitrates, ion exchange, technological schemes.

Введение

Согласно техническому регламенту Таможенного союза 010/2011 «О безопасности машин и оборудования», действующему в Республике Беларусь, как и на территории Евразийского экономического союза, оборудование для подготовки и очистки питьевой воды входит перечень продукции, подлежащей подтверждению в форме декларирования соответствия. К данному оборудованию относятся, в том числе, системы и устройства предназначенных для очистки, доочистки и кондиционирования питьевой воды (далее – водоочистные системы и устройства) нецентрализованных систем питьевого водоснабжения, к разработке, производству, испытаниям и реализации которых устанавливаются определенные гигиенические требования.

Различают водоочистные системы и устройства индивидуального, коллективного, производственно-технологического назначения, предназначенные для очистки, доочистки и кондиционирования питьевой воды подземных и поверхностных водоисточников с производительностью до 150 м³/час. К водоочистным системам и устройствам относятся также бытовое оборудование для подготовки и очистки питьевой воды. Количество стадий обработки воды в бытовых условиях в значительной степени определяется качеством очистки в системе централизованного водоснабжения или качеством воды индивидуального источника водоснабжения – скважины, шахтного колодца. Дополнительная водоподготовка питьевой воды, прошедшей сооружения централизованной системы водоснабжения, бытовыми устройствами включает, как правило, одну или две стадии. В других случаях необходимо использовать большее количество стадий очистки [1, 2].

В водоочистных системах и устройствах допускается использовать методы обработки воды: макро-, микро- и ультрафильтрация; осмос и обратный осмос; сорбция, коагуляция, флокуляция; электрохимическая коагуляция; ультрафиолетовое облучение, обработка ультразвуком, озонирование, низкоэнергетический импульсный разряд, насыщение ионами серебра, йодирование; кондиционирование воды (йод, фтор, селен и другие вещества); катионный и анионный обмен. Применение методов катионного и анионного обмена для получения питьевой воды допускается при использовании в водоочистных системах и устройствах в качестве загрузок ионообменных волокнистых материалов и смол, разрешенных Министерством здравоохранения Республики Беларусь к применению в практике хозяйственно-питьевого водоснабжения с обязательным применением совместно с ними активированных углей и/или микро-ультрафильтрации. Правильный выбор и сочетание отдельных приемов в общей технологической схеме подготовки подземных вод различного исходного состава гарантируют получение качественной питьевой воды [3].

Согласно обзору литературных данных и результатам современных гидрохимических наблюдений, которые указывают на высокую степень загрязненности подземных вод азотистыми соединениями, актуальной остается проблема очистки воды от нитратов [4, 5]. Высокие уровни загрязнения воды шахтных колодцев и скважин нитратами заслуживают самого серьезного внимания, так как отрицательное влияние нитратов, содержащихся в воде, проявляется в заболевании метгемоглобинемией (в особенности у детей грудного и младшего возраста). Длительное употребление воды с повышенным

содержанием азотистых соединений вызывает болезни обмена веществ и нервной системы [6].

Исследование технологических возможностей водоочистных систем и устройств децентрализованных систем питьевого водоснабжения проводились с целью разработать технологию очистки подземных вод от нитратов, обеспечивающую получение воды питьевого качества, с использованием метода ионного обмена.

Аналитический обзор достижений по разработке водоочистных устройств децентрализованных систем питьевого водоснабжения

Водоочистные устройства индивидуального назначения предназначены для очистки воды в домашних (бытовых) условиях. Для пользующихся централизованным водоснабжением горожан и сельских жителей – для доочистки и кондиционирования водопроводной воды, для сельских жителей при отсутствии централизованного водоснабжения – для очистки и обеззараживания речной, озерной или колодезной воды. Такие устройства должны быть простыми в монтаже и обслуживании, а количество эксплуатационных операций должно быть сведено до минимума или лучше – вообще отсутствовать. Вопрос автоматизации не имеет однозначного ответа, поскольку определенный технологический режим может быть регламентирован инструкцией по пользованию либо задаваться автоматически.

