

**ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ**

***Северо–Кавказский
регион***

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

2012

6

<i>Садетов Т.С., Миронова А.Д.</i> Эллиптические деревянные кружально-сетчатые своды	72	<i>Sadetov T.S., Mironova A.D.</i> Elliptical Wooden Reticulated Vaults.....	72
<i>Vogdt F.U., Kruglaya N.V.</i> Nachhaltiges Bauen mit Holz	77	<i>Vogdt F.U., Kruglaya N.V.</i> Sustainable of Wooden Constructions	77
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ		HYDRAULIC STRUCTURES	
<i>Коханенко В.Н., Мицик М.Ф., Алейникова О.А.</i> О плановой задаче растекания бурного потока несжимаемой жидкости.....	82	<i>Kohanenko V.N., Mitsik M.F., Aleynikova O.A.</i> The Planned Task of Spreading a Turbulent Flow of Incompressible Fluids	82
ГОРНОЕ ДЕЛО И ГЕОЛОГИЯ		MINING AND GEOLOGY	
<i>Ураскулов М.Р., Богош И.А., Рябов Г.В.</i> Проблемы охраны окружающей среды, связанные с разведкой и эксплуатацией колчеданных месторождений на территории Карачаево-Черкесской Республики (Северный Кавказ)	89	<i>Uraskulov M.R., Bogush I.A., Ryabov G.V.</i> The Problems of Preservation of the Environment Connected with Investigation and Operation Pyrite of Deposits in Territory of Karachaevo-Circassian Republik (North Caucasus)	89
<i>Шурыгин Д.Н., Ефимов Д.А.</i> Регрессионные модели парагенетических взаимосвязей свойств пластов углевмещающего ритма	94	<i>Shurygin D.N., Efimov D.A.</i> Regression Models of Paragenetic Interrelations of Properties of Coal-Containing Rhythm Layers.....	94
<i>Попов В.Г., Сиденко Д.В., Токарев С.А.</i> Механизм и геохимические последствия плотностной конвекции в гидростратиффере	97	<i>Popov V.G., Sidenko D.V., Tokarev S.A.</i> The Mechanism and Geochemical Consequences of Density Convection in Hydrostratysphera.....	97
<i>Земляной М.А.</i> Методика исследования массива осадочных горных пород (на примере Новороссийского месторождения мергеля)	101	<i>Zemljanoj M.A.</i> Technique of Research of the File of Sedimentary Rocks (on an Example of the Novorossisk Deposit of a Marl).....	101
<i>Воробьев А.Е., Чекушина Е.В., Разоренов Ю.И.</i> Экспертная оценка мировых запасов аквальных залежей газогидратов	104	<i>Vorobev A.E., Chekushina E.V.</i> Expert Estimation of World's Reserves Aqua Gas Deposits	104
<i>Го Хайлинь, Фролов А.В., Третьяк А.Я., Забабурин В.М.</i> Оценка риска инвестиционных проектов разведки месторождений полезных ископаемых	107	<i>Guo Hoalin, Frolov A.V., Tretyak A.Y., Zababurin V.M.</i> Assessment of Risk Investment Project Prospecting of Mineral Deposits.....	107
ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ		ENVIRONMENTAL PROBLEMS	
<i>Кулакова Е.С., Фесенко Л.Н., Дрововозова Т.И., Скрябин А.Ю., Борисова Э.В., Денисов В.В.</i> Повышение качества питьевой воды и рационализация водопотребления как перспектива развития систем водоснабжения сельских поселений	111	<i>Kulakova E.S., Fesenko L.N., Drovovozova T.I., Skryabin A.Y., Borisova E.V., Denisov V.V.</i> Improvement of Water Quality and Rationalization of Water Consumption As Prospects of Developing of Water Supply Systems for Rural Settlements	111
<i>Федотов Р.В.</i> Влияние концентрации и вида модифицирующего реагента на кремнеемкость активированной окиси алюминия.....	116	<i>Fedotov R.V.</i> The Influence OF THE Concentration and Type of Modifying Agent on the Silicate Capacity of Activated Alumina	116
<i>Васильев А.М.</i> Обоснование возможности использования золошлаковых отходов в сооружениях очистки поверхностного стока.....	120	<i>Vasiliev A.M.</i> Use of the Waste of Slag in Devices of Cleaning of the Surface Drains	120
ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ		CHEMICAL ENGINEERING	
<i>Галушкин Н.Е., Язвинская Н.Н., Галушкин Д.Н.</i> Компьютерное моделирование зависимости емкости никель-кадмиевых аккумуляторов фирмы Saft среднего режима разряда от токов разряда	123	<i>Galushkin N.E., Yazvinskaya N.N., Galushkin D.N.</i> Computer Modeling of Capacitance Dependency of Medium Rate of Discharge Saft Nickel-Cadmium Batteries From Discharge Currents	123
<i>Яценко Е.А., Смолий В.А., Гольцман Б.М., Косарев А.С.</i> Исследование макро- и микроструктуры пеностекла на основе шлаковых отходов ТЭС	127	<i>Jatsenko E. A, Smoly V. A, Holtzman B. M, Kosarev A.S.</i> Development of Macro- and Microstructure of Foam Glass, Made with the Use of Slag Waste of TPP	127
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ЭЛЕМЕНТЫ		SEMICONDUCTING MATERIALS	
<i>Благин А.В., Ефремова Н.П., Попов В.П., Середин Б.М.</i> Субструктуры, сформированные в арсениде галлия методом ГЖЭ	131	<i>Blagin A.V., Efimova N.P., Popov V.P., Seredin B.M.</i> The Substructure, Formed in Gallium Arsenide Method of Gradient Liquid-Phase Epitaxy	131
<i>Благина Л.В., Ефремова Н.П., Попов В.П., Середин Б.М.</i> Кинетические аспекты технологии градиентной эпитаксии полупроводниковых соединений на примере двух систем	137	<i>Blagina L.V., Efremova N.P., Popov V.P., Seredin B.M.</i> Kinetic Aspects of Gradient Epitaxy Technology of Semiconductor Compounds on the Two Systems Example	137
<i>Лунин Л.С., Лунина М.Л., Попов В.П., Середин Б.М., Ващенко С.Н.</i> Термомиграция включений расплава в кристалле: динамический подход	142	<i>Lunin L.S., Lunina M.L., Popov V.P., Seredin B.M., Vashchenko S.N.</i> The Melt Inclusions Thermomigration in the Crystal: Dynamic Approach	142
ТЕХНОЛОГИИ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ		LIGHT INDUSTRY TECHNOLOGIES	
<i>Полякова В.А., Прохоров В.Т.</i> Построение математической модели системы автоматизированного проектирования технологических процессов сборки заготовок верха обуви	149	<i>Polyakova V.A., Prokhorov V.T.</i> Constructing a Mathematical Model of the System of Automated Design of Technological Processes of Workpiece Shoe Uppers	149
<i>Чернышева Ю.С., Поваляева В.А., Поваляев В.А.</i> Проектирование специальной одежды для работников лакокрасочных производств с учетом конкретных условий эксплуатации	152	<i>Chernisheva Yu.S., Povalyaeva V.A., Povalyaev V.A.</i> Design of Special Clothes for Workers of Paint and Varnish Productions Taking Into Account Specific Conditions of Operationa	152
<i>Указатель материалов, опубликованных в журнале «Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки» в 2012 году</i>	156	<i>Directory of the materials, published in magazine «Higher School News. The North-Caucasian Region. Engineering Sciences» in 2012</i>	156

