



Стратегирование авангардных физико-химических и биологических технологий для очистки воды в Кузбассе (технологический аспект)*

С.Н. Ткаченко¹, И.С. Ткаченко^{1,3}, Л.А. Грибелюк^{1,2,3}, Е.Б. Силинина⁴

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Центр стратегических исследований Института математических исследований сложных систем, 119992, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 46

² ООО «ЦПИО», 117342, Москва, ул. Бутлерова, д. 17-б

³ ООО Научно-внедренческая фирма «Тимис», 117574, Москва, ул. Вильнюсская, д. 4, оф. 328

⁴ Министерство промышленности Кузбасса, 650064, Кемерово, Советский просп., д. 63

Аннотация. В работе на примере Кузбасса рассматривается стратегический подход и методология выбора и внедрения авангардных (перспективных) физико-химических и биологических технологий для водоочистных сооружений, а также требования которые должны предъявляться очистке и обеззараживанию питьевой и сточной воды в современных условиях, характеризующихся повышенными антропогенными нагрузками с учетом контроля ряда новых типов опасных загрязнений, системный анализ присутствия которых в водных источниках до и после их очистки в настоящее время не предусмотрен. Исследуется взаимосвязь прогнозирования, стратегирования, целевого программирования, проектного управления планированием и реализацией приоритета внедрения авангардных физико-химических и биологических технологий для очистки воды на объектах систем водоснабжения и водоотведения. В рамках стратегического исследования приведен обзор перспективных направлений развития авангардных физико-химических и биологических технологий и примеры их технической реализации, позволяющие осуществить исследуемый приоритет стратегии в рамках контура приоритетов «Стратегия развития систем жизнеобеспечения (водоснабжения и водоотведения)». Водоканалы как трансляторы «зеленой экономики». В статье рассматриваются уровни контроля качества воды, а также общие подходы при создании районных центров контроля качества воды и применении он-лайн контроля качества воды. Приводятся основные конкурентные преимущества Кемеровской области для осуществления приоритета. Стратегирование внедрения авангардных физико-химических и биологических технологий позволит реализовывать долгосрочные целевые программы в сфере водоснабжения и водоотведения сроком до 15 лет с целью улучшения работы объектов водной отрасли.

Ключевые слова: стратегирование, водоподготовка, водоотведение, водозабор, физико-химические технологии, биологические технологии, контроль качества

Для цитирования: Ткаченко С.Н., Ткаченко И.С., Грибелюк Л.А., Силинина Е.Б. Стратегирование авангардных физико-химических и биологических технологий для очистки воды в Кузбассе (технологический аспект). *Экономика в промышленности*. 2020. Т. 13. № 3. С. 375–388. DOI: 10.17073/2072-1633-2020-3-375-388

Strategizing of vanguard physicochemical and biological technologies for water treatment in Kuzbass (technological aspect)

S.N. Tkachenko¹, I.S. Tkachenko^{1,3}, L.A. Gribelyuk^{1,2,3}, E.B. Silinina⁴

¹ Strategic Research Center of Lomonosov Moscow State University, 1-46 Leninskie Gory, Moscow 119992, Russia

² LLC «PIO», 17-b Butlerova Str., Moscow 117342, Russia

³ LLC R&D Company Timis, 4 Vilniusskay Str., Moscow 117574, Russia

⁴ Ministry of Industry of Kuzbass, 63 Sovetskiy Prospect, Kemerovo 650064, Russia

* Некоторые технологии, описываемые в данной работе, разработаны лично авторами в рамках госзадания «Катализ и физикохимия поверхности», АААА-А16-116092810057-8.

Abstract. The authors use Kuzbass as the example to study strategic approach and methodology of choosing and implementing vanguard (perspective) physicochemical and biological technologies for water treatment plants. They also examine the requirements for purification and disinfection of drinking and waste waters under present conditions characterized by increased anthropogenic loads. These procedures should be carried out with controlling a number of new types of dangerous contaminants. Currently there is no provision for systematic analysis of their presence in water sources before and after their treatment. The authors study the interrelation between forecasting, strategizing, target programming, project management of planning and realization of the priority of implementation of vanguard physicochemical and biological technologies of vanguard physicochemical and biological technologies for water treatment at the water supply and drainage utilities. In the strategic study the authors adduce the overview of perspective trends of development of vanguard physicochemical and biological technologies and the examples of their technical realization which allow fulfilling the strategy's priority under study within the set of priorities "Development strategy of life supply systems (water supply and water waste). Water utilities as "green economy" translators". The article studies the levels of water quality control as well as common approaches to building regional water quality control centres and implementing online water quality control. The authors adduce the main competitive advantages that the Kemerovo region possesses to fulfill the priority. Strategizing of the implementation of vanguard physicochemical and biological technologies will provide the opportunity for realizing long-term (up to 15 years long) target programs in water supply and drainage areas in order to improve the performance of water industry.

Keywords: strategizing, water treatment, drainage, water intake, physicochemical technologies, biological technologies, quality control

For citation: Tkachenko S.N., Tkachenko I.S., Gribelyuk, L.A. Silinina E.B. Strategizing of vanguard physicochemical and biological technologies for water treatment in Kuzbass (technological aspect). *Ekonomika v promyshlennosti = Russian Journal of Industrial Economics*. 2020. Vol. 13. No. 3. Pp. 375–388. (In Russ.). DOI: 10.17073/2072-1633-2020-3-375-388

库兹巴斯用于水净化的先进理化和生物技术的战略规划（技术方面）

特卡琴科C.N.¹, 特卡琴科I.S.^{1,3}, 格里贝鲁克L.A.^{1,2,3}, 西里尼娜E.B.^{1,2,3}

¹. 莫斯科罗蒙诺索夫国立大学战略研究中心, 119992, 莫斯科, 列宁山1号, 3栋和45栋

². 工程设备设计中心有限责任公司, 117342, 莫斯科, 布特列罗娃大街17-b号

³. “提米斯” 研究与开发有限责任公司, 莫斯科, 维尔纽斯卡亚大街4号, 328号办公室

简评. 该工作以库兹巴斯为例, 研究了为水净化设施选择和引进先进的 (有前途的) 理化和生物技术的战略方法和途径, 以及研究了在现代条件下, 由于人类活动而形成的负荷增加, 应对饮用水及废水处理和消毒提出新的要求, 并考虑到控制许多新型有害污染物等问题, 目前尚无系统分析这些污染物在处理前后在水源中存在的情况。本文研究了预测 战略规划 目标设计以及计划和实施引进先进的理化和生物技术以改善供水和排水设施的优先事项的项目管理的相互关系。在战略研究框架内, 概述了前卫的理化和生物技术发展的最有前途的方向及其技术实施的实例, 这使得有可能在《发展生命支持系统 (供水和排水), 上下水道是 “绿色经济” 的转换器》战略优先事项框架内实现所研究的优先事项。本文讨论了水质控制的级别, 以及建立地区水质控制中心和使用在线水质监督的一般方法。列出了克麦罗沃地区实施优先事项的主要竞争优势。引进先进的理化和生物技术的战略规划将使供水和排水领域的长期专项计划实施长达15年, 目的是改善水工业设施的运营。