Водоочистные устройства коллективного, производственно-технологического назначения для обслуживания небольших потребителей, таких как вахтовые, пастбищные и полевые бригады, детские сады и ясли, школы, больницы, воинские казармы и т. п. могут быть более сложными в эксплуатации и требовать специально подготовленного технического персонала или обслуживаться бригадами по сервису. Здесь уровень автоматизации может быть достаточно высоким, а технологический режим включать стадии регенерации. При этом дополнительное оборудование для регенерации должно включаться в общую технологическую схему [7, 8].

Достаточно широкий набор фильтров и мембранных установок выпускают следующие фирмы: RAINFRESH («Райнфреш», Канада), TELEDYNE WATER PIK («Теледайн Уотер Пик», США), АМТЕК («Аметек», США), SAFE WATER TECHNOLOGY («Сейф Уотер Систем», США), ЗАО «Гейзер» (Россия), реализовавшие несколько типов технологии очистки и кондиционирования воды.

Наиболее простым решением является использование седиментационных фильтров. Они предназначены для удаления взвешенных частиц, которые обычно представляют собой загрязнения природного происхождения – песок, глинистые частицы, ил и ржавчину. Седиментационные фильтры рекомендуется использовать в каждом доме – либо в помещении, либо в месте водозабора, если источник водоснабжения индивидуального пользования. Так, разработана установка [9], которая может быть использовано в системах предварительной очистки природных вод подземных водисточников преимущественно от железа, марганца и взвешенных веществ в хозяйственно-питьевом, промышленном и сельскохозяйственном водоснабжении.

Усложнение технологии при содержании в воде растворенных молекулярных и ионных примесей, которые не могут быть задержаны седиментационными фильтрами, сводится к добавлению второй стадии – адсорбции на угольных или минеральных адсорбентах. Обычно адсорбционные фильтры выполнены в виде патрона из гранулированного активированного угля – картриджа – или сформованного композитного блока. Основное назначение угольных фильтров – это удаление посторонних привкусов и запахов, которые присутствуют в природной воде либо возникают в процессе ее хлорирования на водопроводных станциях. Для удаления ионных примесей, таких как нитраты, нитриты, тяжелые металлы, используют природные или синтетические иониты. Так, фирма «Сейф Уотер Систем» адсорбционные угольные фильтры дополнительно комплектуется блоками, например с анионитом, для извлечения нитратов и нитритов. Ресурс этих блоков составляет от 3 до 6 месяцев в зависимости от содержания этих загрязнений в исходной воде. В некоторых адсорбционных фильтрах этим целям служат природные иониты – минералы цеолиты (шунгит, клиноптилолит). Адсорбционные фильтры разрешается использовать, если вода предварительно надежно дезинфицирована. Более того, использование угольных адсорбционных фильтров для недезинфицированной воды приводит к размножению микроорганизмов на загрузке, что дает дополнительное загрязнение фильтра.

Задачи обеззараживания в водоочистных системах и устройствах решаются с помощью разных технологических приемов. Так, в адсорбционных фильтрах «Родник», «Сейф Уотер Систем» используется обеззараживание тяжелыми металлами: в первом случае серебром, во втором – медью. Однако бактерицидные свойства тяжелых металлов (включая серебро) проявляются в концентрациях, близких к предельно допустимым. Причем для получения надежного бактерицидного эффекта время экспозиции должно быть достаточно длительным. Следует отметить, что установки, в которых использован этот метод обеззараживания, не дают необходимого времени контакта в режиме фильтрации воды; функция носителей серебра и меди сводится к обеспечению консервирующего действия, когда фильтрат не отбирается. Фирма «Теледайн Уотер Пик» проводит работы по оценке возможности озонирования применительно к водоочистным устройствам. Предложено обеззараживание воды проводить методами прямого электролиза, ультрафиолетовым облучением, применением йодированных полимеров. Известна, в частности, установка для глубокой очистки водопроводной воды, а также воды из поверхностных и подземных источников, состоящая из входного фильтра механической очистки воды, фильтров обезжелезивания и умягчения, а также обеззараживателя воды, выполненного в виде размещенной в трубопроводе ультрафиолетовой лампы [10].