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ

УДК 628.16

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ
И РАЦИОНАЛИЗАЦИЯ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ КАК ПЕРСПЕКТИВА
РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКИХ ПОСЕЛЕНИЙ

© 2012 г. Е.С. Кулакова*, Л.Н. Фесенко**, Т.И. Дровозова*, А.Ю. Скрабин, Э.В. Борисова*, В.В. Денисов**

*Новочеркасская государственная
мелиоративная академия*Novocherkassk State
Meliorative Academy**Южно-Российский государственный
технический университет
(Новочеркасский политехнический институт)**South-Russian State
Technical University
(Novocherkassk Polytechnic Institute)

Разработана технология биоцидной обработки питьевой воды, предназначенной для сельских поселений, предусматривающая замену традиционного окислителя-дезинфектанта хлора на экологически менее опасные дезинфектанты: ультрафиолет, ионы меди и пероксид водорода (H₂O₂). Комбинирование предлагаемых окислителей-дезинфектантов физической и химической природы позволяет добиться требуемой глубины обеззараживания при меньших экологических издержках, в частности обусловленных снижением доз и энергозатрат, и обеспечить длительную сохранность воды, причем при относительно высоких температурах.

Ключевые слова: технологии водоподготовки; биоцидная обработка; окислители-дезинфектанты; ресурсо- и энергосбережение; питьевое водоснабжение.

Technology for biocide treatment of drinking water for rural settlements foreseeing the replacement of conventional oxidant-disinfectant chlorine by ecologically less harmful disinfectants: ultraviolet, ions of copper and hydrogen peroxide is developed. Combination of proposed oxidants-disinfectants of physical and chemical nature makes it possible to achieve staffified depth of disinfection under less environmental side effects stipulated by decrease in doze and energy expenditures, as well as to provide long-term water preservation under relatively high temperatures.

Keywords: technology of water preparation; biocide treatment; oxidizers-disinfectants; recourse and energy conservation; drinking water supply.

Обеспечение населения России качественной питьевой водой является одной из актуальных задач, которая подтверждается соответствующими положениями государственной программы «Чистая вода». Это вызвано не только дефицитом качественной питьевой воды, но и практически повсеместным ухудшением общей экологической обстановки и чрезмерным химическим и микробиологическим загрязнением поверхностных водных объектов, зачастую являющихся источниками питьевого водоснабжения. Кроме того, особо остро стоит вопрос об очистке воды, а также о применении на станциях водоподготовки более эффективных и в то же время экологически безопасных методов ее обеззараживания.

Особое внимание в настоящее время уделяется проблеме питьевого водоснабжения в сельских поселениях, малых населенных пунктах, расположенных в труднодоступных местах, а также коттеджных поселках. К основным проблемам обеспечения качественной питьевой водой жителей сельских поселений, помимо ранее указанных, также относятся: нехватка на очистных станциях высококвалифицированного обслуживающего персонала, неудовлетворительное

санитарно-техническое состояние распределительных сетей, недостаточное финансирование на восстановление и ремонт изношенного оборудования.

Проблемой сельскохозяйственного водообеспечения также является и то, что высокая степень загрязненности поверхностных вод и невозможность их использования для хозяйственно-питьевых целей без предварительной очистки делают подземные воды основным источником водоснабжения. Это обусловлено минимальными затратами на строительство очистных сооружений и использование химических реагентов.

Стоит отметить, что главной особенностью водообеспечения жителей сельских поселений является нерациональное использование воды питьевого качества на вспомогательные нужды, т.е. содержание животных и птиц, полив приусадебных участков в летнее время, суточная и сезонная неравномерность водопотребления.

В связи с вышеизложенным определяется необходимость проведения исследований, направленных на улучшение качества питьевой воды малых населенных пунктов, повышение уровня экологической и санитар-

но-гигиенической безопасности систем сельского питьевого водоснабжения, а также сокращения нерациональных потерь воды питьевого качества.

В результате изучения особенностей и проблем водоснабжения сельских поселений определены критерии выбора технологии водоподготовки: 1) *технологические*: конструктивная простота и компактность, простота обслуживания установки, оснащённость автономным электрогенератором; 2) *экономические*: относительно низкий уровень энергозатрат при водозаборе и в режиме очистки воды, применение технологий, способствующих энерго- и ресурсосбережению, что важно, учитывая динамику роста стоимости электроэнергии; 3) *экологические*: предпочтение безреагентных методов обеззараживания воды, исключение выбросов (сбросов) вредных веществ. В этом случае отпадает необходимость в строительстве специальных складских помещений для хранения химических реагентов, опасных для здоровья и жизни обслуживающего персонала и населения, проживающего вблизи очистных сооружений; 4) *эпидемиологические*: возможность получения питьевой воды, отвечающей требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01 и обладающей бактериостатической устойчивостью. Это позволит создавать запасы питьевой воды для первоочередного жизнеобеспечения пострадавшего населения (в случае возникновения ЧС); 5) *санитарно-гигиенические*: отсутствие негативного воздействия реагентов, используемых при обработке воды, на здоровье человека, жизнедеятельность гидробионтов и окружающую природную среду в целом.