关键词: 战略规划, 水处理, 排水, 水源地, 理化技术, 生物技术, 质量控制

Введение

Традиционные общие подходы к очистке основных типов загрязнений воды приведены в нормативах и методиках [1–3]. Однако получение воды высокого качества из подземных и поверхностных источников при существующей антропогенной нагрузке требует нового технологического уровня для ее качественной очистки. Все большее количество новых или ранее не контролируемых надзорными органами токсичных соединений и генетически-модифицированных микроорганизмов попадают в водные объекты, в том числе, используемые для получения питьевой воды. В 21 веке к этому списку, как ожидается, добавится целый ряд соединений, широко применяемых в агропромышленном комплексе и фармакологическом производстве, в основном это – антибиотики, гормоны, ксенобиотики (в том числе, фосфорорганические соединения), микропластик и ряд других, а также патогенная микрофлора, системный анализ присутствия которых в водных источниках до и после их очистки пока не предусмотрен. Природное состояние качества подземных вод Кузбасса приведено в Докладе о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области в 2018 г. Департамента природных ресурсов и экологии Кемеровской области.

Таким образом, решение проблем, связанных с получением чистой питьевой воды в Кузбассе с помощью авангардных технологий, контролем ее качества с учетом появления в воде возможных новых опасных веществ и патогенов, как на станциях очистки [4], так и непосредственно на месте индивидуального потребления, является особенно актуальным. Однако существует множество бюрократических барьеров на пути внедрения авангардных технологий. Например, существующие на текущий момент государственные законодательные и технические нормативы применительно к водной отрасли требуют получения разрешения на строительство, на применение новой технологии в Роспотребнадзоре, иногда согласование в Ростехнадзоре и других контролирующих органах. Без нормативов и их применения водная отрасль, безусловно, существовать не может, но при этом они могут замедлять внедрение новых технологий и материалов, скорость возникновения которых постоянно увеличивается.

Для ускорения принятия решений по применению новых технологий необходимо разрабатывать стратегический приоритет их внедрения в рамках стратегии водной отрасли в кон-

туре приоритетов «Стратегия развития систем жизнеобеспечения (водоснабжения и водоотведения). Водоканалы как трансляторы «зеленой экономики». Ниже, на примере Кузбасса, рассматриваются стратегические перспективы и методология стратегирования внедрения авангардных физико-химических и биологических технологий на объектах систем водоснабжения и водоотведения.

Метод

Взаимосвязь стратегирования, целевого программирования, проектного управления для реализации авангардных физико-химических и биологических технологий для очистки воды в рамках методологии, предложенной в работах [5–7] приведена на блок – схеме, **рис. 1**. При этом, более подробно блок №3 схемы, как методический инструмент для внедрения авангардных физико-химических и биологических технологий на объектах систем водоснабжения и водоотведения, исследуется в разделе «Результаты и обсуждение».

Стратегирование внедрения авангардных физико-химических и биологических технологий для очистки воды в Кузбассе определяется следующими целями и задачами, реализующими данный приоритет.

Цель № 1. Обеспечение населения питьевой водой безопасной в санитарно-эпидемиологическом отношении и удовлетворяющей гигиеническим требованиям к качеству воды централизованных и нецентрализованных систем питьевого водоснабжения. Повышение качества обслуживания потребителей, увеличение надежности и бесперебойности работы систем водоснабжения.

Цель № 2. Обеспечение снижения негативной нагрузки на окружающую среду и здоровье людей, вызванной сбросом неочищенных сточных вод в водные объекты региона, путем совершенствования системы водоотведения.

Задачи цели № 1. Внедрение новых технологий по очистке воды и обработке осадков; строительство и модернизация водопроводных сооружений; совершенствование системы управления сетями водоснабжения; совершенствование систем мониторинга контроля качества и количества воды по принципу: от источника к абоненту; автоматизация технологических процессов.

Задачи цели № 2. Внедрение новых технологий по очистке сточных вод и обработке осадков; увеличение доли абонентов, подключаемых к централизованным системам водоотведе-



Рис. 1. Взаимосвязь прогнозирования, стратегирования, целевого программирования, проектного управления планированием и реализацией авангардных физико-химических и биологических технологий для очистки воды

[Interrelation between forecasting, strategy, targeted programming, project management for planning and implementation of avant-garde physical-chemical and biological technologies for water treatment]

ния; улучшение качества очистки сточных вод на локальных очистных сооружениях (ЛОС) промпредприятий перед их сбросом в централизованные системы водоотведения; строительство и модернизация системы водоотведения поверхностных сточных вод; совершенствование сетей водоотведения; совершенствование систем мониторинга контроля качества сточных вод на всех этапах ее транспортировки, очистки и сброса в водные объекты; автоматизация технологических процессов.

Результаты и обсуждение

Стратегирование внедрения авангардных физико-химических и биологических технологий на объектах систем водоснабжения и водоотведения согласно целевым программам. Для стратегирования внедрения авангардных физико-химических и биологических технологий на объектах систем водоснабжения и водоотведения, согласно целевым программам, необходим порядок реализации внедрения приоритета, включающий в себя: разработанную и утвержденную проектно-сметную документацию, оценку финансовых, трудовых, производственных, природных ресурсов. Порядок стратегирования внедрения авангардных физико-химических и биологических технологий на объектах систем водоснабжения и водоотведения представлен на блок-схеме, **рис. 2.**

Для выполнения проектно-сметной документации необходимо провести предпроектные работы, включающие в себя: выдачу технических заданий и условий на объекты проектирования приоритета с учетом существующих ГОСТ и нормативов, законов, а также разработку НИОКР и проведение инструментального обследования объектов проектирования. В объем технических заданий на объекты проектирования систем водоснабжения и водоотведения, реализуемым согласно целевым программам стратегии включаются: выполнение инженерных изысканий, сбор исходных данных (в том числе исходно-разрешительная документация), осуществление визуальных обследований. Проведение НИОКР необходимо для: опробования новых технологий и оборудования, согласования результатов исследований с контролирующими органами и выдачи рекомендаций для разработки технологических решений, входящих в состав проектно-сметной документации. Как пример, на основе городской целевой программы от 20 февраля 2004 г. «Строительство озono-сорбционных блоков на водопроводных станциях МГП «Мосводоканал» и Постановления Правительства Москвы от 14 марта 2006 года № 176-ПП, построены 4 блока водоподготовки с применением новых озono-сорбционных и мембранных технологий в период с 2006 по 2017 гг. (сейчас идет подготовка к строительству еще 2ух блоков в г.



