

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СИСТЕМАХ
ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ И
ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

INNOVATION TECHNIQUES IN INDUSTRIAL AND DOMESTIC WATER
SYSTEMS

**НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЗАЩИТЫ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ
ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫМ СТОКОМ С ОБЪЕКТОВ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ**

Асонов А.М. Гаврилин И.И. Борисова Г.М.

ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет путей сообщения»,
г. Екатеринбург, Россия
ason@mail66.ru

Ключевые слова: загрязнение, поверхностный сток, очистка, сорбент, очистные сооружения.

В статье описано применение сооружений естественной биологической очистки с использованием высшей водной растительности в совокупности с сорбционными методами, реализуемыми в фильтрах с загрузками из органических и неорганических сорбентов, для защиты водных объектов от загрязнения поверхностным стоком с объектов железнодорожной инфраструктуры. Особое внимание уделено разработке технологических регламентов работы сооружений очистки поверхностного стока с территории станции «Шалья» и станции «Заячья горка» Свердловской железной дороги – филиала ОАО «РЖД». Выявлена эффективность предложенной схемы очистки поверхностного стока от загрязняющих веществ с использованием аккумуляционного фитофильтра и сорбционного фильтра с загрузкой из шунгита, которая подтверждена расчетами.

**SOME FEATURES OF THE WATER BODIES PROTECTION AGAINST POLLUTION
WITH SURFACE RUNOFF FROM THE RAILWAY INFRASTRUCTURE FACILITIES**

Asonov A.M. Gavrilin I.I. Borisova G.M.

Ural State University of Railway Communications
Ekaterinburg, Russia
ason@mail66.ru

Key words: pollution, runoff, purification, sorbent, wastewater treatment plant.

The article describes the use of natural biological purification installations with application of higher aquatic vegetation in conjunction with sorption methods implemented in filters with downloads from organic and inorganic sorbents, to protect water bodies from pollution by surface runoff from the railway infrastructure. Special attention is paid to development of technological regulations for surface runoff treatment facilities servicing «Shalya» station and “Zayachya Gorka” station of the Sverdlovsk railway as a branch of JSC «Russian Railways». High effectiveness of the proposed surface runoff treatment scheme from pollutants with the use of PhotoFiltre accumulation and sorption filter downloaded with shungit is confirmed by calculations.

В настоящее время предотвращение загрязнения водных объектов становится как никогда актуальной задачей современного общества и относится к одной из наиболее острых экологических проблем на территории Российской Федерации. Одним из главных «поставщиков» загрязняющих веществ в природные водные объекты является поверхностный сток с загрязненных урбанизированных территорий и промышленных предприятий.

Характерными загрязняющими веществами, поступающими в водные объекты Свердловской области, являются взвешенные вещества и нефтепродукты, соединения железа, меди, марганца, цинка, никеля и др. [1].

Наряду с промышленными предприятиями существенный вклад в загрязнение водных объектов вносит транспорт. На железнодорожном транспорте существует множество объектов инфраструктуры, на которых образуются производственные сточные воды сложного химического состава. Характерной особенностью производственных сточных вод является постоянство расходов при относительно стабильном качестве.

Современные технологии очистки сточных вод позволяют обеспечить их качество до нормативов, соответствующих нормам загрязняющих веществ в стоках при их сбросе в водные объекты.

Значительные трудности представляет очистка поверхностных сточных вод с территорий предприятий железнодорожных станций. Поверхностные стоки в виде талых и ливневых, образующиеся во время выпадения дождя и таяния снега, загрязнены мусором, взвешенными веществами, нефтепродуктами, растворимыми и нерастворимыми минеральными и органическими поллютантами, биогенными веществами, ионами тяжелых металлов.

Специфической особенностью поверхностного стока является сезонность его образования, неравномерность расходов стока как внутри сезона, так и внутри суток. Следует отметить, что поверхностный сток практически полностью поступает в водные объекты, а потому зачастую отсутствует альтернатива его глубокой очистке.

Использование технологий и сооружений, схожих с заводскими очистными сооружениями, не учитывающими специфику образования поверхностных вод, делает их экономически не эффективными. Такие сооружения работают только в период образования стока, т. е. около полугода. Этот вывод ставит перед исследователями и практиками безальтернативную задачу: разработать технологию и комплекс сооружений, предназначенных для глубокой очистки талого и ливневого стока с селитебных территорий, обеспечивающих его безопасный сброс в водоисточник.

Задача глубокой очистки от загрязняющих веществ, поступающих с поверхностным стоком в водные объекты рыбохозяйственного назначения, была поставлена перед институтом «Уралжелдорпроект» при разработке проектной документации «Реконструкция приемо-отправочных путей станции «Шаля» Свердловской железной дороги» и «Реконструкция приемо-отправочных путей станции «Заячья горка» Свердловской железной дороги».

На основе хозяйственных договоров между УрГУПС и Уралжелдорпроект были разработаны технологические регламенты работы сооружений очистки поверхностного стока с территорий станций «Шаля» и «Заячья горка» [2, 3], которые были приняты Заказчиком, как научное обоснование проектных решений по защите Шалинского пруда и реки Талыч от загрязнения. Для выполнения поставленной задачи были рассмотрены многие технологии, используемые при очистке сточных вод от взвешенных веществ и нефтепродуктов.

Одним из путей достижения экологической чистоты и экологической безопасности является использование биотехнологических процессов [4–8]. Сравнительно простой тип водоочистных сооружений с высшими водными растениями может быть отнесен к биологическим прудам с постоянным слоем медленно текущей или почти стоячей воды. Фильтрация через почву в этих сооружениях не имеет существенного значения, а используемые высшие растения могут принадлежать к экологической группе как гидатофитов (целиком погруженные), так и гидрофитов (воздушно-водные). В прудах очищаются преимущественно хозяйственные сточные воды малых населенных пунктов.

Изучение процесса очистки в биологических прудах [4, 5] показало, что степень очистки в зависимости от количества и качества поступающего стока составляет по взвешенным веществам 55–96 %, по БПК 28–89 %, по нефтепродуктам – свыше 60 %.

Более совершенными сооружениями, использующими способность растений вести очистку воды при одновременной регенерации твердого субстрата, являются ботанические площадки, действующие на принципе фитоочистки.

Весенний и осенний периоды года характеризуются особенно низкими температурами воды и почвы, что приводит к значительному снижению активности бактериальной микрофлоры перифитона и почвенно-грунтового комплекса, физиологической активности основного биологического агента ботанической площадки – высшей водной растительности [5]. Это является одним из главных факторов, сдерживающих широкое распространение ботанических площадок для очистки поверхностного стока с селитебных территорий.

Отмеченные недостатки ботанических площадок, на наш взгляд, можно устранить путем аккумуляции загрязнений на сорбенте, являющемся одновременно твердым субстратом для высшей водной растительности (ВВР), проведения деструкции загрязняющих веществ, задержанных твердым субстратом, с помощью ВВР в теплый период года. Конструкция ботанической площадки должна обеспечивать движение воды сверху вниз и снизу вверх, что позволит эффективно использовать высоко регенерирующую способность ризосферы растений.

Наиболее эффективными методами удаления из стока взвешенных веществ и нефтепродуктов следует признать отстаивание (гравитационный) и фильтрацию через зернистую загрузку.

Для выделения взвешенных веществ гравитационным методом используются отстойники различных конструкций (горизонтальный, вертикальный, радиальный), рассчитанные на разные производительность и планируемую эффективность. Последняя зависит от множества причин. Основными являются гидравлическая крупность выделяемой взвеси, скорость движения водяного потока в сооружении и создания в нем условий ламинарного режима движения.

Следует отметить, что сооружения, использующие гравитационный метод, не обеспечивают эффект очистки от взвешенных веществ более чем на 40–60 %.

Одним из реальных путей улучшения работы отстойника может стать дооборудование его модулями тонкослойного отстаивания. По данным [9], эффект очистки может достигать 95 % как по взвешенным веществам, так и по нефтепродуктам. В табл. 1 и 2 представлены результаты исследований по выделению из поверхностных сточных вод взвеси и нефтепродуктов.

В качестве решения рассматривалась схема поперечного сечения тонкослойного нефтеуловителя и схема осаждения (всплывания) частиц в тонкослойном модульном элементе. Блоки тонкослойных элементов должны быть выполнены из параллельно установленных листов или пластин, расстояние между которыми составляет 0,025 – 0,1 м, т.е. значительно меньше, чем общая глубина отстойной зоны. Пластины в блоках устанавливаются под углом к горизонту (45–60°), что обеспечивает сползание выпадающего осадка и нефтепродуктов в зоны их накопления.

Таблица 1. Скорость рабочего потока в зависимости от эффекта удаления взвешенных веществ для дождевого стока (в числителе) и талого стока (в знаменателе)

Эффект осветления, %	Скорость течения (мм/с) при длине тонкослойных элементов, м		
	1,5	2,0	3,0
55	10/-	-	-
60	6,1/-	9/-	-
65	4,2/-	6,0/-	8,5/-
70	2,9/-	4,3/-	6,0/-
75	2,0/-	3,0/-	4,3/-
80	1,4/-	2,0/-	3,0/-
85	0,9/8,0	1,2/10	1,8/-
90	0,5/4,3	0,65/6,0	1,0/9,6
95	0,2/2,0	0,2/0,3	0,2/4,0

Таблица 2. Скорость рабочего потока в зависимости от эффекта очистки поверхностного стока от нефтепродуктов для дождевого стока (в числителе) и талого стока (в знаменателе)

Эффект очистки, %	Скорость течения (мм/с) при длине тонкослойных элементов, м		
	1,5	2,0	3,0
60	4,4/-	6,2/-	9,2/--
65	3,5/-	4,5/-	6,0/-
70	2,3/-	3,4/-	4,3/-
75	1,7/9,1	2,5/10,2	3,0/-
80	1,0/5,5	1,8/7,1	2,0/9,9
85	0,8/4,0	1,0/5,5	1,2/6,8
90	0,5/2,6	0,8/3,9	0,65/5,3
95	0,2/1,0	0,2/2,5	0,2/3,2

Тонкослойные отстойники состоят из распределительной и водосборной зон, а также отстойной зоны (тонкослойного пространства), занятой полочными элементами.

Использование модернизированных отстойных сооружений (отстойники со встроенными тонкослойными модулями) позволяет достигать качества очищаемого поверхностного стока до нормативов, позволяющих его сброс в водные объекты хозяйственно-бытового назначения. Концентрация взвешенных веществ при определенной скорости потока через тонкослойные элементы может не превышать 0,2–2,0 мг/дм³, а нефтепродуктов 0,2–1,0 мг/дм³.

Для обеспечения требований к сбросу сточных вод в водоемы рыбохозяйственного назначения рекомендуются сорбционные методы, реализуемые в фильтрах с загрузками из органических и неорганических сорбентов. Учитывая высокую стоимость и дефицитность наиболее широко используемых при очистке сточных вод активированных углей, в настоящее время проводятся исследования по внедрению в практику строительства очистных сооружений с использованием природных сорбционных материалов [10–13]. К числу подобных материалов могут быть отнесены природные цеолиты, диатомиты, опоки, шунгиты, глаукониты и др.

К группе аморфных природных сорбентов относятся дисперсные кремнеземы, представляющие собой осадочные опал-кристобалитовые породы. Одним из самых распространенных видов их являются опоки – микропористые породы, сложенные аморфным кремнеземом (опалом) с примесью глинистого вещества, скелетных частей организмов, минеральных зёрен (кварца, полевых шпатов, глауконита).

К группе твердых углеродистых минералов, представляющих в основной массе аморфные разновидности углерода, близкие по составу к графиту, относится шунгит. Шунгит, будучи природным адсорбентом, сочетает в себе свойства минеральных и синтетических сорбентов и является в этом смысле уникальным продуктом, способным стать недорогим и высокоэффективным природным заменителем активированных углей, а также таких сорбентов-заменителей активированного угля как природные термоугли, торфы, высокозольные сланцы, коксы и полукоксы.

Наиболее перспективно использование шунгита для очистки от трудно извлекаемых остаточных загрязнений (доочистка) на последних стадиях перед сбросом вод в окружающую среду. Шунгит в качестве сорбента перспективен для очистки низкоконтентрированных нефтепродуктов. Углерод, присутствующий в шунгите, позволяет сорбировать растворенные в воде нефтепродукты с той же эффективностью, что и активированный уголь. В табл. 3 показаны результаты испытаний шунгита в качестве сорбента нефтепродуктов на одной из установок в России. [14].

Таблица 3. Пример показателей одной из установок с загрузкой шунгитного адсорбента

Качество воды	Взвешенные вещества, мг/л	Нефтепродукты, мг/л	Органика(по БПК), мг/л	pH
Исходная сточная вода	20–40/32	1–5/4,2	10–25/20	7,0–7,5
После установки с шунгитной загрузкой	1–3,5/3	0,05	3	6,5–8,5
Требования к сбросу в рыбохозяйственный водоем (Россия)	3	0,05	3	6,5–8,5

Глауконит (зеленая земля) – минерал, водный алюмосиликат железа, кремнезема и оксида калия непостоянного состава. Химическая формула: $(K, H_2O) (Fe^{3+}, Al, Fe^{2+}, Mg)_2 [Si_3AlO_{10}](OH)_2 \cdot nH_2O$.

Результаты исследований, проведенные Центром военно-технических проблем биологической защиты НИИМ МО РФ, показали способность глауконита сорбировать нефтепродукты и тяжелые металлы. Полученные результаты позволяют сделать вывод, что максимальная сорбционная емкость глауконита, в зависимости от сорбируемых нефтепродуктов, ионов тяжелых металлов и их состава, лежит в пределах от 13 до 60 %. Высокие адсорбционные и катионообменные свойства глауконита могут использоваться не только в качестве адсорбента тяжелых металлов, нефтешламов, загрязняющих водные объекты и почву, а также для ликвидации загрязнений, находящихся в осадках очистных сооружений и промышленных стоков, в грунтах и водных объектах, с помощью площадного внесения и создания геохимических барьеров [15]. Глауконит применяется при реабилитации территорий, пораженных радионуклидами или имеющих высокую техногенную нагрузку в результате деятельности промышленных предприятий [16].

Концепция защиты водоисточников от негативного влияния талых и дождевых сточных вод с урбанизированных территорий заключается в использовании для кондиционирования данного стока технологий, сочетающих высокую степень его очистки при удовлетворительных скоростях изъятия загрязнений и минимальных затратах на строительство и эксплуатацию очистных сооружений.

Реализация данной концепции, по мнению авторов, возможна в случае использования на стадии предварительной очистки поверхностного стока от основной массы взвешенных веществ сооружений механической очистки (отстойники), а для дальнейшей доочистки сточных вод от органических и биогенных веществ, ботанического агрегатопонного комплекса, представляющего собой аккумуляционный фитофильтр (АФФ) [10] или сорбционный фильтр с загрузкой из зажогинского шунгита. [14].

На основании проведенных исследований технологий очистки поверхностного стока для проектирования очистных сооружений на станциях «Шаля» и «Заячья горка» Свердловской железной дороги – филиала ОАО «РЖД» был предложен и обоснован водоочистной комплекс, состоящий из следующих сооружений:

- пруды-отстойники для приема и первичного осветления стоков (по 3 шт.);
- горизонтальные отстойники, оборудованные тонкослойными модулями для доочистки от взвешенных веществ (по 3 шт.);
- аккумуляционные фитофильтры с загрузкой из опоки (ст. «Шаля») и сорбционные фильтры из зажогинского шунгита (ст. «Заячья горка»).

Результаты расчетов, приведенные в табл. 4, свидетельствуют о принципиальной возможности достижения качества очищенного поверхностного стока с железнодорожных станций соответствующего требованию Заказчика.

Таблица 4. Качество поверхностного стока с территории железнодорожной станции

Сооружения водоочистного комплекса	Качество стока, мг/дм ³					
	Взвешенные вещества			Нефтепродукты		
	до	после	эффект %	до	после	эффект %
Горизонтальный отстойник (пруд-отстойник)	400	200	50	85	45	47
Отстойник с тонкослойными модулями	200	10	95	45	2,25	95
Аккумуляционный фитофильтр (загрузка опока)	10	2	98	2,25	0,045	98
Сорбционный фильтр (загрузка шунгит)	10	2	98	2,25	0,05	97,8

Расчеты срока службы очистных сооружений определяются сроком сорбционной способности опоки и шунгита по отношению к нефтепродуктам. Согласно выполненным расчетам их эффективная работа без регенерации возможна не менее 10 лет (шунгит) и не менее 15 лет (АФФ) с учетом биорегенерации опоки тростником, высаженным на субстрат АФФ.

Расчет эколого-экономической эффективности очистных сооружений, выполненный по методике [17], показал высокую эффективность данного природоохранного комплекса. Его реализация позволяет предотвратить поступление в водные объекты рыбохозяйственного значения (Шалинский пруд и река Толыч) с железнодорожных станций «Шаля» и «Заячья горка» с ливневыми и тальными водами взвешенных веществ 19,55 и 19,28 т, нефтепродуктов 4,17 и 4,11 т в год.

Общий годовой предотвращенный экологический ущерб составит 70665 и 71229 тыс. руб. соответственно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Свердловской области в 2015 году/ Правительство Свердловской области и др. Екатеринбург, 2016. 312 с.
2. Асонов А.М., Борисова Г.М. Технологический регламент работы сооружений очистки поверхностного стока с территории станции Шаля Свердловской железной дороги. Екатеринбург: Пояснительная записка. УрГУПС, 2015.
3. Асонов А.М., Гаврилин И.И., Борисова Г.М. Технологический регламент на проектирование сооружений по очистке поверхностного (талого и дождевого) стока с территории станции «Заячья горка» Свердловской железной дороги. Екатеринбург: Пояснительная записка. УрГУПС, 2016.
4. Попов А.Н. Прогноз и регулирование качества поверхностных вод (на примере региона Урала): автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Екатеринбург, 1995. 40 с.
5. Бондаренко В.В. Охрана водных объектов от загрязнения сточными водами и рассредоточенным стоком с помощью биоинженерных систем: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Екатеринбург, 2000. 38 с.
6. Нечаев А.П. Предотвращение загрязнения водоемов поверхностным стоком с территории промышленных предприятий // Очистка и использование поверхностного стока с территории городов и промплощадок / МДНТП. М., 1981. С. 76–81.

7. Мамедов Т.Г., Абдулаев Х.Д., Качарли Н.К. Биотехнологический метод интенсивной очистки воды от нефти и нефтепродуктов // Научные аспекты интенсификации производства. Баку, 1987. С. 56–59.
8. Способ и устройство для промышленного выращивания морских и пресноводных водорослей: Заявка ЕПВ 0035611, МКИ А01G 33/00. опубл. 16.09.81.
9. М.И.Алексеев, А.М. Курганов. Организация отведения поверхностного (дождевого и талого) стока с урбанизированных территорий: Учеб. пособие. М.: Изд-во АСВ; СПб.: СПбГАСУ, 2000.
10. Асонов А.М., Ильясов О.Р. Пат. РФ № 2149836. Фитофильтр для очистки сточных вод. Бюл. № 15. Публ. 21.10.1998.
11. Асонов А.М., Кирина А.А. Интенсификация биологической регенерации загрязненного ионообменного субстрата аккумуляционного фитофильтра. Водное хозяйство России. 2006. № 4.
12. Асонов А.М., Кирина А.А. Очистка поверхностного стока, сформированного на территории объектов железнодорожного транспорта, с использованием природных сорбентов. Транспорт Урала. 2006. № 4. УрГУПС. Екатеринбург.
13. Асонов А.М., Одинцова Г.Я., Ильясов О.Р. Отчет о НИР № гос. регистрации 01.20.00 05480 «Разработка методических рекомендаций по защите водных объектов от загрязнения талым и дождевым стоком с селитебных территорий»/ РосНИИВХ, Екатеринбург. 2001. 79 с.
14. Крылов И.О., Луговская И.Г. Использование углеродсодержащих минеральных сорбентов и катализаторов для решения экологических проблем (ФГУП «ВИМС» Россия): Вторая Международная нефтегазовая конференция «Нефтегаз – ИНТЕХЭКО – 2009». Москва.
15. Дистанов У.Г. Глаукониты / Природные сорбенты СССР. М., 1990. С. 132 – 146.
16. Глауконит // Большая советская энциклопедия: гл. ред. А.М. Прохоров. 3-е изд. М.: Советская энциклопедия, 1969 – 1978.
17. Методика исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства. Утв. приказом Минприроды России № 87 от 13 апреля 2009.

Сведения об авторах:

Асонов Александр Михайлович, профессор, кафедра «Техносферная безопасность», ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет путей сообщения», Россия, 620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова 66; e-mail: ason@mail66.ru

Гаврилин Игорь Игоревич, заведующий кафедрой «Техносферная безопасность», ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет путей сообщения», Россия, 620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова 66; e-mail: i.gavrilin@list.ru

Борисова Галина Михайловна, старший преподаватель, кафедра «Техносферная безопасность», ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет путей сообщения», Россия, 620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова 66; e-mail: gborisova@usurt.ru

ОЧИСТКА ПРЕСНОЙ ВОДЫ ОТ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ КАВИТАЦИЕЙ

Барбин Н.М., Чирков А.А., Барашкин М.И., Алексеев К.С.

ФГБОУ ВО «Уральский государственный аграрный университет», Екатеринбург, Россия
NMBarbin@mail.ru

Ключевые слова: Кавитационная обработка воды, подавление роста микроорганизмов, дезинфекция, гидродинамическая кавитация, инфузории, очистка воды, простейшие.

В статье представлены результаты исследований, проведенных в экспериментальной лаборатории, созданной на базе кафедры химии факультета ветеринарной медицины и экспертизы Уральского государственного аграрного университета. В ходе проведенного эксперимента изучены различия численного и физиологического показателей одноклеточных микроорганизмов помещенных в воду, подверженную воздействию гидродинамической обработки. В результате проведенных исследований в воде, прошедшей кавитационную обработку отсутствовали жизнеспособные одноклеточные микроорганизмы.

PURIFICATION OF FRESH WATER FROM MICROBIOLOGICAL POLLUTION BY HYDRODYNAMIC CAVITATION

Barbin N.M., Chirkov A.A., Barashkin M.I., Alekseyev K.S.

Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia
NMBarbin@mail.ru

Keywords: cavitation treatment of water, suppression of microorganisms growth, disinfection, hydrodynamic cavitation, ciliates, water purification, protozoa.

The article presents results of a study that has been conducted in the experimental laboratory at Department of Chemistry of the Faculty of Veterinary Medicine and Examination at Ural State Agrarian University. In the course of the experiment differences between quantitative and qualitative indexes for unicellular microorganisms in water that has passed through hydrodynamic processing have been investigated. The results have shown that in the cavitation-treated water no unicellular microorganism have been detected.

Учитывая колоссальное воздействие антропогенных факторов на природу, а также постоянное увеличение препаратов, обладающих обеззараживающим действием, быстро протекающим процессом приспособительных мутаций в микромире, остро встает вопрос о разработке способов очистки пресной воды от микробиологического загрязнения без применения каких-либо средств химической промышленности с целью дальнейшей возможности употребления в качестве питьевой воды. Одной из причин порчи запасов питьевой воды, также как и одной из основных причин порчи продукции, является ее микробиологическое [1–4] загрязнение. Перспективным методом экологически чистого обеззараживания пресной воды от микроорганизмов является кавитационная, гидродинамическая обработки жидкости. Кавитация представляет собой очень сложный процесс. Гидродинамическая кавитация – это средство концентрации колоссального количества энергии в маленьком объеме, связанной со схлопыванием и пульсацией кавитационных пузырьков. Теоретически кавитационная прочность чистой воды составляет несколько десятков МПа, однако наличие в реальной воде различных примесей и газов в

виде пузырьков сильно понижают ее кавитационную прочность [5]. Существуют установки различного типа мощности, в которых давление может достигать ста МПа, а температура десяти тысяч градусов Цельсия. В процессе гидродинамической обработки жидкости в образуемых кавитатором пузырьках создается высокое давление и высокая температура. С целью изучения свойств гидродинамической кавитации пресной воды в качестве стерилизатора на базе кафедры химии факультета ветеринарной медицины и экспертизы ФГБОУ ВО «Уральский государственный аграрный университет» в созданной экспериментальной лаборатории по специальной методике была выращена культура простейших микроорганизмов – инфузория (одноклеточный организм, величиной в среднем от 0,1 до 0,3 мм, среда обитания пресные водоемы).

Учитывая процессы, протекающие в жидкости в результате воздействия на нее гидродинамической кавитации, в процессе обработки воды происходит разрушение различных примесей, как следствие, и находящихся в жидкости микроорганизмов. Тем самым микроорганизмы, находящиеся в воде, подвергаются ряду химических и физических действий гидродинамической кавитации, что приводит к их разрушению.

Перед проведением кавитационной обработки, были отобраны пробы пресной воды, содержащей простейшие микроорганизмы. После проведения обработки пресной воды были отобраны пробы пресной воды в количестве, идентичном количеству проб до проведения обработки. Процесс гидродинамической обработки воды длился 90 мин, с двумя точками забора проб через 60 и через 90 мин с момента начала обработки. Расчет количества микроорганизмов до обработки, в процессе и после обработки осуществлялся люминесцентным методом, при помощи микроскопа с функцией фото и видеозаписи. В результате проведенных расчетов погибших микроорганизмов был сделан вывод о достаточности обработки воды в течении 90 мин, вследствие 100 % уничтожения жизнеспособных простейших (рисунок).

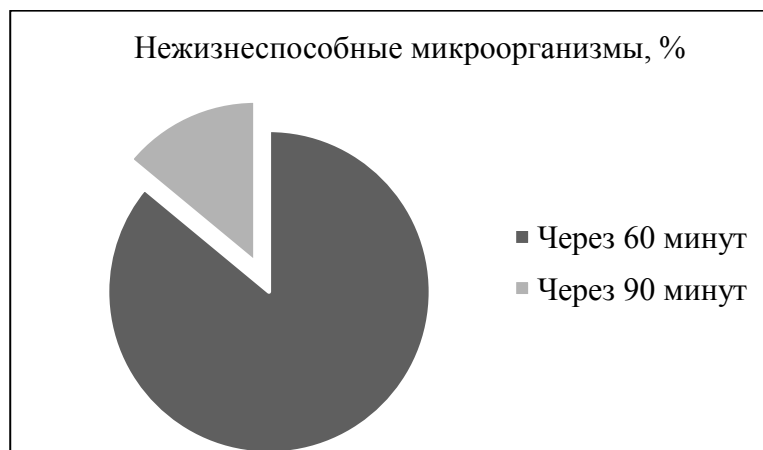


Рисунок. Доля нежизнеспособных микроорганизмов в зависимости от времени обработки воды.

Проведенное исследование позволяет утверждать, что существует эффект обеззараживающего действия гидродинамической кавитационной обработки пресной воды, от содержащихся в ней микроорганизмов.

Затраты на обеззараживание одного объема пресной воды разными методами (хлорирование, ультрафиолетовая обработка, озонирование и др.) являются наименьшими именно при использовании кавитационной обработки жидкости, что свидетельствует о экономической эффективности данного метода. В результате можно сделать вывод о перспективности использования кавитации как эффективной и малозатратной технологии очистки пресной воды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Барбин Н.М., Чирков А.А.* Применение препаратов на основе наночастиц серебра для предотвращения микробиологического заражения продуктов питания: Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке. VII Международная научно-техническая конференция. 2015. С. 132.
2. *Чирков А.А., Барбин Н.М.* Использование препарата на основе наносеребра в качестве консерванта направленного действия для микробиологического заражения продуктов питания. Молодежь и наука. 2017. № 1. С. 43.
3. *Чирков А.А., Барбин Н.М.* Применение препаратов на основе наночастиц серебра в агропромышленном комплексе. В книге: Международный симпозиум «Химия для биологии, медицины, экологии и сельского хозяйства» ISCHEM 2015 Тезисы докл. Международного симпозиума. 2015. С. 234.
4. *Барбин Н.М., Чирков А.А.* Подавление патогенной микрофлоры препарата на основе наночастиц серебра / Сб. материалов международной научно-практ. конференции «Рациональное использование природных и биологических ресурсов в сельском хозяйстве». 2014. С. 179–181.
5. *Шиян Л.Н.* Свойства и химия воды. Водоподготовка: уч. пособие. Томск: ТПУ. 2004.

