

<https://doi.org/10.21122/1029-7448-2024-67-5-440-451>

УДК 628.16

Промышленное апробирование гибридной технологии очистки воды из реки Оки методом углявания с порошкообразным сорбентом

**А. А. Филимонова¹⁾, А. Ю. Власова¹⁾, Н. Б. Карницкий²⁾, Н. Д. Чичирова¹⁾,
Р. Ф. Камалиева¹⁾**

¹⁾Казанский государственный энергетический университет (Казань, Российская Федерация),

²⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2024
Belarusian National Technical University, 2024

Реферат. Развитие промышленной отрасли, увеличение производственных мощностей оказывают положительный эффект на экономическую ситуацию страны, но не на экологическую безопасность. В водоисточники постоянно сбрасываются недостаточно очищенные и загрязненные сточные воды, количество которых напрямую зависит от промышленной развитости региона. Так, антропогенная нагрузка на реку Оку влияет на состав воды в водоисточнике, часто бывают всплески залповых загрязнений, а также цветение фитопланктонов в летний период, которые в дальнейшем существенно снижают эффективность очистки воды до питьевого качества. Поэтому разработка технологий, которые смогут поддерживать очистку на требуемом уровне, является актуальной задачей. В статье представлен метод углявания, который позволит в короткие сроки нейтрализовать загрязнения и повысить качество очистки. Промышленный эксперимент разработанной технологии проводился на действующей станции очистки с апробацией двух крайних дозировок сорбционного материала. В работе определена оптимальная доза угольной пульпы, описано влияние на значимые показатели очистки, а также разработаны технологические решения по точке ввода угольной пульпы и кратности дозирования. Проведенные исследования позволили расширить знания в области подготовки питьевой воды и определить значимые параметры воды, на которые влияет метод сорбционной очистки.

Ключевые слова: метод углявания, вода питьевого качества, угольная пульпа, порошкообразный уголь марки ОУ-А

Для цитирования: Промышленное апробирование гибридной технологии очистки воды из реки Оки методом углявания с порошкообразным сорбентом / А. А. Филимонова [и др.] // *Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ*. 2023. Т. 67, № 5. С. 440–451. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2024-67-5-440-451>

Адрес для переписки

Власова Алена Юрьевна
Казанский государственный
энергетический университет
ул. Красносельская, 51,
420066, г. Казань, Российская Федерация
Тел.: +7 843 519-42-52
vlasovaay@mail.ru

Address for correspondence

Vlasova Alena Yu.
Kazan State Power
Engineering University
51, Krasnoselskaya str.,
420066, Kazan, Russian Federation
Tel.: +7 843 519-42-52
vlasovaay@mail.ru

Industrial Testing of a Hybrid Technology for Water Purification from the Oka River Using the Method of Charcoalization with Powdered Sorbent

A. A. Filimonova¹⁾, A. Yu. Vlasova¹⁾, N. B. Karnitsky²⁾, N. D. Chichirova¹⁾,
R. F. Kamaliev¹⁾

¹⁾Kazan State Power Engineering University (Kazan, Russian Federation),

²⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. The development of the industrial sector and the increase in production capacity have a positive effect on the economic situation of the country, but not on environmental safety. Insufficiently purified and polluted wastewater is constantly discharged into water sources, the amount of which directly depends on the industrial development of the region. Thus, the anthropogenic load on the Oka River affects the composition of water in the source, there are often bursts of instantaneous emissions, as well as the flowering of phytoplankton in the summer. The latter further significantly reduce the efficiency of water purification to drinking quality. Therefore, the development of technologies that will be able to maintain purification at the required level is an urgent task. The article presents the method of charcoalization, which allows to neutralize pollution in a short time and improve the water treatment quality. An industrial experiment of the developed technology was carried out at an operating water treatment plant with testing of two extreme dosages of sorption material. The optimal dose of coal pulp was determined, the impact on significant purification performance was described, and the technological solutions have been developed to determine the point of coal pulp input and the dosage multiplicity. The conducted research has made it possible to expand knowledge in the field of drinking water preparation and to determine significant water parameters that are affected by the sorption purification method.

