

EDN: CFIDZX

УДК 628.16

## Testing of Hybrid Technology Using Powdered Sorbent to Obtain Drinking Quality Water During Periods of Deterioration in Water Source Indicators

Antonina A. Filimonova, Alena Y. Vlasova\*,  
Natalia D. Chichirova and Ruzina F. Kamalieva  
*Kazan State Power Engineering University  
Kazan, Russian Federation*

Received 03.01.2024, received in revised form 13.01.2024, accepted 14.02.2024

**Abstract.** To date, the purification of natural water to a drinking level is almost an impossible task. The constant deterioration of water quality in the surface water source is associated with both man-made discharges and an insufficient degree of wastewater treatment for both municipal and industrial purposes. Not always available technologies at the treatment plant are able to work effectively during flood periods, periods of “flowering” of water, as well as cope with short-term discharges. Insufficient degree of purification affects both the organoleptic characteristics of the water and the operational characteristics of the equipment used. The article provides an overview of technologies that are used to improve the quality of drinking water. When choosing a technology, cleaning efficiency, capital costs for technology implementation, as well as installation time are taken into account. Based on these criteria, the “carbonation” method was selected and tested on a developed and designed laboratory mock-up installation. Based on the laboratory results obtained, this method was tested at a water treatment plant. The paper presents the results of pilot tests and describes in detail the effect of the “carbonation” method on the main indicators of water quality at critical moments of purification.

**Keywords:** hybrid technology, carbonization method, drinking water, powdered adsorbent.

**Acknowledgments.** The results were obtained with the financial support of the Ministry of Education and Science “Study of processes in a hybrid power plant fuel cell – gas turbine” project code FZSW-2022–0001.

Citation: Filimonova A. A., Vlasova A. Y., Chichirova N. D., Kamalieva R. F. Testing of hybrid technology using powdered sorbent to obtain drinking quality water during periods of deterioration in water source indicators. J. Sib. Fed. Univ. Eng. & Technol., 2024, 17(2), 148–161. EDN: CFIDZX



# **Апробирование гибридной технологии с использованием порошкообразного сорбента для получения воды питьевого качества в периоды ухудшения показателей водоисточника**

**А. А. Филимонова, А. Ю. Власова,  
Н. Д. Чичирова, Р. Ф. Камалиева**

*Казанский государственный энергетический университет  
Российская Федерация, Казань*

---

**Аннотация.** На сегодняшний день очистка природной воды до питьевого уровня является довольно сложной задачей. Постоянное ухудшение качества воды в поверхностном водоисточнике связано как со сбросами техногенного характера, так и с недостаточной степенью очистки сточных вод как коммунального назначения, так и промышленного. Не всегда имеющиеся технологии на станции очистки способны эффективно работать в паводковые периоды, периоды «цветения» воды, а также справляться с кратковременными сбросами. Недостаточная степень очистки влияет как на органолептические показатели воды, так и на эксплуатационные характеристики применяемого оборудования. В статье представлен обзор технологий, которые применяются для улучшения показателей качества питьевой воды. При выборе технологии учитывается эффективность очистки, капитальные затраты на внедрение технологии, а также сроки монтажа. На основании данных критериев был выбран метод «углевание» и апробирован на разработанной и спроектированной лабораторной макетной установке. На основании полученных лабораторных результатов данный метод был апробирован на станции очистки воды. В работе представлены результаты опытно-промышленных испытаний и подробно описано влияние метода «углевание» на основные показатели качества воды в критичные моменты очистки.

**Ключевые слова:** гибридная технология, метод «углевание», вода питьевого качества, порошкообразный адсорбент.

**Благодарности.** Результаты получены при финансовой поддержке Минобрнауки «Изучение процессов в гибридной энергетической установке топливный элемент – газовая турбина» шифр проекта FZSW-2022–0001.

---

Цитирование: Филимонова А. А. Апробирование гибридной технологии с использованием порошкообразного сорбента для получения воды питьевого качества в периоды ухудшения показателей водоисточника / А. А. Филимонова, А. Ю. Власова, Н. Д. Чичирова, Р. Ф. Камалиева // Журн. Сиб. федер. ун-та. Техника и технологии, 2024, 17(2). С. 148–161. EDN: CFIDZX

---

## **Введение**

Деятельность человека существенно сказывается на качестве воды в поверхностных водоисточниках. Причиной является недостаточная очистка хозяйственно-бытовых сточных вод, масштабные выбросы стоков промышленных предприятий, а также сельскохозяйственных ферм. Помимо сбросов также существует сезонная проблема с июля по сентябрь для регионов средней полосы России, а именно процесс «цветения» воды. Цветение воды и приобретение сине-зеленой окраски является результатом развития цианобактерий (сине-зеленых водорослей) [1]. С каждым годом процесс «цветения» водоисточников становится наиболее катастрофичным, и причина заключается в сокращении работ, направленных на дноуглубительную очистку. Хотя

данное мероприятие очень важно, так как в осенний период, когда снижается температура воды в водоисточнике и снижается активность солнца, цианобактерии формируют споры, которые опускаются на дно водоема, где зимуют, сохраняя жизнеспособность популяции. Массовое размножение цианобактерий происходит при температуре 18–25 °С, а водородный показатель находится в слабощелочной зоне.