Сведения об авторе:

Барбин Николай Михайлович, д-р техн. наук, заведующий кафедрой химии, ФГБОУ ВО «Уральский государственный аграрный университет», Россия, 620075, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 42; e-mail: NMBarbin@mail.ru

**ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОРГАНИЗАЦИИ
РЕГУЛИРУЕМОГО ОТВЕДЕНИЯ ИЗБЫТОЧНЫХ РАССОЛОВ
В ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ ПРЕДПРИЯТИЙ
КАЛИЙНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
(НА ПРИМЕРЕ ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
КАЛИЙНЫХ И МАГНИЕВЫХ СОЛЕЙ)**

Богомоллов А.В.

ФГБУН «Горный институт Уральского отделения Российской академии наук»

г. Пермь, Россия

whitewing85@mail.ru

Ключевые слова: регулируемый сброс, избыточные рассолы, калийные удобрения, рассеивающий водовыпуск, гидродинамическое моделирование.

Использование рассеивающих регулируемых водовыпусков позволяет более полно использовать ассимилирующий потенциал водных объектов и осуществлять сброс высокоминерализованных сточных вод без увеличения техногенной нагрузки на водные объекты.

**HYDROLOGICAL AND TECHNOLOGICAL ASPECTS OF THE ORGANIZATION OF
REGULATED DISPOSAL OF EXCESSIVE BRINES TO THE POTASH INDUSTRY
SURFACE WATER BODIES (ON THE EXAMPLE OF THE VERKHNEKAMSKY
DEPOSIT OF POTASH AND MAGNESIAN SALTS)**

Bogomolov A.V.

MI UB RAS, Perm, Russia

whitewing85@mail.ru

Key words: regulated discharge, excessive brines, potassium fertilizes, dispersive discharge outlet, hydrodynamic simulating.

The use of the dispersing adjustable water outlets enables to use more fully the assimilating potential of water bodies and to carry out discharge of highly mineralized waste waters without increase in industrial load on water bodies.

Характерной особенностью современных технологий производства калийных удобрений является наличие такой важной операции как обогащение извлекаемых руд. Производство готового коммерческого продукта проводится в водных растворах. Использование таких схем обогащения приводит к образованию больших объемов избыточных рассолов $\sim 1 \text{ м}^3$ на 1 т готовой продукции. Широкое внедрение не водных схем обогащения не только требует принципиального изменения существующей технологии, но, самое главное, они чувствительны к качественному составу добываемых руд. Поэтому технологическая схема обогащения, хорошо отработанная на одном составе руды, оказывается достаточно часто совершенно не эффективной при переходе на другой состав. В настоящее время остро стоит задача разработки систем экологической безотходной утилизации образующихся в результате обогащения руды избыточных рассолов.

Наиболее просто и эффективно данная проблема решается на месторождениях, расположенных вблизи морских побережий, путем организации морских глубинных водотоков. К сожалению, применительно к условиям Верхнекамского месторождения калийных и магниевых солей, данные схемы не реальны, т. к. ближайшее море расположено

на расстоянии ~ 1000 км. Поэтому, в сложившейся ситуации, основным способом утилизации избыточных рассолов стало их отведение.

Положение усложняется, с одной стороны, значительной интенсивностью фильтрации из большинства шламохранилищ, с другой – существенной внутригодовой неравномерностью распределения расходов воды в естественных водотоках. Поэтому, в первую очередь, необходимо согласование расходов сбросов рассолов с изменением расходов воды в водотоках-приемниках.

В настоящее время нет отработанных типовых конструкторских решений по отведению очень плотных сточных вод, допускающих широкий диапазон расходов сбросов. В связи с этим существует необходимость выбора и оценки возможных схем водоотведения, удовлетворяющих указанным выше требованиям и обеспечивающим эффективное начальное разбавление.

Из-за очень высокого содержания загрязняющих веществ в отводимых рассолах при их сбросе в водные объекты должна обеспечиваться высокая степень разбавления. Для достижения данного эффекта применяются различные типы рассеивающих устройств. Весьма целесообразно использовать рассредоточенные рассеивающие водовыпуски, обеспечивающие максимально полное разбавление сбрасываемых стоков. При этом данные устройства должны обеспечивать равномерность распределения лимитирующих ингредиентов не только по глубине, но и по ширине потока. Для достижения максимального эффекта рассеивающий водовыпуск должен обеспечивать распределение сбрасываемых стоков по всей активной ширине водотока. При этом необходимо учитывать высокую плотность рассолов.

Предложены и проанализированы три принципиально различных технологических схемы отведения рассматриваемых избыточных рассолов в р. Каму (Камское водохранилище), обеспечивающие нормативное качество воды в контрольных створах:

1. Предварительное снижение минерализации и плотности отводимых стоков, достижение их нейтральной плавучести путем механического смешения в соотношении 1:100 с речной водой в береговом резервуаре. Затем сточные воды с плавучестью, близкой к нейтральной, отводятся в приемник сточных вод через типовой рассеивающий водовыпуск.

2. Создание линейного подвижного поверхностного водовыпуска, обеспечивающего эффективность начального смешения вследствие конвективного осаждения тяжелых рассолов.

3. Организация водовыпуска, эффективность начального смешения которого осуществляется путем создания организованных высокоскоростных струй из придонного коллектора.

Каждое предлагаемое техническое решение имеет как положительные, так и отрицательные или очень сложно реализуемые условия, их укрупненный анализ дается в табл. 1.

Для анализа как конструктивных решений по организации рассеивающих водовыпусков, так и их оптимальному размещению, принципиальное значение имеет наличие эффективных инструментов оценки возможных зон загрязнения, создаваемых в водных объектах при различных гидрологических условиях и режимах сбросов сточных вод. Проведение натурных экспериментов практически невозможно и очень трудоемко, а лабораторные эксперименты, ввиду необходимости одновременного соблюдения подобия по динамическим и плотностным критериям, как правило, весьма не корректны. Поэтому целесообразно использовать вычислительный эксперимент. Он был реализован на основе сопряжения гидродинамических моделей в 1-, 2- и 3-мерной постановках. Технология таких расчетов неоднократно обсуждалась в отечественных [2–6] и зарубежных изданиях [7–15]. Необходимость такого подхода обусловлена крайней ограниченностью действующей наблюдательной сети в пределах Соликамско–Березниковского промузла; ограниченностью доступных вычислительных ресурсов и очень высокими требованиями к проведению расчетов в 3D постановке; особенностью поведения высокоминерализованных рассолов.

Таблица 1. Сопоставительный анализ предлагаемых технических решений по обеспечению нормативного качества воды в контрольном створе рассеивающего водовыпуска

№ технологической схемы	Техническое решение	Аргументы	
		«за»	«против»
1	Предварительное снижение минерализации путем механического смешения отводимых рассолов с речной водой в береговом резервуаре	Значительное упрощение конструкционного решения. Возможность использования типовых схем организации рассеивающих водовыпусков. Обеспечение равномерного распределения по глубине потока содержания лимитирующих ингредиентов в воде р. Камы, благодаря предварительному доведению отводимых стоков до нейтральной плавучести	В соответствии с действующими нормативно-методическими документами по регламентации водопользования [1] для забора воды необходимо заключение специального договора водопользования. При этом очень высока стоимость забираемой воды, используемой на предварительное разбавление отводимых рассолов в береговом резервуаре
2	Организация линейного поверхностного рассеивающего водовыпуска	Значительное и эффективное начальное разбавление отводимых рассолов за счет конвективных эффектов не требует обеспечения высоких скоростей выпуска сточных вод через рабочие форсунки, поддерживая высокое давление в подводящем коллекторе	Технически не отработаны: организация поверхностного водовыпуска при ~ 8 м внутригодовом колебании уровня режима водотока-приемника; обеспечение надежности рабочей конструкции при становлении ледостава и прохождении весеннего ледохода
3	Организация линейного придонного рассеивающего водовыпуска	Устойчивость работы во все сезоны года независимо от уровня режима и ледовых явлений	Необходимость высоких энергозатрат для поддержания высоких скоростей выброса сточных вод из рабочих форсунок. Наличие существенного неравномерного распределения минерализации и содержания лимитирующих ингредиентов по глубине потока в контрольном створе вследствие плотностных эффектов

Модельные расчеты показали, что наиболее эффективное начальное разбавление при наименьших энергетических затратах наблюдается в случае отведения избыточных рассолов в поверхностный слой. Но ввиду того, что рассматриваемый район: участок Камского водохранилища (р. Кама) в районе Верхне-Камского месторождения калийных и магниевых солей, характеризуется значительными амплитудами уровня воды, то данный вариант сложен с точки зрения его реализации и эксплуатации [16].

Наиболее оптимальным вариантом для реализации является придонное расположение выпуска сточных вод, такой конструкцией, которая позволяет создать струю избыточных рассолов, пробивающую всю толщу воды. При этом существенным фактором является селективный отбор избыточных рассолов из шламохранилища: забор менее минерализованных рассолов из приповерхностного слоя.

Еще одним важным условием отведения избыточных рассолов в поверхностные водные объекты является их регулируемый сброс, то есть соотношение объема отводимых стоков с водностью водоприемного объекта.

Реализация регулируемого сброса возможна лишь при условии соотнесения объемов сбросов сточных вод с реальными расходами воды в водоприемнике. Регулируемый сброс избыточных рассолов в зависимости от гидрологического и гидрохимического режима водотоков-приёмников позволяет значительно более полно использовать их ассимилирующий потенциал и без проведения каких-либо других дополнительных водоохраных мероприятий способен существенно снизить максимальные пики концентрации загрязняющих веществ, наблюдающиеся при минимальных расходах водотоков-приемников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 N 74-ФЗ (ред. от 28.11.2015).
2. *Лепихин А.П., Любимова Т.П., Паршакова Я.Н., Тиунов А.А.* К проблеме отведения избыточных рассолов предприятиями калийной промышленности в водные объекты // Водное хозяйство России. 2010. № 3. С. 57–74.
3. *Любимова Т.П., Лепихин А.П., Паршакова Я.Н., Тиунов А.А.* Численное моделирование разбавления и переноса высокоминерализованных рассолов в турбулентных потоках // Вычислительная механика сплошных сред. Computational Continuum Mechanics. 2010. Т. 3. № 4. С. 68–79.
4. *Лепихин А.П., Любимова Т.П., Паршакова Я.Н., Тиунов А.А.* Комбинированный подход к описанию плотностных эффектов разбавления и переноса высокоминерализованных рассолов в водных объектах // Вестник Пермского университета. Сер. Математика. Механика. Информатика. 2011. № 5. С. 130–134.
5. *Лепихин А.П., Любимова Т.П., Паршакова Я.Н., Тиунов А.А.* К проблеме утилизации избыточных рассолов предприятиями калийной промышленности в водные объекты // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2012. № 2. С. 185–193.
6. *Лепихин А.П., Любимова Т.П., Лепешкин С.А., Тиунов А.А., Паршакова Я.Н., Перепелица Д.И.* К проблеме оценки последствий крупномасштабной добычи нерудных строительных материалов на поверхностные водные объекты // Водное хозяйство России. 2014. № 3. С. 108–119.
7. *T. Lyubimova, A. Lepikhin, V. Konovalov, Ya. Parshakova, A. Tiunov.* Formation of the density currents in the zone of confluence of two rivers // Journal of Hydrology. Vol. 508, 16 January 2014, P. 328–342.
8. *Lyubimova T., Parshakova Ya., Konovalov V., Shumilova N., Lepikhin A., Tiunov A.* Numerical modelling of admixture transport in a turbulent flow at river confluence // Journal of Physics: Conference Series. 2013. T. 416. No 1. C. 012028.

9. *Lepikhin A.P., Tiunov A.A., Lyubimova T.P., Parshakova Ya.N.* Discharge of excess brine into water bodies at potash industry works // Journal of Mining Science. 2012. T. 48. № 2. P. 390–397.
10. *Lyubimova T., Lepikhin A., Parshakova Ya., Tiunov A.* Effect of flooding waves on a removal of pollutants from underwater quarries. // EGU General Assembly 2013. Geophysical Research Abstracts. Vol. 15, 2013. P.13577.
11. *Donnell, Barbara P., Letter, Joseph V., McAnally, W. H., and others,* «Users Guide for RMA2 Version 4.5,» [09 Sept] 2009, [<http://chl.wes.army.mil/software/tabs/docs.htm>].
12. *Joseph V., Donnell, Barbara P., and others,* «Users Guide for RMA4 Version 4.5», [14 Aug] 2008, [<http://chl.wes.army.mil/software/tabs/docs.htm>].
13. Governing Equations for the Mathematical Model RMA4, Appendix H-A, Ian P. King, Richard R. Rachiele, Resource Management Associates, Jan., 1989.
14. *Lepikhin A.P., Tiunov A.A., Lyubimova T.P., Parshakova Ya.N.* Formation of the density currents in the zone of confluence of two rivers // J. of Hydrology. 508 (2014) p. 328–342.
15. *Lepikhin A.P., Tiunov A.A., Lyubimova T.P., Parshakova Ya.N.* The risk of river pollution due to washout from contaminated floodplain water bodies during periods of high magnitude floods // J. of Hydrology 534 (2016) 579–589.
16. *Богомолов А.В., Лепихин А.П., Любимова Т.П., Тиунов А.А., Паршакова Я.Н.* Особенности организации рассеивающих водовыпусков для отведения избыточных рассолов в водные объекты // Водное хозяйство России. 2016. № 2. С. 72–86.

Сведения об авторе:

Богомолов Андрей Владимирович, младший научный сотрудник, ФГБУН «Горный институт УрО РАН» Россия, 614007, г. Пермь, ул. Сибирская, 78 А;
e-mail: whitewing85@mail.ru

КОМПЛЕКСНОЕ РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ОБЕСКРЕМНИВАНИЯ И ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Браяловский Г.Б., Насчетникова О.Б., Наумова Я.С., Мигалатий Е.В.
ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н.Ельцина», г. Екатеринбург, Россия
bgb@rambler.ru

Ключевые слова: подземные воды, подготовка питьевой воды, анализ технологий обескремнивания, обезжелезивание, окисление, коагуляция, фильтрация, диатомитовые фильтры.

Рассмотрена проблема выбора технологии водоподготовки питьевой воды из подземных вод Уральского региона при совместном присутствии в них соединений кремния, железа, марганца и повышенной перманганатной окисляемости. Проведен анализ существующих технологий обескремнивания и обезжелезивания подземных вод, а также физико-химических механизмов и факторов, влияющих на эффективность протекания этих процессов. Приведены результаты лабораторных исследований по извлечению соединений кремния и железа из подземных вод. Предложена высокоэффективная комплексная технология водоподготовки на основе процессов реагентного окисления, коагуляции и фильтрации.

INTEGRATED SOLUTION OF THE PROBLEM OF GROUNDWATER DESILICONIZING AND DEIRONIZATION

Brayalovskiy G.B., Naschetnikova O.B., Naumova Y.S., Migalatiy Y.V.
Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia
bgb@rambler.ru

Key words: groundwater, drinking water treatment, desilconizing techniques analysis, deironization, oxidizing, coagulation, filtration, diatomite filters

Problem of the drinking water treatment technology choice for drinking water from groundwater in the Urals region is considered, together with the presence of silicon, iron, manganese compounds and increased permanganate oxidizability in them. The analysis of existing technologies for removal of silicon and iron from groundwater, as well as physical and chemical mechanisms and factors affecting the efficiency of these processes, is carried out. The results of laboratory studies on the extraction of silicon and iron compounds from real groundwater are presented. A highly effective complex water treatment technology based on reagent oxidation, coagulation and filtration processes is proposed.

По разным оценкам, доля использования подземных вод в хозяйственно-питьевом водоснабжении России составляет 35–50 % от общего водопотребления. В Свердловской области 36,8 % населения получает воду из подземных источников. Дополнительное вовлечение в хозяйственный оборот запасов подземных вод ограничивается повышенным содержанием солей жесткости, железа, марганца, кремния. Совместное присутствие в воде данных элементов значительно осложняет процесс водоподготовки. Зачастую эти загрязнения встречаются на фоне высокой (свыше 5 мгО₂/дм³) перманганатной окисляемости, что также затрудняет их совместное удаление.

Подземные воды некоторых районов Урала, Тюменского Севера, Сибири, Дальнего Востока характеризуются наличием соединений кремния в концентрациях до 30 мг/дм³ (по кремнию), что в несколько раз превышает нормативные, а кондиционирование воды по этому показателю обычно не производится. Наличие кремния в питьевой воде представляет значительную угрозу для здоровья населения. Согласно СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества» [1], кремний определен как высокоопасное вещество и установлен норматив его содержания в питьевой воде – до 10 мг/дм³. Повышенное содержание кремния в питьевой воде вызывает у человека отравление организма даже при незначительном превышении ПДК. Регулярное употребление воды с повышенным содержанием кремния приводит к появлению мочекаменной болезни и заболеваниям почек. Поэтому решение вопроса обескремнивания питьевой воды является не только сложной технической проблемой водоподготовки, но и одной из важных санитарно-гигиенических задач оздоровления населения.

Практически все станции водоподготовки подземных вод работают по традиционной схеме «аэрация-фильтрация» (упрощенная аэрация). Однако, как показывает многолетний опыт эксплуатации таких сооружений, технология упрощенной аэрации с последующим фильтрованием через зернистый слой не обеспечивает нормативного качества воды по ионам железа, марганца, кремния. Одна из причин этого явления состоит в том, что подземные воды содержат соединения кремниевой кислоты в концентрациях, которые оказывают заметное негативное влияние на процесс обезжелезивания и деманганации.

В целом система H_2O-SiO_2 очень сложна, поскольку в ней присутствуют многочисленные гидраты и различные кремниевые кислоты. В воде существуют частицы типа $SiO_2 \cdot nH_2O$ где $n=0,5; 1,5; 2; 2,5$ [2]. Осаждение и соосаждение таких соединений сопровождается укрупнением отдельных частиц, при этом образуются поликремниевые кислоты состава $[SiO_x(OH)_{4-x}]_n$. Степень их дисперсности меняется от коллоидной до ионной в зависимости от многих факторов, таких как температура, pH и концентрации различных примесей воды.

Известно, что соединения кремния взаимодействуют только с трехвалентным (окисленным) железом [2]. В присутствии соединений кремния в процессе обезжелезивания методом упрощенной аэрации происходит образование устойчивых железосиликатов, которые обладают коллоидной растворимостью и не удаляются из воды при фильтровании или отстаивании.

Поскольку обезжелезивание и деманганация питьевой воды традиционно осуществляются в рамках единой технологии, присутствие в воде соединений кремния оказывает ингибирующее влияние на процесс извлечения железа и марганца при фильтровании через зернистый слой. При обезжелезивании воды методом упрощенной аэрации вокруг зерен инертной фильтрующей загрузки формируется адсорбционная пленка, состоящая в основном из соединений железа. На ее поверхности адсорбируется не только ионное железо, но и другие примеси, в т. ч. соединения типа $SiO_2 \cdot nH_2O$. При больших концентрациях кремния в обрабатываемой воде происходит «блокировка» активной поверхности адсорбционной пленки, что существенно замедляет процесс обезжелезивания. Кроме того, присутствие соединений кремния может вызвать потерю устойчивости адсорбционного слоя, который в этом случае смывается с зерен фильтрующей загрузки при промывке. Вместе с тем установлено, что в данных традиционных технологиях соединения кремния из воды извлекаются незначительно и его содержание в очищенной воде может превысить нормативное значение [3].

Вопросы обескремнивания подземной воды довольно долго решались только в отношении ее использования для подпитки паровых котлов, в производстве целлюлозы, в химико-фармацевтической промышленности и не рассматривались применительно к питьевому водоснабжению.

В настоящее время технологии удаления растворенного кремния подразделяются на химические (реагентные) и физико-химические (безреагентные) [4]. Для осаждения растворенного кремния используются: гашеная известь, образующая малорастворимый силикат кальция (что позволяет снизить концентрацию силиката до $0,5 \text{ мг/дм}^3$), жженный магнезит (образует с растворенным силикатом малорастворимый силикат магния), жженный доломит. Зачастую осаждение кремния производится еще на стадии осветления и обесцвечивания, когда хлопья гидроксидов алюминия или железа, осаждаясь, захватывают коллоиды кремниевой кислоты и адсорбируют растворенные ионные формы. Применяют и другие реагенты, содержащие крахмал и полиальгинат натрия. Реагентные методы требуют большого расхода дорогостоящих реагентов (доза сульфата алюминия или железа до $300\text{--}400 \text{ мг/л}$ по безводному веществу, по оксиду магния $5\text{--}7 \text{ мг/мг SiO}_2$); высоких энергозатрат, связанных с подогревом воды при известковании или осаждении магнезитом; необходимости полной замены магнезиального сорбента при исчерпании его обменной емкости; высоких доз подщелачивающих реагентов и приводят к образованию большого количества осадка (при обработке воды солями железа и алюминия).

Безреагентные методы извлечения кремния – ионный обмен, электрокоагуляция, обратный осмос. Наиболее эффективный способ удаления связан с применением ионитов смешанного действия, которые представляют собой смесь Н-катионита и ОН-анионита. Использование мембранных технологий зачастую затруднено, т. к. на поверхности мембран может происходить полимеризация кремниевых кислот вследствие пересыщения по аморфной окиси кремния, что приводит к кольматации мембран [4]. Кроме того, возникает проблема утилизации большого объема высоко загрязненных регенерационных растворов и концентратов ионообменных и мембранных установок.

Таким образом, поиск комплексной технологии совместного обескремнивания и обезжелезевания воды для питьевых нужд является крайне важной задачей для специалистов в области водоснабжения, которая может быть решена только комплексно. Учитывая сложность данной проблемы, для выбора оптимальной технологии на конкретном водоисточнике, необходимо проведение технологических исследований с моделированием процессов в лабораторных условиях. Актуальными направлениями исследований являются: разработка и применение дополнительных технологических приемов для интенсификации процесса удаления кремния и железа; поиск оптимальных доз и комбинаций реагентов; исследование свойств современных фильтрующих материалов.

На кафедре водного хозяйства и технологии воды Уральского федерального университета проведены исследования по комплексному обескремниванию и обезжелезиванию подземных вод г. Нижняя Салда с содержанием железа $0,9 \text{ мг/дм}^3$, кремния $11,1 \text{ мг/дм}^3$, окисляемостью $7,0 \text{ мг O}_2/\text{дм}^3$, $\text{pH} = 6,5$. Принята реагентная схема очистки, при которой в воду вводили соответствующие реагенты, а далее ее фильтровали на легкой зернистой загрузке из дробленых диатомитовых пород со скоростью $10\text{--}12 \text{ м/ч}$.

Предварительные исследования показали, что смешение данной воды с кислородом, хлором или перманганатом калия не приводили к удалению железа и кремния, а только увеличивали цветность. По всей видимости, окислители вступали в реакцию с присутствующими органическими веществами, и реакция окисления железа проходила медленно (в присутствии сильных окислителей) или не шла вообще (в присутствии кислорода). Поскольку очевидно, что главным лимитирующим фактором процесса обезжелезивания и обескремнивания данной воды является высокая окисляемость, было принято решение вводить вместе с сильным окислителем (перманганатом калия) алюминиевый коагулянт – полиоксихлорид алюминия (ПОХА). Опытным путем было установлено оптимальное соотношение $\text{Al/KMnO}_4 = 10$ для исследуемой воды. Все последующие опыты проводили в данной пропорции реагентов. Порядок введения реагентов был одновременным.

Установлено, что одновременная обработка окислителем и коагулятом позволила эффективно удалить из воды как соединения железа, так и кремния. При дозах ПОХА – 10

мг/дм³, KMnO₄ – 1 мг/дм³ содержание железа в фильтрате составило 0,25 мг/дм³ и величина перманганатной окисляемости – 3 мг/дм³, что соответствует питьевым нормам. Кроме того, по данной технологии удалось снизить содержание кремния ниже питьевых норм до 8 мг/дм³. Дальнейшее увеличение доз реагентов не приводило к значительному увеличению степени извлечения рассматриваемых соединений.

В процессе фильтрации обработанной реагентами воды используемая загрузка модифицировалась: ее гранулы покрылись гидроксидами марганца и железа, которые также являются катализаторами реакций обезжелезивания.

В целом, предлагаемая технология одновременного введения окислителя и коагулянта с последующей фильтрацией на зернистой загрузке показала положительный результат и может быть рекомендована для одновременного обескремнивания и обезжелезивания подземной воды с повышенной перманганатной окисляемостью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества.
2. *Айлер Р.* Химия кремнезема: Растворимость, полимеризация, коллоидные и поверхностные свойства, биохимия. Ч 1. М.: Мир, 1982.
3. *Селюков А. В., Рафф П. А.* Обескремнивание подземных вод на сооружениях обезжелезивания - деманганации // Водоснабжение и санитарная техника. 2012. № 4.
4. *Шиблева Л. Г., Крылов Г. В., Макаров В.В., Демидович В. Н.* Экологические аспекты обезжелезивания кремнеземсодержащих подземных вод // Известия вузов. Сер. Нефть и газ. 2001.
5. *Алексеев В. С., Болдырев К. А., Тесля В. Г.* О необходимости пересмотра нормативного содержания кремния в питьевой воде // Водоснабжение и санитарная техника. 2011. № 5.

Сведения об авторах:

Браяловский Георгий Борисович, доцент, кафедра водного хозяйства и технологии воды, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина», Россия, 620002 г. Екатеринбург, ул. Мира, 17; e-mail bgb@rambler.ru

Мигалатий Евгений Васильевич, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой водного хозяйства и технологии воды, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина», Россия, 620002 г. Екатеринбург, ул. Мира, 17

Наумова Яна Сергеевна, магистрант, инженер, кафедра водного хозяйства и технологии воды, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина», Россия, 620002 г. Екатеринбург, ул. Мира, 17; e-mail: naumowa.ia@yandex.ru

Насчетникова Ольга Борисовна, доцент, кафедра водного хозяйства и технологии воды, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина», Россия, 620002 г. Екатеринбург, ул. Мира, 17; e-mail: NOBEL@mail.ru

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНГИБИТОРОВ
СОЛЕОТЛОЖЕНИЙ И КОРРОЗИИ**

Дрикер Б.Н., Мурашова А.И.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет»,
Екатеринбург, Россия

Тарантаев А.Г.

ОАО Химическая компания «НИТОН», Екатеринбург, Россия
BNDriker70191@mail.ru

Ключевые слова: минеральные отложения, коррозия, ингибиторы, органофосфонаты, полимеры, зародышеобразование.

Работа посвящена сравнительной оценке ингибирующих свойств реагента для предотвращения минеральных отложений и коррозии с помощью разработанной методологии.

COMPARATIVE ASSESSMENT OF SCALE AND CORROSION INHIBITORS

Driker B. N., Murashova A. I.,

Ural State University of Forestry Engineering, Ekaterinburg, Russia

Tarantayev A. G.

JSC Chemical company «NITON», Ekaterinburg, Russia

Key words: mineral residues, corrosion, inhibitors, organophosphate, polymers, nucleation.

The work is devoted to comparative evaluation of inhibitory properties of the reagent to prevent mineral deposits and corrosion by means of the developed methodology.

Перспективным решением проблемы сокращения водопотребления является организация на промышленных предприятиях систем оборотного водоснабжения. Эксплуатация оборотных систем предприятий показывает, что эффективность их работы снижается из-за коррозии, солеотложений, биообрастаний, приводящих к значительному перерасходу энергетических и водных ресурсов.