Мембранные водоочистные устройства обычно имеют комплексную технологическую схему, в которой представлены в виде блоков седиментационные и адсорбирующие фильтры, – установки фирм «Нимбус», «Аметек», «Теледайн Уотер Пик», «ЭД-500». Исключением являются мембранные устройства «Родничок» и «Опреснитель» (НИИХИММАШ) – в них реализован только один основной технологический процесс, что сужает круг решаемых задач и делает эти устройства уязвимыми ко многим примесям. В мембранных водоочистных системах (мембранных модулях) используются два типа технологий: баромембранные (ультрафильтрация, нанофильтрация, обратный осмос) и электромембранные (электродиализ). Технологический процесс обратного осмоса заключается в том, что вода продавливается через полупроницаемую мембрану, в результате чего до 95 % растворенных минеральных и органических примесей задерживаются мембраной. Эти установки дают питьевой воды в объеме 10–15 % от поступающей на очистку. Электромембранные водоочистные устройства в основном рассчитаны на опреснение соленых вод. Установка «ЭД-500» имеет комплексную систему, включающую стадии фильтрации грубых взвесей, дезинфекции, адсорбции, опреснения и кондиционирования. В работе [11] представлены результаты исследований ионообменных и мембранных методов как комплексных методов очистки природных подземных вод с повышенным содержанием катионов металлов (железа, кальция, магния). Показана возможность использования исследуемых методов как комплексных. Известно использование для очистки воды от нитратов метода ионного обмена [12, 13].

Водоочистные системы и устройства коллективного, производственно-технологического (локального) назначения имеют ряд преимуществ перед индивидуальными бытовыми устройствами, в том числе использование таких водоочистных систем облегчает решение проблемы сервиса и регенерации сорбентов, а также автоматизации технологического процесса.

Задачей выполненных исследований стала оптимизация технологического режима очистки воды на ионообменных смолах с удалением из воды нитратов до значений ниже предельно допустимой концентрации для децентрализованных локальных и индивидуальных систем питьевого водоснабжения.

Исследование и оптимизация технологического режима очистки воды от нитратов на ионообменных смолах

Исследование наиболее эффективных анионитов проводилось с применением математического планирования экспериментов, целью которого являлось изучение влияния на эффективность процесса очистки воды от нитратов основных факторов работы ионообменной колонки с определением их оптимальных значений:

- скорости фильтрации воды V , м/ч;
- величины отношения высоты загрузки фильтрационной колонки к ее диаметру H/d ;
- температуры обрабатываемой воды t , °С.

В области оптимальных значений частные решения полученных экспериментально-статистических зависимостей позволяют оценить изменение эффекта очистки воды от нитратов с учетом варьирования факторов работы ионообменной колонки по уравнениям линейной регрессии (95 %-й значимости):

– для фактора температуры обрабатываемой воды t , °С, в интервале $t = 5-18$ °С,

$$\Theta = 1,03 \cdot t + 78,46, \% \quad (1)$$

– для фактора скорости фильтрации V , м/ч, в интервале $V = 10-32$ м/ч,

$$\Theta = -0,69 \cdot V + 99,28, \% \quad (2)$$

– для фактора H/d , в интервале $H/d = 0,1-5$,

$$\Theta = 3,71 \cdot (H/d) + 77,77, \% \quad (3)$$

Полученное математическое описание, во-первых, дает информацию о влиянии факторов, во-вторых, позволяет количественно определить значения функции отклика (эффекта удаления нитратов) при любом заданном режиме ведения процесса очистки воды [14].

Разработка технологических схем и устройств очистки и кондиционирования подземных вод нецентрализованных систем питьевого водоснабжения с использованием метода ионного обмена для удаления нитратов

Наличие железа (Fe^{2+}) в подземных водах, наряду с нитратами, в концентрациях, превышающих предельно допустимые, является дополнительным фактором, определяющим состав технологической схемы водоподготовки для нецентрализованных локальных и индивидуальных систем питьевого водоснабжения.