Keywords: method of charcoalization, drinking water, coal pulp, powdered coal of OU-A brand

For citation: Filimonova A. A., Vlasova A. Yu., Karnitsky N. B., Chichirova N. D., Kamaliev R. F. (2024) Industrial Testing of a Hybrid Technology for Water Purification from the Oka River Using the Method of Charcoalization with Powdered Sorbent. *Energetika. Proc. CIS Higher Educ. Inst. and Power Eng. Assoc.* 67 (5), 440–451. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2024-67-5-440-451> (in Russian)

Введение

Предприятия промышленного сектора существенно увеличивают нагрузку антропогенного характера на источники водных ресурсов. Очистка сточных вод не всегда осуществляется качественно, и в водоисточник попадают различные органические загрязнения со сточными водами. Это явление особенно выражено в промышленных регионах, где водные источники испытывают значительное воздействие со стороны человека [1]. Одним из таких водоисточников является река Ока. На протяжении всей ее длины, особенно в среднем течении, производится систематический сброс сточных вод [2]. Отягощающим обстоятельством является непосредственная близость химического города Дзержинска. Учитывая огромное многообразие выпускаемой заводом продукции, качественный состав сточных вод нестабильный и постоянно меняется в зависимости от выработки предприятия.

Деятельность человека негативно сказывается на ключевых показателях качества природной воды. Анализ комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод согласно РД 52.24.643–2002 показал, что вода в водоисточнике характеризуется как «очень грязная» и «грязная». Для реки Оки наиболее характерны загрязнения органическими веществами, соединениями меди и азота, а в летний период (июль–август) еще и увеличивается активность жизнедеятельности фитопланктонов [3–5]. Чрезмерное развитие фитопланктона приводит к «цветению» и, как следствие, к резкому ухудшению показателей качества природной воды. Как правило, для рек средней полосы России данный период длится с середины июля по август. Поэтому для поддержания эффективности очистки требуется внедрение дополнительных установок, которые позволят подготавливать воду требуемого качества.

Для создания эффективных методов дополнительной очистки необходимо оценить состояние водного источника и определить причины изменения важных показателей качества природной воды, таких как химическое потребление кислорода (ХПК) и перманганатная окисляемость (ПО). Для реки Оки превышение ХПК более 45 мг/л и ПО более 8 мг О/л свидетельствует о необходимости подключения дополнительной обработки исходной воды с целью получения очищенной, удовлетворяющей требованиям СанПиН 2.1.3684-21 [6–8]. Цель работы заключалась в разработке и апробировании технологии дополнительной обработки природной воды для поддержания требуемой эффективности очистки.

Практическая значимость разработанного решения заключается в том, что предложенный метод позволяет в короткие сроки снизить концентрацию загрязняющих соединений в исходной воде путем ввода доступного и дешевого сорбционного материала. Сорбционный материал, выбранный для апробирования метода, является экологически безопасным и пригодным для обработки воды питьевого качества. В процессе промышленного эксперимента определена максимальная и минимальная доза сорбирующей пульпы, даны рекомендации по кратности дозирования.

Научная новизна исследования заключается в определении количественного снижения значений ключевых показателей качества воды при различных дозировках сорбционной пульпы в периоды залповых сбросов сточных вод и резких антропогенных выбросов. Рабочая дозировка материала определяется опытным путем. Подбор необходимо осуществлять на действующей технологии с возможным отсечением линии отстоя и фильтрации для корректной оценки результата, а марка сорбционного материала может быть выбрана либо экспериментальным путем, либо по техническим характеристикам.

Основная часть

Для проведения опытно-промышленных испытаний на станции подготовки воды в Нижнем Новгороде было предусмотрено отделение действу-

ющей технологии от экспериментальной части. Данная возможность позволила получить достоверные результаты и объективно оценить действие метода сорбции. Для апробирования метода были выбраны один отстойник и два механических фильтра (загрузка – кварцевый песок). Один фильтр предусмотрен для проведения метода сорбции активным древесным углем, а второй работал в обычном рабочем режиме для сопоставления результатов (рис. 1).