Как техногенные факторы, так и интенсивное размножение цианобактерий в летний период существенно снижают качество очистки природной воды. Положение усугубляется постоянным ужесточением норм на питьевую воду. Недостаточная степень очистки влечет за собой ухудшение органолептических характеристик очищенной воды, появляется привкус и запах.

Для качественной очистки природной воды необходимо провести анализ водоисточника и выявить систематические отклонения от средних значений реки за несколько лет. А также необходим инженерно-технический анализ для выявления износа водозаборного и водоочистного оборудования [2]. На сегодняшний день большая часть технологических схем подготовки воды устарела и отсутствуют проектные технические решения по перевооружению станций. В литературном обзоре статьи представлен анализ разработанных технологий для повышения эффективности очистки природной воды.

### Обзор литературы

Получение высококачественной питьевой воды всегда усугубляется большой концентрацией загрязнений в исходной воде. Поэтому для снижения органических соединений на первичном этапе очистки автор Ю. А. Феофанов предложил замену химических реагентов (коагулянт и флокулянт) с максимально возможной дозой в пиковые периоды. Применение коагулянта оксихлорида алюминия и высокомолекулярного флокулянта без первичного хлорирования позволит повысить очистку на первоначальном этапе более чем на 10 % [3]. Ограничением по применению химических реагентов является остаточное их содержание в очищенной воде, а также характеристики воды в водоисточнике, температура и водородный показатель существенно влияют на эффективность очистки.

Аналогичные исследования были проведены авторами Т. А. Николаевой и И. П. Плетниковой на полупромышленной экспериментальной установке. Авторы установили, что при увеличении дозы коагулянта на 20–25 % и введении 0,35 мг/л полиакриламида значительно повышается эффективность очистки от взвешенных веществ и нефтепродуктов. Для удаления фенолов и поверхностно-активных веществ было апробировано озонирование с дозой 4 мг/л, которое подтвердило, что возможна как деструкция исходных веществ, так и образование более токсичных продуктов в зависимости от способа обработки [4].

Также существуют иные способы получения питьевой воды высокого качества. Один из способов очистки воды включает в себя стадии первичного хлорирования, коагуляции и последующей очистки в отстойниках или осветлителях со взвешенным осадком и в фильтрах, сорбционной очистки с использованием активированных углей и вторичного хлорирования. Данный способ описали в своих книгах зарубежные авторы Роберт М. Кларк и Бенджамин У. Ликинс младший [5] и отечественные ученые Ф. А. Шевелев и Г. А. Орлов [6]. Однако в процессе его использования на стадии первичного хлорирования образуются тригалогенметаны, а при наличии в исходной воде трудноокисляемых органических соединений наблюдается не-

достаточный эффект очистки. Также среди недостатков стоит выделить сложный процесс регенерации угля через 3–6 месяцев его эксплуатации.

Л. А. Кульский описал способ очистки, включающий первичное озонирование, реагентную очистку в отстойниках и фильтрах и доочистку порошковым угольным сорбентом, который дозируется в трубопровод перед насосной станцией первого подъема и песчаными скорыми фильтрами [7]. Но дозирование активированного угля в данной точке снижает эффект сорбционной доочистки и способствует быстрому росту потерь напора в загрузке и сокращению продолжительности фильтроцикла. Стоит отметить, что данный способ повышает эффективность очистки воды, в том числе от трудноокисляемых органических соединений и снижает эксплуатационные затраты.

Шенфельд Райк, Фишер Шарлотте и Райзер Ян-Петер предложили использовать для очистки воды способ, осуществляемый при помощи адсорбции в установке водоочистки, состоящей из одного основного адсорбционного устройства и адсорбционного устройства пиковой нагрузки, подключаемого при превышении заданного значения концентрации загрязнений и размещенного выше по потоку относительно основного адсорбционного устройства. Адсорбционные устройства имеют неподвижный слой дисперсного активированного угля в свободной засыпке [8]. Несмотря на сокращение риска образования десорбции, использование данного метода не исключает возможность ее возникновения. Основным преимуществом внедрения является отсутствие у адсорбционного устройства пиковой нагрузки проскоков загрязнений и увеличения срока службы установки водоочистки.

Беолия Уотер Солюшн и Текнолоджис Сэпорт предложили способ очистки воды, состоящий из зоны предварительного взаимодействия воды с порошкообразным активированным углем концентрацией 0,5 г/л – 10 г/л, после которого наступает стадия флокуляции с утяжеленными хлопьями. Далее происходит осаждение и удаление из нижней зоны осаждения смеси осадка, балласта и порошкообразного адсорбента, которые направляются в гидроциклон, а из верхней зоны осаждения удаляется обработанная вода. Балласт из гидроциклона направляется в зону флокуляции, а смесь осадка и порошкообразный адсорбент частично возвращается в зону предварительного взаимодействия, а при концентрации угля ниже 0,5 г/л добавляется свежий адсорбент. Далее наступает стадия подкисления суспензии адсорбента [9]. Таким образом, использование такого способа обеспечивает возможность возврата части уже использованного адсорбента и подачи в воду, подлежащую очистке, необходимого дозированного количества суспензии свежего адсорбента в водной среде для получения качественной воды, в результате чего снижается расход адсорбента и уменьшается количество операций обработки, необходимых для получения воды.