Так, при анализе качества пресных подземных вод Беларуси и практически всех регионов с гумидным климатом (в пределах Российской Федерации, в Польше, Литве и многих других странах) отмечают, что наиболее часто в подземных водах фиксируются повышенные концентрации содержания железа, превышающие допустимый уровень, установленный для вод хозяйственно-питьевого назначения – $0,3$ мг/дм³. Основной формой, в которой железо присутствует в пресных подземных водах, является Fe^{2+} . Важнейшими геохимическими условиями, способствующими накоплению железа в подземных водах, являются наличие бескислородной обстановки и отсутствие в водах осадителей железа (CO_3^{2-} , HS^- и др.). Максимальные концентрации в водах кислорода (до $8-11$ мг/дм³) и, соответственно, минимальные концентрации железа (не обн. – $0,3$ мг/дм³) наблюдаются в неглубоко залегающих грунтовых водах на незаболоченных участках. С глубиной содержание кислорода уменьшается. В подобных условиях железо (в форме Fe^{2+}) может накапливаться до весьма значительных концентраций (до $20-50$ мг/дм³).

С учетом показателей качества исходной воды, в процесс очистки от соединений азота следует включить (рисунок 1): осветление (предварительная механическая обработка для исключения попадания мелких частиц в устройства последующей водоподготовки); кондиционирование (основная стадия: удаление нитратов; обезжелезивание – при необходимости); сорбцию (заключительная стадия обработки воды) и обеззараживание [15].



Рисунок 1 – Блок-схема водоподготовки для удаления нитратов

На рисунке 2 представлена разработанная технологическая схема очистки подземных вод, содержащих соединения азота (нитраты) и железа (II) в концентрациях выше ПДК, в индивидуальной системе питьевого водоснабжения.

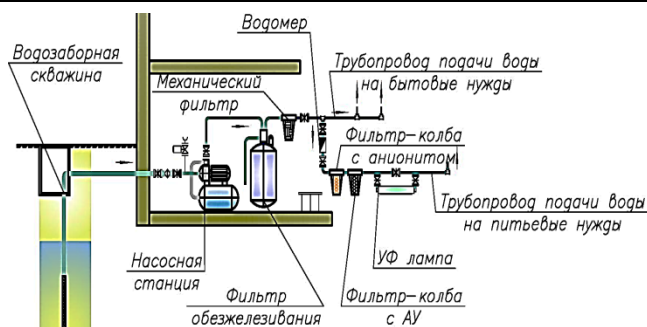


Рисунок 2 – Технологическая схема очистки подземных вод, содержащих нитраты и соединения железа (II) в концентрациях выше ПДК, для индивидуальной системы питьевого водоснабжения

Исходная вода забирается насосной станцией с пневмобаком и подается на водоподготовку: проходит первую ступень очистки – обезжелезивание предварительно насыщенной кислородом воды, после чего разделяется на два потока: 1) подается на бытовые (гигиенические и хозяйственные) нужды потребителю; 2) направляется на последующую водоподготовку; вода второго потока проходит подготовку на сильноосновных ионообменных смолах, сорбционную очистку на активных углях, обеззараживание ультрафиолетовой лампой. Далее вода второго потока поступает потребителю на питьевые нужды.

Устройство очистки воды для питьевого водоснабжения, схема которого представлена на рисунке 3, обеспечивает улучшение качества водоподготовки, в том числе удаление из воды нитратов, а также повышение надежности и долговечности элементов конструкции. Разработанный блок водоподготовки содержит механический, ионообменный и сорбционный фильтры, устройство обеззараживания [16].