Рис. 2. Блок-схема механизма стратегирования внедрения авангардных физико-химических и биологических технологий на объектах систем водоснабжения и водоотведения согласно целевым программам [Flowchart of the mechanism for strategic implementation of avant-garde physical-chemical and biological technologies at water supply and sanitation facilities according to target programs]

Москве). Внедрение [8-10] озono-сорбционных технологий российской разработки происходило, в том числе, на основании распоряжений Правительства Москвы: от 21 ноября 2001 г. № 376-РП «О разработке опытно-промышленного образца озонаторной установки большой производительности для систем централизованного водоснабжения»; от 8 августа 2000 г. № 787-РП «Об организации производства отечественных озонаторных установок большой производительности для систем централизованного водоснабжения»; от 2 сентября 2004 г. № 1763-РП «Об организации промышленного производства озонаторных установок большой производительности».

Перспективные направления развития авангардных физико-химических и биологических технологий и примеры их технической реализации, позволяющие осуществить исследуемый приоритет стратегии.

1. Перспективные и современные физико-химические методы очистки питьевой воды для решения задач цели № 1

Окислительные и фотохимические методы. В настоящее время среди различных методов очистки и обеззараживания питьевой воды, наиболее перспективным направлением считается физико-химический [11], являющийся составной частью комплекса технологических решений по очистке воды. Например, окислительно-фотохимические процессы, включающие методы одновременного воздействия УФ-излучения и окислителей (озона, перекиси водорода, гипохлорита натрия, воздуха, перманганата калия и других), каталитическое окисление, сорбция на различных адсорбентах, ионный обмен на реагентах нового типа, мембранные методы. Озono-сорбция [12] обеспечивает значительное снижение цветности и мутности питьевой воды, ее дезодорацию и дезинфекцию, очистку от широкого спектра органических веществ и железа, марганца и ряда других металлов до нормативных значений.

Коагуляция и флокуляция. В настоящее время в Кузбассе успешно эксплуатируются станции водоподготовки, на которых вне-



Рис. 3. Сравнение эффективности устранения фармакологических загрязнений при биологической очистке и в сочетании с озонированием
[Comparison of pharmacological contamination elimination efficiency for biological water treatment and its combination with ozonation]

дрены новые технологические решения. Так, например, в г. Кемерово на насосно-фильтровальной станции НФС-2 производительностью 200 тыс. м³/сут. для очистки речной воды предусмотрены современные виды реагентов: коагулянт – оксихлорид алюминия (ОХА) и флокулянт – «Praestol 650TR», что позволило: снизить удельный расход коагулянта; уменьшить до нормативных значений величину остаточного алюминия; улучшить процесс коагуляции при низких температурах воды (зимний период). Применение на больших водопроводных станциях Кузбасса метода обеззараживания с применением УФ-облучения, хлораммонизации благотворно влияет на органолептические показатели воды, увеличивает продолжительность бактерицидного воздействия связанного хлора, снижает расход хлора и уменьшает количество лимитированных канцерогенных хлорорганических соединений (хлороформ, четырёххлористый углерод, три- и тетра-хлорэтилен [13] и так далее). Очистка подземных вод в Кузбассе, в которых, в основном, превышены значения сероводорода, железа и марганца в настоящее время осуществляется по схеме с упрощённой аэрацией и с дальнейшим фильтрованием на загрузке из альбитофира (станция обезжелезивания в Кедровке), либо с упрощённой аэрацией и двухступенчатым фильтрованием на дробленых горных породах и активированном угле (Ягуновский водозабор).

Реагентная обработка. Указанные выше способы очистки воды пригодны для применения при низких значениях перманганатной окисляемости, жёсткости, щелочности и цветности воды. При их высоких концентрациях и низкой температуре вод, необходимо при-

менение реагентной обработки. В работе [14] авторами предлагается метод, где в исходную воду осуществляется дозировка пероксида водорода (H₂O₂) перед вводом перманганата калия (KMnO₄) в избытке к его стехиометрическому количеству для окисления двухвалентного железа, а затем фильтрование на загрузке из кварцевого песка/ альбитофира/горелых пород. Также для очистки от железа может применяться технология озонирования.

АОР-технологии очистки питьевой и сточной воды.

Анализ работ по очистке сточных вод за последние 10 лет показывает, что здесь существует вполне определенное приоритетное направление технологических исследований: снижение до требуемого уровня концентраций микрозагрязнителей, в первую очередь, связанных с фармакологической промышленностью, сельским хозяйством и медициной – бета-блокаторов, гормонов, ростковых веществ, лекарственных веществ, пестицидов, микропластика. Причина этого очевидна – именно такие загрязнители могут влиять на здоровье людей и животных, несмотря на их малые количества в воде. Известно, что озонирование [15] позволяет создавать степень очистки вод по многим загрязнениям такого типа от 80 до 100 %, **рис. 3.**

Однако не всегда применение только озонирования приводит к достаточной очистке воды, и поэтому требуется применять авангардные (передовые) окислительные технологии для достижения положительных результатов. Также передовые окислительные технологии [16, 17] (АОР-технологии, **рис. 4**), в которых существенную роль играют ОН* радикалы и