А. В. Тарасевич предложил фильтровать исходную воду через сорбент, содержащий графены и/или углеродные нанотрубки, и затем – через мембрану, содержащую сквозные поры диаметром 0,005–0,3 микрона. Данное изобретение повышает эффективность и надежность очистки воды и снижает ее стоимость. Очищенная вода сохраняет минеральные элементы, приобретает повышенную биологическую активность и может быть использована для питьевых и медицинских целей, водных процедур, а также в сельском хозяйстве [10].

Ученые Е. Л. Войтов и Ю. Л. Сколубович предложили использовать станцию водоподготовки, содержащую контактную камеру, осветлитель, скорый фильтр, резервуар чистой воды,

сетевой насос, установку озонирования, установку хлорирования, установку коагулирования, резервуар-усреднитель промывной воды, сгуститель, фильтр-пресс, насос осадка, эжектор-распылитель, аэратор-окислитель, блок питания, вентилятор, воздуходувку, подкачивающий насос, воздухоотделитель, установку флокулирования, промывной эжектор, отстойник контактной массы, сорбционный фильтр, загруженный гранулированным активным углем, промывной насос, насос осветленной воды, бункер осадка, для реагентного обесцвечивания, обезжелезивания, деманганации и умягчения маломутных природных вод. Результатом использования данного изобретения является повышение технологической, экономической эффективности очистки природной воды, полезной производительности и экологической безопасности станции водоподготовки [11].

Авторы Луцзянь Лю, Жун Сюй, Чжунвэнь Не, Цзюнь Дун, Юн Мин, Лэ Дэн и Лянцзюнь У предложили систему для очистки сточных вод с использованием порошкового активированного угля, содержащую устройство для добавления активированного угля, устройство для смешивания и обработки, устройство для разделения воды и активированного угля, устройство для обратной промывки, систему управления и модуль питания, что позволяет обеспечить высокоэффективную очистку сточных вод с использованием порошкового активированного угля и упростить регенерацию порошкового активированного угля [12].

На основании проведенного анализа литературных данных можно сделать вывод, что применение активных углей в качестве сорбционной очистки в системе подготовки воды эффективно и безопасно. Но большая часть рассмотренных технологий требует кардинальных изменений действующей технологии, а, следовательно, и больших капитальных затрат. Поэтому существенные модернизации так и остаются на стадии проекта. Поэтому основной целью данной работы было создание метода с минимальным изменением действующей технологии очистки и небольшими капитальными вложениями. Наиболее перспективным решением с целью очистки питьевой воды являются активные угли, которые обладают высокой эффективностью в отношении химических свойств. За основу был взят метод «углевания», дозирование порошкообразного угля в виде угольной пульпы. Предварительно был разработан лабораторный макет действующей технологии очистки и апробирован метод «углевания».

### **Лабораторные испытания на макетной установке**

Лабораторная макетная установка проектировалась на основании реальной станции очистки. Масштаб макета установки был выбран 1:40. В качестве конструкционного материала использовали органическое стекло толщиной 5 мм. Действующая технология включает следующее оборудование: смеситель, отстойник, механический песчаный фильтр. Макет был сделан по чертежам действующего оборудования для максимального приближения к реальным условиям. Вода с помощью насоса подается в смеситель (расход 0,2 л/мин), одновременно предусмотрена подача коагулянта ОХА марки «АХГ» (16,8 % алюминий хлоргидрат, 56 мг/л по товарному продукту) с помощью микродозатора. Далее вода поступает в камеру хлопьеобразования и осуществляется дозирование флокулянта Flopat Ap-905 PWG 0,24 мг/л (концентрация раствора флокулянта составляет 0,27 %). Разница между дозированием коагулянта и флокулянта составила 8 минут. Из камеры хлопьеобразования вода поступает в отстойник. Время прохождения пути от подачи воды в смеситель до выхода из отстойника составляет 1,5 часа. После

отстойника вода подается на механический фильтр. Механический фильтр представляет собой цилиндрический корпус с верхней подачей воды через сетчатый материал, для равномерного распределения воды по фильтрующему материалу. Внизу фильтра тоже установлен сетчатый материал, препятствующий выносу фильтрующего материала из зоны фильтрации. В качестве фильтрующего материала использовался кварцевый песок. Вода на механический фильтр подается с помощью насоса.

На макетной лабораторной установке была проанализирована технология очистки с учетом реальных дозровок химических реагентов и метод «углевания». На макетной установке был апробирован способ «углевания» с целью улучшения показателей качества готовой питьевой воды. Основной упор был сделан на снижение следующих показателей: ТС и перманганатная окисляемость. «Углевание» заключалось в дозировании растертого до пыльного состояния древесного активированного угля. Дозировка угля составляла 10 мг/л. Реагенты: коагулянт (56 мг/л) и флокулянт (0,24 мг/л) были продозированы в строгой последовательности с учетом реальной технологии. Дозирование угольной пульпы осуществлялось в камеру хлопьеобразования. Для процесса углевания была выбрана марка древесного активированного угля – БАУ.

Оценка эффективности технологий производилась физико-химическими методами анализа: UV–VIS-спектральный анализ в диапазоне длин волн 190–800 нм, приборный метод определения общего (ТС), органического (ТОС), неорганического углерода (ТИС), перманганатная окисляемость, цветность, щелочность, водородный показатель. Для анализа использовались следующие приборы: Shimadzu UV-1800, Elementar vario TOC, рН-метр Hanna.