Наиболее эффективным и доступным способом предотвращения коррозии, солеотложений является реагентная обработка воды. Данный способ не требует значительных капитальных вложений, а узлы приготовления и дозирования реагентов просты и надежны в эксплуатации.

Российские (ПО «Химпром», ХК «Нитон» и др.), зарубежные компании («Nalco», «QuilineChemie» и др.) предлагают широкий ассортимент реагентов для этих целей. Цена и рекомендуемые концентрации являются для потребителя и тендерных комиссий основными критериями выбора. Если вопрос цены, в принципе, не вызывает возражений, то критерий «эффективность» вызывает серьезные сомнения по ряду причин:

- не учитывает качество используемой природной воды и примеси, оказывающие влияние на ее стабильность;
- высокий уровень концентраций реагентов, рекомендуемых для испытаний в статических условиях не позволяет объективно их сопоставить между собой;
- понятие «эффективность» заменяется на «комплексобразующая способность», которая ничего не говорит потребителю о возможностях применения.

Таким образом, поставщик/производитель, с одной стороны, и потребитель, с другой, ставят перед собой и решают антагонистические задачи. Первый пытается продать побольше

и подороже, второй – получить максимально положительный результат при минимальных затратах на приобретение и применение реагентов.

В данной работе на основании разработанной методологии из числа выпускаемых, предлагаемых и других методов обработки воды выбраны реагенты и предложены оптимальные условия их применения. В качестве объектов исследования использованы реагенты ИОМС (ТУ 2439-369-05763441-2003), КИСК (ТУ 2415-007-76499798-2009) [1], вновь предлагаемые реагенты на базе комплексонов никеля и кобальта [2], безреагентный метод обработки на базе аппарата «Гидрофлоу» [3]

Учитывая то обстоятельство, что основными компонентами реагента КИСК являются метилиминодиметилфосфоновая (МИДФ), нитрилотриметилфосфоновая (НТФ), гексаметилендиаминтетраметилфосфоновая (ГМДФ) [4], содержащие соответственно 2, 3, 4 функциональные группы можно предположить достаточно высокую эффективность данного реагента, как ингибитора солеотложения. Введение в состав катиона цинка придает ему свойство ингибитора коррозии [2]. По мнению Ю.И. Кузнецова [5], защитное действие комплексонов обусловлено тем, что на поверхности металла образуется защитная пленка, состоящая из гидроксидов металлов и комплексонов с органофосфонатами. Поскольку константы устойчивости комплексов НТФ с цинком, никелем и кобальтом примерно одинаковы (при 25 °С и $\lg K_{\text{НТФ}} \text{Co} = 10\text{--}14$, $\lg K_{\text{НТФ}} \text{Ni} = 10\text{--}12$) [3, 5], можно констатировать, что эффективность композиций, содержащих комплексоны никеля и кобальта, также достаточно велика.

Приготовление соответствующих комплексонов никеля и кобальта проводили на базе реагента ИОМС при мольном соотношении ИОМС: Ме 2,5:1, что соответствует составу комплексоната КИСК с катионом цинка (ТУ 2415-007-76499798-2009). Воду для испытаний готовили смешением равных объемов двух растворов: раствор № 1 – CaCl_2 – 2,92 г/дм³, NaCl – 40,6 г/дм³, MgSO_4 – 4,26 г/дм³; раствор № 2 – NaHCO_3 – 2,4 г/дм³ (ТУ 2458-006-70887619-2005).

Таблица 1. Влияние комплексонов на скорость коррозии и образование отложений

Реагент	Температура	Концентрация, мг/л	Скорость коррозии, мкм/год (Сталь СТЗ)	Количество отложений, мг	Эффективность ингибирования коррозии, %	Эффективность ингибирования солеотложений, %
Контроль	70	–	567,35	45,4	–	–
	80	–	612,13	47,0	–	–
	90	–	652,7	47,2	–	–
ИОМС:Co	70	6	131,4	4,0	76,8	91,2
	80		100,9	4,1	83,5	91,3
	90		86,0	3,6	86,8	92,4
ИОМС:Ni	70	6	115,6	4,0	79,6	91,2
	80		93,0	4,3	84,8	90,1
	90		70,2	4,0	89,2	91,2
ИОМС:Zn	70	6	110	4,1	80,6	91,3
	80		91,0	4,0	85,1	91,2
	90		78,0	4,1	88,0	91,3
Гидро-флоу	70	–	390,35	12,5	31,2	72,5
	80		490,6	28	19,9	40
Гидро-флоу	90	–	515,8	35	21	25,8

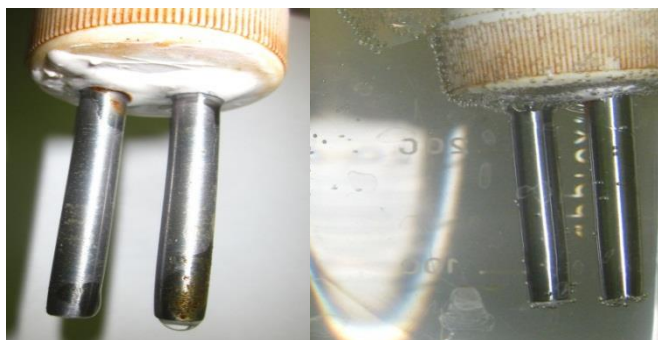
Таблица 2. Влияние комплексонов на скорость коррозии латунных электродов

Реагент	Температура, °С	Концентрация, мг/л	Скорость коррозии, мкм/год (латунь)	Эффективность ингибирования коррозии, %
Контроль	90	-	731	–
ИОМС:Со	90	6	56	92,3
ИОМС:Ni	90	6	54	92,6
ИОМС:Zn	90	6	65	91,1
Гидрофлоу	90	10	650	11

Согласно данным, приведенным в табл. 1, все указанные реагенты имеют сравнительно высокую эффективность (84–92 %) по ингибированию солеотложений. Разница в концентрациях не столь существенна, т. к. лимитирующим процессом водоподготовки является скорость коррозии, а для ее подавления необходима большая концентрация, чем для ингибирования солеотложений. Что же касается безреагентной обработки воды с использованием аппарата «Гидрофлоу» то его использование позволяет несколько снизить интенсивность образования отложений (эффективность 25–72 %), но не влияет на скорость коррозии.

Из таблицы видно, что комплексоны на основе ИОМС имеют высокую ингибирующую способность и в отношении коррозии конструкционной стали. При этом данные по эффективности комплексонов цинка, никеля и кобальта мало отличаются друг от друга для коррозии конструкционных сталей и, с учетом погрешности скорости коррозии (7 %), можно считать их эффективность примерно одинаковой. Однако, при изучении коррозии латуни (смотри табл. 2) преимущество комплексонов никеля и кобальта существенно выше.

Тем не менее, обращает внимание следующий факт: в отсутствии комплексонов скорость коррозии возрастает примерно на 8–10 % на каждые 10 °С, в то же время, в присутствии комплексонов скорость коррозии с ростом температуры уменьшается достаточно заметно. Для установления равновесия, в этом случае, достаточно 1–2 часов, в то время как без реагента, для установления равновесия необходимо не менее 3 часов. По нашему мнению это подтверждает гипотезу о том, что в присутствии комплексонов на поверхности металла образуется защитная пленка, уменьшающая величину коррозии. Скорость образования этой пленки с ростом температуры увеличивается. Это подтверждается экспериментальными данными, приведенными в таблицах.

**Рис. 1.** Контрольный опыт.**Рис. 2.** Опыт с реагентом.

На основании разработанной методологии изучены выпускаемые, предлагаемые ингибиторы солеотложений и коррозии, безреагентный метод с использованием аппарата «Гидрофлоу».

Внешний вид электродов (рис. 1, 2) также подтверждает вышеизложенное. По своей эффективности при данных условиях комплексоны на основе ИОМС превосходят импортные аналоги. Что же касается безреагентной обработки с использованием аппарата «Гидрофлоу», по нашим данным, положительный эффект от его применения незначителен.

Установлена перспективность использования многофункционального реагента КИСК и новых реагентов – комплексонов на базе никеля и кобальта в качестве ингибиторов солеотложений и коррозии для воды высокой минерализации и температуры до 90 °С. Установлено, что с ростом температуры эффективность реагентов как ингибиторов коррозии увеличивается.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Prevention of scaling and corrosion by reagent KISK-1 / B.N. Driker, A.G. Tarantaev. A.I. Murashova // Desalination and Water Treatment. 2015. № 43, P. 20141–20145.
2. Пат.201511445 РФ МПК⁷CO2F 5/14,C23F 11/167. Способ предотвращения минеральных отложений и коррозии / Дрикер Б.Н., Мурашова А.И., Тарантаев А.Г., Цирульникова Н.В. РФ № 201511445/05; заявл.03.03.2015; опубл. 04.05.2016.
3. ООО Гидрофлоу [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://www.h-flow.ru/> Дата обращения: 10.03.2015.
4. Дрикер Б.Н., Мурашова А.И., Тарантаев А.Г., Никифоров А.Ф. Методологические аспекты выбора реагентов для предотвращения минеральных отложений // Энергосбережение и водоподготовка. 2014. № 2. С. 2–5.
5. Ю.И. Кузнецов, Г.В. Зинченко.// Коррозия: материалы, защита. 2003, № 3. С. 26–29.

Сведения об авторах:

Дрикер Борис Нутович, д-р техн. наук, профессор, кафедра общей и неорганической химии, Институт химической переработки растительного сырья и промышленной экологии, ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет»;

e-mail: BNDriker70191@mail.ru

Мурашова Алена Игоревна, магистрант, кафедра физико-химической защиты биосферы, Институт химической переработки растительного сырья и промышленной экологии, ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет»;

e-mail: Alenamyr@mail.ru

Тарантаев Александр Георгиевич, директор, ОАО Химическая компания «НИТОН»; e-mail: BNDriker70191@mail.ru

**ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ СТИМУЛЫ
К РЕАЛИЗАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ
В СФЕРЕ ОБРАБОТКИ И УТИЛИЗАЦИИ
ОСАДКА ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД**

Киселев А.В.

Екатеринбургское муниципальное унитарное предприятие водопроводно-канализационного хозяйства (МУП «Водоканал»), г. Екатеринбург, Россия
ipkiselyov@mail.ru

Ключевые слова: устойчивое развитие, экономические стимулы, организационные стимулы, обработка и утилизация осадка, повышение экологической эффективности.

В статье рассмотрены предпосылки перехода к модели устойчивого развития с учетом действующих мер поддержки экологических инвестиционных проектов в сфере обработки и утилизации осадка сточных вод; предложены конкретные механизмы совершенствования существующей системы административных и экономических стимулов.

**ECONOMIC AND ORGANIZATIONAL DRIVERS
FOR ECOLOGICAL INVESTMENT PROJECTS IMPLEMENTATION
IN THE SPHERE OF URBAN WASTE WATER SLUDGE PROCESSING AND
UTILIZATION**

Kiselyov A.V.

Ekaterinburg Vodokanal,
Ekaterinburg, Russia
ipkiselyov@mail.ru

Key words: sustainable development, economic drivers, organizational drivers, sludge processing and utilization, ecological efficiency improvement.

The article considers prerequisites to the transition to the sustainable development model with taking into account current actions of ecological investment projects support in the sphere of waste waters sludge processing and utilization. Some particular mechanisms of the existing system of administrative and economic drivers have been proposed.

В ходе состоявшегося 27 декабря 2016 г. заседания Государственного совета по вопросу «Об экологическом развитии Российской Федерации в интересах будущих поколений», президент России Владимир Путин заявил, что в «нашей сегодняшней повестке – задачи поэтапного перехода России к модели устойчивого развития, и не просто к модели устойчивого развития, а экологически устойчивого развития» [1]. Были обозначены наиболее актуальные экологические вопросы – достижение кардинального снижения выбросов вредных веществ в атмосферу, сбросов в водоемы и почву за счет технологического перевооружения и внедрения наилучших доступных технологий.

Экологический кризис – результат традиционной экономической политики. Финансово-хозяйственная деятельность субъектов должна строиться на началах общественной пользы, а не утилитарной прибыли. Необходимо предусматривать ресурсы не только на использование природных благ, но и на устранение проблем, связанных с производственным загрязнением. Очевидно, что требуется переход от одностороннего наращивания экономики к двуединому эволюционному развитию экономики и экологии.

Повышение экологической эффективности, равно как и повышение мощности, надежности и энергетической эффективности централизованных систем водоснабжения и водоотведения, реализуется через исполнение инвестиционной программы (далее – Программа) организации, осуществляющей холодное водоснабжение и водоотведение. Существующие законодательные механизмы обеспечивают возможность включения экологических мероприятий в Программу, обеспечение их источниками финансирования, а также контроль за достижением плановых показателей надежности, качества и энергетической эффективности. Однако, на наш взгляд, недостаточное внимание уделено механизму реализации инвестиционных проектов, направленных на решение проблемы утилизации осадка сточных вод, в т. ч. не четко определены экономические и организационные стимулы реализации таких мероприятий организациями водопроводно-канализационного хозяйства.

Сегодня на аэрационных станциях большинства крупных городов Российской Федерации осадок сточных вод, образующийся после механической и биологической очистки, сгущается и обезвоживается на аппаратах механического обезвоживания (рис. 1) и далее подвергается термической сушке или сжиганию в специализированных цехах. Однако в большинстве малых и средних городов типичная схема обработки осадка – его обезвоживание на иловых картах и вывоз на полигоны захоронения. Масса образующегося осадка сточных вод влажностью 75–78 % при классической двухступенчатой схеме (механическая и биологическая обработка) составляет порядка 170 кг в сутки на 1 000 жителей. Таким образом, например, в г. Екатеринбурге образуется до 250 т обезвоженного осадка в сутки или 91,25 тыс. т обезвоженного осадка в год, а в целом по Российской Федерации – свыше 12 тыс. т в сутки или более 4,38 млн т в год.

Для организаций водопроводно-канализационного хозяйства гораздо дешевле вывозить обезвоженный осадок или размещать его на иловых картах (вовлекая в оборот все новые земельные участки), чем внедрять современные технологии обработки осадка, т. к. в первом случае себестоимость включает в себя только транспортные расходы и плату за негативное воздействие на окружающую среду.



Рис. 1. Фильтр-прессы в г. Екатеринбурге.

Таким образом, даже если найдутся необходимые инвестиции на реализацию проекта, предусмотреть в тарифах на услуги (в себестоимости) рост затрат на повышение экологической эффективности утилизации осадка сточных вод без отказа от индексации основных расходных статей (заработная плата, налоги, реагенты, электроэнергия и др.) и без превышения предельного индекса – задача почти невыполнимая. В этом плане наиболее

интересными для организаций водопроводно-канализационного хозяйства являются проекты, направленные на повышение энергетической эффективности, т. к. это снижение эксплуатационных затрат. Возникает вопрос – как организациям водопроводно-канализационного хозяйства активизировать природоохранную деятельность в сфере обращения с осадком сточных вод?

Сегодня одним из основных стимулов для организаций водопроводно-канализационного хозяйства заниматься экологическими проектами остаются действия контролирующих и проверяющих органов, которые путем административной, а иногда и уголовной ответственности «заставляют» вкладывать деньги в такие проекты. И тут можно проследить зависимость: если размер ответственности (штрафа) сопоставим со стоимостью инвестиционного проекта, то он реализуется – в иных случаях юридическим лицам целесообразнее и выгоднее заплатить в среднем от 10 до 20 тыс. рублей штрафа и продолжать свою деятельность («целесообразность» штрафа зависит от размера выручки предприятия). Однако только наказанием организаций водопроводно-канализационного хозяйства проблему размещения осадка сточных вод кардинально не решить – здесь важен системный подход.

Говоря об эффективной системе стимулирования организаций водопроводно-канализационного хозяйства к реализации природоохранных мероприятий в области обработки и утилизации осадка сточных вод, стоит отметить целый ряд инструментов, включающий в себя следующее:

1. Включение в схемы водоснабжения и водоотведения, а также в территориальные схемы в области обращения с отходами информации о количестве образующегося осадка, его класса опасности, порядке, месте и перспективах утилизации и размещения осадка сточных вод.
2. Обеспечение доступа заинтересованных лиц к информации о наилучших доступных технологиях (НДТ) и регулярный пересмотр (актуализация) справочников НДТ в сфере обработки и утилизации осадка сточных вод, а также разработка типовых проектных решений.
3. Ужесточение природоохранного законодательства, в т. ч. повышение экологических платежей и штрафов за загрязнение окружающей среды.
4. Создание специализированных территориальных фондов, куда будут направляться собранные экологические платежи и штрафы, и из которых будут финансироваться экологические мероприятия. Иными словами, средства, полученные за конкретное загрязнение окружающей среды, должны быть направлены на устранение (снижение воздействия) этого загрязняющего фактора.
5. Возможность финансирования проектов, направленных на повышение экологической эффективности процесса утилизации осадка сточных вод, в зачет оплаты наложенного на юридическое лицо штрафа.
6. Налоговые льготы и дотационная политика при реализации экологических проектов, в т. ч. снижение налоговой ставки на имущество, созданное в результате реализации экологического проекта, ускоренная амортизация основных средств (соответственно, меньше налогооблагаемая база при расчете налога на прибыль и налога на имущество), выплаты компенсационного характера из бюджетов разных уровней.
7. Льготное кредитование и (или) субсидии на погашение процентов по кредитам, направленным на реализацию экологических проектов.
8. Софинансирование экологических проектов по утилизации осадка сточных вод из бюджетов разных уровней.
9. Пропаганда экологической культуры населения.

Для решения проблемы с образованием осадка сточных вод одних только экономических и организационных стимулов не достаточно для достижения устойчивого развития в системе «Человек – Природа». Необходимо, чтобы человек взял на себя ответственность за будущее природы, а не полагался на спонтанное развитие. Очень важна

духовность, нравственный аспект экологии не только к природе, но и к самому себе, животному и растительному миру, ко всему окружающему. Основная задача сегодня – на долговременной основе обеспечить стабильный экономический рост, не приводящий к деградиационным изменениям окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Заседание Государственного совета по вопросу об экологическом развитии Российской Федерации в интересах будущих поколений. Режим доступа: <http://www.kremlin.ru/events/president/news/53602>.
2. Водная стратегия Российской Федерации на период до 2020 года: Распоряжение Правительства РФ от 27.08.2009 № 1235-р. Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_91329/f62ee45faefd8e2a11d6d88941ac66824f848bc2/.
3. *Ковальчик А.А.* Система стратегического управления предприятием водопроводно-канализационного хозяйства: монография / А. А. Ковальчик, Д. Г. Высокинский, А. В. Киселев. Екатеринбург. УрФУ: Издательство АМБ, 2013. 166 с.
4. *Колотырин К.П.* Экономические инструменты стимулирования природоохранной деятельности // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2009. Т. 1. № 1. С. 186–196.

Сведения об авторе:

Киселев Андрей Владимирович, аспирант, Высшая школа экономики и менеджмента Уральского федерального университета им. первого Президента России Б.Н.Ельцина, начальник службы планирования инвестиционной программы МУП «Водоканал» г. Екатеринбурга; e-mail: ipkiselyov@mail.ru

**ОПЫТ РАЗРАБОТКИ И РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ
ПРОФИЛАКТИЧЕСКОГО И ОПЕРАЦИОННОГО ПОВЫШЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ
ФУНКЦИЙ ВОДОПРОВОДОВ
В ПЕРИОДЫ НАВОДНЕНИЙ И ЧС**

Костюченко С.В.,
НПО «ЛИТ»,
Смирнов А.Д.,
НИИ «ВОДГЕО»,
Ильин С.Н.,
Водоканал, г. Череповец, Россия
e-mail: 5171434@mail.ru

Ключевые слова: наводнение, загрязнение воды, водоисточник, дополнительная обработка воды.

Обобщены основы выбора УФ-обработки и сорбционной технологии как основных методов дополнительной обработки воды в паводки и при ЧС, исходя из неполноты информации и временности событий и с учетом контроля процессов.

**EXPERIENCE IN DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF TECHNIQUES AND
EQUIPMENT FOR PREVENTIVE AND OPERATIONAL IMPROVEMENT OF WATER
SUPPLY SYSTEMS PROTECTIVE FUNCTIONS IN THE PERIODS OF FLOODS AND
EMERGENCIES**

Kostyuchenko S.V.,
NPO «LIT»
Smirnov A.D.,
«VODGEO» research institute
Ilyin S.N.
«Vodokanal»,
Cherepovets, Russia
e-mail: 5171434@mail.ru

Key words: flood, water pollution, water source, secondary water treatment.

Basic arguments for selection of UV-treatment and sorption technique as the principal methods of supplementary water treatment during high-water periods or in case of emergency proceeding from inadequacy of information and short term of the event taking into account the process control.

Защитные функции централизованных водопроводов сводятся к требованию безальтернативного обеспечения безопасности воды у потребителя и ее соответствия по многочисленным параметрам качества всем санитарно-гигиеническим нормативам, независимо от фонового уровня примесей или экстраординарного загрязнения воды водоисточника. При этом в основное время эксплуатации уровень концентраций исходных примесей воды (фоновые, ординарные) изменяется незначительно, поэтому на них настраиваются основные очистные сооружения водопровода. Однако эпизодически (один раз в несколько лет) или периодически (каждый год) уровень концентраций отдельных видов примесей может на несколько (5–15) дней повышаться в 5–10 и более раз, достигая экстраординарных уровней. Выраженные гетерогенные грубодисперсные примеси (мутность, взвешенные вещества), возможно, используя их особенную высокую гидравлическую крупность, выделить на действующих сооружениях, маневрируя режимами

осветления. Однако растворенные и часть коллоидных примесей в традиционных схемах не выделяются.

Как показывают исследования и практика, защита от растворенных и части коллоидных примесей как природного (цветность, одоранты, железо), так и антропогенного генезиса (нефтепродукты, фенолы, галогенорганические соединения и металлосодержащих органических соединений и комплексов) с использованием только традиционных режимов и оборудования неэффективны. С другой стороны, строительство дополнительных сооружений на доизвлечение указанных выше примесей в экстраординарные периоды на постоянной основе экономически нереально, т. к. их работа будет нужна лишь 2–10 % и менее годового времени при весьма высоких эксплуатационных затратах, даже в нерабочий период.

Тип и схема создаваемого комплекса защиты от экстраординарных загрязнений водоисточника зависит от двух групп параметров:

А – от уровня/кратности необходимого снижения концентрации токсикантов в воде ($K_c = C_p/C_v$, где p и v – параметры источника/реки и водопровода).

Б – от времени (T_d – время «дотекания»), имеющегося в распоряжении эксплуатирующих служб для запуска дополнительных систем очистки (не работающих остальное время). T_d не должно превышать период времени от обнаружения угрозы (T_p) до момента ввода дополнительных защитных действий ($T_{зд}$), с учетом еще и времени анализа примесей в воде $T_{ав}$ (при $T_d = T_{зд} - T_p - T_{ав}$). Но эти мероприятия возможны лишь до выхода воды со станции в водопроводную сеть.

Угроза экстраординарных загрязнений воды источника чаще определяется по анализам воды, продолжительность которых ($T_{ав}$) известна. Она составляет для органических и неорганических химических соединений несколько часов (чаще от 1 до 4 ч), а для микробиологических компонентов от 1 до 3 суток. Из этого следует:

– если (вариант Б1) анализ делается быстро и $T_{ав} \ll T_d$, операторы могут рассчитывать на эффект от ввода дополнительного оборудования\систем для противодействия угрозе;

– если (вариант Б2) $T_{ав} > T_d$, то примеси дотекли и «протекли» через очистные сооружения раньше, чем их обнаружили. В этом варианте информация об экстраординарном загрязнении исходной воды доходит до операторов уже после того, как недоочищенная вода с остатками экстраординарных примесей попадет в сети и к потребителям. Поэтому в варианте Б2 для защиты от ЧС типа Б2 возможны лишь превентивные меры защиты.

Особенностью экстраординарного загрязнения воды является, как правило, непредсказуемость полного состава примесей (будь то паводок, ЧС или другое). Это принципиально ограничивает выбор технологий дополнительной обработки воды, т. к. во избежание образования токсичных вторичных продуктов (из исходных примесей неизвестного состава) из рассмотрения должны быть исключены деструктивные методы. Выбор же недеструктивных методов для сокращения их набора должен быть сосредоточен на использовании свойств, общих для подавляющего перечня возможных токсичных примесей.

Многолетние исследования и широкая практика показали, что адекватное решение указанных задач существует:

а) общим для всех токсичных микробиологических объектов является наличие ДНК. УФ-облучение микробиологических объектов вызывает недеструктивные дефекты их ДНК, прекращающие их активность, независимо от типа микроорганизма;

б) молекулярная и субмолекулярная структура любого вещества примесей и качественно, и количественно отличается от свойств их молекулярного фона – воды (в т. ч. полярностью или неполярностью). Это различие проявляется традиционно при коагуляции, которой подвержены многие полярные примеси, независимо от генезиса. А неполярные примеси могут быть выделены из воды физической сорбцией за счет ван-дер-ваальсовых сил, независимо от их генезиса и многообразия.

Многие города России уже обладают полноценной защитой от экстраординарных концентраций микробиологических примесей в воде с использованием УФ-технологий и УФ-оборудования. Кроме того, в целом ряде городов уже действуют системы дополнительной сорбционной очистки воды и специальное оборудование для подготовки сорбентов (на основе углерода и цеолитов) и введения их в воду. Паводки и чрезвычайные ситуации в Уфе, Ижевске, Хабаровске, Кирове, Череповце и других городах показали эффективность подобного подхода. Более того, практика эксплуатации доказала целесообразность применения и УФО и сорбционных систем (рассчитанных и установленных для чрезвычайных ситуаций) и для решения сходных задач ординарного уровня не только в кратковременных (ЧС) режимах, но и режимах постоянной работы сооружений.

Практика многих ВКХ РФ показала, что УФ облучение водопроводной воды требуемыми дозами обеспечивает ее микробиологическую безопасность при ЧС и в паводки. Введение сорбентов снижает концентрации в воде большинства токсикантов до приемлемых уровней.

Сведения об авторах:

Смирнов Александр Дмитриевич, технический директор, ООО ТД «Лаборатория импульсной техники» (ООО ТД «ЛИТ»), Россия, 107076, г. Москва, ул. Краснобогатурская, 44, стр.1; e-mail: 5171434@mail.ru

**АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ВОДООТВЕДЕНИЯ
НА ПРИМЕРЕ МУНИЦИПАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ
СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

Михайлов А.В.

ООО «Спас-Урал», Екатеринбург, Россия
epcmbos@gmail.com

Ключевые слова: водоотведение, муниципальные образования, проектирование, стратегические показатели.

Приведены данные о тенденциях развития водоотведения в муниципальных образованиях Свердловской области. Анализируются факторы, препятствующие улучшению системы водоотведения. Предлагаются конкретные мероприятия, направленные на изменение сложившейся ситуации. Обращается внимание на важность утверждения и государственного контроля стратегических показателей для развития территорий. Данные, рассматриваемые в настоящем сообщении, основываются на информации Областного статистического управления за 2013– 2015годы.

**RELEVANT ISSUES OF WATER DISPOSAL BY THE EXAMPLE OF THE
SVERDLOVSK OBLAST MUNICIPALITIES**

Mikhailov A.V.

ООО «Spas-Ural», Ekaterinburg, Russia
epcmbos@gmail.com

Key words: water disposal, municipalities, designing, strategic indicators.

The communication contains data concerning the tendencies of water disposal development in municipalities of Sverdlovsk Oblast. The factors that hamper the water disposal system upgrading have been analyzed. Certain measures aimed at the changing of the current situation have been proposed. The importance of the strategic indicators (and governmental control over their execution) setting for the territories development. The data discussed in this communication are based on information provided by the Oblast Statistical Department for 2013-15.