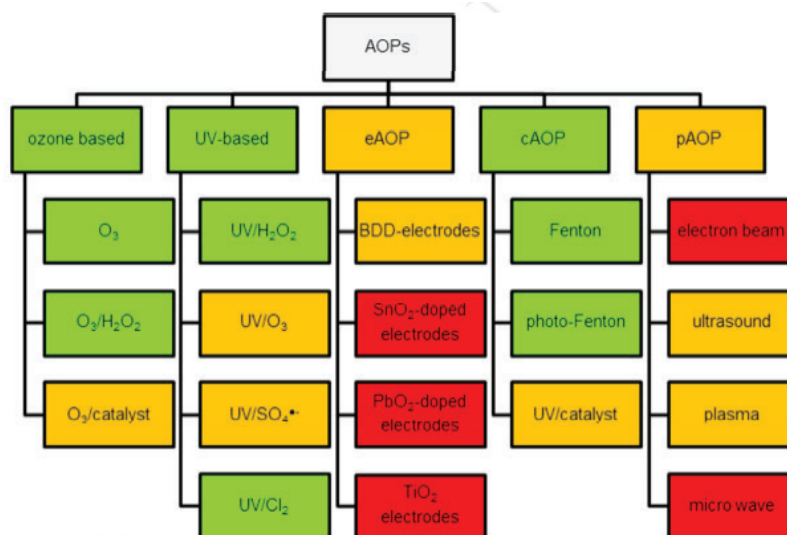


Рис. 4. Основные виды АОР-технологий
[Main types of AOP-technologies]

сорбция, весьма эффективны для очистки воды, содержащей «тяжелые» загрязнения и микрополлютанты. Применение АОР-технологий соответствует 12 принципам [18] «зеленой» химии и следует концепции «зеленой» экономики. Эти технологии постоянно развиваются, становятся более энергоэффективными, а их капитальная и операционная стоимость применения имеет тренд к снижению.

Технологические схемы очистки поверхностных и подземных питьевых вод. Очистка поверхностных и подземных вод может осуществляться по разным технологическим схемам: одноступенчатой, двухступенчатой – с использованием отстойников, скорых фильтров и обеззараживания; модернизированной двухступенчатой – с применением предварительного озонирования, осветления в отстойниках с тонкослойными модулями, дальнейшего фильтрования на скорых фильтрах, с загрузкой из кварцевого песка, антрацита, активированного угля, применения мембран различного типа, систем обеззараживания с помощью УФ облучения и/или озонирования, гипохлорита натрия и хлораммонизации, системы повторного использования промывной воды; трёхступенчатой системой очистки – с предварительным отстаиванием воды в накопителях (горизонтальных, радиальных отстойниках), фильтрованием и обеззараживанием (для высокоомутных вод). Вода для питьевых целей с низкой минерализацией должна оцениваться с учетом необходимости кондиционирования ее минералами (кальций, магний).

При реконструкции действующих сооружений необходимо максимально применять блокировку сооружений, например, состоящих из гидравлической камеры, камер коагуляций, флокуляций и отстойников со встроенными тонкослойными модулями. Это снизит затраты на теплоснабжение зданий, уменьшит количество внутристанционных коммуникаций. Наряду с коагулянтом – оксихлоридом алюминия (ОХА), следует рассмотреть коагулянт – сернокислый алюминий, эффективно применяемый для осветления и обесцвечивания природных вод с температурой не ниже 8–10 °С. Такой тип коагулянта, а также другие реагенты для очистки воды необходимо производить по месту использования, в Кузбассе. С учетом возможности возникновения техногенных катастроф в поверхностных источниках водоснабжения – р. Томь и других, рекомендуется осуществлять дозирование в обрабатываемую воду из поверхностных источников (в экстренных случаях) порошкообразного активированного угля, предназначенного для сорбции органических соединений и дезодорации воды. Данное решение активно и успешно применяется в водоканалах городов Вологды, Якутска и ряда других.

2. Перспективные и современные биологические методы очистки сточной воды для решения задач цели № 2

Неочищенные сточные воды в Кузбассе оказывают негативное влияние на подземные водоносные горизонты и поверхностные водотоки, тем самым делая их непригодными для питьевого водоснабжения или увеличи-

вая стоимость водоподготовки для очистки от азотсодержащих, органических соединений, фосфатов, фосфора и других элементов. Для устранения этих угроз предлагаются следующие подходы.

Внедрение новых технологических решений для канализационных очистных сооружений.

Реконструкция и строительство систем водоотведения. Главные показатели эффективной работы очистных сооружений хозяйственно-бытовых стоков – это биологическое потребление кислорода (БПК), взвешенные вещества, азот и фосфор, водородный показатель, температура. Технология очистных сооружений Кузбасса основана, большей частью, на *механической и биологической очистке, обеззараживании сточных вод, обработке осадков.* Удаление специфических промышленных загрязнений (различных металлов, нефтепродуктов, фенолов, микрополлютантов и так далее) чаще всего технологическим процессом не предусматривается.

В наиболее загрязненных локациях области необходимо предусмотреть строительство станций глубокой очистки сточных вод на основе авангардных технологий, которые предусматривают удаление из воды микрополлютантов (например, антибиотиков, бета-блокаторов, гормонов, пестицидов и других), а также ряда тяжелых металлов. Существующие технологии с использованием озона и специальных биофильтров позволяют [19] удалять широкий спектр микрозагрязнителей. Озонирование также эффективно применяется для очистки воды от цианидов, в том числе при добыче золота [20]. В последнее время озон активно применяется для очистки сточных вод [21], например, на АО «Невинномысский Азот» (в составе АО МХК «Еврохим», Невинномысск, Россия), станции «Sophia Antipolis Wastewater Facility» (пригород г. Ниццы, Франция) [19] и других.

Ниже представлено краткое описание возможных технологий для очистных сооружений. Для канализационных очистных сооружений представляют интерес технологические решения, приведенные ниже в качестве примеров, активно применяемые при разработках проектной документации (при этом возможно использование не менее эффективных и сопоставимых по цене аналогов этих технологий). Более подробные сведения о технологиях представлены в книге [22].

Очистка стоков с применением природных материалов в комплексе с фитотехнологией

эффективных микроорганизмов. ЭМ – фитотехнология глубокой очистки и восстановления природных свойств воды основана на очистке стоков высшими водными растениями, ЭМ-энзимами и специальными суспензиями. Основные преимущества данной инновации – синергетический подход с использованием целого ряда взаимoadaptированных технологий водоподготовки и глубокой очистки воды с применением высших водных растений (ВВР).