UV–VIS-спектральный анализ проводился согласно методикам: «UV-1800 Shimadzu Spectrophotometer» и «Методы оптической спектроскопии» [13]. Данная методика не входит в перечень государственных стандартов, а опирается на европейскую систему оценки SPECIFIC ULTRAVIOLET ABSORBANCE (SUVA) AND UV254.

Определение общего органического углерода проводилось согласно ГОСТ Р 52991–2008 «Методы определения содержания общего и растворенного органического углерода», приводится методика определения содержания общего органического углерода в воде при помощи анализаторов углерода, принцип базируется на методе Дюма-Прегля, где проба сжигается в потоке инертного газа, а количественное определение углекислого газа производится на выходе с помощью датчика [14].

Определение перманганатной окисляемости проводилось согласно ГОСТ Р 55684–2013 «Вода питьевая. Метод определения перманганатной окисляемости» [15]. Определение цветности производилось фотометрическим методом согласно ГОСТ 31868–2012. Щелочность определялась титриметрическим способом по ГОСТ 31957–2012.

Результаты лабораторных исследований приведены в табл. 1.

Из полученных результатов лабораторных испытаний на макетной установке следует положительный эффект «углевания» на качество очищенной воды. По полученным данным: перманганатная окисляемость, органический углерод, показатель SUVA 254 – фиксируется снижение содержания органических веществ, по цветности спектральный анализ при поглощении D 400 – практически исчезает. Поэтому метод «углевания» возможен к применению при сезонных ухудшениях качества исходной воды. Данный метод заключается в дозировании угольной пульпы (водоугольная взвесь). Также основными критериями выбора данного метода являются



Таблица 1. Результаты анализов апробированных технологий на макетной установке

Table 1. Results of analyses of proven technologies on a mock-up installation

Показатель	Исходная вода	Очищенная вода после действующей технологии	Очищенная вода после метода «углевания»
Цветность, град.	21±3	10±3	5±3
ПО, мгО <sub>2</sub> /л	5,8±0,4	3,3±0,4	3,0±0,4
Щелочность, ммоль/л	2,8±0,2	2,6±0,2	2,5±0,2
pH, ед	7,34±0,1	7,36±0,1	7,44±0,1
ТС, мг/л	15,6±0,3	13±0,3	10,4±0,3
ТКС, мг/л	10,9±0,3	9,8±0,3	9,4±0,3
ТОС, мг/л	4,7±0,3	3,2±0,3	1,0±0,3
D 254	0,242	0,091	0,076
D 400	0,061	0,01	0
D 550	0,03	0	0

минимальные финансовые вложения в реконструкцию действующей технологии и максимальное использование установленного действующего оборудования.

Учитывая положительный опыт апробирования метода «углевания», следующий этап заключался в проведении опытно-промышленных испытаний на действующей станции.

#### Опытно-промышленные испытания метода «углевания»

Апробирование технологии «углевания» на действующей станции проводилось с дозированием угольной пульпы. Уголь марки БАУ может использоваться для подготовки питьевой воды (по данным ГОСТ 6217–74), он адсорбирует органические вещества и снижает перманганатную окисляемость. Использование угля в виде пульпы (порошка) позволяет в короткие сроки, в течение нескольких часов, нивелировать выброс органических веществ, связанный с природными условиями или техногенными причинами. Таким образом, «углевание» может рассматриваться в качестве экспресс-метода контроля и борьбы с биологическими и органическими загрязнениями питьевой воды.

Опытно-промышленные испытания проводились на одном фильтре из десяти действующих в связи с однотипностью конструкций всех фильтров, а также необходимостью сравнения полученных результатов предлагаемой технологии с результатами проведения подготовки питьевой воды без «углевания» для оценки точности исследования.

Для определения точки ввода угольной пульпы был проведен анализ технологической схемы для определения наиболее доступного варианта. Теоретически ввод угольной пульпы можно осуществлять на насосной станции I подъема в аванкамеру, в смеситель и перед входом на фильтр. При выборе точки ввода учитывались следующие параметры:

- удобство дозирования угольной пульпы с последующим контролем за изменением качества воды;

- удобство перемешивания угольной пульпы и более полного воздействия на обрабатываемую воду за счет задерживания угля в кварцевом песке фильтра и увеличения времени воздействия;

– возможность отсечения метода «углевания» от всей технологии подготовки воды, а также фильтрации воды после «углевания» на песчаном фильтре с последующим постепенным вымыванием угольной пульпы из фильтра.

По технологическим особенностям станции очистки воды ввод угольной пульпы осуществлялся в «воздушник» входного трубопровода перед фильтром с последующим выносом пульпы на фильтрующую поверхность.

Дозировка угольной пульпы может составлять от 5 до 20 мг/л, доза зависит от загрязненности воды и точки дозирования, а именно от содержания органических веществ в воде и загрязнений техногенного характера. Так как вода поступает на фильтр после коагулирования и отстаивания, содержание органических веществ в ней значительно ниже, поэтому оптимальной и экономичной дозировкой угольной пульпы будет 5 мг/л.

Для приготовления угольной пульпы была подготовлена смесительная установка с соединительной и регулирующей арматурой. Смесительная установка представляла собой бак объемом 90 л, миксер с электродвигателем, насос, ротаметр. Электродвигатель мощностью 370 Вт, напряжением 220 В, частотой вращения 2700 об/мин. Насос мощностью 900 Вт, производительностью 3800 л/ч и напряжением 220 В. К электродвигателю крепилась миксерная насадка из оцинкованной стали, которая перемешивает угольную пульпу. Массовый расход пульпы был рассчитан с учетом расхода подачи воды на фильтр. Для упрощения дозирования угольная пульпа была предварительно расфасована по контейнерам (рис. 1).