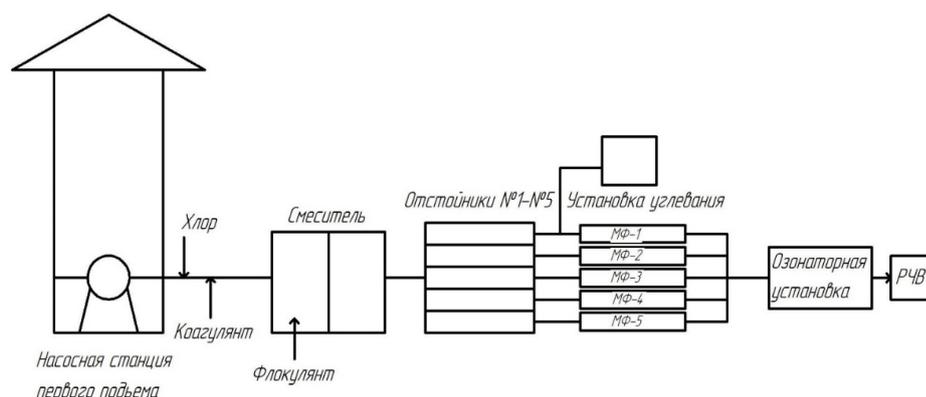


Рис. 1. Технологическая схема опытно-промышленного эксперимента

Fig. 1. Process flow diagram of the pilot-industrial experiment

Подготовка воды питьевого качества для потребителей состоит в следующем: на первом этапе исходная речная вода забирается из природного источника, далее направляется на станцию, где осуществляется ее фильтрация, и там же в воду дозируются дезинфектант (хлорная вода), коагулянт и флокулянт. Дозировки химических веществ, которые вводятся в систему смесителей для хлорной воды, составляют 3 мг/л, для сульфата алюминия, который традиционно используется в качестве коагулянта, – 300 мг/л, а для товарного продукта Floram AN 905 PWG (коагулянт), – 0,2 мг/л. Используемые дозировки реагентов соответствуют требованиям рабочих стандартов по дозированию реагентов по сезонности, а именно конца июля – времени проведения промышленных испытаний на водоканале.

На третьем этапе вода, насыщенная реагентами, поступает в реакционные камеры, и далее – в горизонтальные отстойники, в которых осаждаются общая масса взвешенных частиц и окрашенных веществ. После горизонтальных отстойников вода направляется на фильтрацию на механических фильтрах. Промышленные испытания проводились на механическом фильтре № 1, в который на входе в «воздушник» был установлен трубопровод для подачи угольной пульпы, которая затем направляется на фильтрующую нагрузку.

Механические фильтры № 2–5 функционировали в стандартном режиме. После механической фильтрации проводятся озонирование потоков воды и последующий сбор в резервуарах чистой воды (РЧВ).

Концентрации содержащихся органических веществ в воде определялись в серии опытно-промышленных испытаний. Были проведены два сегмента тестовых испытаний, для которых подбирались максимальная и минимальная концентрации угольной пульпы, исходя из анализа литературных данных (3 и 10 мг/л). Необходимый расход угольной пульпы рассчитывался по объему воды, проходящей через механический фильтр. Пульпа расфасовывалась в специальные контейнеры и далее смешивалась с водой в баке с использованием электромешалки для перемешивания. Для получения угольной пульпы рекомендовалась марка древесного активного угля марки ОУ-А по стандарту ГОСТ 4453–74. Выбор этой марки обусловлен высокой адсорбционной активностью (не менее 225 мг на 1 г, согласно данным производителя) по сравнению с индикатором метиленовым синим, высокой удельной поверхностью (более 1200 м² на 1 г угля), зависящей от большого объема и широкого диапазона пор.

Согласно проведенным исследованиям, для дозирования порошкообразного угля можно применять активные угли марок ОУ-А, ОУ-Б, ОУ-В, ОУ-Г, АДУ-В, СПДК-27Д, ЭКСТРА-СОРБ-102 [9], из которых угли марок ОУ-А и СПДК-27Д наиболее часто используются на практике. В свою очередь, необходимо перед использованием проводить тестирование конкретных сортов угля для определения их сорбционной активности. Игнорирование данного этапа может значительно снизить эффективность метода углевания.

