

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

УДК 628.162

А. Л. ВАСИЛЬЕВ¹, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой водоснабжения, водоотведения, инженерной экологии и химии; А. С. БАЛОБАНОВ, аспирант¹, ведущий инженер-технолог²

ПРИМЕНЕНИЕ АКТИВИРОВАННЫХ УГЛЕЙ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ АНТРОПОГЕННЫХ ПРИМЕСЕЙ ИЗ ПОВЕРХНОСТНЫХ ИСТОЧНИКОВ В ТЕХНОЛОГИИ ВОДОПОДГОТОВКИ

¹ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-54-87;
эл. почта: k_viv@nngasu.ru

²ООО «НПЦ ПромВодОчистка»

Россия, 603093, г. Н. Новгород, ул. Яблонева, д. 20, литера КК1, П1. Тел.: (831) 262-16-01;
эл. почта: info@prom-water.ru

Ключевые слова: водоподготовка, качество воды, активированный уголь, модернизация.

Изложены методы модернизации системы водоподготовки с установкой в качестве доочистки фильтров с загрузкой из активированного угля.

Регулирование рек, процессы эвтрофикации и развитие фитопланктона как часть естественного цикла очистки водоемов и современных процессов использования водных источников ведут к увеличению нагрузки на сооружения водоснабжения. Все вышеописанные загрязнения могут создавать антропогенные примеси, которые не всегда могут быть очищены классическими методами. Одними из косвенных показателей повышенной нагрузки на водоем являются: окисляемость, цветность, мутность, запах, привкус.

Высокое содержание загрязнений, вызывающих цветность, мутность, окисляемость ведет к увеличению расходов: коагулянта, флокулянта, извести и прочих реагентов, используемых в системах водоочистки. Не всегда корректировка режимов работы сооружений, особенно в паводковый период, может сказаться на качестве очищенной воды, в воду могут попадать органические соединения, в том числе продукты реакции применяемых реагентов. Одним из перспективных методов очистки воды от антропогенной нагрузки является использование активированных углей, которые улавливают загрязнения на своей поверхности за счет адсорбции.

В качестве примера модернизации с помощью использования активированного угля может быть рассмотрена станция водоочистки г. Чкаловска Нижегородской обл.

Источником поступления исходной воды на станцию является Горьковское водохранилище с сезонным регулированием. Площадь водного зеркала – 1195 – 1590 км²; средняя глубина – 5,5 м, максимальная – 23 м. Горьковское водохранилище используется комплексно: для выработки гидроэнергии, подачи воды на нужды хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения (до 6,5 км³ в год), промышленного рыболовства, улучшения условий судоходства, рекреации (150 учреждений отдыха в прибрежной зоне, рекреационный потенциал 25 млн посещений в год), добычи песчано-гравийной смеси со дна водохранилища (несколько млн тонн в год).



Характеристики качества воды Горьковского водохранилища по данным протоколов испытаний за несколько прошлых лет приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики качества воды Горьковского водохранилища

Наименование показателя	Ед. изм.	Результат испытания	Допустимые уровни, не более	НД на методы исследований
Цветность	градус	36,0	-	ГОСТ 31868-2012
Мутность	мг/дм ³	2,5	2,0	ГОСТ Р 57164-2016
Никель	мг/дм ³	0,050	0,02	
Железо общее	мг/дм ³	0,54	0,3	ПНДФ 14.1:2:4.50-96
Взвешенные вещества	мг/дм ³	62,0	200,0	ПНДФ 14.1:2:4.254-09
Наименование показателя	Ед. изм.	Результат испытания	Допустимые уровни, не более	НД на методы исследований
Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мгО ₂ /дм ³	9,6	4,0	ПНДФ 14.1:2:4.50-96
Химическое потребление кислорода (БПК ₅)	мгО ₂ /дм ³	148,0	30,0	ПНДФ 14.1:2:4.254-09

По прочим параметрам вода водохранилища находится в пределах ПДК.