Технологические решения очистки стоков с использованием ламинарных биологических реакторов (ЛБР). Преимущества использования данной технологии заключается в применении последовательных 6 ступеней биореакторов, которые обеспечивают эффективную пространственную сукцессию микроорганизмов. При этом активный ил иммобилизован на бионесителе, что обеспечивает: большую концентрацию активного ила за счет снижения его выноса; большее время жизни активного ила; большую устойчивость активного ила к воздействию химически агрессивных загрязнений; возможность быстрой перестройки технологической цепи или изменения параметров оборудования. Использование метода СВЧ-обеззараживания осадка позволяет обеспечить обеззараживание всех видов отходов.

Кавитационно-ферментная обработка стоков. Данная технология отличается рядом новаторских высокоэффективных технологических решений: использованием кавитации низкой интенсивности для обеззараживания и дегельминтизации сточных вод и илового осадка; ускорением и повышением эффективности биологической очистки в условиях высокого компактного насыщения биологических реакторов.

Технические решения по очистке стоков с использованием технологии SBR (реактор периодического действия). Основные преимущества данного типа станции очистки сточных вод основаны на принципе цикличности реактора при котором осуществляются следующие фазы очистки: аэрация (периодическая/непрерывная), седиментация, удаление очищенной воды, избыточного ила, обеззараживание – с помощью УФ установок или озонирования.

Очистка воздуха на канализационных очистных сооружениях. Для решения данной проблемы существует два подхода, или установление перекрытий над основными источниками запахов, и/или использование специального оборудования для очистки воздуха, как это сделано, например, на Люберецких локальных очистных сооружениях (ЛОС) [23].

Очистка шахтных вод. Из доклада [24] в Кемеровской области в 2018 г. объем загрязненных сточных вод, сброшенных в водные объекты области, составил 355 млн м³, в том числе недостаточно очищенных – 226,3 млн м³. Основными способами очистки шахтных вод при эксплуатации шахт являются – отстаивание, осветление в слое взвешенного осадка, фильтрование, а также удаление взвешенных веществ под действием центробежных сил. Существуют более сложные системы очистки [25]. Обобщенно, схема очистки шахтных вод состоит из модулей: предварительной очистки воды, физико-химической очистки воды, осветления воды и уплотнения осадка, после чего уплотненный осадок обезвоживается и утилизируется, а осветленная вода направляется на финишную очистку, на обеззараживание и сброс в водоем.

3. Рациональное и безотходное использование осадков сточных вод

Повторное использование воды на станциях водоподготовки. Необходимо исключить сброс загрязненной промывной воды в водоемы путем ее организованного сбора, частичного осветления и возврата в голову сооружений водоподготовки.

Использование образующегося водопроводного осадка. Важным направлением повышения эффективности предприятий водного сектора является использование образующихся в процессе водоподготовки вторичных ресурсов – водопроводного осадка. Исследования, проведенные в организациях [26] совместно с [27] в разные периоды времени, показали, что обезвоженный водопроводный осадок имеет благоприятные агрохимические свойства и может быть использован в качестве компонента почвогрунта. Согласно обзорной статье [28], водопроводный осадок также может применяться при производстве керамзита.

Извлечение ресурсов из осадка сточных вод. Сточную воду и осадок с очистных сооружений сточных вод следует рассматривать как источник ценных компонентов (сырья и энергетического ресурса). Извлечение и обработка примесей сточных вод ограничиваются экономическими возможностями, однако, при правильном инвестировании может стать прибыльным бизнес-проектом извлечение азота и фосфора из сточной воды для производства удобрений; сушка с получением компоста.

Одним из возможных способов использования осадка, образующегося на канализационных очистных сооружениях после предвари-

тельного сгущения, является получение биогаза путем сбраживания осадка в метантенках [8, 29].

Реализация, как приведенных в статье в качестве примера, так и иных технологий, безусловно, требует технико-экономического обоснования с учетом перечня наилучших доступных технологий (НДТ) [30, 31] и особенностей региона.

Контроль качества воды. Обязательным условием организации водоснабжения населения, обеспечивающим поддержание санитарно-эпидемиологического благополучия и минимизации риска для здоровья населения Кузбасса, является контроль качества питьевой воды и очистки сточных вод, особенно, в кризисных ситуациях [32, 33]. Для повышения стратегической безопасности водоснабжения для абонентов в Кузбассе должен функционировать трехуровневый контроль качества питьевой воды и очистки сточных вод. Необходимые уровни контроля качества воды: оперативный технологический контроль с использованием автоматических анализаторов on-line и систем автоматического непрерывного мониторинга (лабораторный контроль) [33]; контроль со стороны независимой организации; контроль со стороны Роспотребнадзора.

Создание районных центров контроля качества воды. В каждом областном районном центре Кузбасса необходимо создавать новые и реконструировать существующие аккредитованные государственные и частные лаборатории контроля качества воды. Основная задача сети лабораторий – контроль качества питьевой воды в распределительной сети городов, поселков и деревень Кузбасса.

Он-лайн контроль качества воды. Оснащение систем водоснабжения и водоотведения автоматическими приборами контроля позволит производить качественную оценку и динамику изменений ряда важных показателей, своевременно вносить корректировки в технологический процесс. При этом используемые в промышленности приборы онлайн контроля качества воды могут рассматриваться контролирующими органами как арбитражные в том случае, если погрешность измерений не превышает нормативные значения.

Конкурентные преимущества

Основные конкурентные преимущества Кемеровской области для осуществления приоритета – наличие мощной сырьевой базы для основных видов промышленности, значи-

тельных запасов пресной воды, качественных трудовых ресурсов и базы для их подготовки; возможность использования дополнительных электрических мощностей для развития водного сектора в Кемеровской области и водохранилища, как резервного накопителя в случае реализации перспективного проекта, реконструкции Крапивинской ГЭС; готовность руководства области содействовать развитию и диверсификации экономики. В Кузбассе приняты и реализуются государственные программы (ГП), предусматривающие повышение качества питьевой воды для населения, уровня экологической безопасности и сохранения природных водных ресурсов, в том числе: ГП Кемеровской области «Чистая вода» на 2020–2024 годы; ГП Кемеровской области–Кузбасса «Жилищно-коммунальный и дорожный комплекс, энергосбережение и повышение энергоэффективности Кузбасса» на 2014 – 2024 годы; ГП Кемеровской области–Кузбасса «Экология, недропользование и рациональное водопользование» на 2017–2024 годы; ГП «Комплексное развитие сельских территорий Кузбасса» на 2020–2025 гг. (подпрограмма «Создание и развитие инфраструктуры на сельских территориях»). В Кузбассе реализуются: региональный проект «Чистая вода», региональные и муниципальные программы по водной отрасли. Утверждена инвестпрограмма ОАО «СКЭК» (г. Кемерово) в сфере холодного водоснабжения и водоотведения на 2019–2038 гг., другие.