Из рассмотренных 69 муниципальных образований Свердловской области в 2015 году только 23 доводят очистку бытовых сточных вод до нормативных требований. Но и эти цифры могут быть завышены.

Что произошло в 2013–2015годах в системах водопотребления и водоотведения? В целом, объем водопотребления и водоотведения снизился. Рассмотрим подробнее водоотведение. В разных МО ситуация резко отличается. В таблице выбраны и приведены муниципальные образования, в которых мощность существующих очистных сооружений водоотведения превышает реальную текущую потребность в несколько раз, а также данные за три года. Имеется большой запас мощности, но состояние сооружений неудовлетворительное.

Требуется большой объем работ по реконструкции очистных сооружений, но если ориентироваться на существующие мощности и привести их в нормальное техническое состояние – то это будут напрасно потраченные деньги, т. к. реальные потребности по мощности гораздо ниже.

Таблица. Несоответствие мощности очистных сооружений текущей потребности, 2015 г.

Наименование муниципального образования	Мощность очистных, тыс. м ³	Данные статистики (средний факт в сутки)		
		2013 г.	2014 г.	2015 г.
Северный управленческий округ				
Ивдельский городской округ	20	2,8	2,6	2,0
Городской округ Карпинск	16	3,0	2,9	2,7
Волчанский городской округ	7	2,0	1,9	1,9
Городской округ Красноуральск	24	4,6	4,6	6,0
Североуральский городской округ	32	13,8	13,0	12,0
Нижнетуринский городской округ	17,8	6,8	6,4	6,1
Новолялинский городской округ	8,1	1,9	2,0	3,6
Горнозаводской управленческий округ				
Кировградский городской округ	15,4	7,6	9,5	7,7
Кушвинский городской округ	18,3	11,7	11,0	11,7
Городской округ Верхняя Тура	5,7	0,7	0,5	0,6
Городской округ Нижняя Салда	17	4,1	4,1	4,0
Западный управленческий округ				
Артинский городской округ	4,2	0,4	0,4	0,2
МО Красноуфимский округ	0,3	0,2	0,1	0,1
Нижнесергинский муниципальный район	16,8	3,6	3,3	3,1
Бисертский городской округ	4	0,7	0,6	0,6
Городской округ Ревда	34,5	14,2	10,7	11,8
Шалинский городской округ	1,2	0,2	0,2	0,2
Южный управленческий округ				
Асбестовский городской округ	46,6	21,5	21,6	20,5
Малышевский городской округ	10	1,3	2,7	2,6
Город Каменск-Уральский	123	48,1	46,3	44,3
Белоярский городской округ	2	0,6	0,4	0,5
Городской округ Верхнее Дуброво	2,7	0,9	0,9	0,9
Городской округ Богданович	12,6	5,1	5,0	4,7
Восточный управленческий округ				
МО город Алапаевск	13,4	4,2	3,9	3,7
МО город Ирбит	23,3	4,0	4,0	4,2
Камышловский городской округ	19	3,6	3,6	2,9
МО Алапаевское	6,6	0,4	0,3	0,3
Артемовский городской округ	19,8	13,5	13,8	15,6
Камышловский муниципальный район	6	1,5	1,5	0,1
Талицкий городской округ	14,1	2,5	2,4	2,1
Тугулымский городской округ	3,5	0,3	0,3	0,3
Туринский городской округ	7	1,8	1,6	1,5

В таблице использованы основные показатели работы организаций, оказывающих жилищно-коммунальные услуги в условиях реформы за январь-декабрь 2015 г. статистический бюллетень (шифр 12032). Федеральная служба государственной статистики. Территориальный орган федеральной службы государственной статистики по Свердловской области. Екатеринбург 2016 г.

Рассмотрим экономические последствия. Общая мощность очистных сооружений, приведенных в таблице, 551,9 тыс. м³ в сутки. Требуемая мощность по фактическим данным 178,5 тыс. м³ в сутки.

Большинство очистных сооружений используют устаревшее оборудование и требуют существенной реконструкции. Оценим возможные затраты.

Для оценки предположим, что строительство новых очистных на 15 000 м³ в сутки – 500 млн рублей. Оценка основана на фактических данных. Тогда для покрытия разницы между требуемой и существующей мощностями потребуется 12 500 000 000 руб.

Предположим, что для капитального ремонта и реконструкции потребуется 30 % от стоимости нового строительства, тогда будет потрачено на 3,75 млрд руб. больше экономически обоснованной суммы.

Факторы, влияющие на завышение мощности инженерных сооружений:

- Существующие мощности – инерция и консерватизм.
- Интересы поставщиков оборудования и строителей.
- Утвержденные стратегические планы развития территорий.
- Отсутствие аудита и утверждения стратегических показателей.
- Невозможность защищать инвестиционные программы без увеличения мощности (плата за техническое присоединение).

Предлагаемые мероприятия:

- Методическая помощь муниципальным образованиям в уточнении стратегических показателей.
- Обязательное утверждение прогнозных стратегических показателей на уровне Правительства Свердловской области.
- Разработка типовых технических решений.
- Независимое обследование сооружений водоотведения.

Сведения об авторе:

Михайлов Андрей Владимирович, директор, ООО «Спас-Урал», Россия, 620075, Россия, Екатеринбург, ул. Тургенева, 30а, 24; e-mail: ercmbos@gmail.com

НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИНТЕГРИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ В АРИДНОЙ ЗОНЕ

Мурадов Ш.О., Турдиева Ф.А.

Каршинский инженерно-экономический институт, г. Карши, Узбекистан
m.oikos@mail.ru

Ключевые слова: водные ресурсы, коллекторно-дренажные воды, субирригация, грунтовые воды, гиперирригация, интегрированное управление вод.

Обосновано одно из решений интегрированного управления водными ресурсами в аридной зоне путем внедрения разработанных устройств для регулирования подземных вод.

SOME PROBLEMS OF INTEGRATED WATER RESOURCES MANAGEMENT IN THE ARID ZONE

Muradov S.O., Turdiyeva F.A.

Karshi Engineering-economical Institute
Karshi, Uzbekistan
m.oikos@mail.ru

Keywords: water, collector-drainage waters, sub-irrigation, groundwater, giperirrigation, integrated management of water.

An integrated water resources management solution for the arid zone by introduction of developed devices for regulating groundwater has been substantiated.

Общая цель реформ управления водными ресурсами – устойчивость развития, но они должны также сопровождаться обеспечением социальной справедливости и экономической эффективности. Предлагаемый подход совершенствования управления водными ресурсами основывается на участии всех отраслей экономики в планировании и выработке решений. Поэтому при разработке планов управления водными ресурсами, участие пользователей может быть более интенсивным, чем при обычном государственном планировании.

При своей простоте, интегрированное управление водными ресурсами (ИУВР) является логической и привлекательной концепцией. В ее основе лежит то, что различные виды водопользования взаимозависимы. Есть множество примеров, когда нерегулируемое использование ограниченных водных ресурсов является расточительным и соответственно неустойчивым.

Интегрированное управление означает, что все виды водопользования рассматриваются совместно. Решения по распределению и управлению водными ресурсами учитывают воздействия каждого вида водопользования на другие. При этом принимаются во внимание общие социально-экономические цели, включая достижения устойчивого развития. Основная концепция ИУВР была расширена с целью обеспечения совместного принятия решений.

Управление используется в его самом широком смысле. Это подчеркивает, что мы не должны концентрироваться только на развитии водных ресурсов, а также должны сознательно управлять развитием водного хозяйства таким образом, чтобы гарантировать долгосрочное и устойчивое использование водных ресурсов для будущих поколений.

Как считает Ф. Караджи и др. [4], возникший дефицит в оросительной воде можно уменьшить за счет сокращения технологических потерь на фильтрацию и физическое испарение, повышения расхода подземных вод на субиригацию и, добавим, регулирования стока в реках и оросителях. Доктор Джон Ламерс подчеркивает, что при выборе использования различных водосберегающих технологий следует учитывать технические и экологические критерии [5]. Именно в таком направлении решению проблем водных ресурсов в период изменения климата посвящается данная статья.

Сегодня в отдельных регионах Узбекистана все сильнее ощущается дефицит водных ресурсов, характеризующийся неустойчивым увлажнением. В этой связи основной проблемой, стоящей перед водохозяйственными организациями в ближайшей перспективе, является экономия оросительной воды путем перехода на водосберегающие технологии. Их внедрение должно сопровождаться разработкой модернизированных технических решений по экономии водных ресурсов и рациональному их использованию. Одним из источников экономии водных ресурсов является использование при соответствующих технико-экономических обоснованиях грунтовых вод для подпитки растений, предусматривающее оптимизацию водно-солевого режима орошаемых земель, уменьшение степени загрязненности природных водоемов дренажными водами, утилизацию растворенных в этих водах химических веществ, а также уменьшение водозабора природных вод. Технология полуводооборотного мелиоративного цикла включает три стадии: орошение – накопление грунтовых вод – увлажнение, является полузамкнутым процессом, что позволяет часть стока из большого геологического круговорота направлять в малый биологический круговорот.

Поверхностный сток и подземные воды образуют единый комплекс природных водных ресурсов. Поэтому регулирование взаимосвязи поверхностных и подземных вод, их комплексное использование играет определяющую роль в обеспечении благоприятной экологической обстановки на орошаемых землях. Для этой цели, в первую очередь, необходимо сократить или исключить инфильтрационное питание грунтовых вод, т. е. создать и поддерживать в почвах определенное соотношение влаги и тепла [3].

Для повышения водоустойчивости одним из резервов являются дренажные воды. Однако эффективное их использование сдерживается отсутствием технических решений по регулированию дренажного стока в открытой коллекторно-дренажной сети. В аридной зоне эта проблема до сих пор практически не нашла своего широкого применения.

Мировой опыт водохозяйственных работ и наши многолетние региональные исследования (1975–2016) подтверждают, что внедрение модернизированных способов регулирования дренажного стока позволяет управлять грунтовыми водами, способствующими внедрению субиригации и тем самым улучшить гидроэкологические условия, водообеспеченность орошаемых земель и, главное, уменьшить интенсивность геологического и увеличить биологический круговорот воды и солей. Еще в 1970 г. Н.Н. Веригин и Г.К. Асланов отмечали, что целесообразно создавать подъем уровня до нижней части корнеобитаемого слоя и осуществлять таким образом подземное орошение земель (субиригации) [2]. Это и есть адаптивно-модернизированный природоохранный способ подпочвенного увлажнения.

По многолетним данным (1965–2009 гг.) минерализация воды в коллекторно-дренажной сети верхних районов (в Кашкадарьинском бассейне – Китабский, Шахрисабзский, Чиракчинский, Яккабагский, в Сурхан-Шерабадском бассейне – Сариасийский, Алтынсайский, Денауский, Бойсунский, Кумкурганский, Шурчинский районы) изменяется в пределах 0,3–1,8 г/л. Нами уточнены основные гидрохимические типы ГВ, среди которых преобладающий – сульфатный.

Как показал анализ динамики ГВ региона, наблюдается иссушение зоны аэрации (почвенная засуха), водообеспеченность этих районов в маловодный год (1925, 1926, 1927, 1941, 1986, 2000, 2001, 2011, 2015) колеблется в пределах 52–67 %. Идентична картина истощения ГВ, понижение их уровня наблюдается во многих странах мира, прежде всего в Индии, Ливии, Саудовской Аравии, США. В Северном Китае произошло понижение уровня

ГВ более чем на 30 м на территории, где проживает свыше 100 млн человек. Определено, что 10 % мирового урожая зерновых производится с использованием грунтовых вод [8].

Учитывая практику гиперирригации прошлых лет, пресный характер грунтовых вод и превалирование сульфатных солей в грунтовых водах верхних и средних районов юга Узбекистана, считаем необходимым мероприятием внедрение субирригации путем сооружения модернизированных устройств для регулирования дренажного стока в устьевой части дренажа, а также с учетом рельефа, водохозяйственных и мелиоративно-гидрологических условий, каскада сооружений.

Тогда экономический эффект сооружения, связанный с явлением субирригации на орошаемых землях, увеличивается с ростом площадей, на которых происходит подъем уровня грунтовых вод. Разработаны расчетные формулы для оценки зоны подпора грунтовых вод вблизи коллекторов и дренажей. Кроме того, предложенные расчетные зависимости дают возможность оценить площади влияния регулирующих устройств, рациональное расстояние между ними и разработать рекомендации по сокращению оросительных норм в зонах проявления субирригации. Учитывая незначительные уровни воды при свободном движении (Н), а также опыт отдельных исследователей [1], считаем строительство каскада устройств для регулирования дренажного стока на максимальном расстоянии друг от друга.

Как отмечает К.П. Пак [6], причины рассоления почв могут быть различными, но важнейшей из них является понижение уровня грунтовых вод. Исходя из этого, субирригация предотвращает рассоление и появление содового засоления. Ее можно рекомендовать и для подпитки озимой пшеницы при слабоминерализованных (менее 3 г/л) грунтовых водах. Таким образом, можно осуществлять управление (менеджмент) подземными, в частности, грунтовыми водами. И, как подчеркивают шведские ученые Оса Гранат и др. [3], под словом «менеджмент» следует понимать все меры по созданию и поддержанию системы устойчивого использования грунтовых вод как в качественном, так и в количественном аспектах. Лучше чем Эрик Эрикссон и Сиверт Йоханссон [9], наверное, не скажешь, разведывание, использование и управление грунтовыми водами – постоянные процессы, обеспечивающие потребности в воде настоящего и будущих поколений и исправляющие ошибки прошлого.

Таким образом, резюмируя, следует отметить, что субирригация в этих районах необходима не только для улучшения мелиоративно-гидрологических условий, повышения водообеспеченности сельскохозяйственных культур, но и для полного осуществления процесса ирригации совместно с гиперирригацией, увеличения биологического и уменьшения геологического круговорота веществ. Данные устройства рекомендуется сооружать на оросительной и речной сетях с целью управления грунтовыми водами и установки микрогэсов, они выполняют комплекс работ, т. е. для интегрированного управления водными ресурсами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ваганов Р. Управление водораспределением на ирригационных системах водоснабжения// Материалы международного семинара ИКАРДА. Тараз. 2002. С. 67–79.
2. Веригин Н.Н., Васильев С.В., Куранов Н.П., Саркисян В.С., Шульгин Д.Ф. Методы прогноза солевого режима грунтов и грунтовых вод / под ред. Веригина Н.Н. М.: Колос, 1979. 336 с.
3. Гранат О., Магнуссон К., Мальмквист И. Менеджмент грунтовых вод. В кн.: Менеджмент речного бассейна. Минск: Технопринт, 2000. Т. 3. С. 97–112.

4. *Караджи Ф., Мухамеджанов В., Вышпольский Ф.* Совместное использование поверхностных и грунтовых вод на орошение – стратегия преодоления засоления почв и дефицита воды // Материалы международного семинара ИКАРДА. Тараз: ИЦ «АКВА», 2002. С. 28–38.
5. *Мухамадьярова Л.* Максимум урожая, минимум водопотерь // *O'zbekiston qishloq xo'jaligi*. – Ташкент, 2009. № 1. С. 18.
6. *Пак К.П.* Солонцы СССР и пути повышения их плодородия. М.: Колос, 1975. 384 с.
7. *Парфенова Н.И., Исаева С.Д., Рыбина Н.Н., Бондарик И.Г.* Взаимосвязь поверхностных и подземных вод при мелиорации и экологическая устойчивость природных систем // Мелиорация и водное хозяйство. 2009. № 5. С. 35–38.
8. *Савельев В.Ю.* Экологический менеджмент. М.: Логос, 2001. 126 с.
9. *Эрикссон Э., Йоханссон С.* Грунтовые воды Балтийского бассейна. В кн.: Водный ландшафт. Минск: Технопринт, 2000. Т. 1. С. 41–46.

Сведения об авторах:

Мурадов Шухрат Одилович, и.о. профессора, Каршинский инженерно-экономический институт, Узбекистан, 180103. г. Карши, пр. Мустаколлик, 225; e-mail: m.oikos@mail.ru

Турдиева Феруза Алишеровна, ассистент, Каршинский инженерно-экономический институт, Узбекистан, 180103. г. Карши, пр. Мустаколлик, 225

**СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННЫХ ГРАНУЛИРОВАННЫХ
СОРБЕНТОВ НА ОСНОВЕ ГЛАУКОНИТА
ПО ОТНОШЕНИЮ К РАДИОНУКЛИДАМ ЦЕЗИЯ**

Недобух Т.А., Кутергин А.С., Иманова В.В., Зенкова К.И.

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия
a.s.kutergin@urfu.ru

Ключевые слова: гранулированный глауконит, поверхностное модифицирование, сорбционные свойства, радионуклиды цезия, статические условия.

Проведено сравнение сорбционных свойств гранулированного глауконита, полученного с использованием в качестве связующего водопроводной воды, и поверхностно модифицированного ферроцианидом $K_4Fe(CN)_6$ сорбента на его основе по отношению к радионуклидам цезия. Установлено, что поверхностное модифицирование значительно увеличивает специфичность сорбента (K_d гранулированного глауконита – $1,1 \cdot 10^3$ мл/г; K_d поверхностно-модифицированного сорбента – $1,6 \cdot 10^6$ мл/г) в диапазоне исходных концентраций цезия до 10^{-4} г/л. Результаты обработки временных зависимостей сорбции цезия исследуемыми сорбентами показали, что модифицирование сорбента приводит к значительному увеличению наблюдаемой константы скорости процесса на начальном участке кинетической кривой. Полученные данные позволяют предположить возможность увеличения ресурса и повышение скорости пропускания фильтруемой воды при использовании модифицированного гранулированного глауконита в качестве загрузки очистного устройства.

**SORPTION PROPERTIES OF MODIFIED GRANULAR SORBENTS BASED ON
GLAUCONITE IN RELATION TO THE RADIONUCLIDES OF CESIUM**

Nedobukh T. A., Kutergin A. S., Imanova V.V., Zenkova K.I.

Ural Federal University, Ekaterinburg
a.s.kutergin@urfu.ru

Key words: granular glauconite, surface modification, sorption properties, radionuclides of cesium, static conditions.

A comparison of sorption properties of granulated glauconite produced with use of tap water as a binder, and surface modified with ferrocyanide $K_4Fe(CN)_6$ sorbent on its base in relation to cesium radionuclides. It has been stated that surface modification significantly increases the specificity of the sorbent (granulated glauconite K_d is $1.1 \cdot 10^3$ ml/g; K_d surface-modified sorbent is $1.6 \cdot 10^6$ ml/g) in the range of initial concentrations of cesium up to 10^{-4} g/L. The results of processing the time dependency of sorption of cesium by the studied adsorbents showed that the modification of the sorbent leads to a significant increase in the observed rate constant of the process at the initial part of kinetic curve. The obtained data enable to assume the possibility of increasing the resource and improve the throughput rate of the filtered water when using modified granulated glauconite in the payload of a purification device.

Природные алюмосиликаты и некоторые модифицированные продукты на их основе нашли применение для очистки радиоактивно загрязненных природных вод и технологических растворов, жидких радиоактивных отходов, реабилитации территорий с

высокой техногенной нагрузкой [1, 2]. Доступность и дешевизна природных минералов являются важным экономическим преимуществом их применения для дезактивации как слабоактивных жидких отходов, накопленных в открытых водоемах, так и природных вод (в т. ч. питьевого назначения) в случае аварийных ситуаций. Одним из перспективных и доступных материалов для очистки пресных природных вод и слабоактивных жидких отходов от радионуклидов цезия является природный глауконит. Получение гранулированных сорбентов на его основе [3] дает возможность его использования в динамических условиях, а улучшение его сорбционных характеристик возможно путем поверхностного модифицирования ферроцианидами [4]. В представленной работе проведено сравнение сорбционных свойств гранулированного глауконита, полученного с использованием в качестве связующего водопроводной воды, и поверхностно модифицированного ферроцианидом $K_4Fe(CN)_6$ сорбента на его основе по отношению к радионуклидам цезия. Исследования сорбционных свойств полученных материалов по отношению к цезию были проведены в статических условиях.

Для исследования статистики межфазного распределения цезия на гранулированном глауконите и поверхностно-модифицированном гранулированном глауконите готовили модельные растворы (водопроводная вода, выдержанная не менее суток, $pH = 7,8 \pm 0,2$) с переменным содержанием цезия ($10^{-6} - 1$ г/л), в качестве радиоактивного индикатора использовали ^{137}Cs . Объем пробы составлял $V = 50$ мл, масса сорбента около 20 мг. Растворы выдерживали при периодическом перемешивании в течение заданного времени. Отбирали пробы и проводили измерения на установке малого фона УМФ-2000. По результатам измерений рассчитывали степень извлечения S , равновесную концентрацию цезия в растворе C_p , мг/мл, концентрацию цезия в фазе сорбента C_t , мг/г. Полученные результаты для гранулированного глауконита и поверхностно-модифицированного сорбента на его основе представлены на рис. 1 и 2 в координатах « $\lg C_t - \lg C_p$ ». Коэффициенты уравнения $y = ax + b$ формальной линеаризации полученных изотерм приведены в таблице ниже.

Как следует из анализа изотерм сорбции, формальная линеаризация в координатах « $\lg C_t - \lg C_p$ » дает прямую с тангенсом угла наклона значительно меньше 1, а профиль кривых свидетельствует о возможном присутствии в структуре сорбента нескольких типов сорбционных центров, которые характеризуются различными значениями коэффициента распределения.

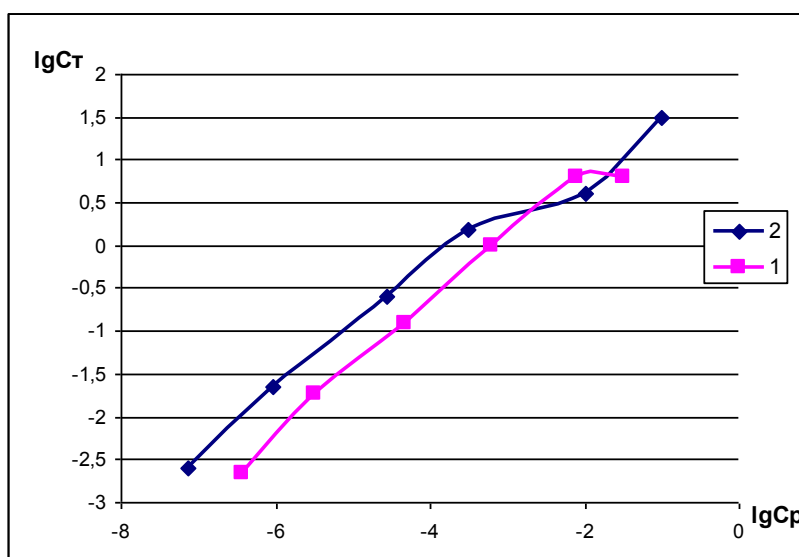


Рис. 1. Изотерма сорбции цезия гранулированным глауконитом.
Время контакта фаз: 1 – 1 неделя; 2 – 3 недели.

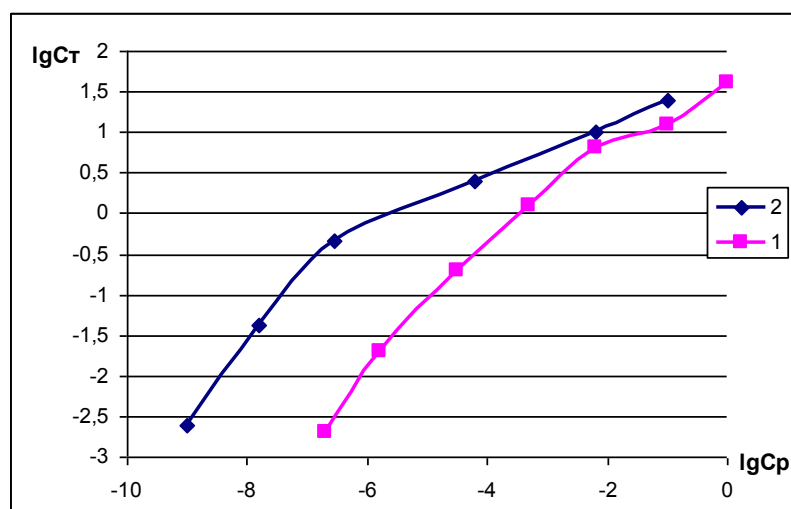


Рис 2. Изотерма сорбции цезия поверхностно-модифицированным гранулированным глауконитом. Время контакта фаз: 1 – 1 неделя; 2 – 3 недели.

Таблица. Результаты формальной обработки изотерм сорбции цезия

Время контакта фаз	Гранулированный глауконит		Поверхностно-модифицированный гранулированный глауконит	
	$a \pm \Delta a$	$b \pm \Delta b$	$a \pm \Delta a$	$b \pm \Delta b$
1 неделя	$0,69 \pm 0,19$	$2,0 \pm 0,8$	$0,64 \pm 0,13$	$1,9 \pm 0,5$
3 недели	$0,69 \pm 0,09$	$2,26 \pm 0,41$	$0,48 \pm 0,15$	$2,2 \pm 0,8$

Зависимости коэффициента распределения (K_d) от концентрации сорбата в растворе (C_0) приведены на рис. 3. На полученных зависимостях удается выделить участки, которые характеризуются постоянством K_d , что свидетельствует о выполнении изотермы Генри: в диапазоне исходных концентраций цезия $10^{-6} - 10^{-4}$ г/л.

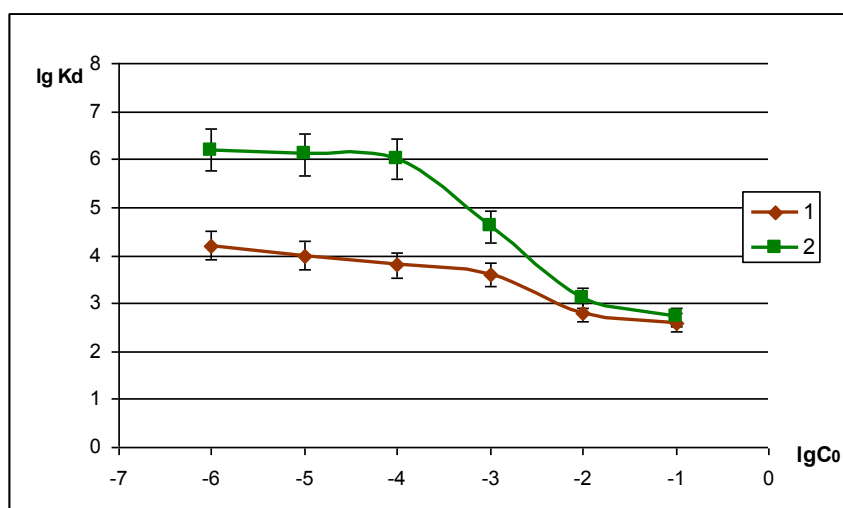


Рис. 3. Зависимость коэффициента распределения от исходной концентрации цезия в растворе: 1 – гранулированный глауконит, 2 – поверхностно-модифицированный глауконит; время контакта фаз – 3 недели.

Для этого диапазона концентраций в растворе оценены значения коэффициентов распределения: для гранулированного глауконита – $1,1 \cdot 10^3$ мл/г и для поверхностно-модифицированного сорбента – $1,6 \cdot 10^6$ мл/г. Из анализа изотерм следует, что поверхностное модифицирование значительно увеличивает коэффициент распределения цезия в диапазоне исходных концентраций до 10^{-4} г/л.