Установка для проведения углевания в промышленном варианте представляет собой специализированный технологический модуль в контейнерном исполнении. Узлы и блоки установки включают бак, мешалку с электродвигателем, соединительный шланг с краном и фильтрующее (сорбционное) вещество, в качестве которого применяется активный уголь в форме древесного порошка марки ОУ-А (по ГОСТ). Для контроля и настройки расхода пульпы используются кран и измерительная шкала на баке. Для проведения испытаний разработана единая схема методики, позволяющая вести учет корректировки дозы угольной пульпы.

Время фильтроцикла составило 48 ч. Порядок проведения испытаний включал следующие этапы:

1. Одновременный запуск и работа в стандартном режиме в течение 8 ч после регенерации испытательного фильтра № 1 и фильтра сравнения № 2.
2. Подача угольной суспензии в испытательный фильтр № 1 на протяжении следующих 8 ч с параллельной работой фильтра сравнения (работал в обычном режиме).
3. Последующие за моментом останова подачи угольной суспензии 32 ч работы фильтра № 1 в стандартном режиме.
4. Вывод фильтра № 1 на регенерацию. Перед этим проводился осмотр фильтров с целью проверки объема насыпного материала, наличия иловых отложений на их поверхности, а также распределения угольной пульпы на фильтре № 1, оценка скорости фильтрации.

По результатам осмотра фильтра № 1 выявлено равномерное распределение угольной пульпы по поверхности фильтрующего материала (не глубже 5 см). В процессе регенерации вся пульпа с поверхности полностью удалялась, а время регенерации фильтра с углеванием не превышало 5 мин.

Отбор образцов воды во время проведения опытно-промышленных испытаний проводили из испытательного фильтра № 1 и фильтра № 2 в соответствии с разработанной режимной картой. Оценка эффективности очистки воды от органических веществ проводилась по следующим показателям качества: цвет, мутность, общий остаточный хлор, перманганатная окисляемость и общий органический углерод (ООУ).

Анализ ООУ проводили согласно ГОСТ Р 52991–2008 «Методы определения содержания общего и растворенного органического углерода» с использованием ТОС анализаторов, в основе работы которых лежит метод Дюма–Прегля. При этом исследуемая проба сжигается в потоке инертного газа, а количество углекислого газа, образующегося на выходе, определяется датчиком-анализатором углекислого газа [10].

Перманганатную окисляемость определяли согласно ГОСТ Р 55684–2013 «Вода питьевая. Метод определения перманганатной окисляемости» [11]. Показатели цветности и мутности исследовали с помощью турбидиметрического метода оценки. Остаточный суммарный хлор анализировали по методике ГОСТ Р 55683–2013 «Вода питьевая. Метод определения содержания остаточного активного (общего) хлора на месте отбора проб» [12].

Образцы воды, отобранные во время промышленных испытаний, исследованы в химической лаборатории на предприятии. Анализы обработаны с использованием статистических методов, что позволило определить ключевые статистические параметры для полного набора данных. Среди них: среднее арифметическое, абсолютная ошибка, количество степеней свободы, критерий Стьюдента, среднеквадратическое отклонение, дисперсия, ошибка среднего арифметического и коэффициент вариации, а также показатель точности проведенного эксперимента. Полученные показатели качества воды считаются значимыми, так как критерий Стьюдента для среднего арифметического демонстрирует высокую степень надежности и уровень точности эксперимента оказался менее 5 %.

Результаты лабораторных исследований проб воды для каждого отобранного показателя качества в течение эксперимента отражены на графиках (рис. 2–6). Для получения полной картины влияния углевания на изменение показателей качества воды отбор проб проводили каждый час в процессе дозирования угольной пульпы и после него (с 10:00 до 18:00 в течение первых суток 48-часового фильтроцикла).

Анализируя результаты экспериментального дозирования угольной пульпы концентрацией 3 мг/л, можно достоверно утверждать о заметном уменьшении цветности и мутности и снижении концентрации остаточного хлора на фильтре с углеванием, а значение показателя перманганатной

окисляемости и содержание общего органического углерода остались без значимых изменений.