Проведена критическая оценка методов биоцидной обработки питьевой воды, позволившая выявить ряд недостатков: 1) при хлорировании воды (прежде всего газообразным хлором) в питьевой воде образуются опасные для здоровья человека хлорпроизводные; 2) высокий уровень загрязнения природных вод приводит к необходимости осуществлять гиперхлорирование питьевой воды, что снижает ее экологическую безопасность; 3) ультрафиолетовая обработка, озонирование, обработка пероксидом водорода или их сочетаниями ($O_3 + \text{УФ}$, $\text{УФ} + \text{H}_2\text{O}_2$) не обеспечивает бактерицидного последствие, в результате чего обработанная вода вновь может быть подвергнута микробному заражению [1].

Одним из направлений повышения эффективности процесса обеззараживания воды, на наш взгляд, является комбинирование безреагентных и реагентных способов обработки, один из которых должен обеспечивать проявление окислительных свойств, а другой – бактериостатических. При таком сочетании, при современном уровне антропогенного загрязнения природных вод, можно достичь надлежащего качества питьевой воды.

Важным обстоятельством в реализации комбинированных методов является модернизация локальных очистных установок, которые наиболее адаптированы к условиям сельской местности. Большинство из существующих локальных систем в качестве дезинфектанта используют хлор или его сочетание с УФ-

облучением. Замена хлора на бактерицид-ионы (с концентрацией ниже ПДК) позволит, по нашему мнению, не усложняя технологической схемы, получать питьевую воду, отвечающую требованиям экологической и эпидемиологической безопасности.

Таким образом, основой проводимых исследований является повышение эффективности комбинированного обеззараживания воды посредством усиления активности УФ-излучения и/или пероксида водорода за счет введения бактерицид-ионов в концентрациях ниже ПДК, которые самостоятельно пролонгируют антибактериальную устойчивость воды и обеспечивают надлежащий уровень эпидемиологической безопасности процесса, тем самым обеспечивая ресурсосберегающий эффект от применения «бесхлорных» технологий водоподготовки.

С этой целью был проведен анализ бактериальной устойчивости воды, обработанной ионами меди, УФ-лучами и пероксидом водорода по отдельности и одновременно. Объектом исследования являлась вода реки Аксай, предварительно стерилизованная, а затем инфицированная тест-организмами *E. coli* (из расчета 10^8 кл/см³). Воду обрабатывали 0,01 %-м раствором пероксида водорода в количестве 0,1 г/л в пересчете на H_2O_2 ; после чего суспензию облучали ультрафиолетом дозами 9 и 12 мДж/см². Следующая серия экспериментов проводилась аналогично, но перед обработкой H_2O_2 в суспензию вводился водный раствор $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (из расчета $\frac{1}{2}$ ПДК для ионов меди – 0,5 мг Cu^{2+} /л). Результаты опытов, заключающихся в повышении бактерицидной эффективности сочетания дезинфектантов различной природы ($\text{H}_2\text{O}_2 + \text{Cu}^{2+} + \text{УФ}$), приведены на рис. 1.

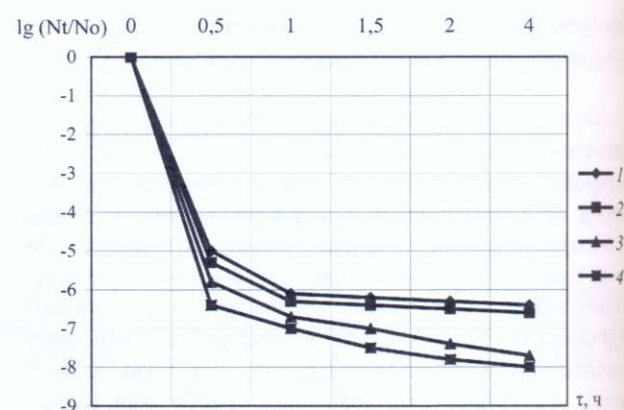


Рис. 1. Сочетанная бактерицидная активность: 1 – $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{УФ}$ (9 мДж/см²); 2 – $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{УФ}$ (12 мДж/см²); 3 – $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{Cu}^{2+} + \text{УФ}$ (9 мДж/см²); 4 – $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{Cu}^{2+} + \text{УФ}$ (12 мДж/см²)

Как следует из анализа полученных данных, совместное действие $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{УФ}$ в изученных дозах облучения не позволяет достичь заданной глубины обеззараживания воды. Основным недостатком, присущим каждому из указанных бактерицидов (отсутствие бактерицидного последствие, из-за чего после прекращения действия УФ-облучения и разложения пероксида водорода (1 – 3 ч) обработанная ими вода снова

интенсивно заражается), рекомендуется устранить за счет введения в воду бактерицид-ионов.

Добавление ионов Cu^{2+} к бактерицидной «смеси» ($\text{H}_2\text{O}_2 + \text{УФ}$) усиливает обеззараживающий эффект, что видно из данных рис. 1 (кривые 3 и 4). С другой стороны, введение H_2O_2 в бактерицидную смесь ($\text{Cu}^{2+} + \text{УФ}$) позволяет добиться требуемой глубины обеззараживания уже при дозе УФ 12 мДж/см² [2, 3].

Таким образом, при последовательной обработке воды пероксидом водорода, УФ-лучами и ионами меди достигается более глубокое обеззараживание, нежели при воздействии только H_2O_2 и УФ-лучами, что указывает на катализирующее действие указанных ионов, проявляющееся при концентрациях ниже ПДК.

Полученные в результате исследований данные позволяют рекомендовать комбинированную обработку, включающую дозирование пероксида водорода, ионов-бактериостатиков и УФ-облучения, для обеззараживания питьевой воды в технологии водоподготовки в условиях сельской местности, где в качестве водоисточника используются именно подземные воды.

Любое усовершенствование существующей технологии должно иметь целью ресурсо- и энергосбережение, а также экологически безопасное функцио-

нирование. В развитие данного положения предлагается схема водоочистки для сельских поселений и последующего ее распределения по категориям пользователей (рис. 2). В этом случае объем водопотребления на питьевые цели может быть доведен до 30 л/сут на одного человека [4]. Вода из водоисточника с помощью насоса поступает в питьевой и технический трубопроводы. Затем она проходит очистку от механических примесей на медленных фильтрах 1. После этого вода может быть использована на технические нужды. В поток воды, отведенный на питьевые цели, предусмотрено введение H_2O_2 в качестве дополнительного дезинфектанта при значительном количестве в ней микроорганизмов или в качестве окислителя компонентов-загрязнителей 2. В случае нормативного содержания в воде химических компонентов дозирующее устройство из технологии исключается. Далее вода проходит через бактерицидный фотон-ионный реактор 3. Вода, прошедшая сочетанную обработку УФ-лучами и ионами Cu^{2+} и обладающая устойчивостью ко вторичному бактериальному загрязнению, может быть использована на питьевые цели населения и сельскохозяйственных животных, а также для создания запасов на случай ЧС.