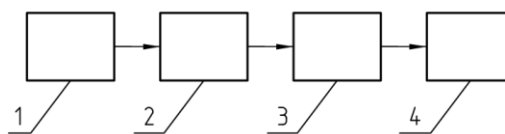


Рисунок 3 – Устройство очистки воды для питьевого водоснабжения

Загрязненная вода поступает в механический фильтр 1, представляющий собой заменяемый нитяной картриджный фильтр, где происходит тонкая фильтрация – это полное осветление и удаление взвешенных веществ – до 98 процентов (в том числе, практически всех нерастворенных соединений железа), что обеспечивает длительную работу материалов (угля, анионитной смолы), которые осуществляют очистку воды от растворенных веществ и не подвергаются обволакиванию их зерен и частиц взвешенными загрязнениями. Затем вода проходит через ионообменный фильтр 2, в котором в качестве наполнителя используется анионитная смола (высокоэффективный ионообменный материал). При этом из воды удаляются нитраты, что обеспечивает качество воды в соответствии требованиям СанПиН 10-124 РБ 99 «Питьевая вода» по указанному показателю. После этого вода проходит сорбционный фильтр 3 с загрузкой из активированного дробленого угля, где задерживаются остаточные загрязнения, обуславливающие запахи и привкусы. Далее вода поступает в устройство обработки УФ-лучами 4, где подвергается ультрафиолетовому облучению, обеспечивающему обеззараживание воды.

Испытание опытного блока водоподготовки показало, что предлагаемое техническое решение обеспечивает:

- повышение степени водоподготовки (при основных показателях: мутность – $1,5$ мг/дм³, железо (II) – $0,3$ мг/дм³, нитраты – 100 мг/дм³) до норм СанПиН 10-124 РБ 99 «Питьевая вода»: по органолептическим показателям – высшая категория, по нитратам – до 45 мг/дм³;
- увеличение межрегенерационного цикла работы и срока службы угля и ионообменных смол в полтора раза;
- обеспечение санитарно-эпидемиологической надежности процессов водоподготовки и обеззараживания.

Заключение

Технологические возможности водоочистных систем и устройств нецентрализованных систем питьевого водоснабжения более широки, а реализуемые в них процессы могут быть более надежными и безопасными по многим примесям по сравнению с традиционными технологиями. Усовершенствование технологических процессов на водопроводных станциях очистки в системах централизованного водоснабжения, а также использование водоочистных устройств в системах нецентрализованного водоснабжения с целью повышения надежности по некоторым загрязнениям заключается, в частности, в возможности удаления нитратов подземных вод, во введении обязательной фильтрации очищенной воды на конечной стадии через загрузку активированным углем, а также применение современных методов обеззараживания.

На основании проведенных теоретических исследований, лабораторных и полупроизводственных испытаний разработана эффективная технология очистки подземных вод от нитратов методом ионного обмена, состоящая из механического фильтра, ионообменного фильтра с сильноосновным анионом, сорбционного фильтра с активированным углем, УФ-лампы обеззараживания, обеспечивающая удаление из воды нитратов до значений ниже предельно допустимой концентрации для нецентрализованных локальных и индивидуальных систем питьевого водоснабжения.

Таким образом, традиционные технологии водоподготовки эволюционируют к технологиям, разрабатываемым для водоочистных систем и устройств. Поэтому прогресс в последних будет способствовать также развитию крупномасштабной технологии водоподготовки для обеспечения питьевых, хозяйственных и производственных нужд, а также очистки сточных вод.