Заготовка угольной пульпы смешивалась с теплой водой (35–45 °С) при помощи электро-мешалки до получения однородной массы и далее переливалась в бак. Для поддержания однородного агрегатного состояния пульпа непрерывно перемешивалась. Постоянное перемешивание осуществлялось насосом с байпасной линией (циркуляция) (рис. 2). Пульпа подается с помощью насоса, а расход регулируется ротаметром (0,054–0,54 м<sup>3</sup>/ч). Время дозирования пульпы составило 8 часов. По расчетам, среднее время контакта угольной пульпы в зоне свободной воды от входа потока в фильтр до поверхности загрузки составило в среднем 19 минут. Подача пульпы происходит в высокоскоростной турбулизованный поток, что гарантированно обеспечивает взвешенное состояние пульпы.

Перед началом опытно-промышленных испытаний и после была осмотрена фильтрующая поверхность (кварцевый песок). По окончании фильтроцикла фильтр был переключен на промывку. Время промывки составило 5 минут, что является нормой.



Рис. 1. Контейнеры с заготовками для приготовления угольной пульпы

Fig. 1. Containers with blanks for the preparation of coal pulp





Рис. 2. Перемешивание угольной пульпы с помощью насоса

Fig. 2. Mixing of coal pulp with a pump

Перед началом эксперимента была разработана режимная карта, согласно которой отбирались пробы воды. Лабораторный анализ проводился по следующим показателям: перманганатная окисляемость, цветность, мутность, общий органический углерод. Результаты представлены как в виде таблицы, так и в формате диаграмм, для возможности сравнения экспериментальных результатов, полученных до и после фильтров, а также для сравнения работы двух параллельно работающих фильтров были использованы статистические методы анализа, которые позволили максимально полно и точно оценить эффективность очистки. Были вычислены основные статистические параметры невзвешенного

ряда: средняя арифметическая, абсолютная погрешность, число степеней свободы, критерий Стьюдента, среднее квадратичное отклонение, дисперсия, ошибка средней арифметической, коэффициент вариации, показатель точности опыта. По результатам проведенного статистического анализа измеренные показатели качества воды являются верными ввиду достоверных критериев Стьюдента средней арифметической и значения показателя точности опыта меньше 5 % (табл. 2–3).

По графическим зависимостям (рис. 3) видно, что разница в перманганатной окисляемости между водой до и после фильтра достоверно больше для фильтра с «углеванием», т.е. фильтр

Таблица 2. Результаты лабораторного анализа воды (до и после фильтрации) методом «углевания»

Table 2. Results of laboratory analysis of water (before and after filtration) using the «carbonization» method

Время/ дата отбора пробы	ПО, мг/л		Цветность, град.		Мутность, мг/л		ООУ, мг/л		Ост. хлор, мг/л	
	До	После	До	После	До	После	До	После	До	После
11:00/ 19.04.23	3,8± 0,3	3,7± 0,3	20± 4,5	6,8± 2	1,76± 0,4	0,58± 0,1	3,8± 0,3	3,7± 0,3	1,46± 0,3	1,43± 0,3
13:00/ 19.04.23		3± 0,3		5,8± 1,7		0,58± 0,1		3,4± 0,3		1,28± 0,3
15:00/ 19.04.23	3,6± 0,3	3,2± 0,3	25±5	5,9± 1,8	2,6± 0,4	0,58± 0,1	3,8± 0,3	3,2± 0,3	1,31± 0,3	1,3± 0,3
17:00/ 19.04.23		2,6± 0,25		6,9± 2,0		0,58± 0,1		3,4± 0,3		1,16± 0,3
12:00/ 20.04.23	3,4± 0,3	2,9± 0,3	24±5	5,3± 1,5	2,2± 0,4	0,58± 0,1	3,6± 0,3	3,4± 0,3	1,83± 0,3	1,47± 0,3
10:00/ 21.04.23	4,5± 0,4	3,1± 0,3	40±9	10,5 ±2	3,74± 0,4	0,58± 0,1	5,2± 0,4	3,8± 0,3	1,01± 0,28	0,96± 0,28

Таблица 3. Результаты лабораторного анализа воды (до и после фильтрации) без «углевания»

Table 3. Results of laboratory analysis of water (before and after filtration) without «carb»

Время/ дата отбора пробы	ПО, мг/л		Цветность, град.		Мутность, мг/л		ООУ, мг/л		Ост. хлор, мг/л	
	До	После	До	После	До	После	До	После	До	После
11:00/ 19.04.23	3,8± 0,3	3,4± 0,3	20± 4,5	7,6± 2	2± 0,4	0,58± 0,1	3,8± 0,3	3,3± 0,3	1,28± 0,3	1,28± 0,3
13:00/ 19.04.23		3± 0,3		6,8± 1,9		0,58± 0,1		3,5± 0,3		1,24± 0,3
15:00/ 19.04.23	3,4± 0,3	3± 0,3	16±4	6,0± 1,6	2± 0,4	0,58± 0,1	3,8± 0,3	3,3± 0,3	1,3± 0,3	1,28± 0,3
17:00/ 19.04.23		2,7± 0,25		5,6± 1,5		0,58± 0,1		3,2± 0,3		1,13± 0,3
12:00/ 20.04.23	3,4± 0,3	3± 0,3	11±4	7,4± 2	0,58± 0,1	0,58± 0,1	3,6± 0,3	3,2± 0,3	1,3± 0,3	1,26± 0,3
10:00/ 21.04.23	3,8± 0,3	2,7± 0,3	10±3	6,1 ±1,6	0,59± 0,1	0,58± 0,1	5,2± 0,4	3,2± 0,3	1,33± 0,3	1,19± 0,3