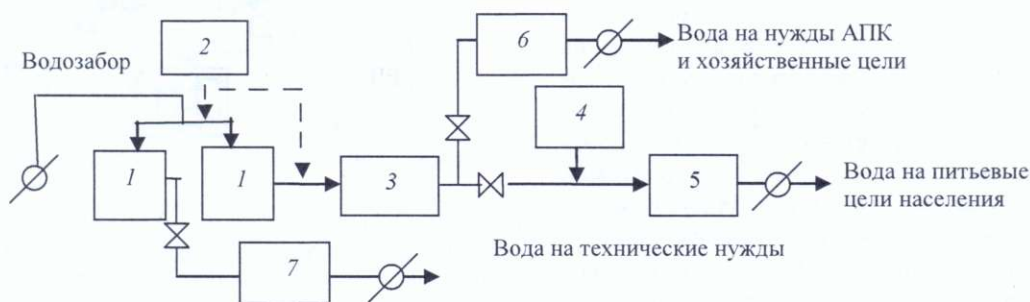


Рис. 2. Схема разветвленной бесхлорной системы водоподготовки для сельских населенных мест: 1 – медленные фильтры; 2 – дозатор пероксида водорода; 3 – фотон-ионный реактор; 4 – дозатор для введения микроэлементов-эндемиков; 5, 6 – резервуар чистой воды; 7 – емкость с запасом технической воды

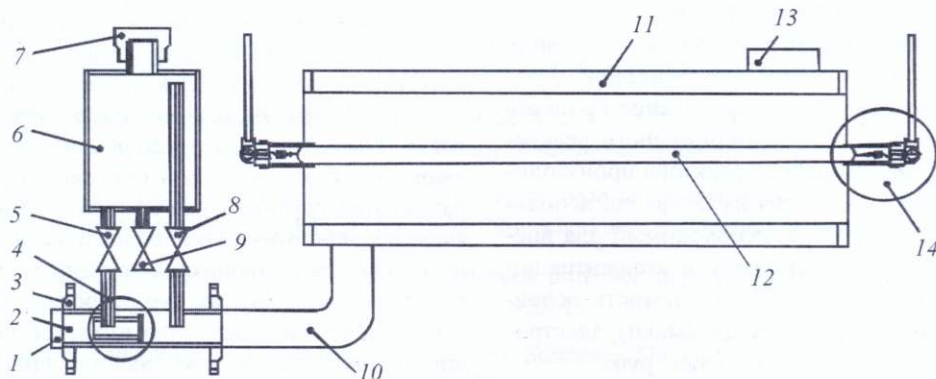


Рис. 3. Конструкция бактерицидного фотон-ионного реактора: 1 – узел подачи воды (входной патрубок); 2 – трубопровод; 3 – фланцы; 4 – сужающее устройство; 5, 8 – краны соединительные; 6 – резервуар концентрации ионов меди; 7 – крышка; 9 – кран для дренажа и отбора проб; 10 – соединительный патрубок; 11 – корпус установки; 12 – УФ-излучатель; 13 – узел отвода воды (патрубок выхода); 14 – электроподводящий узел

На завершающем этапе в выделенный на питьевые нужды населению поток воды встроено устройство обогащения микроэлементами-эндемиками для рассматриваемой местности 4 [2, 3, 5]. Для реализации данной технологии рекомендуется использовать фотон-ионный реактор 3, конструкция которого отличается от существующих установок обеззараживания воды возможностью одновременно обрабатывать воду УФ-облучением и бактерицидными ионами (рис. 3) [2].

Вода, поступающая в бактерицидный реактор через входной патрубок 1, первоначально обогащается бактерицид-ионами. Механизм введения раствора в установку основан на том, что при движении магистрального потока через трубопровод 2 с сужающим устройством 4 между двумя сечениями канала возникает перепад давления, под действием которого раствор из резервуара 6 поступает в поток воды через соединительный кран 8. В результате расход жидкого реагента прямо пропорционален расходу среды в магистральном потоке. Через соединительный патрубок 10 вода, содержащая бактерицид-ионы, поступает в камеру обеззараживания 11, где попадает в поле действия УФ-лампы 12. Обеззараженная вода через патрубок 13 поступает в распределительную сеть и направляется к потребителям.

Преимуществами предложенного разделения сельского водоснабжения на питьевое (для населения и животных) и техническое являются следующие: во-первых, реализация такой схемы не требует реагентов и, следовательно, отсутствует необходимость в помещениях для их хранения; во-вторых, в предлагаемой системе водоподготовки отсутствует хлорирование, что повышает ее экологическую безопасность; в-третьих, в целом уменьшаются финансовые расходы на процесс водоподготовки. Действительно, доля воды, используемой на хозяйственно-питьевые цели человека, составляет примерно 30 %, а непосредственно на питьевые – примерно 4 % от расходующихся объемов, поэтому экономически целесообразно выделять из общего потока только эти 4 % (или несколько больше) и подвергать их дополнительной очистке (обеззараживанию), улучшая при этом их качество.

С целью обоснования возможности использования в условиях сельской местности фотон-ионной обработки воды оценены затраты на проведение процесса обеззараживания с помощью бактерицидного реактора. Ежегодные затраты на работу реактора производительностью 2 м³/ч складываются из затрат на: используемый препарат $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, необходимый для внесения ионов Cu^{2+} в питьевую воду в концентрации 0,5 мг/л; комплектующие изделия (стоимость основных и запасной УФ-ламп и блока промывки); электроэнергию, – и составляют не более 15 тыс. руб.

В заключение необходимо отметить, что в рекомендуемой технологии предусмотрен дозатор для введения микроэлементов-эндемиков (I, F⁻) в пределах физиологически допустимых норм, жители Ростовской области в которых испытывают острый недостаток. Для этого разработано дозирующее устройство, позволяю-

щее вносить микроэлементы-эндемики в выделенные объемы воды для питьевых нужд (рис. 4) [6].