Список цитированных источников

1. Говорова, Ж. М. Предпосылки к разработке компактной установки для очистки подземной воды / Ж. М. Говорова, В. А. Семеновых, О. Б. Говоров // Системные технологии. – 2020. – № 1 (34). – С. 28–31.
2. Казанцева, А. В. Компактная установка для приготовления питьевой воды / А. В. Казанцева, М. Ю. Белканова, В. И. Васильев // Строительство и экология: теория, практика, инновации: сборник докладов I Международной научно-практической конференции, 9 марта 2015 года. – Челябинск: Пирс, 2015. – С. 19–21.
3. Дзюбо, В. В. Технологии и технологические схемы подготовки подземных вод для целей питьевого водоснабжения / В. В. Дзюбо, Л. И. Алферова // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2008. – № 5 (5). – С. 45–49.
4. Зайцева, И. С. Современные методы очистки питьевой воды от нитратов / И. С. Зайцева, В. В. Козловская, Е. В. Шатрова // Проблемы строительного производства и управления недвижимостью: сборник научных статей V Международной научно-практической конференции / Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева. – Кемерово, 2018. – С. 146–150.
5. Гуляева, В. И. Методы очистки природной воды от нитратов / В. И. Гуляева // Аллея науки. – 2020. – Т. 1, № 6 (34). – С. 350–354.
6. Шумигай, И. В. Влияние нитратов подземных вод на состояние здоровья населения / И. В. Шумигай // Агроэкологический журнал. – 2015. – № 4. – С. 53–58.
7. Технология и блочно-модульная установка подготовки подземных вод для водоснабжения автономных объектов ЖКХ / Е. А. Дугин [и др.] // Экология и водное хозяйство. – 2019/2 (2) – С. 22–34.
8. Способ очистки подземных вод для сельскохозяйственного использования. Патент на изобретение RU 2717522 C1, 23.03.2020. Заявка № 2019129951 от 23.09.2019 / Роспатент.
9. Установка для очистки подземных вод. Патент на изобретение RU 2641132 C1, 16.01.2018. Заявка № 2017104725 от 14.02.2017 / Роспатент.
10. Установка для очистки воды из подземных источников. Патент на полезную модель RU 116486 U1, 27.05.2012. Заявка № 2012101175/05 от 16.01.2012 / Роспатент.
11. Чигаев, И. Г. Исследование нанофильтрации и ионного обмена как комплексных методов очистки природных подземных вод / И. Г. Чигаев, Л. Ф. Комарова // Вестник технологического университета. – 2019. – Т. 22, № 4. – С. 99–102.
12. Использование ионного метода для очистки воды от нитратов / И. Н. Трус [и др.] // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2016. – № 12 (108). – С. 28–30.
13. Житенев, Б. Н. Технологические схемы водоподготовки для удаления нитратов на ионообменных смолах в нецентрализованных системах питьевого водоснабжения / Б. Н. Житенев, С. В. Андreyuk //

Производственно-технический и научно-практический журнал «Вода Magazine». – 2018. – № 5 (129). – С. 40–43.

14. Андreyuk, С. В. Технология очистки подземных вод от нитратов методом ионного обмена: автореферат дис. ... канд. техн. наук : 05.23.04 / С. В. Андreyuk; БНТУ. – Минск, 2019. – 20 с.
15. Житенев, Б. Н. Технологические решения подготовки воды, с примесями соединений азота и железа, для питьевого водоснабжения / Б. Н. Житенев, С. В. Андreyuk // Вестник БрГТУ. – 2017. – № 2 : Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – С. 95–98.
16. Блок водоподготовки. Патент на полезн. модель 12064 BY, МПК C02F9/04, C02F101/16, C02F103/04 / С. В. Андreyuk, Б. Н. Житенев; заявл. Брестский гос. техн. ун-т. – № u20190027; заявл. 30.01.2019; опубл. 03.06.2019 / Гос. реестр полезн. моделей.