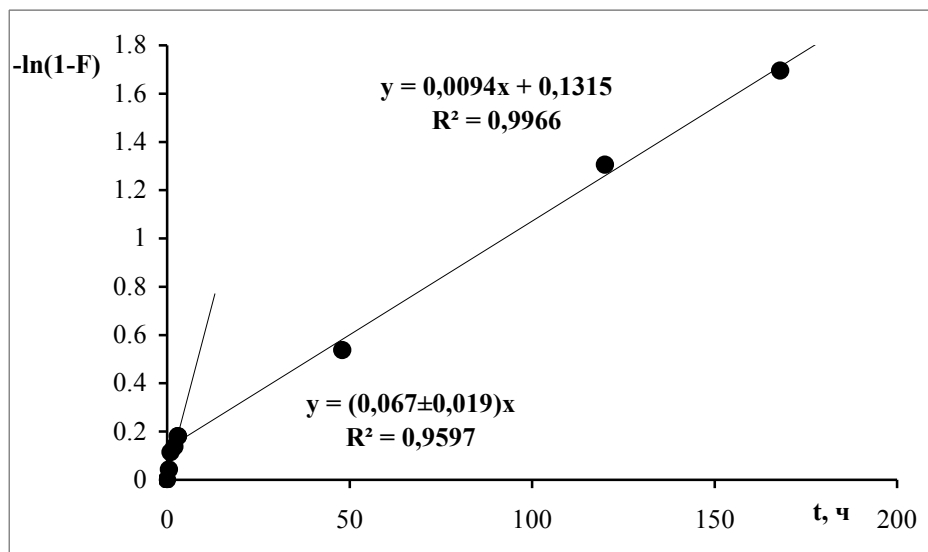


Рис. 4. Анаморфоза кинетической кривой сорбции цезия гранулированным глауконитом.

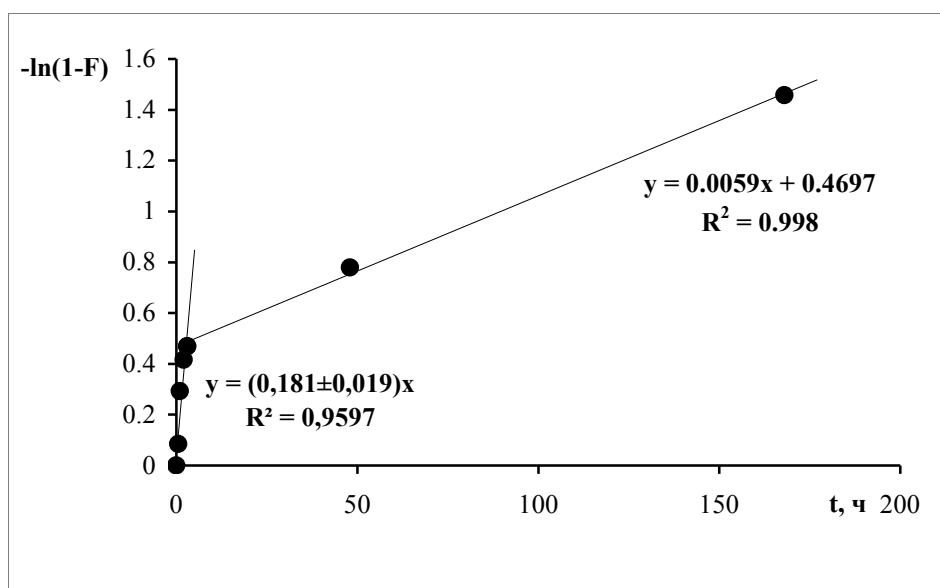


Рис. 5. Анаморфоза кинетической кривой сорбции цезия поверхностно-модифицированным гранулированным глауконитом.

Для оценки влияния модифицирования на кинетику сорбции цезия получены временные зависимости сорбции цезия гранулированным глауконитом и поверхностно-модифицированным гранулированным глауконитом для растворов, содержащих 0,1 мг/л цезия. Перемешивание раствора производили на установке Elmi SkyLine. Как следует из полученных зависимостей, равновесие в системе устанавливается примерно через неделю,

кроме того, на временных зависимостях можно выделить два участка, которые должны характеризоваться разной скоростью процесса.

Анаморфозы кинетических кривых в координатах « $-\ln(1-F) - t$ » представлены на рис. 4, 5. Начальные участки представляют собой прямые, выходящие из начала координат, наблюдаемая константа скорости, определенная для этих участков, составляет для гранулированного глауконита $0,06 \text{ ч}^{-1}$, а для поверхностно-модифицированного гранулированного глауконита – $0,16 \text{ ч}^{-1}$.

Вид кинетических кривых свидетельствует о том, что процесс сорбции осуществляется в несколько стадий или происходит на различных типах сорбционных центров, что, на наш взгляд, является более вероятным и подтверждается результатами обработки изотерм сорбции. Модифицирование сорбента приводит к значительному увеличению наблюдаемой константы скорости процесса на начальном участке кинетической кривой.

Таким образом, в результате проведенных экспериментов определены основные сорбционные характеристики сорбционных материалов на основе гранулированного глауконита, показано улучшение сорбционных свойств в результате модифицирования: коэффициента распределения и наблюдаемой константы скорости процесса. Увеличение исследованных сорбционных характеристик позволит увеличить ресурс очистного устройства и повысить скорость пропускания фильтруемой воды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Voronina A.V., Kutergin A.S., Semenistchev V.S., Nogovitsyna E.V., Nikiforov A.F.* Sorbents for radiocesium removal from natural water and soil / Book: Impact of Cesium on Plants and the Environment. Editors: Dharmendra K. Gupta, Clemens Walther. Springer. Germany. 2016. P. 231–252.
2. *Voronina A.V., Semenishchev V.S., Bykov A.A., Savchenko M.O., Kutergin A.S., Nedobuh T.A.* Approaches to rehabilitation of radioactive contaminated territories / J. of Chemical Technology and Biotechnology. Vol. 88. 2013. P. 1606–1611.
3. Способ получения гранулированного глауконита: пат. на изобретение 2348453 / Беднягин Г.В., Бетенеков Н.Д., Кутергин А.С., Кутергина И.Н.; № 2007140647/15; заявл. 01.11.2007; опубл. 10.03.2009; Бюл. № 7; приоритет от 01.11.2007.
4. *Voronina A. V., Betenkov N. D., Nogovitsyna E. V., Semenistchev V. S.* Characteristic Features of Statics and Kinetics of Caesium Sorption with Nickel-Potassium Ferrocyanides based on Hydrated Titanium and Zirconium Dioxides // SCI Conference: IEX 2008 Recent Advances in Ion Exchange Theory and Practice. U. K. London: Society of Chemical Industry. 2008. P. 215–221.

Сведения об авторах:

Недобух Татьяна Алексеевна, канд. хим. наук, доцент, кафедра радиохимии и прикладной экологии, Физико-технологический институт, ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина», 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира 21; e-mail: t.a.nedobukh@urfu.ru

Кутергин Андрей Сергеевич, Физико-технологический институт, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина», Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира 21; e-mail: a.s.kutergin@urfu.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СЕДИМЕНТАЦИИ ГИДРОКСИДА ЖЕЛЕЗА ИЗ ПРЕСНЫХ ВОД

Недобух Т.А., Федорова А.С., Кутергин А.С.

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н.Ельцина», г. Екатеринбург, Россия
t.a.nedobukh@urfu.ru

Ключевые слова: коллоидообразование, седиментация, гидроксид железа (III), очистка природных вод.

Миграционное поведение загрязнителей, включая радионуклиды, образующие псевдоколлоиды, например, с гидроксидом железа, определяется физико-химическим поведением самого гидроксида железа. Установлено, что основными факторами, влияющими на процессы коллоидообразования и седиментации гидроксида железа, являются pH и концентрации железа (III) в растворе. На основании анализа временных закономерностей образования коллоидов и седиментации гидроксида железа при pH 3,5–4 и 6,5–7, полученных методами ультрафильтрации и турбидиметрии, установлено, что основная доля частиц гидроксида, образующихся в растворе, содержащем 25 мг/л железа, имеет размер, превышающий 5 мкм. В области нейтральных значений pH скорость процесса седиментации зависит от концентрации железа в растворе: при концентрации не менее 50 мг/л преобладающий размер частиц гидроксида железа превышает 15 мкм, а время полуседиментации осадка гидроксида железа меньше 5 минут.

Полученные результаты являются обоснованием условий седиментации как метода очистки и самоочистки природных вод от радионуклидов, образующих псевдоколлоиды с гидроксидом железа.

THE STUDY OF THE PROCESSES OF IRON HYDROXIDE SEDIMENTATION FROM FRESH WATERS

Nedobukh T.A., Fedorova A.S., Kutergin A. S.

Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia
t.a.nedobukh@urfu.ru

Keywords: colloids formation, sedimentation, iron (III) hydroxide, decontamination of natural water.

Migration behavior of pollutants including radionuclides forming pseudocolloids with iron hydroxide is affected by physicochemical behavior of iron hydroxide. It was determined that pH value and Fe(III) concentration are the main factors affecting processes of colloids formation and sedimentation of iron hydroxide. The results of time analysis of iron hydroxide colloids formation and sedimentation at the pH 3.5 – 4 and 6.5 – 7 via ultrafiltration and turbidimetry methods indicated that in the solution containing 25 mg/L of iron, the majority of iron hydroxide particles exceeded 5 μm . At the neutral pH range, rate of sedimentation depended on iron concentration in the solution. At concentration of at least 50 mg/L iron hydroxide particles were larger than 15 μm and half-sedimentation time was less than 5 minutes.

The obtained results reveal the conditions of sedimentation as a process of natural waters self-decontamination from radionuclides forming pseudocolloids with iron hydroxide.

Процессы коллоидообразования и седиментации вносят большой вклад в миграцию и очистку природных вод от загрязнителей различной природы. В тех случаях, когда загрязняющие вещества, включая радионуклиды, могут образовывать истинные коллоиды, возможность коллоидообразования определяется условиями образования ими индивидуальных труднорастворимых соединений. Однако процессы коллоидообразования и седиментации необходимо учитывать и в тех случаях, когда загрязняющие вещества способны образовывать псевдоколлоиды, физико-химическое поведение которых будет определяться свойствами и поведением тех компонентов, которые формируют агрегат коллоидной частицы [1, 2]. Таким образом, миграционное поведение загрязнителей, включая радионуклиды, образующих псевдоколлоиды, например, с гидроксидом железа, определяется физико-химическим поведением самого гидроксида железа. Кроме того, процессы седиментации будут вносить значимый вклад в вертикальную миграцию и самоочищение стоячих водоемов. Поэтому для того, чтобы определить условия очистки природных вод от радионуклидов в результате соосаждения с гидроксидом железа, необходимо проанализировать условия осаждения гидроксида железа и определить основные факторы, влияющие на этот процесс.

На основании расчета форм состояния железа (III) в пресных водах и анализа кривых растворимости гидроксида железа (III) было установлено, что расчетные значения pH начала образования гидроксида железа зависят от начальной концентрации и для растворов с содержанием железа больше 1 мг/л находятся в диапазоне pH 3 – 4,5. Поэтому в дальнейшем все исследования процессов осаждения гидроксида железа проводили при pH > 3 при различных исходных концентрациях железа. В качестве модельного раствора пресной воды использовали водопроводную воду, которую предварительно выдерживали не менее суток, затем задавали требуемую концентрацию железа введением аликвоты стандартного раствора железа (III) и устанавливали значение pH, добавляя минимальные объемы растворов соляной кислоты или натриевой щелочи. Исследовали влияние pH и концентрации железа в исходном растворе на степень осаждения гидроксида железа.

Изучение процессов образования гидроксида железа проводили методом ультрафильтрации, используя ядерные фильтры с размером пор 0,14 – 0,18 мкм и 0,6 – 0,7 мкм. Концентрацию железа в фильтрате определяли методом спектрофотометрии с роданидом аммония [3]. Зная исходную концентрацию железа в растворе и концентрацию в фильтрате, рассчитывали степень осаждения гидроксида железа и распределение частиц гидроксида железа по размерам (табл. 1).

Таблица 1. Распределение частиц гидроксида железа по размерам, определенное методом ультрафильтрации

Диапазон pH	Доля частиц с размером		
	< 0,14 мкм	0,14 – 0,6 мкм	> 0,6 мкм
3,5 – 4	0,05	0,05	0,90
6,5 – 7	0,0	0,07	0,93

Как следует из полученных результатов, в исследованных диапазонах pH, основная доля частиц гидроксида, образующихся в растворе, содержащем 25 мг/л железа, имеет размер, превышающий 0,6 мкм.

Увеличение размера частиц в свободно дисперсных системах приводит к уменьшению седиментационной устойчивости, и в результате – к разделению фаз [4].

Исследование процессов осаждения гидроксида железа проводили методом турбидиметрии на основании анализа изменения мутности суспензии во времени для двух диапазонов pH и различных концентраций железа в растворе. Типичные кривые изменения мутности суспензии гидроксида железа и рассчитанные по ним зависимости степени осаждения гидроксида железа от времени при pH 6,5–7 приведены на рис. 1 и 2.

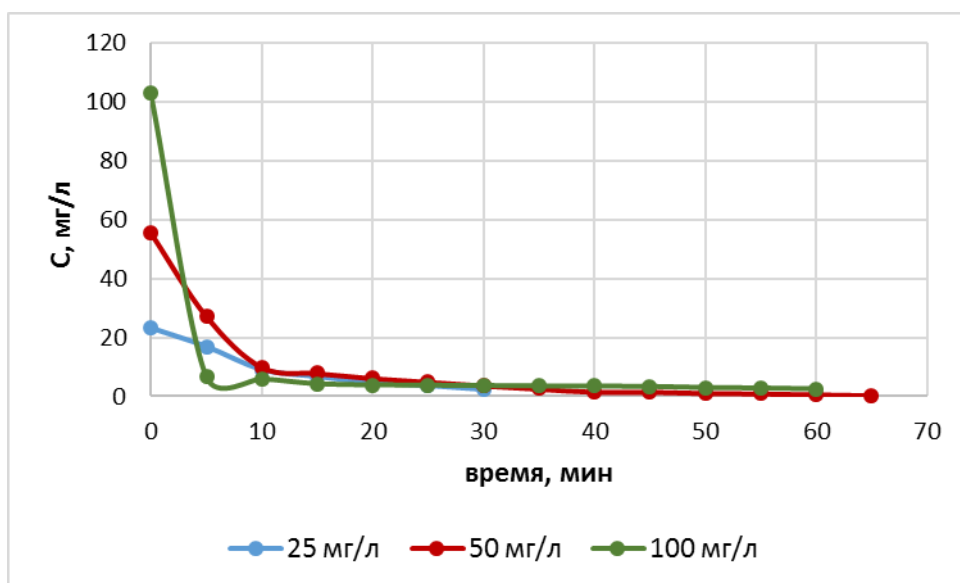


Рис. 1. Влияние концентрации железа на мутность суспензии при pH 6–7.

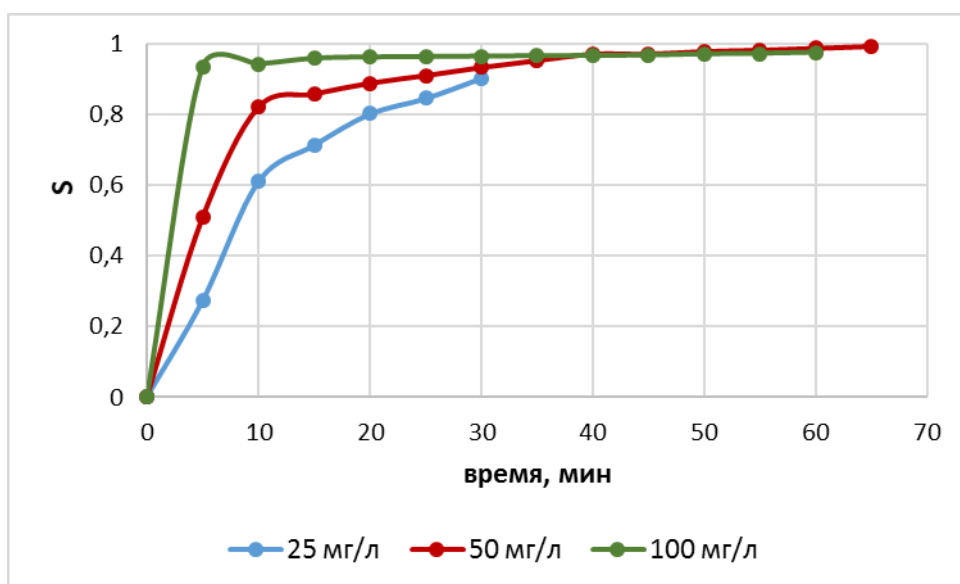


Рис. 2. Зависимость степени осаждения гидроксида железа от времени при pH 6–7.

Одной из технологических характеристик процесса седиментации является время полуосаждения, т. е. временной интервал, в течение которого происходит осаждение половины образовавшегося осадка гидроксида железа. Время полуосаждения осадка гидроксида железа (рис. 3) уменьшается с увеличением значения pH раствора и концентрации железа в исходном растворе.

Анализ скорости осаждения положен в основу седиментационного анализа – распределения частиц суспензии по размерам [4]. Он используется для определения размера достаточно больших частиц суспензии и позволяет уточнить результаты определения распределения частиц гидроксида железа по размерам, полученные методом ультрафильтрации через ядерный фильтр, в области, превышающей 1 мкм.

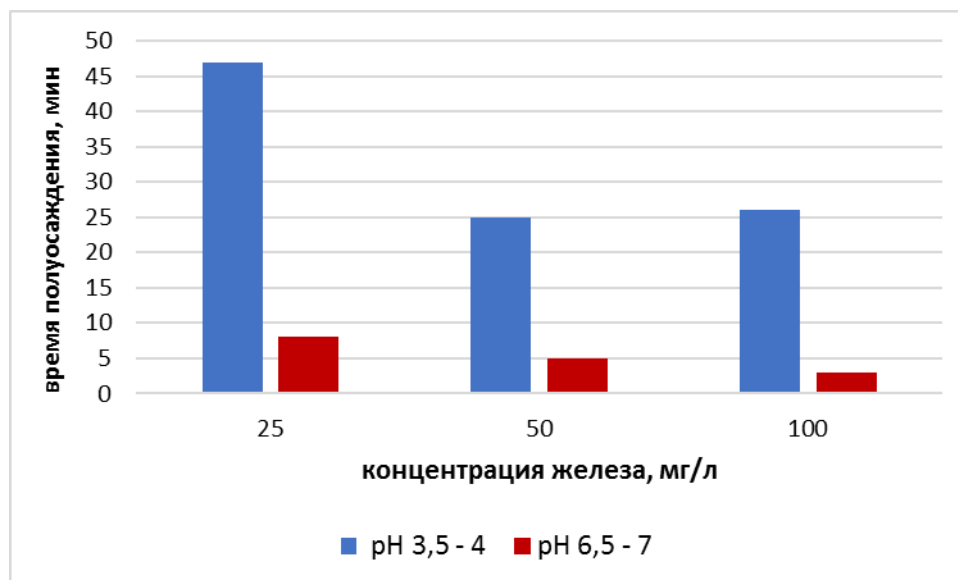


Рис. 3. Зависимость времени полуосаждения гидроксида железа от концентрации и pH раствора.

На основании анализа кривых осаждения определена скорость осаждения, по формуле Стокса рассчитан размер и построено распределение частиц гидроксида железа по размерам при различных концентрациях и значениях pH. Показано, что при pH= 3–4 с увеличением концентрации увеличивается преобладающий размер частиц гидроксида железа с 5–15 мкм до 15–25 мкм. При pH= 6–7 преобладающий размер частиц гидроксида железа становится больше >15 мкм (табл. 2).

Таблица 2. Распределение частиц гидроксида железа по размерам при различных концентрациях и значениях pH

С, мг/л	25		50		100	
pH	3–4	6–7	3–4	6–7	3–4	6–7
размер частиц						
<5 мкм	0,19	0,1	0,2	0,03	0,28	0,02
5–15 мкм	0,67	0,3	0,2	0,15	0,24	0,05
15–25 мкм	0,14	0,6	0,43	0,82	0,23	
>25 мкм			0,17		0,25	0,93

Как следует из полученных результатов, уменьшение времени полуосаждения связано с увеличением размера частиц, а лучшие условия для образования и последующего осаждения гидроксида железа реализуются при pH 6–8 и концентрации железа (III) в растворе не менее 50 мг/л.

Таким образом, на основании анализа временных закономерностей образования коллоидов и седиментации гидроксида железа при pH 3,5– 4 и 6,5–7, полученных методами ультрафильтрации и турбидиметрии, установлено, что основная доля частиц гидроксида, образующихся в растворе, содержащем 25 мг/л железа, имеет размер, превышающий 5 мкм. В области нейтральных значений pH скорость процесса седиментации зависит от концентрации железа в растворе: при концентрации не менее 50 мг/л время полуосаждения осадка гидроксида железа не превышает 5 минут.

Полученные результаты могут быть положены в основу обоснования условий седиментации как метода очистки и самоочистки природных вод от радионуклидов, образующих псевдоколлоиды с гидроксидом железа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кафтайлов В.В., Митрофанова С.А., Бетенев Н.Д.* Радиоколлоиды в сорбционных системах. XIX. Фильтрационное концентрирование железа из солевых растворов // *Радиохимия*. 1987. Т. 29. № 1. С. 121–123.
2. *Новиков А.И., Гордеева Л.Н.* Отделение урана от некоторых сопутствующих элементов соосаждением с гидратированными окислами // *Радиохимия*. 1971. Т.13, № 6. С. 883–886.
3. *Марченко З.* Фотометрическое определение элементов. М.: Мир, 1971. 402 с.
4. *Фролов Ю.Г.* Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы. М.: Химия, 1988. 400 с.

Сведения об авторах:

Недобух Татьяна Алексеевна, канд. хим. наук, доцент, кафедра радиохимии и прикладной экологии, Физико-технологический институт, ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина», 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира 21; e-mail: t.a.nedobukh@urfu.ru

Кутергин Андрей Сергеевич, Физико-технологический институт, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина», Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира 21; e-mail: a.s.kutergin@urfu.ru

**ВОДОПРОПУСКНЫЕ СООРУЖЕНИЯ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАЛОПРОЛЕТНЫХ АРОЧНЫХ ЗАСЫПНЫХ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ МОСТОВ В СБОРНОМ ИСПОЛНЕНИИ**

Недосеко И.В.

ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования
и охраны водных ресурсов», Башкирский филиал (БашНИИВХ), г. Уфа, Россия

Раянова А.Р., Кутлияров Д.Н., Мустафин Р.Ф.

ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет», Уфа, Россия

nedoseko1964@mail.ru

Ключевые слова: гидротехническое сооружение, водопропускная труба, арочные конструкции, сборные сегменты, пропускная способность, паводковый период.

Приведен сравнительный анализ конструктивных и технологических решений различных типов водопропускных сооружений устраиваемых в насыпях автомобильных и железнодорожных дорогах, а также гидротехнических объектов различного назначения. Показано преимущество малопроелетных засыпных арочных сборных конструкций по сравнению с многорядным расположением труб по параметрам водопропускной способности и эксплуатационной надежности в паводковый период.

**WATER PASSAGE FACILITIES OF DIFFERENT PURPOSES
WITH THE USE OF SHORT-SPAN ARCH FILLING
REINFORCED CONCRETE PREFABRICATED BEIDGES**

Nedoseko I.V.

RosNIIVKh Bashkir Branch, Ufa, Russia

Rayanova A.R., Kutliyarov L.N., Mustafin R.F.

Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia

nedoseko1964@mail.ru

Key words: waterworks, culvert, arch structures, prefabricated segments, carrying capacity, flood period

Comparative analysis of constructive and technological solutions of various types of culverts made in bulk road and rail road and hydraulic engineering objects of different purposes has been done. The advantage of short-span filling arch prefabricated structures in comparison with the multi-row arrangement of pipes in the parameters of culvert capacity, operational reliability during the flood period.

Водопропускные системы различного типа (трубы круглого, прямоугольного сечений и малые засыпные мосты арочного очертания), предназначенные для постоянного или периодического пропуска через них различных объектов природных вод, очень широко применяются в различных земляных сооружениях, таких как насыпи автомобильных и железных дорог, дамбы, прудов и других малых гидротехнических конструкций. При этом максимальный объем протекающей сквозь них воды приходится, как правило, на весенний, паводковый период, а минимальный на летние дождливые месяцы, за исключением временных периодов с большим количеством дождевых осадков, когда их пропускная способность приближается к максимальным паводковым показателям.

В настоящее время в связи со значительным увеличением объемов и ускорением темпов дорожного и гидротехнического строительства перед предприятиями строительной индустрии и подрядными строительными организациями остро встает задача резкого увеличения количества строящихся и реконструируемых водопропускных сооружений, при

одновременном повышении их эксплуатационной надежности и долговечности.

Актуальность данной задачи осложняется еще и тем обстоятельством, что в силу известных причин большинство водопропускных сооружений, построенных еще в советский период, находятся в аварийном состоянии, хотя и имеются отдельные положительные примеры, когда каменные и кирпичные водопропускные конструкции арочного очертания после не одной сотни лет эксплуатации находятся в работоспособном состоянии.

Анализ эксплуатации водопропускных сооружений на объектах дорожного хозяйства Республики Башкортостан как для региона наиболее характерного для средней полосы России по климатическим условиям (где периодически чередуются временные периоды как с обильным паводком, так и многомесячной засухой) и их значительному количеству, проложенных через почти три сотни ручьев и малых рек на автодорогах всех категорий позволяет дать определенную сравнительную оценку основных типов водопропускных систем, прежде всего, в части их технологичности и эксплуатационной надежности [1, 6].

Несмотря на то, что самым массовым, дешевым и технологичным конструктивным решением для пропуска воды через дорожную насыпь или земляную дамбу является водопропускная труба в металлическом или железобетонном исполнении, к сожалению, ее нельзя рекомендовать к массовому использованию в современном строительстве из-за трудноразрешимых проблем гидротехнического и эксплуатационного характера. Первая проблема касается долговечности стальных труб: коррозионной стойкости обычных сталей строительного назначения недостаточно, т. к. трубы эксплуатируются в условиях влажной среды и знакопеременных температур, о чем свидетельствуют очень затратные ремонтно-восстановительные мероприятия для многочисленных сооружений, построенных еще в 1950–1980-е годы. Более современные конструктивные решения стальных труб, появившиеся в 2000-е годы, с использованием оцинкованных стальных профилей и болтовых соединений, хотя частично и лишены этого недостатка (рис. 1), но, как показывает даже недолгая практика их эксплуатации, обладают недостаточной жесткостью, а использование толстостенных профилей из нержавеющей стали даже не рассматривается по экономическим соображениям. Известно, что даже обычный железобетон более долговечный и экономичный материал, чем сталь [3], тем более современный, высокопрочный бетон нового поколения – сталефибробетон, поэтому звенья водопропускных железобетонных труб диаметром 1,0 и 1,5 м (рис. 2) наиболее массово применяются в дорожном и гидротехническом строительстве, начиная с 1980-х годов.



Рис. 1. Металлическая труба на трассе М5.

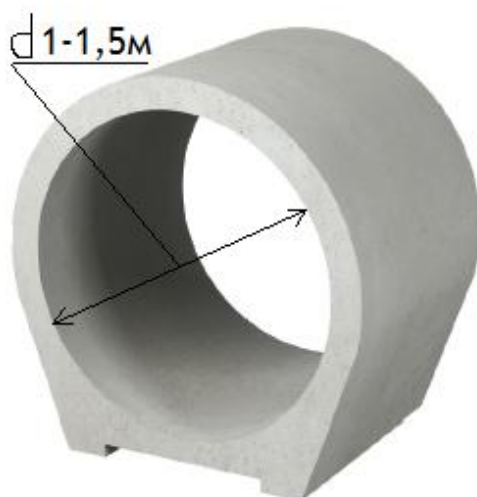


Рис. 2. Звенья водопропускных железобетонных труб с внутренним $d\ 1,0\text{--}1,5\text{ м}$.