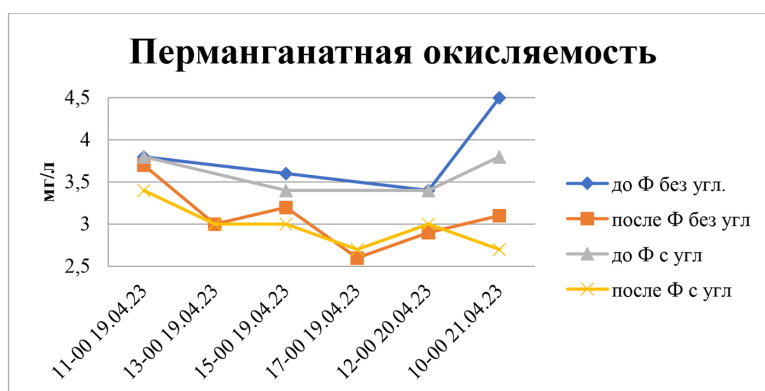


Рис. 3. Изменение перманганатной окисляемости до и после фильтров

Fig. 3. Changes in permanganate oxidizability before and after filters

с «углеванием» снимает большее количество веществ, определяемых перманганатной окисляемостью. Кроме того, стоит отметить, что произошло резкое увеличение показателя в пробе воды на входе фильтра с «углеванием» в 10:00 от 21.04.23, что связано с изменением режима работы отстойника. При увеличении производительности станции или отключении части отстойников на промывку увеличивается скорость потока воды и вследствие этого происходит вынос органических веществ из отстойника.

По графическим зависимостям (рис. 4) видно, что по цветности вода до фильтров с «углеванием» и без значительно отличается. В фильтре с «углеванием» показатель цветности на входе стабильно выше, особенно в 10:00 от 21.04.23. Также стоит заметить, что вода после фильтров по цветности практически одинаковая. Можно сделать вывод, что угольная пульпа обеспечивает снижение цветности до нормативных показателей. Поскольку принято, что цвет-

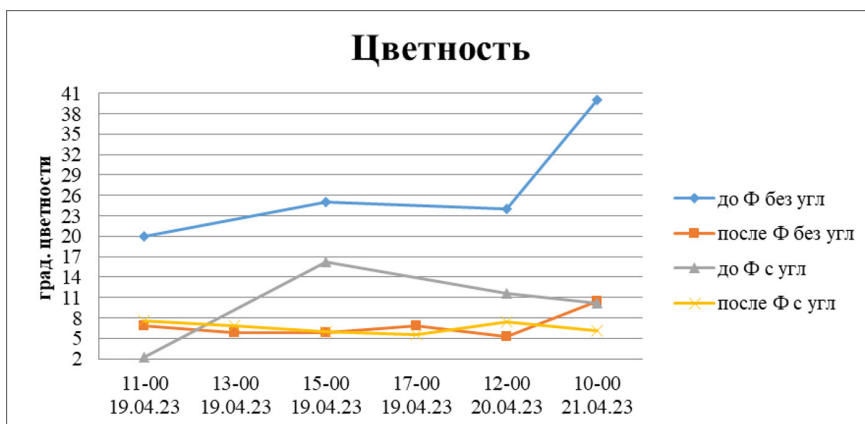


Рис. 4. Изменение цветности до и после фильтров

Fig. 4. Chroma change before and after filters

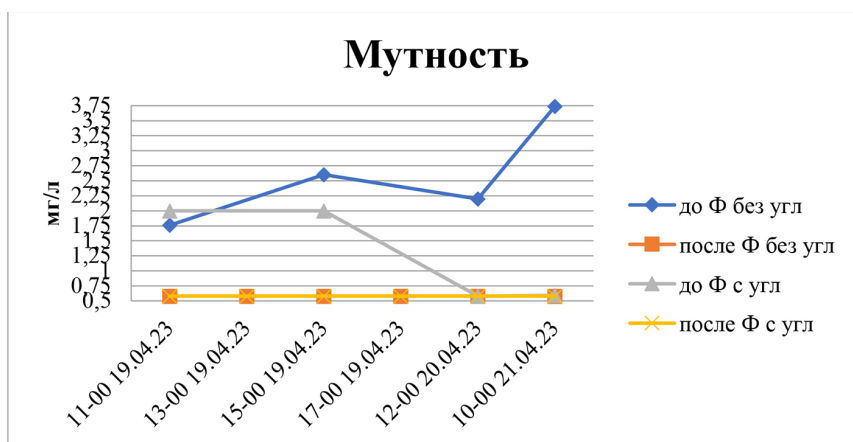


Рис. 5. Изменение мутности до и после фильтров

Fig. 5. Turbidity change before and after filters

ность природной воды обусловлена в первую очередь присутствием органических комплексов железа, можно считать данный результат примером эффективности «углевания» для удаления «органики».