Касаясь эколого-гигиенической целесообразности применения предлагаемых технологий, необходимо рассматривать их не только исходя из проявленного ими бактерицидного эффекта, но и в аспекте влияния используемых препаратов на организм человека.

В последние годы получены данные о биологической роли многих микронутриентов, которые ранее рассматривались с точки зрения их опасности для здоровья (например: медь, селен, фтор и т.д.). В настоящее время для многих из них, в частности меди, йода, фтора, доказано участие в целом ряде метаболических процессов, что обосновывает необходимость их присутствия в допустимых количествах в рационе питания. Дефицит этих веществ и биологически активных компонентов в рационе приводит к снижению резистентности организма к неблагоприятным факторам окружающей среды, формированию иммунодефицитных состояний, нарушению функций антиоксидантной защиты.

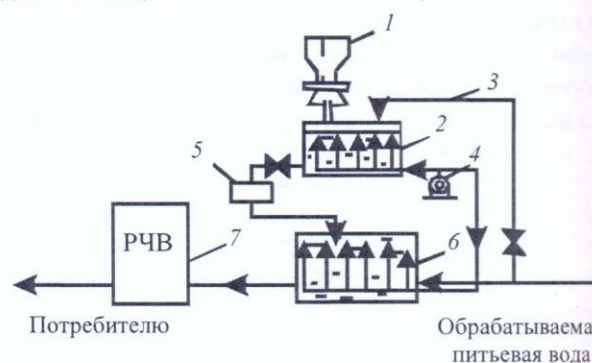


Рис. 4. Технологическая схема дозирования фтор- и йодсодержащих препаратов в питьевую воду: 1 – бункер сухих препаратов; 2 – растворный бак; 3 – водопровод с питьевой водой; 4 – воздухоудувка; 5 – насос-дозатор; 6 – резервуар смешения; 7 – резервуар чистой воды (РЧВ)

Рекомендации по увеличению потребления традиционных пищевых продуктов для увеличения поступления в организм этих веществ или соединений реализовать не всегда представляется возможным в существующих объемах потребляемых продуктов и уровне их цен, поэтому необходимы альтернативные источники таких веществ. На наш взгляд, таким источником может стать чистая, содержащая их, питьевая вода.

Таким образом, рекомендуемая технология подготовки воды из подземных водоисточников, заключающаяся в экологизации системы водоснабжения и разделении трубопровода на питьевой и технический, является экономически и экологически обоснованной, особенно для строящихся населенных пунктов и коттеджных поселков, так как позволяет не только достичь надлежащего качества питьевой воды и ее кондиционирование, но и уменьшить финансовые затраты на процесс ее подготовки.

Важно также подчеркнуть, что разработанная технология водоподготовки может быть использована и при поверхностных источниках водоснабжения. В данном случае, учитывая высокую степень загрязненности поверхностных водных объектов, в системе

водоподготовки на первом этапе рекомендуется использование химического обеззараживания воды хлором. Однако на водоочистных станциях сельских поселений, где транспортировка, хранение и подготовка токсичного газообразного хлора связаны с трудностями, целесообразно применение хлорсодержащего дезинфектанта – гипохлорита натрия (NaClO). Выбор данного реагента связан с тем, что основным достоинством обеззараживания воды с помощью гипохлорита натрия является безопасность его применения, так как он является малоопасным веществом (4 класс опасности), что по сравнению с хлором значительно повышает безопасность эксплуатации водоочистных установок, а также существенно снижает воздействие на окружающую среду [1].

Таким образом, комбинированная обработка воды при поверхностном источнике водоснабжения будет включать использование на первом этапе гипохлорита натрия в качестве окислителя-дезинфектанта с пролонгированными бактерицидными свойствами, а затем дозирование пероксида водорода и УФ-облучение в концентрациях ниже установленных нормативов. При этой комбинации может быть достигнуто высокое качество питьевой воды в условиях сельскохозяйственного водоснабжения, а также обеспечена ее длительная микробиологическая безопасность.

Литература

1. Гутенев В.В., Чумакова В.Н., Геркен Н.В., Кулакова Е.С. [и др.] Ионные дезинфектанты: технологические и санитарно-экологические аспекты применения в технологиях бицидной обработки воды М., 2009. 207 с. Деп. в ВИНТИ. № 768-В.
2. Кулакова Е.С. Технологические основы экологизации и рационализации систем водоснабжения малых сельских поселений : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Волгоград, 2010.
3. Дровозова Т.И. Научные основы повышения качества воды и экологической безопасности систем водоснабжения сельских поселений : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 2009.
4. Мелиорация и водное хозяйство: в 8 т. Т. 7: Сельскохозяйственное водоснабжение: справочник / Л.Е. Тажибаев, В.С. Усенко, Г.И. Николадзе [и др.]; под ред. В.Н. Олейника. М, 1992. 287с.
5. Кулакова Е.С., Дровозова Т.И. Экологизация систем водоснабжения малых сельских поселений // Вестн. ВолгГАСУ. Волгоград, 2010. Вып. 19(38). С. 133 – 135 (Серия: Строительство и архитектура).
6. Гутенев В.В., Денисов В.В., Дровозова Т.И., Кулакова Е.С. Повышение качества питьевой воды на селе с учетом эколого-гигиенических и экономических факторов. М., 2010. 6 с. Деп. в ВИНТИ. № 259.

Поступила в редакцию

21 мая 2012 г.

Кулакова Екатерина Сергеевна – канд. техн. наук, доцент, кафедра «Химия и прикладная экология», Новочеркасская государственная мелиоративная академия. E-mail: kes_9@mail.ru

Фесенко Лев Николаевич – д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Водное хозяйство предприятий и населенных мест», Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт). Тел. (8635)25-53-34.

Дровозова Татьяна Ильинична – д-р техн. наук, профессор, кафедра «Химия и прикладная экология», Новочеркасская государственная мелиоративная академия. Тел. (8635)23-22-13.

Скрябин Александр Юрьевич – канд. техн. наук, генеральный директор, ОАО «ПО Водоканал» Тел. (8635) 263-95-34.

Борисова Элина Владимировна – аспирант, Новочеркасская государственная мелиоративная академия.

Денисов Владимир Викторович – д-р техн. наук, профессор кафедра «Технология электрохимических производств, аналитическая химия, стандартизация и сертификация», Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт). Тел. (8635) 25-36-16.