Заключение

В стратегии, приоритеты «Внедрение авангардных и наилучших доступных технологий в системах водоснабжения и водоотведения Кузбасса» (в том числе физико-химических и биологических) и «Повышение уровня контроля качества воды», входящие в состав контура «Стратегическое развитие систем жизнеобеспечения Кузбасса (водоснабжение и водоотведение)» при их реализации должны обеспечить: очистку питьевой воды из подземных и поверхностных источников от всех видов загрязнений за счет применения авангардных технологических решений до нормативных требований на питьевую воду по всем контролируемым показателям, согласно СанПиН 2.1.4-1074-01; рациональное водопользование с применением оборотного водоснабжения; повышение качества очистки сточных вод до нормативных показателей и значительному сокращению сброса неочищенных сточных вод в водные объекты; увеличение надежности и бесперебойности работы

систем водоснабжения и водоотведения; увеличение доли населения, обеспечиваемого услугами централизованной системы водоотведения; улучшение состояния окружающей среды; повышение энергоэффективности систем водоснабжения и водоотведения; улучшение санитарно-гигиенических условий и повышение качества жизни населения в Кузбассе. Стратегирование внедрения авангардных физико-химических и биологических технологий на основе прогнозов возможных «перспективных», системно неконтролируемых на текущий момент типов загрязнений воды, позволит реализовывать долгосрочные целевые программы в сфере водоснабжения и водоотведения сроком до 15 лет с целью улучшения работы объектов отрасли. Стратегирование внедрения авангардных физико-химических и биологических технологий для очистки воды имеет существенную практическую значимость для развития водной отрасли.

Библиографический список

1. СП 31.13330.2012. Свод правил. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП. 2.04.02-84, с изм. №1. (ред. от 30.12.2015). URL: https://adm44.ru/i/u/_31.13330.2012_2.04.02-84_.1.pdf (дата обращения: 04.08.2020).
2. Методика разработки реестра наилучших доступных технологий (НДТ) систем водоснабжения и водоотведения. М.: Национальное объединение проектировщиков, 2014. 343 с.
3. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности. Постановление от 26 сентября 2001 года № 24 (с изм. на 2 апреля 2018 года). URL: <http://docs.cntd.ru/document/901798042> (дата обращения: 04.08.2020).
4. Tkachenko I.S., Tkachenko S.N., Lunin V.V. The principles of 'green chemistry' using the example of design and operation of an underground water treatment station at a Moscow food processing enterprise for purification out of compounds of iron and the utilization of byproducts // Water Practice & Technology. 2015. V. 10. N 1. P. 36–42. DOI: 10.2166/wpt.2015.005
5. Kvint V.L. The Concept of Strategizing. Kemerovo: Kemerovo State University. 2020. 170 p.

6. Kvint V.L. The Concept of Strategizing. St. Petersburg: NWIM RANEPa. 2020. V. 2. 164 p.
7. Квинт В.Л. Стратегирование в России и мире: ставка на человека // Экономика и управление. 2014. № 11. С.15–17.
8. Храменков С.В. Стратегия развития водоснабжения и водоотведения в городе Москве до 2020 года // Биржа интеллектуальной собственности. 2007. Т 6. № 7. С. 7–16.
9. Пупырев Е.И. Разработка проекта озono-сорбционного блока на резервной территории Юго-западной водопроводной станции // Деловая слава России. 2014. № 2 (45). С. 22–23.
10. Ткаченко И.С., Ткаченко С.Н., Лунин В.В. Разработка, внедрение и опыт эксплуатации промышленных систем отведения и деструкции озона // Сб. материалов 33 Всероссийского научно-практического семинара «Озон и другие экологически чистые окислители. Наука и технологии». М.: ООО «МАКС Пресс», 2016. С. 30–42.
11. Карелин В.А. Водоподготовка. Физико-химические основы процессов обработки воды. Томск: Изд-во Томского политехнического университета. 2012. 97 с.
12. Лунин В.В., Самойлович В.Г., Ткаченко С.Н., Ткаченко И.С. Теория и практика получения и применения озона. М.: Изд-во Московского университета, 2016. 432 с.
13. Tkachenko I. et al. Two-Stage Ozonation – Adsorption Purification of Ground Water from Trichloroethylene and Tetrachloroethylene with Application of Commercial Carbon // Ozone: Science & Engineering. 2020. V.42. P. 357–370. DOI: 10.1080/01919512.2020.1735994
14. Патент 2288183 (РФ.) Способ очистки подземных вод от железа и марганца в условиях низких значений температуры, щелочности и жесткости воды. URL: <https://patentinform.ru/inventions/reg-2288183.html> (дата обращения: 04.08.2020).
15. Domenjoud B. et al. // 22rd Ozone Word Congress. Proceed. Barcelona (Spain), 2015. P. 24-4-1.
16. Хохрякова Е. Современные методы обеззараживания воды. М.: Литагент «Аква-Терм», 2014. 110 с.
17. Miklos D.B., Remy C., Jekel M., Linden K.G., Drewes J.E., Hübner U. Evaluation of advanced oxidation processes for water and wastewater treatment - A critical review // Water Research. 2018. V. 139. P. 118–131. DOI: 10.1016/j.watres.2018.03.042
18. Anastas P.T., Warner J.C. Green Chemistry: Theory and Practice. New York: Oxford University Press, 1998. 148 p.
19. Penru Y. Urban wastewater micropollutant removal by ozonation: Lesson learned from Sophia Antipolis wastewater facility // Techniques – Sciences – Methodes. 2018. N. 6. P. 71–83.
20. Sánchez-Castillo M.A., Carrillo-Pedroza F.R., Fraga-Tovar F., de Jesús Soria-Aguilar Ma. Ozonation of cyanide catalyzed by activated carbon // Ozone: Science & Engineering. 2015. V. 37. Iss. 3. P. 240–251. DOI: 10.1080/01919512.2014.965804
21. Лунин В.В., Карягин Н.В., Ткаченко С.Н., Самойлович В.Г. Применение и получение озона. М.: Изд-во: Книжный дом университет, 2006. 128 с.
22. Мамлеева Н.А., Бенько Е.М., Лунин В.В. Методы обезвреживания сточных вод, газовых выбросов и отходов производства и потребления. М.: Изд-во Мос. университет. 2019. 352 с.
23. Сергей Собянин: Выбросы на Люберецких очистных сооружениях снизились на 95–97 процентов. URL: <https://www.mos.ru/mayor/themes/5299/4819050/> (дата обращения: 31.05.2020).
24. Департамент природных ресурсов и экологии Кемеровской области. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области в 2018 году. Кемерово. 2019. . URL: http://kuzbasseco.ru/wp-content/uploads/2019/02/Doclad_2018.pdf (дата обращения: 05.08.2020).
25. Алексеев Г.Ф., Бурцев С.В., Тургенева Л.А. Комплексный подход к реконструкции очистных сооружений карьерных вод – приоритетная задача АО ХК «СДС-Уголь» // Уголь. 2018. № 6 (1107). С. 72–73. DOI: 10.18796/0041-5790-2018-6-72-73
26. МГУП «Мосводоканал». URL: <http://www.mosvodokanal.ru> (дата обращения: 31.05.2020).
27. СГУП «Мосзеленхоз» URL: <http://www.zelenhoz.ru>. (дата обращения: 31.05.2020).
28. Янин Е.П. Осадок водопроводных станций (состав, обработка, утилизация) // Экологическая экспертиза. 2010. № 5. С. 3–45.
29. Пахомов А.Н., Битиев А.В., Стрельцов С.А., Хамидов М.Г. Мини-ТЭС на биогазе: опыт МГУП «Мосводоканал». URL: <http://www.combienergy.ru/stat/1051-Mini-TES-na-biogaze-opyt-MGUP-Mosvodokanal> (дата обращения: 31.05.2020).
30. ИТС 8-2015 «Очистка сточных вод при производстве продукции (товаров), выполнении работ и оказании услуг на крупных предприятиях». Россия. В соответствии с