Однако основной и практически неразрешимой проблемой является их недостаточная пропускная способность и даже многорядное (двухрядное и трехрядное) расположение (рис. 3), как показывает несложный гидравлический расчет [6], при возникновении затора из плавущих кустарников, не говоря уже о небольших поваленных деревьях, что неизбежно в паводковый период, зачастую приводит к размыванию всей дорожной насыпи или дамбы со всеми вытекающими катастрофическими последствиями.



Рис. 3. Многорядное расположение водопропускных труб.

Следовательно, для пропуска значительных объемов природных вод в паводковый или дождливый период наиболее рациональной конструкцией является возведение в самой насыпи сооружения арочного очертания с пролетом от 3 до 9 м, а при больших пролетах устраиваются дорогостоящие мосты (как правило, это практикуется на средних и крупных реках). Несомненным преимуществом данного решения по сравнению с трубами является возможность многократного увеличения пропускной способности практически без опасения возможных заторов от кустарниковой и даже древесной растительности (рис. 4, 5). Однако, как показала практика дорожного строительства, внедрение данной прогрессивной конструкции столкнулось с рядом трудностей технологического характера, которые очень сложно решать подрядным дорожным организациям, не имеющим на своей

производственной базе соответствующей техники (растворо-бетонных узлов, специальных агрегатов для наклонного погружения) и опыта проведения сложных свайных, опалубочных монолитных работ, а дополнительное привлечение мостовых субподрядных организаций лишь многократно увеличивает стоимость проекта [2] (рис. 5).

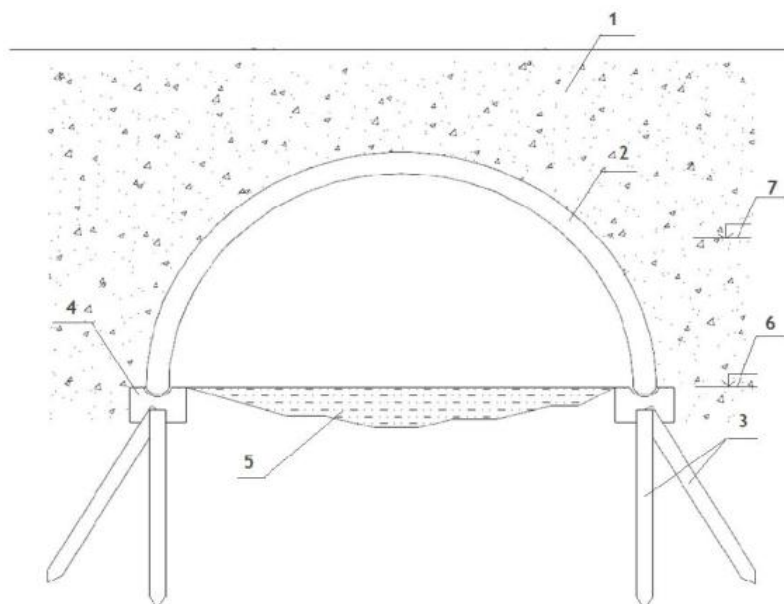


Рис. 4. Водопропускное сооружение прочного очертания: 1 – насыпь; 2 – железобетонная арка; 3 – вертикальные и наклонные сваи; 4 – монолитный ростверк; 5 – русло малой реки; 6 – рабочий уровень воды; 7 – максимальный возможный подъем уровня воды в паводок.



Рис. 5. Двухпролетное водопропускное сооружение с использованием сборных железобетонных арок пролетом 4 м, арочного типа на свайном фундаменте с монолитным железобетонным ростверком.

За последние годы специалистами ОАО «Башкиравтодор» и кафедры строительных конструкций УГНТУ разработано и внедрено в практику республиканского дорожного строительства новое техническое решение (рис. 6), включающее в себя сегменты железобетонной арки пролетом 4 и 6 м совместно с фундаментной плитой затяжкой [2, 5, 7]. Как показала практика возведения данных конструкций в Бураевском и Мишкинском районах Республики Башкирия, использование плиты затяжки позволяет полностью отказаться от специальной сваебойной техники по устройству наклонных свай (вертикальные сваи без особых проблем можно погружать в отверстия плиты затяжки стандартными сваебойными агрегатами) и проведения сложных, дорогостоящих опалубочных и монолитных работ.



Рис. 6. Сборные железобетонные конструкции арочного очертания для водопропускных сооружений в насыпях автомобильных дорог: 1 – конструкция двухшарнирной сборной арки пролетом 4 м; 2 – конструкция трехшарнирной арки пролетом 6 м; 3 – конструкция фундаментной плиты затяжки для арочного водопропускного сооружения.



Рис. 7. Водопропускное сооружение арочного типа пролетом 6 м с использованием фундаментной плиты затяжки в Бураевском районе Республики Башкортостан.

Многолетняя эксплуатация данных сооружений (рис. 7), в т. ч. и с обильным паводковым периодом в прошлый год подтвердила не только их технологичность, но и высокую эксплуатационную надежность, что открывает перспективу для их расширенного использования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Недосеко И.В., Бабков В.В., Дистанов Р.Ш. Сталефибробетонные конструкции для дорожного строительства Республики Башкортостан // Проблемы строительного комплекса России. Мат-лы междунар. научн. техн. конф. М.:2012. С. 37– 41.
2. Бабков В.В., Недосеко И.В., Аминов Ш.Х., Дистанов Р.Ш. Водопропускные трубы и малопролетные засыпные арочные мосты на основе сталефибробетона в автодорожном строительстве // Бетон и железобетон. 2009. № 2. С. 4–6.

3. Аминов Ш.Х., Струговец И.Б., Климов В.П., Бабков В.В. Водопропускные трубы для автомобильных дорог из сталефибробетона // Строительные материалы. 2003. № 10. С. 21–22.

4. Раянова А.Р., Недосеко И.В. Использование сборных железобетонных элементов арочного очертания в малых водопропускных сооружениях / сб. Проблемы сохранения и преобразования агроландшафтов. 2016. С. 232–235.

5. Бабков В.В., Недосеко И.В., Дистанов Р.Ш., Ивлев М.А., Федотов Ю.Д., Струговец И.Б., Латыпов М.М. Сталефибробетон в производстве изделий и конструкций дорожного назначения // Строительные материалы. 2010. № 10. С. 40–45.

6. Гайсин А.А. Совершенствование формы проточной части гидродинамических регуляторов расхода // Природообустройство. 2015. №2. С. 64–68.

7. Абдуллина А.Ф., Мустафин Р.Ф., Раянова А.Р. Причины возникновения размывов берегов // сб. Проблемы сохранения и преобразования агроландшафтов. Башкирский гос. аграрный ун-т. Уфа. 2016. С. 280–282.

Сведения об авторах:

Недосеко Игорь Вадимович, д-р техн. наук, профессор, ведущий научный сотрудник, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Башкирский филиал, Россия, 450097, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Бессонова, д. 27; e-mail: nedoseko1964@mail.ru

Раянова Анжелика Рамисовна, преподаватель кафедры природообустройства, строительства и гидравлики, ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет», Россия, Республика Башкортостан, 450089, Уфа, ул. 50-летия Октября, 34; e-mail: anzhelika.rayanova@mail.ru

Кутлиаров Дамир Наилевич, канд. техн. наук, доцент, заместитель декана факультета природопользования и строительства, ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет», Россия, Республика Башкортостан, 450089, Уфа, ул. 50-летия Октября, 34; e-mail: kutliarov-d@mail.ru

Мустафин Радик Флюсович, канд. с.-х. наук, доцент, декан факультета природопользования и строительства, ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет», Россия, Республика Башкортостан, 450089, Уфа, ул. 50-летия Октября, 34, e-mail: Mustafin@gsfrb.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ДРЕНАЖНЫХ ВОД ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Студенок Г.А., Хохряков А.В.

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», Екатеринбург, Россия
genand@mail.ru

Ключевые слова: загрязнение соединениями азота, дренажные воды, биологическая очистка, параметры горнотехнического сооружения.

Рассмотрена естественная биологическая очистка дренажных вод крупнейшего горного предприятия Урала – ОАО «Ураласбест» – в условиях отработанной горной выработки. Обоснованы параметры отработанной горной выработки для ее использования в качестве базового звена в системе очистки и экологические ограничения, возникающие при таком использовании.

EXPLORATION OF THE MINING FACILITIES DRAIN WATERS NATURAL BIOLOGICAL PURIFICATION

Studenok G.A., Khokhryakov A.V.

Ural State University of Mining
Ekaterinburg, Russia
genand@mail.ru

Key words: pollution with nitrogen compounds, drain waters, biological treatment, mining facility parameters.

Natural biological treatment of ОАО “Uralasbest”, Urals major mining enterprise, has been investigated in the conditions of the worked-out quarry 1-2. The worked-out quarry parameters for the use as a basic link in the treatment system and associated environmental restrictions have been verified.

Рациональное использование природных ресурсов, снижение уровня загрязнения окружающей среды определены как стратегические задачи России в области охраны окружающей среды и природопользования Федеральным законом от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» [1], Стратегией национальной безопасности Российской Федерации до 2020 года, утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 12.05.2009 № 537 [2] и другими федеральными нормативными документами.

Загрязнение окружающей среды горными предприятиями носит комплексный характер. Наряду с негативным воздействием на атмосферный воздух, земельные ресурсы, растительный и животный мир, горнодобывающий сектор наносит значительный ущерб водным ресурсам. Характерным для горнодобывающего сектора негативным воздействием на водные ресурсы является сброс неочищенных дренажных карьерных и шахтных вод в водные объекты.

Одними из типичных загрязнителей, содержание которых в дренажных водах горных предприятий превышает предельно допустимые концентрации, являются соединения азота – аммонийный, нитритный и нитратный азот. Их наличие в дренажных водах является следствием использования взрывчатых веществ на основе аммиачной селитры (нитрат аммония NH_4NO_3) для буровзрывной подготовки горной массы к экскавации [3–6].

Сброс дренажных вод, загрязненных соединениями азота приводит к загрязнению природных водоемов за счет их несбалансированной эвтрофикации, т. е. нежелательному бурному росту водной растительности по причине поступления высокого количества

биогенных элементов. Кроме того, высокие концентрации ионов аммония и нитрита в сбрасываемых дренажных водах оказывают токсичное влияние на гидробионты (главным образом – рыб).

Ужесточающиеся требования природоохранного законодательства в части качества отводимых сточных, в т. ч. дренажных вод в водные объекты приводят горные предприятия (как с открытым, так и с подземным способом разработки), такие как ОАО «ЕВРАЗ Качканарский горно-обогатительный комбинат», ОАО «Высокогорский горно-обогатительный комбинат», ОАО «Севуралбокситруда», ОАО «Ураласбест» и другие к значительным платежам за загрязнение водных ресурсов и нарушение природоохранного законодательства и ставят перед предприятиями вопрос об их снижении и минимизации.

Вышесказанное обуславливает необходимость выбора и разработки оптимальной с эколого-экономических позиций технологии очистки дренажных вод перед их сбросом в водные объекты или повторным использованием с учетом конкретных природных, инфраструктурных и геотехнологических условий горного предприятия.

В настоящее время в промышленности очистка сточных вод от рассматриваемых соединений азота (ион аммония NH_4^+ , ион нитрита NO_2^- и ион нитрата NO_3^-) реализуется следующими группами способов [7]:

- физико-химические способы очистки (адсорбция, ионный обмен, обратный осмос и электродиализ);
- химические способы очистки (окисление);
- биологические способы очистки (аэробная и анаэробная очистка).

Анализ возможности применения данных методов очистки дренажных вод от соединений азота для условий горных предприятий, использующих промышленные взрывчатые вещества на основе нитрата аммония (аммиачной селитры) показывает, что применение данных методов сопровождается высокими капитальными и эксплуатационными затратами, обусловленными большими объемами дренажных вод, достигающими миллионы кубометров в год.

ОАО «Ураласбест», крупнейшее в мире предприятие по производству хризотил-асбеста и широкого ассортимента строительных материалов, чье воздействие на биосферу носит комплексный характер, одним из приоритетов своей деятельности определяет охрану окружающей среды и снижение уровня ее загрязнения.

В результате комплекса исследований, выполненных в условиях карьера «Центральный» ОАО «Ураласбест» установлено, что количество соединений азота, поступающих в дренажные воды при ведении взрывных работ, достигает первых единиц процентов от количества азота, содержащегося в израсходованных взрывчатых веществах [8]. Поступление в дренажные воды карьера ионов аммония (аммонийный азот) связано с растворением и вымыванием нитрата аммония при зарядке обводненных скважин. Загрязнение дренажных вод ионами нитрита (нитритный азот) связано с сорбцией горной массой образующихся при взрывах оксидов азота, их последующим вымыванием атмосферными осадками и поступлением образующихся ионов нитрита в дренажные воды [9, 10]. Поступление ионов нитрата в дренажные воды связано как с процессом растворения нитрата аммония в обводненных скважинах, так и с вымыванием атмосферными осадками сорбированных горной массой оксидов азота.

Анализ результатов наблюдений за составом дренажных вод карьера по соединениям азота, выполненных в период 2006–2016 гг., показывает неравномерность их поступления в окружающую среду по периодам года. Максимальная масса выноса по всем соединениям азота характерна для теплого периода года, когда происходит резкое увеличение объема образования дренажных вод за счет атмосферных осадков и снеготаяния (до 70 % годового объема карьерного водоотлива приходится на период с апреля по октябрь).

Годовой вынос всех соединений азота (ионы аммония, нитрита и нитрата) с дренажными водами достигает нескольких сотен тонн в год. При этом содержание в дренажных водах наиболее опасных для окружающей среды соединений азота (ионы

аммония и нитрита) существенно превышает установленные для них нормативы предельно допустимых концентраций (ПДК).

При обосновании технологической схемы системы очистки дренажных вод ОАО «Ураласбест» учтены и использованы характерные параметры инфраструктуры предприятия и геотехнологические особенности, в частности: наличие частично затопленной отработанной горной выработки, состав воды в ней, свободный объем для заполнения, состав дренажных вод, гидрогеологические условия, наличие на территории предприятия водозаборных скважин, геомеханические свойства бортов карьера 1–2 и другие.

В качестве базового элемента принятой схемы очистки для разработки проектных решений является использование отработанной горной выработки для предварительной очистки дренажных вод от соединений азота перед их последующей доочисткой на сооружениях биологической очистки. Отработанная горная выработка представляла на момент начала использования отработанный карьер 1–2, частично затопленный за счет поступления атмосферных осадков и подземных вод (его отработка была закончена в 2002 г.). Химический состав воды в затопленной части карьера характеризовался отсутствием токсических соединений в концентрациях, превышающих ПДК.

Возможность использования выбранной отработанной горной выработки для очистки дренажных вод основывается на использовании естественных микробиологических процессов нитрификации соединений азота (ионов аммония и нитрита) в аэробных условиях в водоемах [11].

Для установления геотехнологических условий использования отработанного карьера в качестве предварительной ступени очистки дренажных вод от соединений азота, был проведен комплекс гидрогеологических и геомеханических инженерных изысканий и исследований для обоснования предельного уровня заполнения карьера дренажными водами, при котором обеспечивается:

- отсутствие риска возникновения оползней на бортах карьера, связанных с его затоплением дренажными водами (увеличение уровня воды в карьере);
- сохранение существующего гидрогеологического и гидрохимического режима прилегающей к карьере территории.

Результаты проведенных гидрогеологических и геомеханических инженерных изысканий и исследований показали возможность использования данного карьера для накопления и предварительной очистки дренажных вод с одним ограничением – предельный уровень воды в ней не должен превышать определенный по результатам исследований: +215,0 м. При этом будет отсутствовать влияние вод в отработанной горной выработке на расположенные в зоне ее воздействия на водозаборные скважины. Кроме того, было установлено отсутствие обратной фильтрации вод из карьера 1–2 в Центральный карьер.

Установление предельного уровня затопления карьера дренажными водами обусловлено также тем, что в конечном итоге эффективность очистки дренажных вод от ионов аммония и нитрита будет зависеть от времени их выдержки в объеме карьера, которое определяется скоростью поступления данных соединений азота и скоростью их микробиологической нитрификации.

Для обоснования параметров эксплуатации карьера в качестве предварительной ступени очистки дренажных вод от соединений азота была разработана балансовая модель его заполнения, учитывающая все водопритoki в карьер, включая поступающие на очистку дренажные воды, атмосферные осадки с учетом испарения и подземные воды. Исходя из данных о составе вод, поступающих в карьер (дренажных, атмосферных, подземных) и накопленных на момент начала его заполнения, балансовая модель позволяет также прогнозировать химический состав вод, которые будут поступать на вторую ступень очистки (сооружения биологической очистки) в зависимости от времени выдержки дренажных вод в буферной емкости.

Проект описанной двухступенчатой системы очистки успешно прошел государственную экспертизу и в настоящее время ведется его реализация.

С начала заполнения карьера (ноябрь 2013 г.) дренажными водами предприятием ведется мониторинг (инженерно-экологический аудит) его функционирования как предварительной ступени системы очистки. Мониторинг включает регулярный контроль уровня воды в отработанной горной выработке и объема поступающих дренажных вод, а также отбор и количественный химический анализ поступающих дренажных вод и воды в отработанной горной выработке.

Это позволяет постоянно актуализировать разработанную балансовую модель с целью повышения точности прогнозирования химического состава воды по соединениям азота (аммонийный, нитритный и нитратный азот) после предварительной стадии очистки.

Результаты мониторинга показали, что при заполнении и выдержке в карьере дренажных вод результирующие концентрации в них соединений азота определяются протеканием двух одновременно идущих процессов:

- микробиологической нитрификацией аммонийного и нитритного азота с образованием нитратов;
- разбавлением поступающих дренажных вод при смешении с атмосферными осадками, природными подземными водами, а также естественно накопленным в карьере объемом воды до начала его заполнения.

Важным фактором, предопределившим текущие процессы очистки, являлось наличие в карьере 1–2 на момент начала его заполнения естественно сложившейся экосистемы с участием водной растительности и микроорганизмов, а также тот факт, что концентрации загрязняющих веществ в нем либо не превышали, либо незначительно превышали предельно допустимые (табл. 1).

Протекание процесса нитрификации в карьере характеризуется наблюдаемым по результатам мониторинга снижением содержания аммонийной и нитритной форм азота на фоне незначительного увеличения нитратной формы в воде карьера по сравнению с поступающим дренажными водами (рис. 1–3).

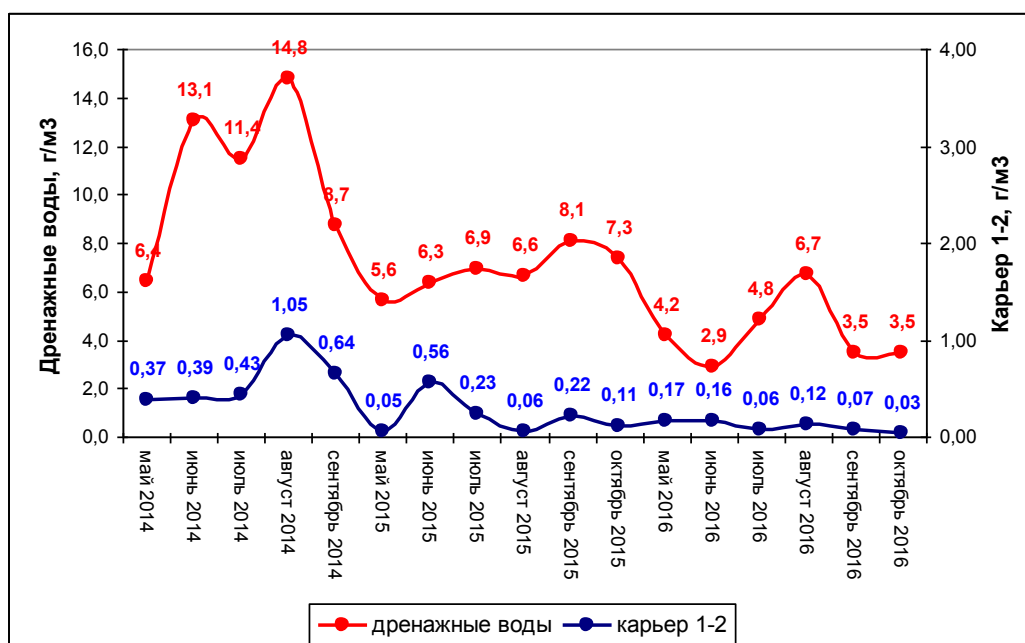


Рис. 1. Изменение содержания аммонийного азота в отработанной горной выработке при ее заполнении дренажными водами.

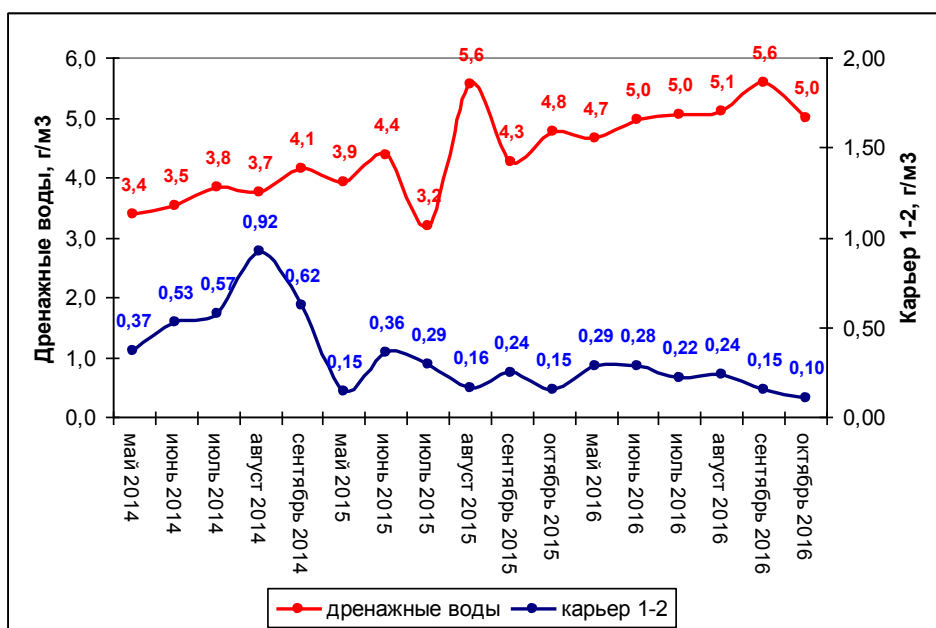


Рис. 2. Изменение содержания нитритного азота в карьере при его заполнении дренажными водами.

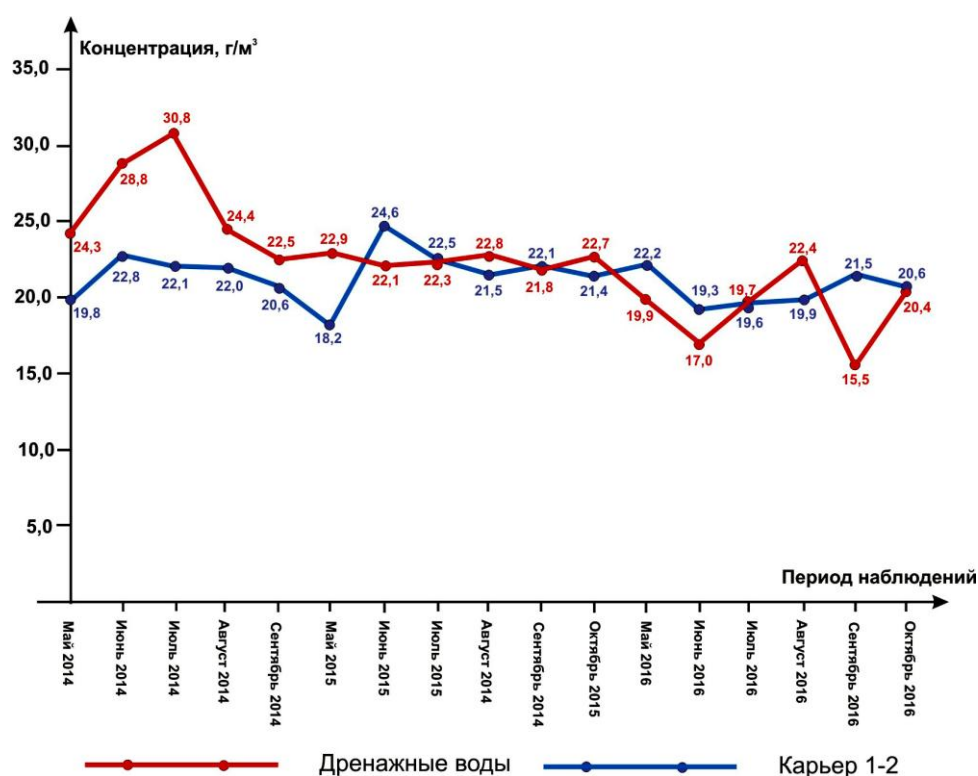


Рис. 3. Изменение относительного содержания нитратного азота в карьере при его заполнении дренажными водами.

Для оценки влияния на концентрацию соединений азота процесса разбавления поступающих дренажных вод при смешении с накопленными карьерными водами, атмосферными осадками и подземными водами в качестве индикатора при проведении мониторинговых наблюдений использовались данные по содержанию хлорид-иона в поступающих дренажных водах и в водах карьера. Выбор данного индикатора обусловлен

тем, что его концентрация в карьере связана только с процессами разбавления, без протекания каких-либо химических преобразований при поступлении в него дренажных вод.

Таблица 1. Концентрации соединений азота в исследуемых водах в период 2014–2016 гг.

Форма азота	Концентрации, мг/л (в дренажных водах / в карьере 1–2)			
	в карьере 1–2 до заполнения	2014	2015	2016
Аммонийный азот	0,193	10,88 / 0,576	6,80 / 0,205	4,27 / 0,102
Нитритный азот	0,096	3,7 / 0,602	4,37 / 0,225	5,07 / 0,213
Нитратный азот	12,23	26,16/21,46	22,43/21,72	19,15/20,52

Аналогичное влияние процесса разбавления при смешении поступающих дренажных вод с уже накопленными в карьере водами наблюдается и для общего азота (сумма аммонийного, нитритного и нитратного азотов) (рис. 4).

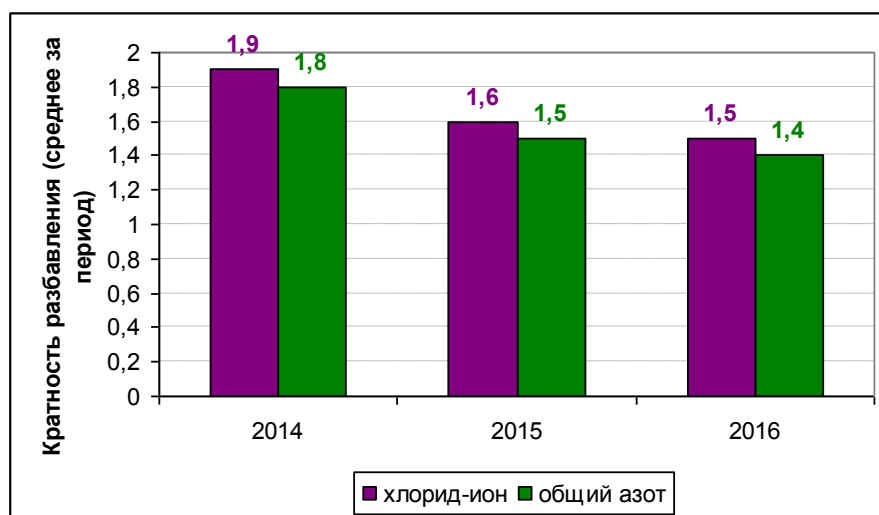


Рис. 4. Изменение степени разбавления хлорид-иона и общего азота при эксплуатации предварительной ступени очистки дренажных вод в отработанной горной выработке.