Рассматриваемый водный источник характеризуется высоким содержанием гидробионтов, которые затрудняют работы очистных сооружений и являются проводниками бактерий и вирусов.

Характеристики качества воды Горьковского водохранилища по гидробиологическим показателям содержания фитопланктона приведены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристики качества воды Горьковского водохранилища по гидробиологическим показателям

Наименование показателя	Ед. изм.	Результат исследования	Методика исследований
1.Общая численность фитопланктона	кл/мл	14 840	РГ-1992
2.Общая биомасса фитопланктона	мг/л	1,284	
3.Класс качества вод по 6-балльной шкале		III	
4.Диатомовые (биомасса основных групп)	мг/л	0,475	
5.Диатомовые (численность основных групп)	кл/мл	587	
6.Зеленые (численность основных групп)	кл/мл	67	
7.Зеленые (биомасса основных групп)	мг/л	0,015	
8.Сине-зеленые (численность основных групп)	кл/мл	14173	
9.Сине-зеленые (биомасса основных групп)	мг/л	0,781	

По данным Верхне-Волжского УГМС, журналов контроля качества воды производственной лаборатории ООО «Водоканал» г. Чкаловска: воды Горьковского



водохранилища на протяжении последних нескольких лет характеризовались как очень загрязненные (3-й класс, разряд Б) и грязные (4-й класс, разряд А) [1] по показателям трудноокисляемых органических веществ по величине ХПК, легкоокисляемых органических веществ по величине БПК₅ и железу общему. В соответствии с ГОСТ 2761-84 п. 2.2 класс поверхностного водосточника Горьковского водохранилища принят 3-й по показателям БПК и ХПК.

Проект станции водоподготовки разрабатывался в 1954 г. Заполнение водохранилища началось в 1955 году. Фильтровальная станция г. Чкаловска введена в эксплуатацию в 1956 году. Проектный состав станции: первичное хлорирование, коагулирование, горизонтальные отстойники, скорые фильтры, вторичное хлорирование. В 2012 г. был заменен окислитель с жидкого хлора на альтернативный окислитель – гипохлорит натрия.

Качество воды водохранилища из-за процессов регулирования водохранилища стало изменяться. Сооружения водоподготовки стали не справляться с очисткой воды. В связи с этим компанией ООО «НПЦ ПромВодОчистка» был разработан проект реконструкции существующих сооружений.

Получение питьевой воды нормативного качества при использовании поверхностных вод зависит от эффективности применяемых на водопроводной станции методов очистки воды. В табл. 3 приведены обобщенные данные по лимитирующим показателям качества воды Горьковского водохранилища.

Таблица 3

Показатели

Показатели	Ед. изм.	Фактическое значение
1. Запах	балл	2
2. Привкус	балл	2
3. Мутность	мг/дм ³	0,5–3,0 до 30(планктон)
4. Цветность	градус	35–90
5. Перманганатная окисляемость	мгО/дм ³	8,0–15,0
6. Водородный показатель	Ед. рН	6,0–7,5
7. Железо общее	мг/дм ³	0,4–2,0
8. Марганец	мг/дм ³	0,01–0,30
9. Нефтепродукты	мг/дм ³	0,02–0,06
10. АПАВ	мг/дм ³	0,10–0,30

Согласно табл. 11 СП31.13330.2021 [2], для осветления и обесцвечивания воды Горьковского водохранилища могут быть использованы технологические схемы, включающие:

- отстойники и скорые фильтры;
- контактные префильтры и скорые фильтры;
- контактные осветлители.

Использование технологической схемы с отстойниками и скорыми фильтрами возможно при мутности исходной воды до 1500 мг/дм³ и цветности до 120 градус. Мутность воды Горьковского водохранилища редко превышает 3,0 мг/дм³, что недостаточно для эффективного протекания процессов хлопьеобразования и отстаивания, особенно в холодное время года.