Мутность воды до фильтров с «углеванием» и без значительно отличалась (рис. 5). Мутность воды на входе в фильтр с «углеванием» намного выше, особенно в 10:00 от 21.04.23. Однако после фильтров мутность воды становится одинаковой. Это свидетельствует о сильно различающемся составе воды, входящей на фильтры из отстойников. Но при этом фильтры показали одинаковую эффективность по удалению мутности.

Так же, как и в случае с другими показателями, содержание общего органического углерода на входе в фильтр с «углеванием» 21.04.23 многократно выше, чем на фильтре без «углевания». Из графиков (рис. 6) видно, что снижение общего органического углерода больше на фильтре с «углеванием».

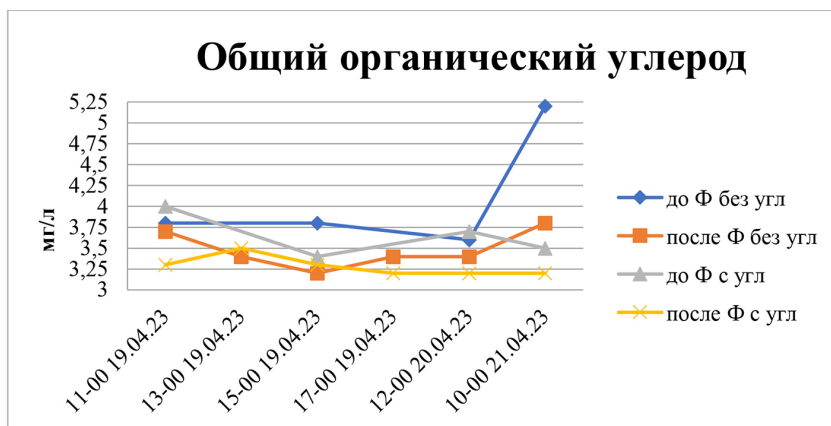


Рис. 6. Изменение общего органического углерода до и после фильтров

Fig. 6. Change in total organic carbon before and after filters

Результаты по содержанию связанного хлора до/после фильтров с «углеванием» и без не показали достоверного различия.

### Заключение

Из сравнения статистической достоверности различий между показателями работы фильтра с «углеванием» и фильтра без «углевания» можно сделать следующие заключения:

- по критериальной оценке вода, поступающая на фильтр без «углевания», достоверно отличается от воды, поступающей на фильтр с «углеванием», по показателям мутности и цветности. Есть достоверные отличия в некоторых временных точках по показателям перманганатной окисляемости, общего органического углерода. Это свидетельствует о том, что вода в отстойниках, питающих фильтр с «углеванием», более загрязнена органическими и взвешенными веществами. Так как в отстойники вода попадает из одного смесителя и, очевидно, одинакового качества, в отстойниках протекают негативные процессы, это могут быть процессы биообрастания, «цветения» воды;

- в определенные моменты, а именно наблюдаемый 21.04.23, из отстойников фильтра с «углеванием» происходит массовый выброс органических и взвешенных веществ. Вероятно, при изменении характеристик потока (линейной скорости) со дна отстойника поднимается «муль» и переносится в фильтр. Это может происходить, например, при отключении соседних отстойников на очистку;

- по связанному хлору вода, поступающая на фильтр без «углевания», достоверно не отличается от воды, поступающей на фильтр с «углеванием». Это вполне объяснимо, так как связанный хлор остается в растворимом состоянии и в отстойниках не переходит в осадок;

- поскольку по связанному хлору вода, выходящая с фильтра без «углевания», достоверно ни в одной временной точке не отличается от воды, выходящей с фильтра с «углеванием», это свидетельствует об отсутствии влияния «углевания» на остаточный связанный хлор. Следовательно, при дозе 5 мг/л порошкообразного угля марки БАУ-А не происходит влияния на содержание остаточного суммарного хлора, а значит, не требуется повторного хлорирования;

– при сравнении показателей мутности, цветности, перманганатной окисляемости, общего органического углерода в выходных параметрах фильтров – достоверные результаты различий (т.е., положительного влияния «углевания») получены не во всех точках. При небольшой степени загрязнения воды влияние «углевания» не заметно. Положительное влияние «углевания» отчетливо проявляется при сильном загрязнении воды. В связи с вышесказанным провели оценку результатов по разнице между начальным (до фильтра) и конечным (после фильтра) значениями, т.е. оценили «съем» фильтром загрязняющих веществ. Такую статистическую обработку результатов провели для показателей цветности, перманганатной окисляемости и общего органического углерода, так как именно эти показатели в большей степени «ответственны» за содержание органических веществ;

– фильтр с «углеванием» достоверно «снимает» больше органических веществ, чем фильтр без «углевания». Достоверность различий обнаружена при сравнении цветности, общего органического углерода, вспенивания. Разница по перманганатной окисляемости до и после фильтра достоверно не отличается, но нужно отметить, что перманганатная окисляемость является интегрированным показателем и не вполне однозначно определяет именно органические вещества. А такие показатели, как цветность, общий органический углерод, вспенивание, свидетельствуют именно о содержании органических веществ и снижаются фильтром с «углеванием» достоверно больше, чем фильтром без «углевания».