Анализ полученных результатов показывает практически одинаковое влияние процесса разбавления на формирование концентрации хлорид-иона и общего азота при эксплуатации предварительной ступени очистки дренажных вод (близкие значения величины степени разбавления). Наблюдаемое для хлорид-иона и общего азота постепенное снижение величины степени разбавления обусловлено их накоплением в воде карьере по сравнению с фоновыми до начала эксплуатации предварительной ступени очистки дренажных вод.

В целом, за период эксплуатации 2014–2016 гг. наблюдается увеличение эффективности очистки дренажных вод от аммонийного и нитритного азота, что связано с общим временем пребывания дренажных вод в отработанной горной выработке, используемой для предварительной очистки дренажных вод (табл. 1, 2).

При этом ведущим процессом, определяющим общую эффективность очистки дренажных вод от наиболее токсичных соединений азота (аммонийный и нитритный азот) является процесс нитрификации, обеспечившим снижение концентрации аммонийного азота ниже установленных нормативов ПДК для водоемов рыбохозяйственной категории. Для нитритного азота за рассматриваемый период при наблюдаемой эффективности очистки (95,8 %) значение концентрации остается выше установленного для него норматива ПДК для

водоемов рыбохозяйственной категории (0,02 мг/л) ниже, чем для водоемов хозяйственно-бытового и культурного назначения (норматив 1,0 мг/л). Для нитратного азота, за счет его накопления в процессе нитрификации, фиксируется незначительное (не более, чем двукратное превышение) установленных нормативов ПДК как для водоемов хозяйственно-бытового и культурного назначения, так и для водоемов и рыбохозяйственной категории.

Таблица 2. Эффективность очистки дренажных вод от соединений азота в период 2014–2016 гг.

Форма азота	Эффективность очистки, %		
	2014	2015	2016
Аммонийный азот	94,7	97,0	97,6
Нитритный азот	83,7	94,9	95,8
Нитратный азот	18,0	3,2	-7,2

Таким образом, опыт трехлетней эксплуатации отработанной карьерной выемки в качестве первой ступени системы очистки дренажных вод от наиболее токсичных соединений азота (ионы аммония и нитрита) показал возможность, целесообразность и перспективность принятой схемы очистки дренажных вод от соединений азота. Полученные результаты по эффективному снижению содержания соединений азота (аммонийный и нитритный азот) в дренажных водах позволяют при необходимости их дальнейшего сброса в водоем рыбохозяйственной категории значительно снизить затраты на их доочистку за счет сокращения или исключения энергоемкой стадии аэрации на сооружениях биологической очистки (перевод аммонийного и нитритного азота в нитратный). Кроме того, при определенных условиях, возможно использовать частично очищенную дренажную воду в качестве дополнительного источника технического водоснабжения.

Полученные предварительные результаты очистки дренажных вод в конкретных производственных условиях крупнейшего горного предприятия позволяют рассчитывать на успешное решение вопроса повышения эффективности охраны водных ресурсов при разработке месторождений полезных ископаемых, т. к. довольно часто горные предприятия имеют отработанные горные выработки, накопители или отстойники, что позволяет включать их в системы очистки дренажных вод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» №7-ФЗ от 10.01.2002 (с актуальными изменениями и дополнениями).
2. Стратегия национальной безопасности Российской Федерации до 2020 года, утв. Указом Президента Российской Федерации от 12.05.2009 № 537.
3. *Кириухин В.А.* Прикладная гидрогеохимия. Санкт-Петербургский горный ин-т. СПб., 2010, 201 с.
4. *Лозовик П.А., Бородулина Г.С.* Соединения азота в поверхностных и подземных водах Карелии. // Водные ресурсы. 2009. Т. 36. № 6. С. 694–704.
5. *Ревво А.В., Хохряков А. В., Медведева И. В., Цейтлин Е.М.* Воздействие предприятий горно-металлургического комплекса на динамику загрязнения реки Чусовой. Известия вузов. Горный журнал. 2015. № 2. С. 67–74.
6. Экологическая геология крупных горнодобывающих районов Северной Евразии (теория и практика) / под ред. И.И. Косиновой. Воронеж, 2015. 576 с.
7. *Студенок А.Г., Студенок Г.А., Ревво А.В.* Оценка методов очистки сточных вод от соединений азота для дренажных вод горных предприятий. // Известия Уральского государственного горного университета. 2013. № 2 (30). С. 26–30.

8. *Хохряков А.В., Ольховский А.М., Студенок А.Г. Студенок Г.А.* Количественная оценка вклада взрывных работ в загрязнение дренажных вод карьеров соединениями азота. // Известия ВУЗов. Горный журнал. 2005. № 6, С. 29–31.
9. *Хохряков А.В., Студенок А.Г., Студенок Г.А.* Исследование процессов формирования химического загрязнения дренажных вод соединениями азота на примере карьера крупного горного предприятия. // Известия Уральского государственного горного университета. 2016. № 4 (44). С. 35–37.
10. *Chochrjakow A.W., Studenok A.G., Studenok G.A.* Die Erforschung von Prozessen der chemischen Verunreinigung des Drängewassers durch Stickstoffverbindungen am Beispiel vom Tagebau eines grossen Bergbauunternehmens // Die Nachrichten der Uraler Staatlichen Bergbauuniversität. 2016. P. 38–40.
11. *Гогина Е.С.* Удаление биогенных элементов из сточных вод. М.: МГСУ. 2010. 120 с.

Сведения об авторе:

Студенок Геннадий Андреевич, старший преподаватель, ФГБУ ВО «Уральский государственный горный университет», Россия, 620144, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30;
e-mail: genand@mail.ru

МОДИФИЦИРОВАНИЕ БЕНТОНИТОВОЙ ГЛИНЫ ЗЫРЯНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПРИРОДНЫХ И СТОЧНЫХ ВОД

Сурков М.Д., Ракова О.В., Антошкина Е.Г.

ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет»,
г. Челябинск, Россия
surkov.maxim1471@yandex.ru

Ключевые слова: бентонитовые глины, сорбция, ионы меди, нитрит-ионы, нитрат-ионы, фосфат-ионы, кислотная активация.

Представлены результаты исследований сорбционной способности бентонитовой глины Зырянского месторождения по отношению к некоторым ионам. Рассмотрены способы модификации природных форм исследуемой глины с целью изменения ее сорбционной активности.

MODIFICATION OF THE ZYRYAN DEPOSIT BENTONITE CLAY FOR NATURAL AND WASTE WATERS TREATMENT

Surkov M.D., Rakova O.V., Antoshkina Y.G.

South-Ural State University,
Chelyabinsk, Russia
surkov.maxim1471@yandex.ru

Key words: bentonite clays, sorption, copper ions, nitrite ions, nitrate ions, phosphate ions, acid activation.

The results of researches of sorption ability of bentonite clay of the Zyryan deposit in relation to some ions are presented in this paper. The ways of modification of natural forms of the studied clay for the purpose of change of its sorption activity are considered.

Проблема очистки сточных вод, начиная со второй половины XX в., является актуальной для всех стран мира. Одними из основных загрязнителей природных вод являются ионы тяжелых металлов, поступающие со сточными водами гальванических цехов, предприятий горнодобывающей промышленности, черной и цветной металлургии, машиностроительных заводов, а также ионы, поступающие с промышленными и хозяйственно-бытовыми сточными водами, стоком с сельскохозяйственных угодий и со сбросными водами с орошаемых полей, на которых применяются азотные удобрения.

Методов очистки существует довольно много, однако наиболее простыми и эффективными являются адсорбционные. Достоинства этих методов – высокая эффективность, возможность очистки сточных вод, содержащих несколько веществ. В качестве сорбентов используют активные угли, синтетические сорбенты и некоторые отходы производства (зола, шлаки, опока, опилки), минеральные сорбенты – глины, силикагели, алюмогели и гидроксиды металлов.

Глинистые минералы обладают ярко выраженными ионообменными свойствами, что совместно с высокой дисперсностью и большой удельной поверхностью определяет их повышенную адсорбционную способность. Многочисленные исследования монтмориллонитовых глин указывают на возможность их активации и модифицирования с помощью химического и физического воздействий, приводящих к изменению

адсорбционной емкости. Меняя параметры процессов активации и модифицирования, можно получить сорбционные материалы с заданными свойствами.

В данной работе исследована сорбционная способность природных бентонитов Зырянского месторождения по отношению к ионам Cu^{2+} , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} , а также их химически модифицированных форм.

В качестве объекта исследования была выбрана бентонитовая глина Зырянского месторождения (Курганская область). Усредненные данные о компонентном составе представлены в таблице.

Таблица. Химический состав Зырянского бентонита

Компонент	Содержание, %
SiO_2	57,37
TiO_2	0,15
Al_2O_3	19,40
Fe_2O_3	5,97
FeO	0,94
CaO	1,81
MgO	3,01
K_2O	1,03
P_2O_5	0,04
Na_2O	0,78
SO_3^{2-}	0,10

Из данных таблицы следует, что в исследуемой глине большое содержание оксидов железа, алюминия, присутствуют оксиды кальция, калия и натрия. Это соответствует железо-алюминевой разновидности монтмориллонита.

Исследуемую глину предварительно измельчали, прокаливали при температуре 100 ± 2 °С до постоянной массы. Часть глины подвергалась обогащению методом отмучивания (обогащенная глина). В качестве реагентов в процессе кислотной активации использовали: 1 % раствор соляной кислоты, 10 % растворы серной, соляной кислот и 80 % раствор ортофосфорной кислоты. Высушенную глину смешивали с растворами кислот (отношение глина: кислота составляло 1:4) и выдерживали в течение определенного времени на кипящей водяной бане при постоянном перемешивании. По окончании процесса глину промывали дистиллированной водой для полного удаления сульфат-, хлорид- и фосфат-ионов. Отмытый образец высушивали до постоянной массы.

В качестве сорбируемых ионов выбраны ионы Cu^{2+} , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} , т.к. техногенный поток поступления данных ионов в окружающую среду превышает поступление из естественных источников. Для приготовления раствора заданной концентрации использовали пентаводный сульфат меди (II) $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, нитрат калия KNO_3 , нитрит натрия NaNO_2 и однозамещенный фосфат калия KH_2PO_4 марки ХЧ. Рабочие растворы приготавливались разбавлением исходных.

Определение поглотительной способности нативной, обогащенной и модифицированной форм глин по отношению к ионам проводили в динамическом режиме. Анализ остаточной концентрации определяли с помощью спектрофотометрического метода на приборе КФК-3. При анализе образцов фотометрические исследования проводились в трех параллелях с целью уменьшения погрешности определения. Соотношение глины и рабочего раствора составляло 0,2 г глины на 50 мл раствора. Продолжительность сорбции от 5 минут до 24 часов. По окончании сорбции суспензию фильтровали с помощью фильтра «белая» лента и в фильтрате определяли остаточную концентрацию ионов.

Величину адсорбции (А) рассчитывали по формуле:

$$A = \frac{C_0 - C_{\text{рав}}}{m} V,$$

где

C_0 – исходная концентрация, мг/мл; $C_{\text{рав}}$ – равновесная концентрация, мг/мл;
 m – количество адсорбента, г; V – начальный объем рабочего раствора, мл.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование кинетических параметров сорбции ионов меди показало, что достижение равновесия в системе сорбат – раствор для всех образцов составляло не больше 45 мин. Скорость сорбции максимальна в первые 15 мин процесса.

На рисунке показаны кинетические кривые сорбции ионов меди на исследуемых образцах в первые 60 мин. Данные по сорбции через сутки не отличались от данных, полученных через 60 мин процесса. Скорость сорбции ионов меди имеет практическое значение, так как определяет время, затрачиваемое на максимально возможное извлечение Cu^{2+} из раствора. В нашем случае оптимальная продолжительность сорбции составляет 20 – 30 мин.

Анализ рис. 1 показывает, что в процессе обогащения (вследствие отмучивания) глины происходит увеличение сорбционной способности, но оно незначительно. По-видимому, в результате обогащения происходит увеличение удельной поверхности глины.

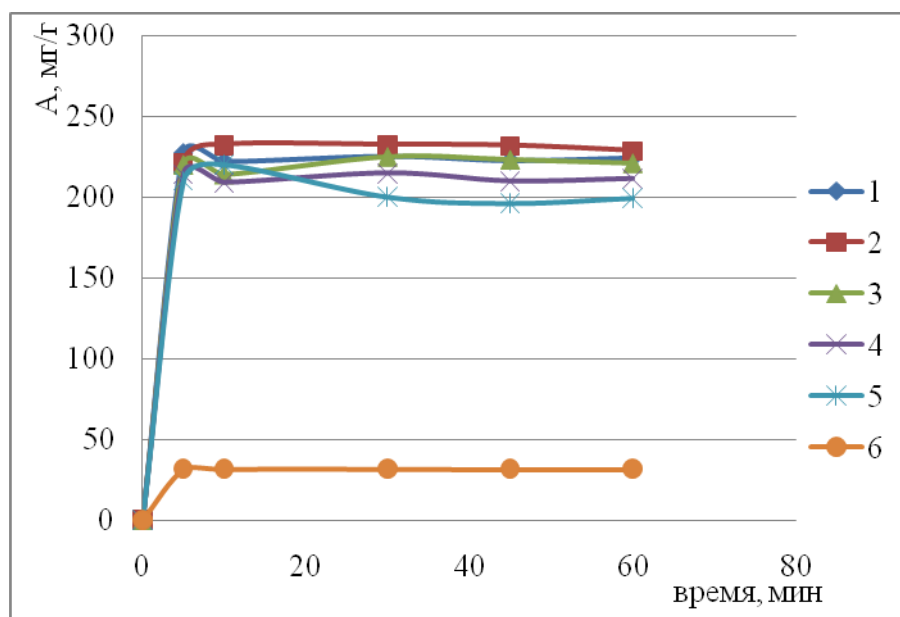


Рис. 1. Кинетические кривые сорбции ионов Cu^{2+} : 1 – нативная глина; 2 – обогащенная глина; 3 – глина, обработанная 1 % HCl ; 4 – глина, обработанная 10 % H_2SO_4 ; 5 – глина, обработанная 10 % HCl ; 6 – глина, обработанная 80 % H_3PO_4 .

Кислотная обработка природных бентонитов либо не приводила к изменению сорбционной способности по отношению к ионам Cu^{2+} (в случае 1 % раствора соляной кислоты), либо приводила к уменьшению сорбционной способности (в случае остальных кислот). Из литературы известно, что обработка соляной и серной кислотами приводит к выщелачиванию из глины ионов калия, кальция и натрия, а обработка фосфорной кислотой – к вымыванию ионов алюминия и железа. Происходит разрушение кристаллической структуры монтмориллонита, уменьшается число обменных центров.

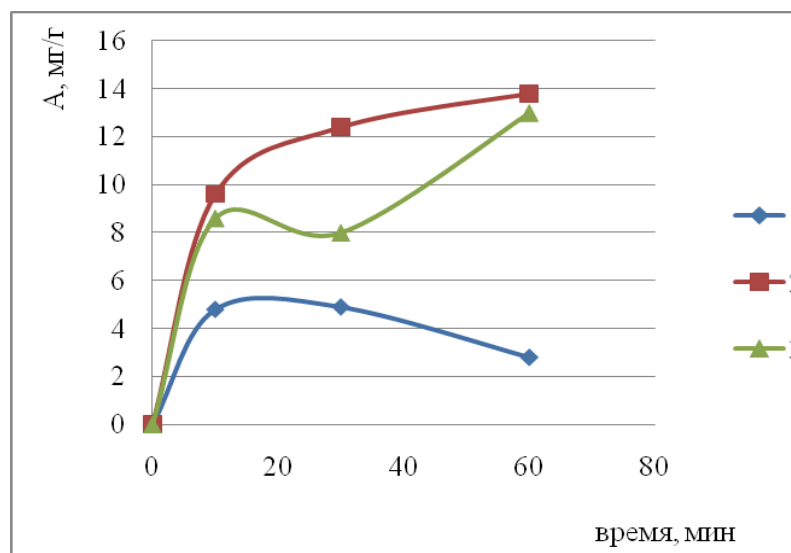


Рис. 2. Кинетические кривые сорбции нитрит-ионов: 1 – нативная глина; 2 – глина, обработанная 10 % HCl; 3 – глина, обработанная 10 % H₂SO₄.

Анализ рис. 2 показывает, что обработка глины кислотами приводит к резкому увеличению сорбционной способности. Но, при дальнейшей выдержке сорбента в растворе (более суток), наблюдается обратный процесс – десорбция. Аналогичную картину можно наблюдать при сорбции образцами фосфат-ионов (рис. 3). Отличие состоит в том, что и спустя сутки, не наблюдается процесс десорбции.

Наиболее сильно сорбционная емкость увеличивается после обработки кислотами по отношению к нитрат-ионам (рис. 4).

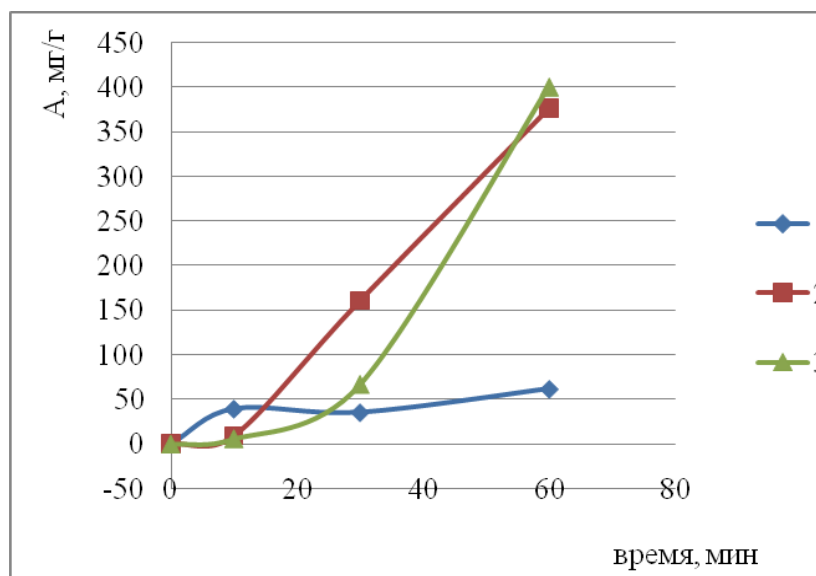


Рис. 3. Кинетические кривые сорбции фосфат-ионов: 1 – нативная глина; 2 – глина, обработанная 10 % HCl; 3 – глина, обработанная 10 % H₂SO₄.

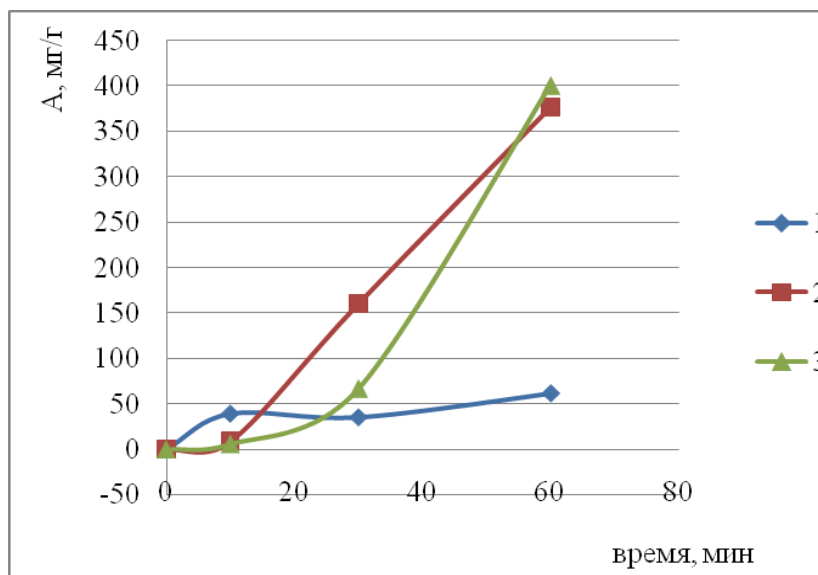


Рис. 4. Кинетические кривые сорбции нитрат-ионов: 1 – нативная глина; 2 – глина, обработанная 10 % HCl; 3 – глина, обработанная 10 % H₂SO₄.

Таким образом, на всех испытанных образцах наименьшая степень удаления ионов в условиях опыта достигнута при использовании нативной глины. Исключение составляет образец глины, обработанной фосфорной кислотой по отношению к ионам меди.

Кислотная обработка воздействует на структуру глины: происходит выщелачивание глины, изменение удельной поверхности. С увеличением концентрации кислот происходит значительное вытеснение катионов металлов, что приводит к снижению сорбционной активности образцов по отношению к ионам меди (уменьшается количество обменных центров), и к увеличению сорбционной активности по отношению к ионам NO₃⁻, NO₂⁻, PO₄³⁻ (сорбция которых протекает преимущественно по механизму физической сорбции).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Везенцев, А.И. Сорбционные свойства нативной, обогащенной и активированной глины месторождения Маслова Пристань Белгородской области по отношению к ионам хрома (III) / А. И. Везенцев, С. В. Королькова и др. // Сорбционные и хроматографические процессы. 2009. Т. 9. № 6. С. 830–834.
2. Марцин И.И. Регулирование адсорбционных свойств дисперстных минералов методом кислотной активации // Глины, глинистые минералы и их использование в народном хозяйстве. 1985. С. 147.
3. Соколов В.Н. Глинистые породы и их свойства // Соросовский образовательный журнал. 2000. Т. 6. № 9. С. 59–65.
4. Костин А.В. Изучение механизма сорбции ионов меди и свинца на бентонитовой глине [Текст] / А. В. Костин, Л. В. Мосталыгина, О. И. Бухтояров // Сорбционные и хроматографические процессы. 2011. Т. 12. № 6. С. 949–957.
5. Кормош Е.В. Модифицирование монтмориллонитсодержащих глин для комплексной сорбционной очистки сточных вод : автореф. дис. ...канд. техн. наук. Белгород, 2009. 184 с.

Сведения об авторе:

Сурков Максим Дмитриевич, студент, ВО ФГОУ «Южно-Уральский государственный университет», Россия, 454080, Челябинск, проспект Ленина 76; e-mail: surkov.maxim1471@yandex.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДОНА И РАДИЯ В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ

Томашова Л.А., Семенищев В.С.,

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет
им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия

Ключевые слова: подземные воды, питьевая вода, радон, радий, природная радиоактивность, родники, скважины, гамма-спектрометрия, альфа-спектрометрия.

Проведен анализ содержания ^{222}Rn в 12 родниках и 7 скважинах Екатеринбурга и Свердловской области, использующихся для питьевого водоснабжения населения. Активность проб воды измеряли на сцинтилляционном гамма-бета-спектрометре «Атомтех МКС-1315 АТ» по линии равновесного дочернего гамма-излучающего изотопа ^{214}Bi . Результаты показали, что из исследованных проб в 4 родниках и 3 скважинах обнаружено превышение уровня вмешательства по радону (60 Бк/л), при этом максимальная активность радона в воде достигала 402 Бк/л.

В 4 родниках и 4 скважинах Екатеринбурга и Свердловской области также был проведен анализ содержания ^{226}Ra и ^{224}Ra . Активность проб воды измеряли на альфа-спектрометре с полупроводниковым поверхностно-барьерным детектором Мультирад-АС и определяли активности ^{226}Ra и ^{224}Ra по пикам 4,7 МэВ и 5,7 МэВ соответственно. Результаты показали, что активности ^{226}Ra в исследованных источниках находится в пределах 0,5–30 мБк/л, активности ^{224}Ra в пределах 0,5 – 20 мБк/л, что не превышает установленные уровни вмешательства по радию (490 и 2100 мБк/л).

DETERMINATION OF RADON AND RADIUM IN NATURAL WATERS

Tomashova L.A., Semenishchev V.S.

Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Keywords: groundwater, drinking water, radon, radium, natural radioactivity, springs, wells, gamma-spectrometry, alpha-spectrometry.

Analysis of ^{222}Rn activity concentrations in drinking water sources (12 springs and 7 wells) of Ekaterinburg and Sverdlovsk Oblast was performed in 2016. Water samples activities was measured by a NaI(Tl) scintillation gamma beta spectrometer “Atomtech MKS-1315 AT” using the gamma peak of the equilibrium gamma-emitting daughter radionuclide ^{214}Bi . The results have shown that the radon activity concentrations exceeded the maximal allowed activity (60 Bq/L) in 4 springs and 3 wells; the maximal radon activity has been found to be as high as 402 Bq/L.

Activities of ^{226}Ra and ^{224}Ra were determined in water from 4 springs and 4 wells. Activities were measured by an alpha spectrometer with a multi/drive surface-barrier detector “Multirad-AS” using the peaks of 4.7 MeV and 5.7 MeV, respectively. The results have shown that the ^{226}Ra and ^{224}Ra activities varied from 0.5 to 30 mBq/L and 0.5 to 20 mBq/L, respectively, that does not exceed allowed level (490 and 2100 mBq/L).

Снабжение населения качественной питьевой водой – одна из самых актуальных экологических проблем XXI века. Несмотря на то, что Россия занимает второе место в мире по обеспеченности водными ресурсами, качество воды в промышленно развитых регионах и крупных мегаполисах является довольно низким вследствие как природного, так и техногенного загрязнения водных объектов. С точки зрения радиационной безопасности наиболее значимыми природными радионуклидами в природных водах являются радионуклиды рядов ^{238}U (^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{210}Pb , ^{210}Po) и ^{232}Th (^{228}Ra , ^{224}Ra); среди техногенных наиболее значимы ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{129}I , ^{239}Pu . Обычно радиоактивное загрязнение природных вод

природными радионуклидами существенно преобладает над загрязнением техногенными. В данной работе проведен анализ природных радионуклидов радона ^{222}Rn и радия ^{226}Ra и ^{224}Ra в пресных питьевых природных водах, используемых населением Свердловской области.

Для анализа содержания радона пробы воды объемом 1,5 л отбирали в герметичные емкости, после чего выдерживали в течение не менее 5 часов для установления радиоактивного равновесия радона с короткоживущими дочерними радионуклидами (^{218}Po , ^{218}At , ^{214}Pb и ^{214}Bi). Предварительно было рассчитано, что при выдержке пробы в течение трех часов достигается степень равновесия между радоном и продуктами распада более 99 %. Активность выдержанных проб измеряли на сцинтилляционном гамма-бета-спектрометре «Атомтех МКС-1315 АТ» по линии равновесного дочернего гамма-излучающего изотопа ^{214}Bi (энергия – 608 кэВ, выход гамма-квантов – 43 %) в стандартной геометрии Маринелли (1 л) непосредственно без пробоподготовки в течение 1800–4000 секунд. Результаты анализа радона представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты определения ^{222}Rn в природных водах, используемых населением Свердловской области для питьевых целей.

№ п/п	Место отбора	Дата отбора пробы	A ^{222}Rn , Бк/л
1	Скважина, Арамилы, Транспортный, 10	25.09.2016	291,9
2	Родник «Потопаевский ключик»	28.09.2016	145,0
3	Скважина Патруши, Строителей, 3	04.10.2016	360,2
4	Скважина, Патруши, Советская, 131	04.10.2016	79,5
5	Коллективная скважина, Патруши	04.10.2016	30,8
6	Родник, Миасская, 16	09.10.2016	6,9
7	Родник у плотины Нижнеисетского пруда	09.10.2016	8,5
8	Родник «Поющий»	13.10.2016	75,8
9	Родник «Парковый»	16.10.2016	63,9
10	Скважина, Патруши, Строителей, 3	18.10.2016	401,6
11	Колодец, сад «Поле чудес»	23.10.2016	1,6
12	Скважина, пос. Прохладный	24.10.2016	11,8
13	Родник «Пышминский»	25.10.2016	9,2
14	Родник «Чусовской»	01.11.2016	37,6
15	Родник «Европа-Азия»	01.11.2016	20,2
16	Родник «Московский»	01.11.2016	46,0
17	Родник «Серебряный»	01.11.2016	4,1
18	Родник «Памяти»	01.11.2016	87,1
19	Скважина в пос. Палкинский торфяник	01.11.2016	26,4
20	Родник Павловский	06.11.2016	171,9

Из 19 исследованных источников в 4 родниках и 3 скважинах обнаружено превышение уровня вмешательства по радону (60 Бк/л), установленного НРБ-99/2009. В среднем активность радона в таких источниках составляла от 70 до 150 Бк/л; при этом в одном из источников (скважина индивидуальная жилого дома, пос. Патруши, рис. 1) активность радона достигала 402 Бк/л, что является недопустимым с точки зрения ее использования в питьевых целях.