Kulakova Ekaterina Sergeevna – Candidate of Technical Sciences, assistant professor, department «Chemistry and Applied Ecology», NovoCherkassk State Meliorative Academy. E-mail: kes_9@mail.ru

Fesenko Lev Nikolaevich – Doctor of Technical Sciences, professor, head of department of water economy of organizations and populated areas, South-Russia State Technical University (NovoCherkassk Polytechnic Institute). Ph. (8635)25-53-34.

Drovovozova Tatiana Ilinichna – Doctor of Technical Sciences, professor, department «Chemistry and Applied Ecology», NovoCherkassk State Meliorative Academy. Ph. (8635)23-22-13.

Skryabin Alexander Yurievich – Candidate of Technical Sciences, Director general, ОАО PO Vodokanal. Ph. (8635) 263-95-34.

Borisova Elina Vladimirovna – post-graduate student, NovoCherkassk State Meliorative Academy.

Denisov Vladimir Viktorovich – Doctor of Technical Sciences, professor, department «Technology for Electrochemical Productions, Analytical Chemistry, Standardization and Certification». South-Russia State Technical University (NovoCherkassk Polytechnic Institute). Ph. (8635) 25-36-16.

УДК 628.161.3

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ И ВИДА МОДИФИЦИРУЮЩЕГО РЕАГЕНТА НА КРЕМНЕЕМКОСТЬ АКТИВИРОВАННОЙ ОКИСИ АЛЮМИНИЯ

© 2012 г. Р.В. Федотов

Южно-Российский государственный
технический университет
(Новочеркасский политехнический институт)

South-Russian State
Technical University
(Novocherkassk Polytechnic Institute)

Представлены результаты исследований влияния вида и концентрации модифицирующего реагента на кремнеемкость активированной окиси алюминия. На основании полученных данных определены факторы, оказывающие влияние на сорбционную емкость сорбента по кремнию.

Ключевые слова: природные воды; растворенная кремниевая кислота; обескремнивание; сорбция; регенерация; кремнеемкость.

The results of studies on the effect type and concentration of the modifying reagent on the silicate capacity of activated alumina. Based on these data the factors affecting sorption capacity of sorbent for the silicates.

Keywords: natural water; dissolved silica; desiliconization; sorption; regeneration; capacity of silicate.

На сегодняшний день вопрос водоснабжения в Республике Калмыкия стоит особо остро. По данным регионального Роспотребнадзора, обеспечение водой населения ограничено ввиду дефицита питьевой воды, среднее водопотребление на одного жителя республики составляет около 40 л в сутки при гигиеническом нормативе – 120 – 150 л в сутки. Прежде всего это связано с отсутствием на территории республики водных объектов (как поверхностных, так и подземных), пригодных к использованию в качестве источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения, соответствующих требованиям ГОСТ 2761-84 «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические, технические требования и правила выбора».

Для обеспечения потребностей питьевого водоснабжения г. Элиста и ряда населенных пунктов Калмыкии и Ставрополя в начале 80-х гг. были разведаны и утверждены балансовые эксплуатационные запасы пресных подземных вод Северо-Левокумского месторождения в количестве 304 тыс. м³/сут с общим расходом подаваемой воды 45 тыс. м³/сут. Совместно с этим был разработан рабочий проект «Ики-Бурульский групповой водопровод с подключением к Северо-Левокумскому месторождению подземных вод, первая очередь», целью которого является замена водоисточника Чограйского водохранилища, где аккумулируются поверхностные воды повышенной минерализации (до 1,5 г/л), на пресные подземные воды Северо-Левокумского месторождения.

Освоение месторождения (бурение скважин, часть напорного водовода, котлован НС и пр.) в 1993 г.

было приостановлено по причине отсутствия финансирования и вновь возобновлено с 2006 г. Однако при восстановлении скважин подземного водозабора и проведении химических анализов артезианских вод обнаружилось их несоответствие введенным в 2001 г. «ужесточенным» нормативам СанПиН 2.1.4.1074-01 по отношению к ранее действовавшему ГОСТу 2874-82. Были выявлены: повышенная концентрация аммония (до 7 мг/л при норме 2 мг/л) и нитритов (в отдельных скважинах до 10 мг/л при норме 3 мг/л), а также обнаруженного впоследствии кремния (до 35 мг/л при норме 10 мг/л), что не позволяет использовать подземные воды для хозяйственно-питьевого водоснабжения без предварительных технологических мероприятий по удалению аммонийных и кремниевых загрязнений.

Северо-Левокумское месторождение подземных вод предполагается к использованию для хозяйственно-питьевых целей с относительно большим водопотреблением (45 тыс. м³/сут), что имеет существенное значение при назначении технологии деаммонизации и обескремнивания воды. Такие методы, как отдувка аммиака, ионный обмен на клиноптилолите, нитрификация и денитрификация, реализуются на фильтровальных установках с аэрацией (или дегазацией) воды, применением кислых и щелочных реагентов, биологических (в том числе и без доступа воздуха) установках специальных конструкций и целого ряда сооружений, обслуживающих как основную технологию, так и технологию очистки образующихся при водоочистке стоков (мембранные или ионообменные методы). Иными словами, при очистке природных вод от ам-

монийных соединений типа NH_4^+ и NO_2^- нет необходимости устройства целого ряда сооружений последовательной обработки воды, тем более при сравнительно невысоких концентрациях NH_4^+ , как это имеет место в воде Северо-Левобережного месторождения. В этом случае наиболее простым и экономичным будет применение окислителя – электролитического гипохлорита натрия, получаемого на электролизных установках и дозируемого в трубопровод перед подачей воды потребителю. Это положение полностью подтверждается и результатами научных исследований, выполненных ООО НПФ «ЭКОФЕС» (г. Новочеркасск) [1, 2].

Значительно более сложным является удаление из воды соединений кремниевой кислоты. Существующее на сегодня многообразие методов декремнизации воды в основном применительно к производственной водоподготовке и не дает однозначного ответа к выбору технологии, особенно в области очистки питьевых вод и тем более с расходами подаваемой воды в десятки тысяч кубометров в сутки.

В природных водах соединения кремния находятся в растворенном, взвешенном и коллоидном состоянии, количественные соотношения между которыми определяются химическим составом воды, ее температурой, pH и другими факторами. Растворенные формы представлены главным образом молекулярной ортокремниевой кислотой H_4SiO_4 ($\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), метакремниевой H_3SiO_3 ($\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$), двукремниевой $\text{H}_2\text{Si}_2\text{O}_5$ ($2\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) и другими кислотами с различным числом SiO_2 и H_2O , продуктами их диссоциации и ассоциации, а также кремнийорганическими соединениями. Полимерные и коллоидные формы кремнекислоты, присутствующей в природных водах, имеют переменный состав типа $m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, где m и n – целые числа.