В работе [3] отмечено, что режимы коагуляции волжской воды в холодное



время года не соответствуют назначению типовой двухступенчатой технологии осветления воды вследствие повышенного выноса взвеси на фильтры, что указывает на недостаточную барьерную роль отстойников. Таким образом, основная нагрузка по осветлению и обесцвечиванию воды перераспределена на фильтровальную загрузку, в которой очистка воды протекает по типу контактной коагуляции.

Таким образом, для осветления и обесцвечивания воды Горьковского водохранилища в проекте была применена схема двухступенчатого фильтрования (контактные префильтры – скорые фильтры) и в качестве финальной обработки воды были применены напорные фильтры с загрузкой из активированного угля.

Данная технологическая схема позволит при необходимости работать при высоких дозах коагулянта, которые могут потребоваться в периоды экстремально высокой загрязненности воды источника водоснабжения.

Качество воды волжских водохранилищ подвержено значительным сезонным изменениям. В частности, при нарушении кислородного режима в воде увеличивается содержание двухвалентного железа (зимой) и марганца (летом). Возможно заметное ухудшение органолептических показателей качества воды. Решение этих проблем требует применения окислителей и сорбентов.

Финишная ступень очистки воды на сорбционных фильтрах предназначена для снижения содержания продуктов хлорирования и высокомолекулярных примесей: нефтепродуктов, ПАВ, растворимых продуктов жизнедеятельности планктона, предотвращения наличия у воды «нефтяного» запаха в сезон навигации. Сорбционное фильтрование также предусматривается на напорных фильтрах, в качестве загрузки используется активированный уголь марки «АГ-3».

Макетные испытания по данной технологической цепочке показали следующие результаты: снижение цветности с 52 до 12,4 градус; снижение мутности с 5,4 до 1,2 мг/л; снижение окисляемости с 10,4 до 4,0 мгО₂/л; снижение общего железа с 0,8 до 0,19 мг/л. Данные испытания подтвердили эффективность очистки на предложенной технологической схеме.

Сорбционные фильтры подбираются и технически исполняются так же, как и скорые фильтры. В данном проекте для сорбционных фильтров используются корпуса типа ФСУ 2,0-0,6 из углеродистой стали. Негативным моментом в эксплуатации данных фильтров является то, что все поверхности, контактирующие с фильтрующим материалом в водной среде, подвержены повышенной коррозии. Также железо из корпуса фильтра будет сорбироваться в фильтрующем слое. Вследствие этого места соприкосновения должны иметь усиленную антикоррозионную обработку.

Сорбционные фильтры требуют строгого контроля качества очистки воды, для того чтобы контролировать проскок загрязнений и точно спрогнозировать время замены активированного угля.

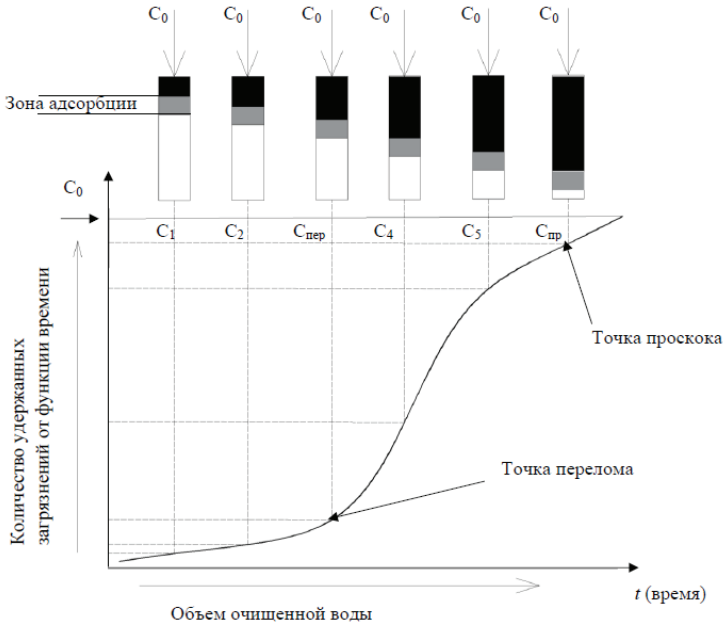
При прохождении воды через слой активированного угля растворенные вещества сорбируются на поверхности загрузки, формируется зона массообмена.