Также можно сделать вывод, что в питьевых подземных водах определяющим фактором радиационной опасности является загрязнение радоном и короткоживущими продуктами его распада. В то же время, вопреки распространенному мнению, ни в одной из проб воды не было обнаружено хоть сколько-то заметного содержания техногенных гамма-излучающих радионуклидов.

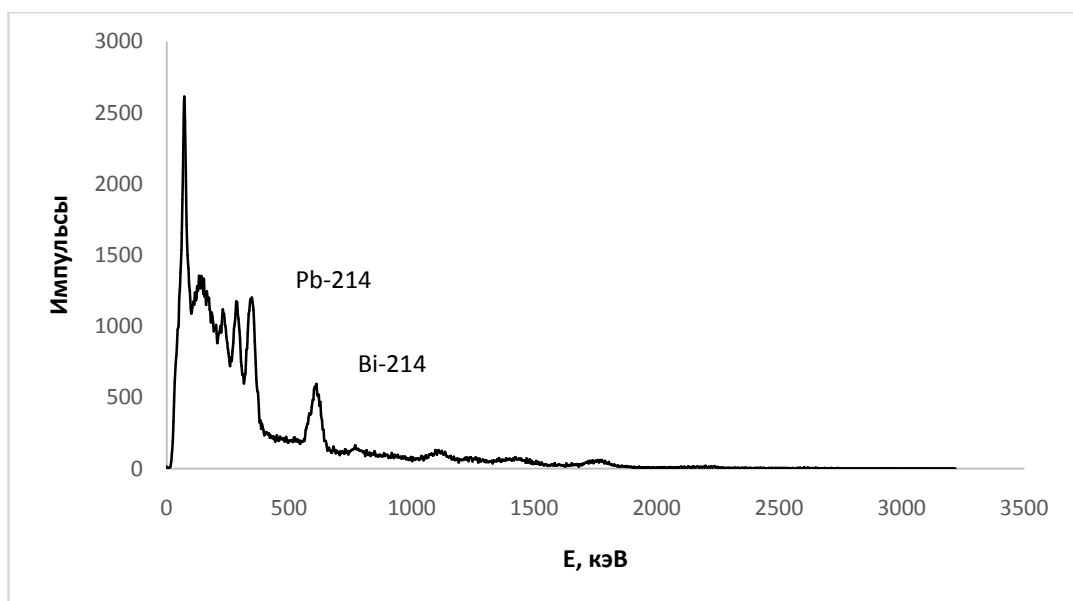


Рис. 1. α -спектр воды из индивидуальной скважины, пос. Патруши, ул. Строителей, 3.

Для анализа радия отбирали пробы воды объемом 5 л. Пробу пропускали через колонку с сорбентом марки Т-5 (гидратированный диоксид титана, производство «Термоксид») для концентрирования радия. Десорбцию радия осуществляли 1 М раствором HCl. Полученный элюат доводили раствором NaOH до pH = 6–6,5, после чего проводили сорбцию радия на пленке MnO₂–ТАЦ (тонкослойный диоксид марганца на пленке триацетатцеллюлозы, разработка кафедры РХиПЭ УрФУ) в течение, как минимум, 8 часов при перемешивании. Полученный источник радия измеряли на альфа-спектрометре с полупроводниковым поверхностно-барьерным детектором Мультирад-АС (НТИЦ «Амплитуда») и определяли активности ²²⁶Ra и ²²⁴Ra по пикам 4,7 МэВ и 5,7 МэВ соответственно. Химический выход радия в ходе анализа составил 68,3 %.

Всего было проанализировано 4 пробы воды из родников и 4 пробы воды из скважин в окрестностях г. Екатеринбурга. Результаты анализа радия представлены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты определения ²²⁶Ra и ²²⁴Ra в природных водах, используемых населением Свердловской области для питьевых целей.

№ п/п	Место отбора	Дата отбора	A ²²⁶ Ra, мБк/л	A ²²⁴ Ra, мБк/л
1	Скважина, Патруши, Строителей, 3	18.10.2016	29,3 ± 1,4	19,7 ± 0,7
2	Скважина, Патруши, Советская, 131	18.10.2016	9,3 ± 1,1	3,0 ± 0,23
3	Коллективная скважина, Патруши	18.10.2016	1,0 ± 0,3	14,4 ± 0,4
4	Скважина, Палкинский торфяник	02.11.2016	1,9 ± 0,4	0,5 ± 0,04
5	Родник «Европа-Азия»	02.11.2016	0,9 ± 0,2	10,5 ± 0,4
6	Родник «Московский»	02.11.2016	4,3 ± 0,9	5,8 ± 0,5
7	Родник «Памяти»	02.11.2016	0,5 ± 0,15	1,5 ± 0,1
8	Родник «Серебряный»	02.11.2016	1,9 ± 0,4	7,3 ± 0,3

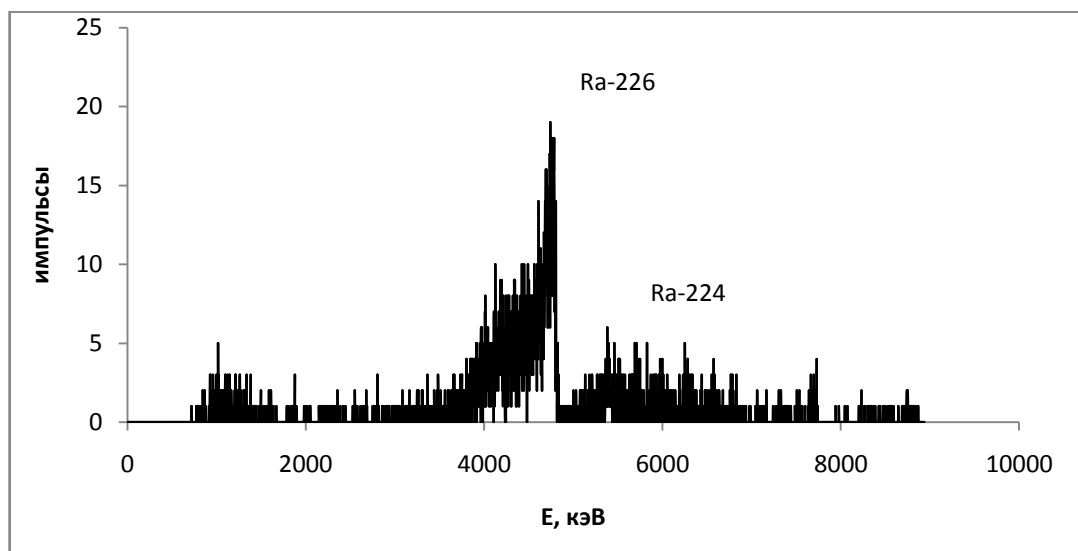


Рис. 2. α -спектр MnO_2 -ПЭТ воды из индивидуальной скважины, пос. Патруши, ул. Строителей, 3 (время измерения – 83000 с).

Результаты показали, что ни в одной из исследованных проб удельная активность ^{226}Ra и ^{224}Ra не превышает уровней вмешательства (490 мБк/л и 2100 мБк/л, соответственно), установленных НРБ-99/2009.

Таким образом, методом гамма-спектрометрии определено содержание радионуклидов в 19 питьевых источниках в г. Екатеринбурге и Свердловской области. Наибольшая опасность представлена радоном и продуктами его распада. Техногенных радионуклидов не было обнаружено ни в одной пробе. В 7 из 19 проанализированных источников обнаружено превышение уровня вмешательства по радону (60 Бк/л). В среднем активность радона в таких источниках составляла от 70 до 150 Бк/л; при этом в одном из источников (скважина индивидуальная жилого дома, пос. Патруши) активность радона достигала 402 Бк/л, что является недопустимым с точки зрения ее использования в питьевых целях.

Методом альфа-спектрометрии определено содержание ^{226}Ra и ^{224}Ra в 8 питьевых источниках в Екатеринбурге и Свердловской области. Обнаружено, что активности радия в исследованных источниках на порядок или несколько порядков ниже установленных уровней вмешательства (490 мБк/л для ^{226}Ra и 2100 мБк/л для ^{224}Ra).

Сведения об авторах:

Томашова Любовь Алексеевна, студент, кафедра радиохимии и прикладной экологии, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», Россия, 620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19; e-mail: tomashoval@yandex.ru

Семенишев Владимир Сергеевич, канд. хим. наук, доцент, кафедра радиохимии и прикладной экологии, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», Россия, 620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19; e-mail: vovius82@mail.ru

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОЙ МОДИФИКАЦИИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ПРИРОДНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ СОРБЕНТОВ

Хурамшина И.З., Федорова Л.В.

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет
им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия
cuprum.irina@mail.ru

Ключевые слова: природные минеральные сорбенты, модификация, извлечение меди, рентгенофазовый анализ, инфракрасная спектроскопия.

Проведено комплексное исследование влияния состава, структуры и фазовых изменений в процессе химической активации сорбентов на основе опал-кристобалитовых пород Сухоложского месторождения Свердловской области на их сорбционные и эксплуатационные свойства. Изучен химический и минеральный состав опоки. Выявлено, что процесс химического модифицирования опоки раствором хлористого натрия и гидроксида натрия проходит по поверхности кремнезема.

THE EFFECTS OF CHEMICAL MODIFICATION ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF NATURAL MINERAL SORBENTS

Khuramshina I.Z., Fedorova L.V.

Ural Federal University
Ekaterinburg, Russia
cuprum.irina@mail.ru

Key words: natural mineral sorbents, modification, extraction of copper, x-ray diffraction, infrared spectroscopy.

A comprehensive study of the influence of composition, structure and phase changes in the chemical activation process of sorbents based on opal-cristobalite rocks of the Sukhoi Log deposits in Sverdlovsk Oblast and of their sorption performance properties has been conducted. The flask chemical and mineral composition has been studied. It is revealed that the process of chemical modification of the flask with a solution of sodium chloride and sodium hydroxide takes place on the silica surface.

Применение сорбционного метода в сочетании с известными технологиями позволяет обеспечить высокий уровень очистки воды от широкого спектра примесей. Эффективное использование природных сорбентов требует разработки методов их модификации с целью повышения сорбционных и эксплуатационных характеристик, которые зависят от химического и минералогического состава, удельной поверхности, характера пористой структуры, прочностных и других характеристик [1–2].

В работе использован сорбент, полученный на основе опал-кристобалитовых пород Сухоложского месторождения Свердловской области. Для территории Урала данный материал является местным природным минеральным сорбентом, что обуславливает экономическую целесообразность его применения в процессах очистки воды.

Основу природного минерала данного месторождения представляют опоки. Опока является многокомпонентным минерально-породным образованием, представляющим собой равномерно распределенную по объему смесь породообразующих минералов: опалового кремнезема (50–90 %); глинистого материала (10–40 %) и обломочного материала (10 %). Основным породообразующим компонентом опоки является реакционно-активный

опаловый кремнезем ($n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$) в виде скрытокристаллических модификаций: α -кристобалита, α -тридимита и α -кварца [3].

К минералам глинистой составляющей опок относятся монтмориллонит, бейделлит, гидрослюда и каолинит. В составе перлитовой части опок часто присутствуют высококремнистые цеолиты: клиноптилолит, гейландит и глауконит [4].

Неотъемлемой составляющей минеральных пород является влага, которая может присутствовать в виде гигроскопической воды, адсорбированной поверхностью твердого вещества из окружающей его атмосферы (для опал-кристобалитовых пород ее содержание варьирует от 1,94 до 3,06 %) и связанной воды (4,48–5,19 %). Различают две формы связанной или стехиометрической воды: кристаллизационная, входящая в кристаллическую решетку вещества в виде молекул H_2O и конституционная вода, присутствующая в веществе в виде связанного протона или гидроксогруппы (в кремнеземистых породах она представлена в виде силанольных групп $\equiv\text{Si-OH}$) [5].

По микроструктурной характеристике опоки являются смешанно пористыми сорбентами преимущественно мелко и переходно-пористые.

Химическую модификацию опоки (сорбент АС) осуществляли методом пропитки растворами неорганических солей и оснований с последующим высушиванием при комнатной температуре. Методика модификации сорбентов представлена в работе [6]. Сорбенты, полученные в результате модификации, в зависимости от модифицирующего реагента, условно были обозначены следующим образом: ОН-форма АС (сорбент АС обработан гидроксидом натрия) и Na-форма АС (сорбент АС обработан хлоридом натрия).

С целью установления изменений, произошедших в структуре сорбентов под действием модифицирующих реагентов, применяли методы ИК спектроскопии, элементного анализа, рентгенографического фазового анализа.

Эксплуатационные показатели исследуемого материала (гранулометрический состав, плотность, пористость, измельчаемость, истираемость, механическая прочность, химическая стойкость) определены согласно ГОСТ Р 51641-2000. Материалы фильтрующие зернистые. Общие технические условия [7]. В процессе химической модификации указанные характеристики практически не изменились.

Элементный состав сорбентов определяли методом электронно-зондового рентгеноспектрального микроанализа (PCMA). Измерения – на рентгеновском энергодисперсионном спектрометре ARLQUANTX с использованием программы без эталонного определения всех элементов UnQuant. Содержание основных оксидов опоки представлено в таблице.

Таблица. Химический состав различных форм сорбента АС

Образец	Содержание (% масс.)									
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	K_2O	MgO	TiO_2	SO_3	Na_2O	$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$
Сорбент АС	85,59	8,62	2,2	1,38	0,926	0,5	0,285	0,236	–	9,9
ОН-форма АС	81,34	10,31	2,36	1,08	0,899	1,45	0,59	–	1,45	7,8
Na-форма АС	84,47	8,86	3,16	1,12	0,886	–	0,311	0,417	0,6	9,5

Как видно из представленных данных, содержание кремнезема (SiO_2) в природной опоке составляет 85,59 %. Суммарное содержание кремнезема складывается из трех составляющих: опаловый кремнезем, кремнезем, входящий в состав глинистых минералов и кремнезем, представленный терригенным кварцем. Содержание кремнезема в глинистых минералах определяется их видом и составляет в среднем по массе: в каолините 38,9 %, монтмориллоните 33,4 %, гидрослюдах 32–40 % и глауконите 45–58%, который часто

встречается в опоках. Содержание глинозема (Al_2O_3) в опоках предопределяется почти исключительно присутствием глинистых минералов. В исследуемом образце его содержится более 8,0 %. По содержанию Al_2O_3 можно судить о твердости опок и делать предварительные выводы об их технологических свойствах. Наряду с глиноземом глинистые минералы содержат оксиды калия, железа, магния, кальция и титана. Содержание в составе опоки оксида калия указывает на наличие минералов группы гидрослюд. Железо присутствует в связанном состоянии в структуре глинистых минералов в виде оксидов, гидроксидов и в небольшом количестве в виде сульфидов. Оксиды железа придают опокам темную окраску (красную, оранжевую, красно-коричневую). Присутствие оксида кальция в опоках обусловлено наличием карбонатов, прежде всего, кальцита (CaCO_3).

Для получения ИК спектров образцов сорбента использовали прибор VERTEX-70 фирмы «Bruker» с автоматической обработкой спектров. Спектры снимали в диапазоне волновых чисел $400\text{--}4000\text{ см}^{-1}$. В качестве способа пробоподготовки использовали метод смешивания исследуемого вещества с галогенидами щелочных металлов. Отнесение полос поглощения проводили в соответствии с литературными данными [8–9].

В ИК спектре исходного образца в области Si-O колебаний остова кремнезема ($250\text{--}1200\text{ см}^{-1}$) наблюдаются сильные полосы 1080 , 870 , 465 см^{-1} и более слабые полосы 720 , 670 , 620 см^{-1} , отвечающие колебаниям Si-O-Si и Si-O-Al связи в кремнекислородных тетраэдрах.

Поглощение протон содержащих компонентов (силанольных групп, молекул воды) наблюдается в области $1300\text{--}1900\text{ см}^{-1}$, $2200\text{--}2400\text{ см}^{-1}$ и $3000\text{--}4000\text{ см}^{-1}$. В области спектра $1900\text{--}1300\text{ см}^{-1}$ регистрируются полосы поглощения, характерные для деформационных колебаний молекул воды. Поглощения области $3800\text{--}3300\text{ см}^{-1}$ в исследуемом образце весьма незначительны. Частоты в данной области связаны с валентными колебаниями гидроксильных групп поверхности и адсорбированной воды.

Сравнение ИК спектров исходного сорбента и модифицированного образца (рис. 1), показывает, что при обработке сорбента раствором NaOH, затронуты области, связанные с колебаниями силикатного каркаса сорбента. Наблюдаются изменения связанные с увеличением интенсивности пиков, отвечающих валентным колебаниям связей Si-O-Al и Si-O-Si, без смещения полос поглощения, что вероятно связано с аморфизацией структуры, вызванное выносом структурного Al, разрывом связей Si-O-Al, изменением соотношения Si/Al и образованием более короткой Si-O-связи. В области $1300\text{--}1900\text{ см}^{-1}$ происходит усиление деформационных колебаний молекул воды. Появление пиков в этой области является следствием новой координации молекул воды с кристаллической решеткой минерала. В области $3000\text{--}3900\text{ см}^{-1}$ фиксируется слабые изменения. Произошедшие в структуре изменения согласуются с данными химического анализа (таблица).

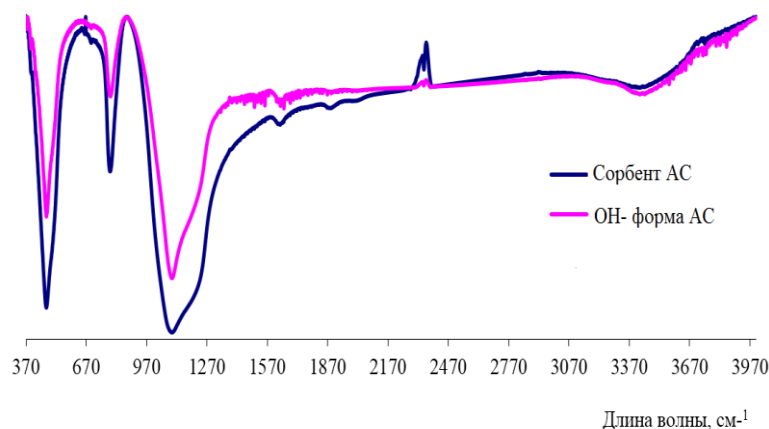
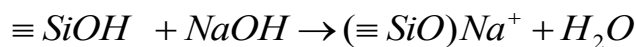


Рис. 1. ИК-спектр сорбента АС, обработанного раствором NaOH (ОН-форма АС).

При активации кремнистых соединений раствором NaOH происходит химическое взаимодействие щелочи с поверхностными группами структуры опок, сопровождающееся понижением содержания SiO₂ и показателя мольного соотношения SiO₂/Al₂O₃. Появление в модифицированном образце содержание натрия, связано с тем, что в процессе его щелочной обработки, вероятно, происходит насыщение исходного материала ионами Na⁺ по схеме:



На рис. 2 представлен ИК спектр образца сорбента, полученного после химической обработки сорбента АС раствором хлорида натрия.

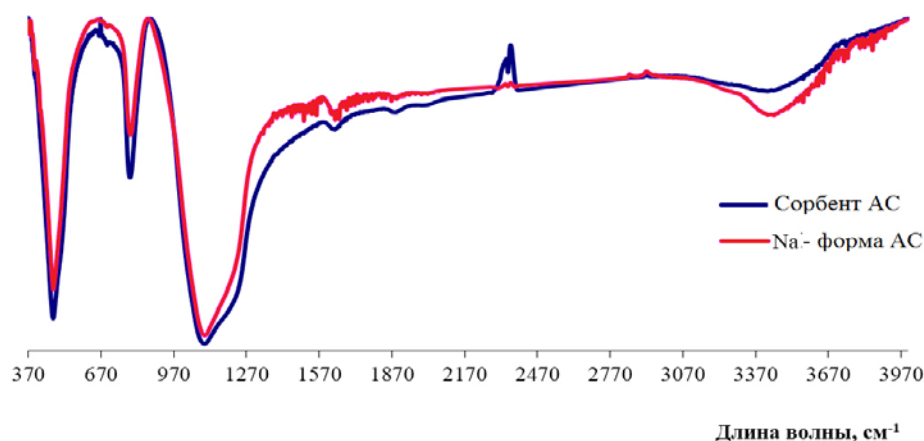
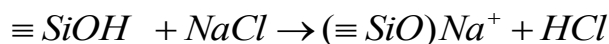


Рис. 2. ИК спектр сорбента АС, обработанного NaCl (Na-форма АС).

Сравнение ИК спектров исходного сорбента АС и модифицированных образцов, показало, что в образце сорбента, обработанного раствором хлористого натрия, наиболее интенсивные изменения проявляются в области поглощения протонсодержащих компонентов (силанольных групп, молекул воды). Отчетливо видно уменьшение интенсивности полос поглощения в области 1300–1900 см⁻¹, 3200–3700 см⁻¹. Полученные результаты также согласуются с данными химического анализа (таблица). Следовательно, процесс химического модифицирования опоки раствором хлористого натрия проходит по поверхности кремнезема. Закрепление соединений модификатора (NaCl) обусловлено преимущественно наличием на поверхности сорбента силанольных групп $\equiv Si-OH$.

При обработке природного АС раствором хлористого натрия, возможно замещение протона силанольной группы на катион активного металла (Na⁺) по схеме:



Наряду с этим катионы соли могут вытеснить не только обменные, но и структурные ионы (алюминия, железа, магния), расположенные в октаэдрических позициях минерала и занять их места. Вследствие чего возникает избыточный отрицательный заряд поверхности кристаллической решетки. Одновременно с этим возможна поверхностная сорбция катионов Na⁺ отрицательно заряженными структурными элементами минерала.

По данным рентгенографического фазового анализа (рис. 3), изменений в кристаллической структуре и в фазовом составе опоки не наблюдается. Исходя из представленных данных, можно заключить, что химическая обработка опоки растворами гидроксида натрия и хлорида натрия прошла только по поверхности, модификатор не внедрился в каркас сорбента.

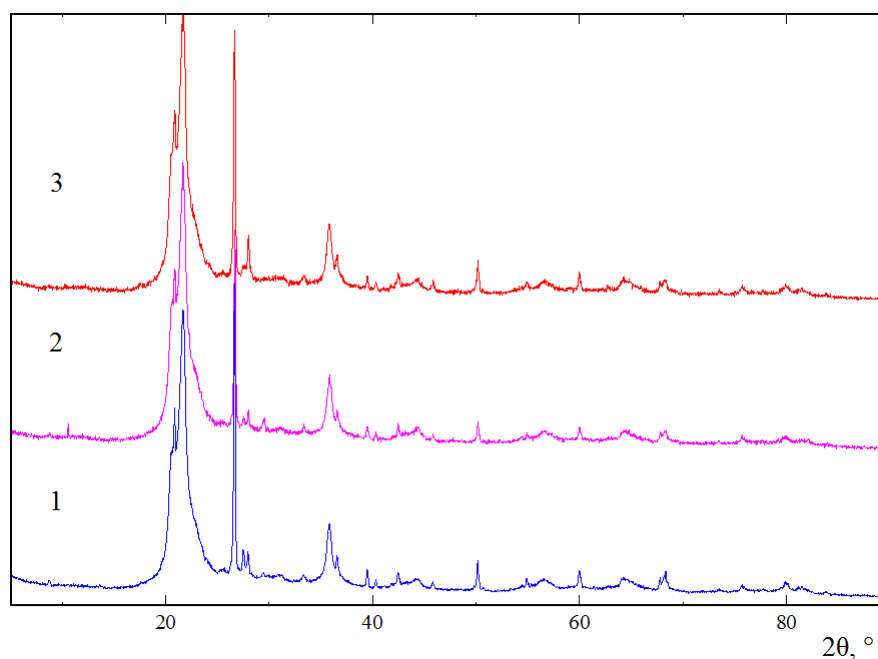


Рис. 3. Рентгенограмма образцов: 1 – сорбент АС;
2 – Na-форма АС; 3 – ОН-форма АС.

Таким образом, в результате солевой и щелочной обработки природного сорбента происходит его насыщение ионами натрия, которые в процессе сорбции могут переходить в водные растворы, обмениваясь на катионы металлов, что, вероятно, связано с образованием структурных элементов на поверхности минерала.

Серия экспериментов по извлечению меди (Cu^{2+}) из модельных растворов в статических и динамических условиях изучена на природном сорбенте и его модифицированных формах. Условия эксперимента, методика проведения, полученные результаты и расчеты подробно представлены в работах [10–11]. Результаты проведенных исследований показали, что солевая и щелочная обработка природного минерала увеличивает число активных обменных центров, $\equiv\text{Si}-\text{O}-\text{Na}$ отвечающих за сорбцию ионов тяжелых металлов из водных растворов.

В ходе исследований выявлено, что процесс химического модифицирования опоки раствором хлористого натрия и гидроксида натрия проходит по поверхности кремнезема. Закрепление соединений модификатора обусловлено преимущественно наличием на поверхности сорбента силанольных групп $\equiv\text{Si}-\text{OH}$. Предложен возможный механизм сорбции ионов меди (II) из водных растворов полученными сорбентами. Полученные результаты могут быть использованы для разработки эффективных технологических схем сорбционной очистки сточных вод от ионов меди (II) с применением относительно недорогих природных сорбентов местного происхождения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Большаков А.А., Вялкова Е.И.* Природные минералы Тюменской области: свойства и перспективы использования в процессах очистки воды. *СПб.: Недра.* 2005. 128 с.
2. *Комаров В.С.* Адсорбенты: получение, структура, свойства. *Минск: Белорус. наука.* 2009. 256с.
3. *Дистанов У.Г.* Минеральное сырье. Опал-кристобалитовые породы: справочник. М.: Геоинформарк, 1998. 27 с.

4. Практическое руководство по общей геологии: учебное пособие для студ. вузов. А.И. Гуцин
5. Шишелова Т.И., Созинова Т.В., Коновалова А.Н. Практикум по спектроскопии. Вода в минералах. Академия естествознания. 2010. 80 с.
6. Хураמיшина И.З., Никифоров А.Ф., Кутергин А.С., Попов А.Н., Рыбаков Ю.С. Кинетика сорбции меди (Cu^{2+}) из водных систем модифицированными алюмосиликатами // Водное хозяйство России. 2012. № 3. С. 99–110.
7. Эффективные сорбенты и загрузки для водоочистных сооружений. Режим доступа: <http://alsis-ur.ru/>.
8. Киселев А.В., Лыгин В.И. Инфракрасные спектры поверхностных соединений и адсорбированных веществ. М.: Наука, 1972. 459 с.
9. Плюснина И.И. Инфракрасные спектры силикатов. М.: МГУ, 1967. 190 с.
10. Сорбция меди II из водных систем модифицированными алюмосиликатами в статических условиях // Водное хозяйство России. 2012. № 5. С. 94–101.
11. Сорбция меди модифицированными алюмосиликатами в динамических условиях // Водное хозяйство России. 2015. № 2. С.90–99.

Сведения об авторе:

Хураמיшина Ирина Зинуровна, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», 620002, Россия, Екатеринбург, ул. Мира 17; e-mail: surgum.irina@mail.ru