В водных растворах мономер кремниевой кислоты может находиться преимущественно в пяти формах: H_4SiO_4 , H_3SiO_4^- , $\text{H}_2\text{SiO}_4^{2-}$, HSiO_4^{3-} и SiO_4^{4-} . Соотношение форм кремниевой кислоты в воде определяется константами диссоциации каждой из ступеней. На рис. 1 представлена зависимость распределения кремнекислых соединений от pH среды, из которой следует, что для природных вод основная часть кремниевой кислоты находится в молекулярно-растворенном виде [3, 4].

Выбор того или иного метода удаления силикатов из подземных вод, используемых для питьевого водоснабжения, зависит от требований, предъявляемых к глубине обескремнивания, концентрации SiO_2 в исходной воде и ее физико-химического состава, производительности станции, местных условий эксплуатации и должен обязательно предусматривать регенерацию и утилизацию промывочных вод, обработанных

регенерационных растворов и образующихся осадков с оценкой экологичности всего комплекса очистки воды. Декремнизация природных вод достигается следующими известными методами: осаждением известью; сорбцией гидроксидами железа, алюминия, оксидом или гидроксидом магния; фильтрованием через магнезиальный сорбент или через активированный оксид алюминия и бокситы; ионным обменом; методом мембранного разделения.

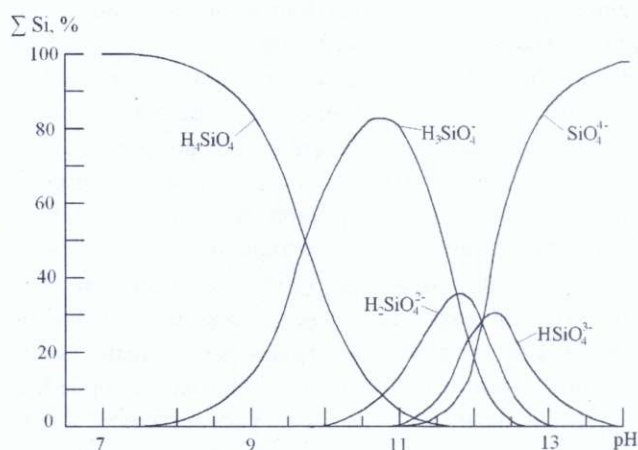


Рис. 1. График соотношений форм кремниевой кислоты: H_4SiO_4 , H_3SiO_4^- , $\text{H}_2\text{SiO}_4^{2-}$, HSiO_4^{3-} и SiO_4^{4-} в зависимости от pH среды

Тем не менее перечисленные выше методы имеют ряд существенных недостатков, основными из которых следует считать следующие: так, при осаждении известью необходимо проводить предварительный нагрев воды и последующее удаление избытка гидроксида кальция. Применение солей железа, алюминия при коагуляции в свободном объеме требует значительных доз (до 400 мг/л) реагентов, что ведет к возрастанию общей минерализации декремнизированной воды, возможному проскоку ионов Al^{3+} и Fe^{3+} в питьевую воду и сопутствующему образованию значительных количеств влажных гидроксидных осадков, трудно поддающихся обезвоживанию. Магнезитовые реагенты отличаются дефицитностью, высокой стоимостью и требуют значительных энергозатрат на предварительный подогрев очищаемой воды. Магнезиальные сорбенты (полуобожженный доломит, а также специальный сорбент, получаемый обработкой измельченного каустического магнезита соляной кислотой) не регенерируются и требуют полной замены после исчерпания обменной емкости (один кубометр загрузки сорбирует не более 90 кг SiO_2). Применение ионного обмена позволяет добиться наиболее глубокой степени обескремнивания воды, но данный метод, как и мембранное разделение, связан с сопутствующим образованием концентрированных солевых стоков, требующих затрат на их переработку, сопоставимых с собственно самой водоочисткой. Метод удале-

ния кремния в электрокоагуляторах с растворимыми электродами на практике не нашел широкого применения из-за относительно высоких энергозатрат, пассивации электродов и необходимости постоянной замены анодов. Применение диафрагменных электролизеров снижает эффект пассивации, однако при этом образуется большое количество высокощелочных сточных вод (католита).

Поскольку рассмотренные выше технологии удаления кремния в большей или меньшей степени не удовлетворительны применительно к очистке значительных объемов воды с высокими концентрациями кремния, нами была исследована возможность обескремнивания методом фильтрования воды через модифицированный активированный оксид алюминия. Данный метод является разновидностью реагентных технологий водоподготовки и характеризуется своими специфическими особенностями. Извлечение микроэлементов на модифицированных сорбентах происходит за счет образования труднорастворимых комплексных соединений и закрепления их на сорбенте. Реагент-модификатор должен удовлетворять двум требованиям – сорбироваться на применяемых сорбентах и давать малодиссоциируемые соединения с извлекаемыми из воды загрязнениями [5].

В качестве загрузки обескремнивающего фильтра большой практический интерес представляет активированная окись алюминия (АОА), которая в ряде случаев применяется в схемах обесфторивания и десиликатизации воды [6]. По исчерпанию обменной емкости фильтр регенерируют 0,1 %-м раствором щелочи NaOH, поглощательная емкость АОА при таких условиях составляет 10 – 12 кг SiO₂ на 1 м³ сорбента [7].

По результатам ранее проведенных исследований нами было установлено, что восстановить сорбционные свойства АОА, помимо гидроксида натрия, возможно и применением растворами оксихлорида алюминия Al₂(OH)₅Cl или алюмината натрия NaAlO₂; химический состав исходной воды также влияет на кремнеемкость сорбента [8, 9].

Цель настоящих исследований заключалась в экспериментальном изучении влияния вида применяемого регенерационного раствора модификатора и его концентрации на сорбционную емкость по кремнию модифицированного оксида алюминия.