### Выводы

На основании полученных результатов на лабораторных макетных исследованиях и опытно-промышленных испытаниях можно заключить, что применение метода «углевания» в периоды резкого ухудшения качества исходной воды по органическим и биологическим загрязнениям позволяет снять проблему. Но для внедрения данной технологии необходимо проведение как лабораторных исследований, так и опытно-промышленных испытаний для конкретной станции очистки. Данные исследования необходимы для подбора как марки порошкообразного активного угля, так и оптимальной дозы угольной пульпы.

### Список литературы / References

[1] Румянцев В. А., Крюков А. Н., Поздняков Ш. Р., Жуковский А. В. Цианобактериальное «цветение» воды – источник проблем природопользования и стимул инноваций России, *Среда обитания*, 2011, 2, 222–227. [Rumyantsev V. A., Kryukov A. N., Pozdnyakov S. R., Zhukovsky A. V. Cyanobacterial «flowering» of water – a source of environmental management problems and an incentive for innovation in Russia, *Habitat*, 2011, 2, 222–227 (in Rus.).]

[2] Пимнева Л. А., Загорская А. А. Использование активированного угля для интенсификации процессов очистки природных вод тюменского региона, *Современные проблемы науки и образования*, 2014, 6, 266. [Pimneva L. A., Zagorskaya A. A. The use of activated carbon for the intensification of natural water purification processes in the Tyumen region, *Modern problems of science and education*, 2014, 6, 266 (in Rus.).]

[3] Феофанов Ю. А. Проблемы и задачи в сфере обеспечения населения питьевой водой, *Вода и экология: проблемы и решения*, 1999, 1, 4–7. [Feofanov Yu. A. Problems and tasks in the field

of providing drinking water to the population, *Water and ecology: problems and solutions*, 1999, 1, 4–7 (in Rus.).

[4] Николаева Т. А., Плетникова И. П. Гигиеническая оценка существующей технологии очистки питьевой воды и некоторые пути ее улучшения, *Gig Sanit*, 1975, 7, 29–33. [Nikolaeva T. A., Pletnikova I. P. Hygienic assessment of the existing drinking water purification technology and some ways to improve it, *Gig Sanit*, 1975, 7, 29–33 (in Rus.).]

[5] Clark R. M., Lykins B. W. Jr. *Granular Activated Carbon: Design, Operation and Cost*, Boca Raton, Lewis Publishers, 1989, 342.

[6]. Шевелев Ф. А., Орлов Г. А. *Водоснабжение больших городов зарубежных стран*, М.: Стройиздат, 1987, 347. [Shevelev F. A., Orlov G. A. *Water supply of large cities of foreign countries*, Moscow, Stroyizdat, 1987, 347 (in Rus.).]

[7] Кульский А. Л. *Теоретические основы и технология кондиционирования воды*, Киев: Наукова думка, 1971, 499 [Kulsky A. L. *Theoretical foundations and technology of water conditioning*, Kiev, Naukova dumka, 1971, 499 (in Rus.).]

[8] Шенфельд Р., Фишер Ш., Райзер Ян-П. Способ и установка для обработки и/или очистки воды. Патент России № 2745515. 2021. [Schoenfeld P., Fischer S., Reiser Jan-P. Method and installation for water treatment and/or purification. Russian Patent No. 2745515. 2021 (in Rus.).]

[9] Солюшн В. У. Способ очистки воды. Патент России № 2523480. 2014. [Solution V. U. Method of water purification. Russian Patent No. 2523480. 2014 (in Rus.).]

[10] Тарасевич А. В. Способ очистки воды и устройство для его осуществления. Патент России № 2502680. 2013. [Tarasevich A. V. A method of water purification and a device for its implementation. Russian Patent No. 2502680. 2013 (in Rus.).]

[11] Войтов Е. Л., Сколубович Ю. Л. Станция водоподготовки. Патент России № 2328454. 2008. [Voitov E. L., Skolubovich Y. L. Water treatment plant. Russian Patent No. 2328454. 2008 (in Rus.).]

[12] Лю Л., Сюй Ж., Не Ч., Дун Ц., Мин Ю., Дэн Л. Система и способ очистки сточных вод с использованием порошкового активированного угля. Патент России № 2636497. 2017. [Liu L., Xu J., Ne C., Dong C., Ming Yu., Deng L. Wastewater treatment system and method using powdered activated carbon. Russian Patent No. 2636497. 2017 (in Rus.).]

[13] Федорова О. А., Кулакова И. И., Сотникова Ю. А. *Методы оптической спектроскопии*, М.: МГУ, 2015, 117 [Fedorova O. A., Kulakova I. I., Sotnikova Yu. A. *Methods of optical spectroscopy*, Moscow, Moscow State University, 2015, 117 (in Rus.).]

[14] ГОСТ Р 52991–2008 / ISO 8245:1999. Вода. Методы определения содержания общего и растворенного органического углерода. Дата введения 2010–01–01.

[15] ГОСТ Р 55684–2013 / ISO 8467:1993. Вода питьевая. Метод определения перманганатной окисляемости. Дата введения 2015–01–01.

[16] ГОСТ 31868–2012 / ISO 7887:2011. Вода. Методы определения цветности. Дата введения 2014–01–01.

[17] ГОСТ 31957–2012 / ISO 9963–2:1994. Вода. Методы определения щелочности и массовой концентрации карбонатов и гидрокарбонатов. Дата введения 2014–01–01.