Рис. 2. Изменение показателя цветности в ходе эксперимента

Fig. 2. Change in color index during the experiment

По завершении дозирования порошкообразного угольного сорбента в течение следующих 4 ч наблюдалось значительное снижение показателей цветности и мутности и концентрации остаточного хлора на механическом фильтре № 1, что обусловливается высокими сорбционными свойствами угля марки ОУ-А.

После завершения эксперимента с дозированием угольной пульпы концентрацией 3 мг/л проводился процесс регенерации фильтров в течение 5 мин. Данный временной интервал полностью соответствует нормам для фильтров без углевания. По окончании промывки был проведен второй эксперимент с дозированием угольного порошкообразного сорбента максимальной концентрацией 10 мг/л с 9:00 до 17:00 с использованием тех же фильтров. Пробы воды забирались каждый час как в процессе дозирования, так и после его окончания.

Анализируя результаты экспериментального дозирования угольной пульпы максимальной концентрацией 10 мг/л, можно достоверно утверждать о заметном уменьшении цветности, мутности и содержания общего органического углерода на испытательном и контрольном фильтрах. На фильтре № 1 снижение цветности составило более 17 %, однако в осенне-весенний период данное изменение будет намного выше. Также стоит отметить, что значения показателей перманганатной окисляемости и остаточного активного хлора существенно сократились на испытательном

фильтре, а на фильтре № 2 изменение данных показателей не является статистически значимым.