постановлением Правительства РФ № 1458 от 23 декабря 2014 г. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200128668> (дата обращения: 05.08.2020).

31. ИТС 10-2015» «Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов». Справочник утв. приказом Росстандарта № 1580 от 15 декабря 2015 г., введен в действие с 1 июля 2016 г. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200128670> (дата обращения: 05.08.2020).

32. Collivignarelli C., Pedrazzani R., Giorgio Bertanza G. A comparison among different wastewater disinfections systems: experimental results // Environ. Technol. 2000. V. 21. N 1. P. 1–16. DOI: 10.1080/09593332108618137.

33. В Москве усилили контроль за безопасностью питьевой воды. URL: <https://www.mos.ru/mayor/themes/183299/6470050> (дата обращения: 31.05.2020).

References

1. SP 31.13330.2012. Water supply. Pipelines and portable water treatment plants. Updated edition of SNiP 2.04.02-84 *. With change No. 1. (Red. ot 30.12.2015). Available at: https://adm44.ru/i/u/_31.13330.2012__2.04.02-84_.____1.pdf (accessed: 4.08.2020). (In Russ.)

2. Methodology for developing a register of the best available technologies (BAT) for water supply and sanitation systems. Moscow: National Association of Designers, 2014. 343 p. (In Russ.)

3. Sanitary and Epidemiological Rules and Norms SanPiN 2.1.4.1074-01. Drinking water. Hygienic requirements for water quality of centralized drinking water supply systems. Quality control. Hygienic safety requirements. Resolution of September 26, 2001 No. 24 (as amended on April 2, 2018). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/901798042> (accessed: 04.08.2020). (In Russ.)

4. Tkachenko I.S., Tkachenko S.N., Lunin V.V. The principles of 'green chemistry' using the example of design and operation of an underground water treatment station at a Moscow food processing enterprise for purification out of compounds of iron and the utilization of byproducts. *Water Practice & Technology*. 2015. Vol. 10. No. 1. Pp. 36–42. DOI: 10.2166/wpt.2015.005

5. Kvint V.L. The Concept of Strategizing. Kemerovo: Kemerovo State University. 2020. 170 p.

6. Kvint V.L. The Concept of Strategizing. St. Petersburg: NWIM RANEPa, 2020. Vol. 2. 164 p.

7. Kvint V.L. Strategic planning in Russia and the world: importance of human interactions. *Economics and Management*. 2014. No. 11. Pp.15–17. (In Russ.)

8. Khramenkov S.V. Strategy for the development of water supply and sanitation in the city of Moscow until 2020. *Birzha intellektual'noi sobstvennosti = Intellectual property exchange*. 2007. Vol. 6. No. 7. Pp. 7–16. (In Russ.)

9. Pupyrev E.I. Development of the project of ozone-sorption unit on the reserved territory of south west water station. *Delovaya slava Rossii = Business glory to Russia*. 2014. No. 2 (45). Pp. 22–23. (In Russ.)

10. Tkachenko I.S., Tkachenko S.N., Lunin V.V. Razrabotka, vnedrenie i opyt ekspluatatsii promyshlennykh sistem otvedeniya i destruktсии ozona [Development, implementation and operational experience of industrial systems for the removal and destruction of ozone]. *Collection of materials of the 33rd All-Russian scientific-practical seminar «Ozone and other environmentally friendly oxidants. Science and technology»*. Moscow: Izd-vo MAKSS Press, 2016. Pp. 30–42. (In Russ.)

11. Karelin V.A. Water treatment. Physical and chemical foundations of water treatment processes. Tomsk: Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. 2012. 97 p. (In Russ.)

12. Lunin V.V., Samoilovich V.G., Tkachenko S.N., Tkachenko I.S. Teoriya Theory and practice of obtaining and using ozone. Moscow: Izd-vo Moskovskogo universiteta, 2016. 432 p. (In Russ.)

13. Tkachenko I. et al. Two-Stage Ozonation – Adsorption Purification of Ground Water from Trichloroethylene and Tetrachloroethylene with Application of Commercial Carbon. *Ozone: Science & Engineering*. 2020. Vol. 42. Pp. 357–370. DOI: 10.1080/01919512.2020.1735994

14. Patent 2288183 (RF) Method for treating groundwater from iron and manganese at low temperatures, alkalinity and water hardness. Available at: <https://patentinform.ru/inventions/reg-2288183.html> (accessed: 04.08.2020). (In Russ.)