На рисунке показано изменение концентрации адсорбированных частиц на поверхности активированного угля во времени.

Растворенные вещества удерживаются на верхних слоях до тех пор, пока адсорбированное количество не уравнивается с концентрацией растворенного вещества в потоке. В это конкретное время эта часть сорбционной емкости материала исчерпана [5].

График между концентрацией загрязнений и объемом очищенной воды представляет собой S-образную кривую в зоне адсорбции с концами, асимптотически

стремящимися к нулю, и концентрацией C_0 на входе. Эта кривая известна как кривая проскока. Идеальный участок до проскока, полученный для адсорбера с неподвижным слоем, изображен на рисунке. После прохождения точки перелома сорбционная емкость материала будет полностью исчерпана, что приведет к проскоку загрязнений.



Типовое движение зоны адсорбции в адсорбере с неподвижным слоем: C_0 – концентрация загрязнений в источнике; $C_{1..5}$ – концентрация загрязнений после фильтра; $C_{пер}$ – концентрация загрязнений в точке перелома; $C_{пр}$ – концентрация проскока загрязнений

Промывка скорых фильтров организована обратным током воды, что обеспечивает вымывание загрязнений из толщи воды. В случае с активированными углями регенерация, т. е. возвращение к исходным фильтрующим характеристикам возможно только в специальных условиях, схожих с процессами активации углей. Накопленные загрязнения из угля не вымываются. Промывка обратным током сорбционных фильтров используется для предотвращения слеживания материала и смыва накопившихся в верхних слоях механических примесей, но и такая промывка ведет к перемешиванию слоев с различной сорбционной емкостью, это уменьшает фильтроцикл угольной загрузки. Включение в технологическую схему дополнительного узла доочистки в виде засыпных фильтров с активированным углем увеличивает объем воды, подаваемой на сооружения доочистки дренажного стока. Одним из способов уменьшения количества промывной воды – это применение водовоздушной промывки, в проекте из примера используется только водная промывка. Промывка обратным током неизбежно приведет к истиранию материала и потребует его досыпка, но новый материал будет иметь максимальную емкость, а сорбционная емкость материала уже уменьшена, и, как следствие, досыпка не скажется на фильтрующей способности всего материала [4].

Соответственно после определения износа фильтрующего материала его необходимо будет выгружать, что является не простой задачей из-за образования за-



стойных зон, в которых накапливается сыпучий материал.

Исходя из вышесказанного, метод очистки с использованием активированных углей имеет и положительные, и отрицательные стороны: высокие капитальные затраты на строительство сооружений; строгий контроль работы сооружений на предмет исчерпания сорбционной емкости фильтрующего материала.

Использование активированных углей является одним из перспективных методов доочистки природных вод. На многих водопроводных станциях к сорбционной очистке переходят путем замена части фильтрующего материала в скорых фильтрах, но данные изменения требуют корректировки гидродинамического режима работы фильтра из-за разной массы фильтрующего материала.

Безусловным преимуществом применения сорбционной очистки в практике водоснабжения является способность активированных углей к улавливанию широкого перечня загрязнений с различной природой происхождения. Данное свойство позволяет задерживать загрязнения до любой остаточной концентрации не зависимо от химической устойчивости. Данный процесс доочистки не имеет вторичных загрязнений. Также возможно прогнозируемое управление процессом фильтрации.

Применение в практике технологических схем с использованием активированных углей позволит улучшить качество очищенной воды при повышенных антропогенных нагрузках на водоемы, но данный метод требует грамотного подхода при проектировании и эксплуатации сооружений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. РД 52.24.643-2002. Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязнения поверхностных вод по гидрохимическим показателям : руководящий документ : утвержден и введен в действие Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды от 3 декабря 2002 г. : дата введения 1 января 2004 г. – Ростов-на-Дону : Росгидромет, 2002. – 50 с. – Текст : непосредственный.