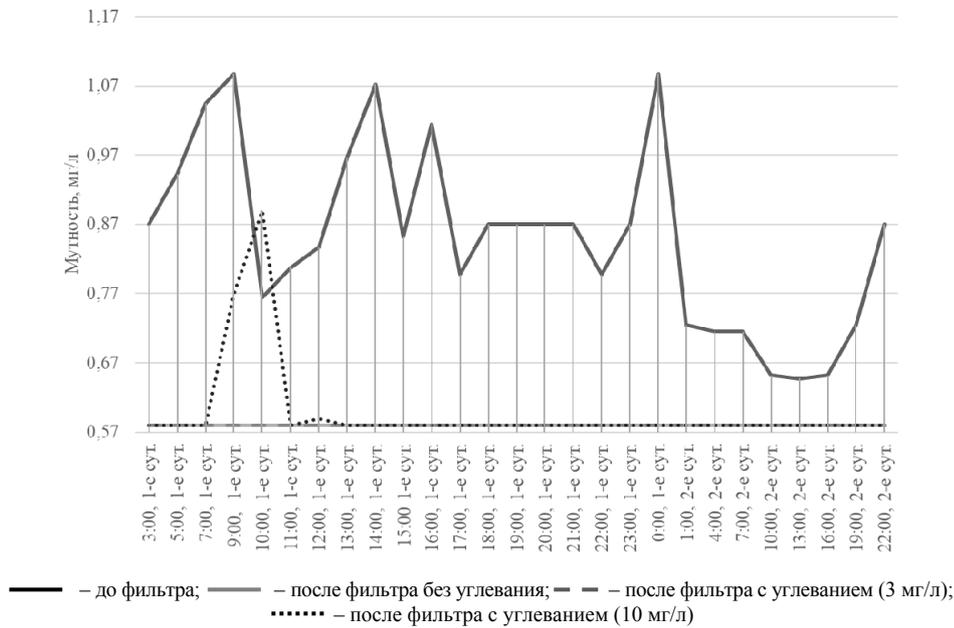


Рис. 3. Изменение показателя мутности в ходе эксперимента

Fig. 3. Change in turbidity index during the experiment

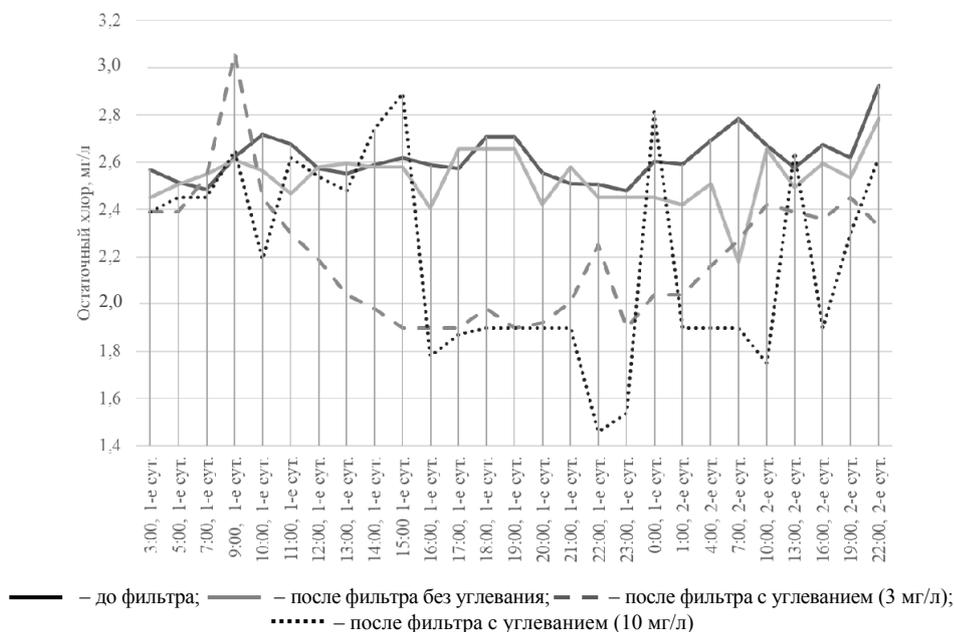


Рис. 4. Изменение значений остаточного хлора в ходе эксперимента

Fig. 4. Change in residual chlorine values during the experiment



Рис. 5. Изменение значений перманганатной окисляемости в ходе эксперимента

Fig. 5. Change in permanganate oxidation values during the experiment



Рис. 6. Изменение значений общего органического углерода в ходе эксперимента

Fig. 6. Changes in total organic carbon values during the experiment

По завершении дозирования порошкообразного угольного сорбента в течение следующих 3–4 ч наблюдалось значительное снижение показателей цветности, перманганатной окисляемости и концентрации остаточного хлора. В течение часа после прекращения подачи угольной пульпы содер-

жание общего органического углерода оставалось на значительно низком уровне.

На основании полученных результатов разработаны технические решения модернизации действующей технологии, позволяющие контролировать уровень загрязнения питьевой воды различными органическими соединениями. В результате проведенных в промышленном масштабе экспериментов рекомендуются два интервала времени дозирования, напрямую зависящих от степени превышения фоновых концентраций органических веществ. В периоды, когда значения концентраций незначительно превышают допустимый уровень, предлагается использование метода углевания порошкообразным активированным углем ОУ-А дозировкой 10–15 мг/л с точкой ввода в смеситель. Рекомендуемая технологическая схема включает первичное озонирование воды дозировкой от 4 до 6 мг/л, последующее углевание порошкообразным активным углем концентрацией 10–15 мг/л, затем коагуляция и флокуляция с использованием реагентов «сульфат алюминия + ПАА» или «гидроксохлорид алюминия + ПАА», процесс отстаивания, применение механических фильтров и вторичное хлорирование с дозой 2–6 мг/л.

При высоком содержании органических соединений рекомендуется увеличить кратность обработки сорбционным материалом и предусмотреть две точки ввода угольной пульпы:

– первая – в смесителе, рекомендуемая доза 15–20 мг/л. Чем выше содержание органических соединений в исходной воде, тем больше доза вводимой угольной пульпы;

– вторая – перед фильтром. Так как большая часть органических соединений удаляется в отстойниках, дозу угольной пульпы для вторичной обработки рекомендуется снижать до значений 5–10 мг/л.

Технологическая схема с двукратной обработкой воды имеет последовательность: преаммонизация и первичное хлорирование, сорбционная обработка воды угольной пульпой (доза 15–20 мг/л), обработка химическими реагентами (коагулянт и флокулянт) с подачей в смесительную камеру отстойника, дозирование угольной пульпы на вход фильтра, фильтрация на механических фильтрах (загрузка – кварцевый песок), вторичное обеззараживание хлорсодержащими реагентами.

Дозировка сорбционного материала напрямую зависит от исходных показателей природной воды и уровня загрязненности. Технология и кратность обработки подбираются методом апробирования в реальных условиях с учетом рекомендаций экспериментальных исследований.