15. Domenjoud B. et al. 22rd Ozone Word Congress. Proceed. Barcelona (Spain), 2015. P. 24-4-1.

16. Khokhryakova E. Modern methods of water disinfection. Moscow: Litagent «Akva-Term», 2014. 110 p.
17. Miklos D.B., Remy C., Jekel M., Linden K.G., Drewes J.E., Hübner U. Evaluation of advanced oxidation processes for water and wastewater treatment - A critical review. *Water Research*. 2018. Vol. 139. Pp. 118–131. DOI: 10.1016/j.watres.2018.03.042
18. Anastas P.T., Warner J.C. Green Chemistry: Theory and Practice. New York: Oxford University Press, 1998. 148 p.
19. Penru Y. Urban wastewater micropollutant removal by ozonation: Lesson learned from Sophia Antipolis wastewater facility. *Techniques – Sciences – Methodes*. 2018. No. 6. Pp. 71–83.
20. Sánchez-Castillo M.A., Carrillo-Pedroza F.R., Fraga-Tovar F., de Jesús Soria-Aguilar Ma. Ozonation of cyanide catalyzed by activated carbon. *Ozone: Science & Engineering*. 2015. Vol. 37. No. 3. Pp. 240–251. DOI: 10.1080/01919512.2014.965804
21. Lunin V.V., Karyagin N.V., Tkachenko S. N. Application and production of ozone. Moscow: Izd-vo: Knizhnyi dom universitet, 2006. 128 p. (In Russ.)
22. Mamleeva N.A., Ben'ko E.M., Lunin V.V. Methods for the neutralization of waste water, gas emissions and production and consumption waste. Moscow: Izd-vo Mos. Universitet, 2019. 352 p. (In Russ.)
23. Sergei Sobyenin: Emissions from the Lyubertsy Wastewater Treatment Plant decreased by 95–97 percent. Available at: <https://www.mos.ru/mayor/themes/5299/4819050/> (accessed: 31.05.2020). (In Russ.)
24. Department of Natural Resources and Ecology of the Kemerovo Region. Report on the state and protection of the environment of the Kemerovo region in 2018. Kemerovo, 2019. Available at: http://kuzbasseco.ru/wp-content/uploads/2019/02/Doclad_2018.pdf (accessed: 05.08.2020). (In Russ.)
25. Alekseev G.F., Burtsev S.V., Turgeneva L.A. Comprehensive approach to open pit mine water treatment facilities upgrading – «sbu-coal» holding company jsc priority task. *Ugol'*. 2018. No. 6 (1107). Pp. 72–73. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2018-6-72-73
26. MGUP «Mosvodokanal». Available at: <http://www.mosvodokanal.ru>. (accessed: 31.05.2020). (In Russ.)
27. SGUP «Moszelenkhoz». Available at: <http://www.zelenhoz.ru> (accessed: 31.05.2020). (In Russ.)
28. Yanin E.P. Sludge from waterworks (composition, processing, disposal). *Ekologicheskaya ekspertiza = Environmental assessment*. 2010. No. 5. Pp. 2–45. (In Russ.)
29. Pakhomov A.N., Bitiev A.V., Strel'tsov S.A., Khamidov M.G. Mini-TPP on biogas: the experience of the Moscow State Unitary Enterprise «Mosvodokanal». Available at: <http://www.combienergy.ru/stat/1051-Mini-TES-na-biogaze-opyt-MGUP-Mosvodokanal> (accessed: 31.05.2020). (In Russ.)
30. ITS 8-2015. Wastewater treatment in manufacture of products (goods), performance of works and provision of services in large enterprises In accordance with the Decree of the Government of the Russian Federation No. 1458 of December 23, 2014. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200128668> (accessed: 05.08.2020). (In Russ.)
31. ITS 10-2015 «Wastewater treatment using centralized drainage systems of settlements, urban districts» Handbook approved by order of Rosstandart No. 1580 dated December 15, 2015, entered into force on July 1, 2016 Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200128670> (accessed: 05.08.2020). (In Russ.)
32. Collivignarelli C., Pedrazzani R., Giorgio Bertanza G. A comparison among different wastewater disinfections systems: experimental results. *Environ. Technol.* 2000. Vol. 21. No. 1. Pp. 1–16. DOI: 10.1080/09593332108618137
33. Moscow has tightened control over the safety of drinking water Available at: <https://www.mos.ru/mayor/themes/183299/6470050> (accessed: 31.05.2020).

Информация об авторах / Information about the authors

Ткаченко Сергей Николаевич – профессор, химический факультет и ЦСИ МГУ имени М.В. Ломоносова, timis@timis.ru, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1

Ткаченко Илья Сергеевич – старший научный сотрудник, химический факультет и ЦСИ МГУ имени М.В. Ломоносова, i-t@timis.ru, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 3 и стр. 49

Грибелюк Леонид Абрамович – нач. отд. водоснабжения, ООО «ЦПИО», 117342, Россия, Москва, ул. Бутлерова, д. 17-б; ООО Научно-внедренческая фирма «Тимис», 117574, Москва, ул. Вильнюсская, д. 4, оф. 328; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Центр стратегических исследований Института математических исследований сложных систем, leo-gribelyuk@yandex.ru, 119992, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 46

Силинина Екатерина Борисовна – нач. отд. химической и легкой промышленности, Министерство промышленности Кузбасса, seb@ako.ru, 650064, Кемерово, Советский просп., д. 63

Sergey N. Tkachenko – Professor, Chemistry Department, Strategic Research Center of Lomonosov Moscow State University, 1-46 Leninskie Gory, Moscow 119991, Russia

Iliya S. Tkachenko –Senior Researcher, Chemistry Department, Strategic Research Center of Lomonosov Moscow State University, i-t@timis.ru, 1-46 Leninskie Gory, Moscow 119991, Russia

L.A. Gribelyuk – Head of Water Supply Department, LLC «TsPIO», 17-b Butlerova Str., Moscow 117342, Russia, LLC R&D Company «Timis», 4 Vilniuskay Str., Moscow 117574, Russia, Strategic Research Center of Lomonosov Moscow State University, leo-gribelyuk@yandex.ru, 1-46 Leninskie Gory, Moscow 119991, Russia

Ekaterina B. Silinina – head of the Department of Chemical and Light Industry, Ministry of Industry of Kuzbass, seb@ako.ru, 63 Sovetskiy Prospect, Kemerovo 650064, Russia

Поступила в редакцию 05.06.2020 г.; после доработки 10.09.2020 г.; принята к публикации 17.09.2020 г.