2. СП 31.13330.2021. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения : свод правил : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 27 декабря 2021 г. № 1016/пр : актуализированная редакция СНиП 2.04.02 – 84* : дата введения 28 января 2022 г. – Москва, 2022. – 155 с. – Текст : непосредственный.

3. Чуриков, Ф. И. Производственные испытания полиоксихлорида алюминия на водопроводных станциях г. Казани / Ф. И. Чуриков, Н. Ф. Яруллин, В. П. Овчинников. – Текст : непосредственный // Водоснабжение и санитарная техника. – 2005. – № 8. – 38–43 с.

4. Смирнов, А. Д. Сорбционная очистка воды / А. Д. Смирнов. – Ленинград : Химия, 1982. – 168 с. – Текст : непосредственный.

5. Lehr, Jay. Water Encyclopedia: Domestic, Municipal, and Industrial Water Supply and Waste Disposal / Jay Lehr, Jack Keeley // John Wiley & Sons, Inc., Hoboken. – New Jersey, 2005. – 952 с.

VASILEV Aleksey Lvovich¹, doctor of technical sciences, professor, holder of the chair of water supply, sewage, engineering ecology and chemistry; BALOBANOV Aleksandr Sergeevich, post graduate student¹, leading engineer technologist²

APPLICATION OF ACTIVATED CARBON TO REMOVE ANTHROPOGENIC IMPURITIES FROM SURFACE SOURCES IN WATER TREATMENT TECHNOLOGY



¹Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-54-87;
e-mail: k_viv@nngasu.ru

²JSC PromVodOchistka
20, Yablonevaya St., letter KK1, P1, Nizhny Novgorod, 603093, Russia. Tel.: +7 (831) 262-16-01;
e-mail: info@prom-water.ru

Key words: water treatment, water quality, activated carbon, modernization.

The article describes a method for modernizing a water treatment system with the installation of filters loaded with activated carbon as an aftertreatment.

REFERENCES

1. RD 52.24.643-2002 Metodicheskie ukazaniya. Metod kompleksnoy otsenki stepeni zagryazneniya poverkhnostnykh vod po gidrokhimicheskim pokazatelyam [Methodological guidelines. The method of comprehensive assessment of the degree of pollution of surface waters by hydrochemical indicators]: utverzhd. i vved. v deystvie Fed. sluzhboy po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushey sredy ot 3 dekabrya 2002 g. : data vved. 1 yanvarya 2004 g. – Rostov-on-Don: Rosgidromet, 2002. – 50 p.
2. SP 31.13330.2021. Vodosnabzhenie. Naruzhnye seti i sooruzheniya [Water supply. External networks and structures] : svod pravil: utverzhdyon prikazom Ministerstva stroitelstva i zhilishno-kommunalnogo khozyaystva Rossiyskoy Federatsii ot 27 dekabrya 2021 g. № 1016 / pr : aktualizirovannaya redaktsiya SNI P 2.04.02-84* : data vved. 28 yanvarya 2022 g. – Moscow, 2022. – 155 p.
3. Churikov F. I., Yarullin N. F., Ovchinnikov V. P. Proizvodstvennye ispytaniya polioksikhlorida alyuminiya na vodoprovodnykh stantsiyakh g. Kazani [Production tests of aluminum polyoxychloride at waterworks in Kazan] // Vodosnabzhenie i santekhnika [Water supply and sanitary technique] 2005. № 8. – 38–43 p.
4. Smirnov A. D. Sorbtionnaya ochistka vody [Sorption water treatment]. – Leningrad: Khimiya, 1982. – 168 p.
5. Jay Lehr., Jack Keeley., Water Encyclopedia: Domestic, Municipal, and Industrial Water Supply and Waste Disposal, – John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2005. – 952 p.

© **А. Л. Васильев, А. С. Балобанов, 2023**

Получено: 28.01.2023 г.