ВЫВОДЫ

1. Технология углевания является перспективным методом улучшения показателей качества очистки природной воды. Установлено, что однократное дозирование угольной пульпы снижает такие показатели, как цветность, мутность, перманганатная окисляемость, содержание общего органического углерода. Эффективность применения данного метода зависит как от концентрации угольной пульпы, так и от частоты ее введения. Исследование полученных данных подтвердило, что при дозировке 3 мг/л наблюдается лишь снижение цветности, в то время как увеличение дозы до

10 мг/л приводит к уменьшению как цветности, так и перманганатной окисляемости, а также общего органического углерода. Эффект от углевания сохраняется на протяжении 4 ч после завершения введения угольной пульпы. Одним из недостатков данного подхода является уменьшение концентрации активного хлора в обработанной воде, что связано с использованием высокосорбционных материалов. Поэтому для обеспечения требуемых бактериологических характеристик необходимо дополнительно внедрить систему хлорирования или рассмотреть альтернативные методы дезинфекции.

2. В зависимости от водоисточника и начальных показателей качества природной воды подбор дозировки осуществляется экспериментальным путем с соблюдением рекомендации по выбору технологического процесса. Результаты испытаний показали, что при начальных высоких концентрациях органических веществ в воде эффект от углевания становится более заметным. Рекомендуется подключать дополнительную обработку в случаях, когда определенные параметры достигают критических значений: цветность превышает 20 град., мутность больше 20 мг/л, перманганатная окисляемость больше 10 мг О/л.

3. Метод углевания является экспресс-способом улучшения степени подготовки воды. Его эффективность зависит от сорбционной способности выбранного материала и его дозировки. Экспериментально подобранная дозировка может существенно снизить стоимость подготовки исходной воды. Проведенные исследования позволили расширить значения в области подготовки питьевой воды и определить ключевые показатели качества воды, на которые влияет метод углевания.

Результаты получены при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках выполнения задания «Изучение процессов в гибридной энергетической установке топливный элемент – газовая турбина» (шифр проекта FZSW-2022-0001).

ЛИТЕРАТУРА

1. Решетняк, О. С. Многолетние и сезонные изменения развития фитопланктона и оценка состояния реки Ока в районе г. Дзержинск / О. С. Решетняк, Ю. С. Гришанова // *Вода: химия и экология*. 2016. № 3. С. 14–21.
2. Абрамова, Е. А. Оценка уровня антропогенной нагрузки на бассейн реки Оки в пределах Московской области / Е. А. Абрамова // *Вестник МГОУ. Сер. Естественные науки*. 2011. № 1. С. 77–83.
3. Никаноров, А. М. Пресноводные экосистемы в импактных районах России / А. М. Никаноров, В. А. Брызгало. Ростов-на-Дону: НОК, 2006. 275 с.
4. Никаноров, А. М. Реки России в условиях чрезвычайных экологических ситуаций / А. М. Никаноров, В. А. Брызгало, О. С. Решетняк. Ростов-на-Дону: НОК, 2012. 308 с.
5. Капанский, А. А. Энергоэффективность технологических систем водоснабжения и водоотведения и методы ее оценки / А. А. Капанский // *Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ*. 2016. Т. 59, № 5. С. 436–451. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2016-59-5-436-451>.
6. Перспективы использования электромембранных технологий в энергетике / А. А. Филимонова [и др.] // *Труды Академэнерго*. 2020. № 2 (59). С. 55–76.
7. Ресурсосберегающая технология нейтрализации и очистки кислых и жестких высокоминерализованных жидких отходов ионитной водоподготовительной установки ТЭС / А. Ю. Власова [и др.] // *Вода и экология: проблемы и решения*. 2017. № 2. С. 3–17.