В качестве объекта исследований использовали модельную воду (аналог подземных вод Северо-Левокумского месторождения), содержащую соединения кремниевой кислоты. Модельную воду готовили на водопроводной воде добавлением в нее основного стандартного раствора силиката натрия (4,73 г Na₂SiO₃ в 1 л дистиллированной воды или 1 мг SiO₂ в 1 мг раствора) в количестве из расчета 65 мг/л SiO₂ (65 мл раствора Na₂SiO₃ на 1 л водопроводной воды)

с последующим доведением рН раствора до 7,8 – 8,2 при помощи 0,01N раствора соляной кислоты. Концентрацию кремния в полученной модельной воде проверяли аналитически, и она составляла 30,3 мг/л.

Схема работы экспериментальной установки следующая: исходную модельную воду перистальтическим насосом подавали снизу вверх в фильтровальную колонку диаметром 32 мм, загруженную дробленым активным оксидом алюминия марки АОА-1 ГОСТ 8136-85, размером фракций 1–2 мм, с высотой слоя 60 см. Расход воды соответствовал скорости фильтрования 5–6 м/ч. Во время эксперимента в фильтрате определяли концентрацию кремния, величину рН, состав по основным катионам и анионам. По достижении концентрации кремния на выходе из фильтра, равной 10 мг/дм³ (ПДК по СанПиН 2.1.4.1074-01), фильтроцикл останавливали. Модификацию (регенерацию) загрузки проводили пропусканьем растворов алюмината натрия, гидроксида натрия, полиоксихлорида алюминия различных концентраций через фильтрующий слой со скоростью потока 2,5 – 3,0 м/ч. Взрыхление АОА перед регенерацией осуществляли подачей воды снизу вверх с интенсивностью промывки 3,5–5 л/(с·м²). Рабочую сорбционную емкость АОА по SiO₂ определяли расчетом как отношение суммарного количества поглощенного загрузкой в течение фильтроцикла кремния к объему (массе) этой загрузки.

Результаты исследований представлены в виде графиков на рис. 2, из которых следует: применение всех изучаемых реагентов-модификаторов восстанавливает сорбционные свойства АОА, при этом кремнеемкость загрузки, обработанной раствором алюмината натрия, в два раза выше по сравнению с другими реагентами модификаторами. Рост концентрации модифицирующих растворов не оказывает существенного влияния на сорбционную емкость загрузки (рис. 2).

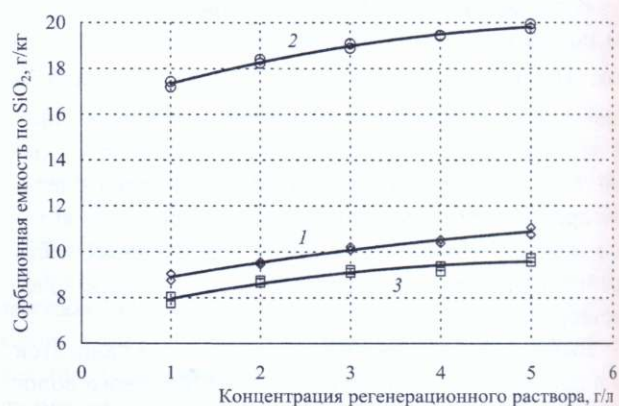


Рис. 2. Зависимость сорбционной емкости АОА от концентрации регенерационного раствора: 1 – NaOH; 2 – NaAlO₂; 3 – ОХА

В процессе исследований было проведено 85 фильтроциклов, по окончании которых сорбционная

емкость АОА, обработанного 0,5 %-м раствором алюмината натрия с концентрацией 5 г/л, в отношении кремния практически не изменилась и составляла 19,5 г/кг сорбента (по SiO_2).

Таким образом, зернистый материал АОА наиболее высокие сорбционные свойства приобретает при его модификации раствором алюмината натрия и не требует замены по мере его истощения, что существенно сокращает себестоимость очистки кремнийсодержащих вод.

Литература

1. Фесенко Л.Н., Игнатенко С.И., Фесенко А.Л., Федотов Р.В. К выбору метода деаммонизации подземных вод Северо-Левокумского месторождения для хозяйственно-питьевых целей // Технология очистки воды «ТЕХНОВОД-2009»: Материалы V междунар. науч.-практ. конф., посвященной 120-летию ОАО «АУРАТ», г. Кисловодск / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т.(НПИ). Новочеркасск, 2009.
2. Фесенко Л.Н., Игнатенко С.И., Фесенко А.Л., Громов А.А. Сравнительная экономическая оценка методов деаммо-

низации питьевой воды ионообменном и окислением гипохлоритом натрия // Технология очистки воды «ТЕХНОВОД-2009»: Материалы V междунар. науч.-практ. конф., посвященной 120-летию ОАО «АУРАТ», г. Кисловодск / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т.(НПИ). Новочеркасск, 2009.

3. Айлер Р. Химия кремнезема: растворимость, полимеризация, коллоидные и поверхностные свойства, биохимия: монография : пер. с англ.: в 2 ч. Ч 1. М., 1982. 416 с.
4. Карелин Ф.Н., Хакимов Р.О. Обратноосмотическая очистка кремнийсодержащих вод // Химия и технология воды. 1992. Т. 4. № 4. С. 284 – 290.
5. Николадзе Г.И. Улучшение качества подземных вод. М., 1987. 240 с.
6. Золотова Е.Ф., Асс Г.Ю. Очистка воды от железа, марганца, фтора и сероводорода. М., 1975.
7. Клячко В.А., Апельцин И.Э. Очистка природных вод. М., 1971.
8. Фесенко Л.Н., Федотов Р.В., Игнатенко С.И. Обескремнивание воды фильтрованием через модифицированный активный оксид алюминия // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД – 2011»: материалы VI междунар. науч.-практ. конф., г. Чебоксары. 20-23 сентября 2011 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). Новочеркасск, 2011. С. 79 – 83.
9. Фесенко Л.Н., Федотов Р.В., Игнатенко С.И. Исследование влияния состава воды на кремнеемкость модифицированной активированной окиси алюминия // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД – 2012»: материалы VII междунар. науч.-практ. конф., г. Санкт-Петербург, 18-21 апреля 2012 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). Новочеркасск, 2011. С. 75 – 82.

Поступила в редакцию

13 июня 2012 г.

Федотов Роман Валерьевич – аспирант, Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт). Тел. (8635) 25-53-34. E-mail: vhpinm@vh.srstu.novoch.ru

Fedotov Roman Valerevich – post-graduate student, South-Russia State Technical University (Novocherkassk Polytechnic Institute). Ph. (8635) 25-53-34. E-mail: vhpinm@vh.srstu.novoch.ru