References

1. Govorova, Zh. M. Predposylki k razrabotke kompaktnoy ustanovki dlya oshchistki podzemnoy vody / Zh. M. Govorova, V. A. Semenovyyh, O. B. Govorov // Sistemye tekhnologii. – 2020. – № 1 (34). – S. 28–31.
2. Kazanceva, A. V. Kompaktnaya ustanovka dlya prigotovleniya pit'evoy vody / A. V. Kazanceva, M. Yu. Belkanova, V. I. Vasil'ev // Stroitel'stvo i ekologiya: teoriya, praktika, innovacii: sbornik dokladov I Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii, 9 marta 2015 goda. – Chelyabinsk : Pirs, 2015. – S. 19–21.
3. Dzyubo, V. V. Tekhnologii i tekhnologicheskie skhemy podgotovki podzemnykh vod dlya celej pit'evogo vodosnabzheniya / V. V. Dzyubo, L. I. Alferova // Vodooshchistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie. – 2008. – № 5 (5). – S. 45–49.
4. Zajceva, I. S. Sovremennye metody oshchistki pit'evoy vody ot nitratov / I. S. Zajceva, V. V. Kozlovskaya, E. V. Shatrova // Problemy stroitel'nogo proizvodstva i upravleniya nedvizhimost'yu: sbornik nauchnykh statej V Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii / Kuzbasskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet im. T. F. Gorbacheva. – Kemerovo, 2018. – S. 146–150.
5. Gulyaeva, V. I. Metody oshchistki prirodnoj vody ot nitratov / V. I. Gulyaeva // Alleya nauki. – 2020. – T. 1, № 6 (34). – S. 350–354.
6. Shumigaj, I. V. Vliyanie nitratov podzemnykh vod na sostoyanie zdorov'ya naseleniya / I. V. Shumigaj // Agroekologichnij zhurnal. – 2015. – № 4. – S. 53–58.
7. Tekhnologiya i blochno-modul'naya ustanovka podgotovki podzemnykh vod dlya vodosnabzheniya avtonomnykh ob'ektov ZHKKH / E. A. Dugin [i dr.] // Ekologiya i vodnoe hozyajstvo. – 2019/2 (2) – S. 22–34.
8. Sposob oshchistki podzemnykh vod dlya sel'skohozyajstvennogo ispol'zovaniya. Patent na izobretenie RU 2717522 C1, 23.03.2020. Zayavka № 2019129951 ot 23.09.2019 / Rospatent.
9. Ustanovka dlya oshchistki podzemnykh vod. Patent na izobretenie RU 2641132 C1, 16.01.2018. Zayavka № 2017104725 ot 14.02.2017 / Rospatent.
10. Ustanovka dlya oshchistki vody iz podzemnykh istochnikov. Patent na poleznuyu model' RU 116486 U1, 27.05.2012. Zayavka № 2012101175/05 ot 16.01.2012 / Rospatent.
11. Chigaev, I. G. Issledovanie nanofiltracii i ionnogo obmena kak kompleksnykh metodov oshchistki prirodnykh podzemnykh vod / I. G. Chigaev, L. F. Komarova // Vestnik tekhnologicheskogo universiteta. – 2019. – T. 22, № 4. – S. 99–102.
12. Ispol'zovanie ionnogo metoda dlya oshchistki vody ot nitratov / I. N. Trus [i dr.] // Vodooshchistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie. – 2016. – № 12 (108). – S. 28–30.
13. Zhitenev, B. N. Tekhnologicheskie skhemy vodopodgotovki dlya udaleniya nitratov na ionoobmennyyh smolah v necentralizovannykh sistemah pit'evogo vodosnabzheniya / B. N. Zhitenev, S. V. Andreyuk // Proizvodstvenno-tekhnicheskij i nauchno-prakticheskij zhurnal «Voda Magazine». – 2018. – № 5 (129). – S. 40–43.
14. Andreyuk, S. V. Tekhnologiya oshchistki podzemnykh vod ot nitratov metodom ionnogo obmena: avtoreferat dis. ... kand. tekhn. nauk : 05.23.04 / S. V. Andreyuk; BNTU. – Minsk, 2019. – 20 s.
15. Zhitenev, B. N. Tekhnologicheskie resheniya podgotovki vody, s primesyami soedinenij azota i zheleza, dlya pit'evogo vodosnabzheniya / B. N. Zhitenev, S. V. Andreyuk // Vestnik BrGTU. – 2017. – № 2 : Vodohozyajstvennoe stroitel'stvo, teploenergetika i geoekologiya. – S. 95–98.
16. Blok vodopodgotovki. Patent na polezn. model' 12064 BY, МПК S02F9/04, S02F101/16, S02F103/04 / S. V. Andreyuk, B. N. Zhitenev; zayav-l' Brestskij gos. tekhn. un-t. – № u20190027; zayavl. 30.01.2019; opubl. 03.06.2019 / Gos. reestr polezn. modelej.

Материал поступил в редакцию 26.01.2022