8. Джалилов, М. Ф. О новой технологии подготовки горячей питьевой воды / М. Ф. Джа-лилов, М. М. Азимова, А. М. Джалилова // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2017. Т. 60, № 5. С. 484–492. DOI: 10.21122/1029-7448-2017-60-5-484-492.
 9. Апробирование гибридной технологии с использованием порошкообразного сорбента для получения воды питьевого качества в периоды ухудшения показателей водоисточника / А. А. Филимонова [и др.] // Журнал СФУ. Техника и технологии. 2024. № 17 (2). С. 148–161.
 10. ГОСТ Р 52991–2008 / ISO 8245:1999. Вода. Методы определения содержания общего и растворенного органического углерода. М.: ФГУП «Стандартинформ». 2010. 17 с.
 11. ГОСТ Р 55684–2013 / ISO 8467:1993. Вода питьевая. Метод определения перманганатной окисляемости. М.: ФГУП «Стандартинформ». 2014. 16 с.
 12. ГОСТ Р 55683-2013 / ISO 7393-3:1990 Вода питьевая. Метод определения содержания остаточного активного (общего) хлора на месте отбора проб. М.: ФГУП «Стандартинформ». 2019. 11 р.
- Поступила 24.04.2024 Подписана в печать 25.06.2024 Опубликована онлайн 30.09.2024

REFERENCES

1. Reshetnyak O. S., Grishanova Yu. S. (2016) Long-Term and Seasonal Changes in the Development of Phytoplankton and Assessment of the State of the Oka River in the Area of Dzerzhinsk. *Voda: Khimiya i Ekologiya = Water: Chemistry and Ecology*, (3), 14–21 (in Russian).
2. Abramova E. A. (2011) The Estimation of the Level of Anthropogenic Loading on the Oka Basin within the Moscow Region. *Bulletin of Moscow Region State University. Series: Natural Sciences*, (1), 77–83 (in Russian).
3. Nikanorov A. M., Bryzgalo V. A. (2006) *Freshwater Ecosystems in Impact Areas of Russia*. Rostov-on-Don, NOC Publ. 275 (in Russian).
4. Nikanorov A. M., Bryzgalo V. A., Reshetnyak O. S. (2012) *Rivers of Russia in Conditions of Environmental Emergencies*. Rostov-on-Don, NOC Publ. 308 (in Russian).
5. Kapansky A. A. (2016) Energy Efficiency and Assessment Methods of Technological Systems of Water Supply and Water Disposal. *Energetika. Proc. CIS Higher Educ. Inst. and Power Eng. Assoc.* 59 (5), 436–451. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2016-59-5-436-451> (in Russian).
6. Filimonova A. A., Chichirova N. D., Chichirov A. A., Minibaev A. I. (2020) Prospects of Using Electromembrane Technologies in Power Engineering. *Trudy Akademenergo = Transactions of Academenergo*, (2), 55–76 (in Russian).
7. Vlasova A. Yu., Chichirova N. D., Chichirov A. A., Filimonova A. A., Vlasov S. M. (2017) Resource-Saving Technology for Neutralization and Purification of Acidic and Hard-Concentrated, Liquid Waste of the Ion-Exchange Water Treatment Plant of TPPS Complex of Water for Drinkable Small Settlements. *Voda i Ekologiya: Problemy i Resheniya = Water and Ecology*, (2), 3–17 (in Russian).
8. Jalilov M. F., Azimova M. M., Jalilova A. M. (2017) On a New Technology of Preparation of Hot Drinking Water. *Energetika. Proc. CIS Higher Educ. Inst. and Power Eng. Assoc.* 60 (5), 484–492. DOI: 10.21122/1029-7448-2017-60-5-484-492 (in Russian).
9. Filimonova A. A., Vlasova A. Yu., Chichirova N. D., Kamaliev R. F. (2024) Testing of Hybrid Technology Using Powdered Sorbent to Obtain Drinking Quality Water During Periods of Deterioration in Water Source Indicators. *Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies*, 17 (2), 148–161 (in Russian).
10. State Standard R 52991–2008 / ISO 8245:1999. *Water. Methods for Determining the Content of Total and Dissolved Organic Carbon*. Moscow, Standartinform Publ. 2010. 17 (in Russian).
11. State Standard R 55684–2013 / ISO 8467:1993. *Drinking Water. Method for Determining Permanganate Oxidizability*. Moscow, Standartinform Publ. 2014. 16 (in Russian).
12. State Standard R 55683–2013 / ISO 7393-3:1990. *Drinking Water. Method for Determining the Content of Residual Active (Total) Chlorine at the Sampling Site*. Moscow, Standartinform Publ., 2019. 11 (in Russian).