

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ УЗЛА СОРБЦИОННОЙ ДООЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАМЫВНЫХ СОРБЦИОННЫХ ФИЛЬТРОВУрецкий¹ Е.А., Николенко² И.В., Мороз³ В.В.

¹Республиканское унитарное предприятие Белорусский государственный проектный институт «БелГПИ»
210602, Республика Беларусь, г. Витебск, ул. Пушкина, 6,
e-mail: euretsky@yandex.by

²Академия строительства и архитектуры, ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»
295493, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская 181
e-mail: energia-09@mail.ru

³Брестский государственный технический университет
224017 Республика Беларусь г. Брест, ул. Московская, 267

Аннотация. В статье показано, что возрастающая антропогенная нагрузка на водные объекты, неадекватность используемых технологий водоочистки с дополнительно загрязняющими компонентами обуславливают приоритетную значимость экологических аспектов, в том числе с применением технологических процессов адсорбции на природных сорбентах и их аналогах. Применение природных минералов в очистке сточных вод приемлемо с экологической и экономической точки зрения, но для уточнения их сорбционных свойств необходимо проведение дополнительных исследований. Обосновано применение пылевидного сорбента в практике доочистки сточных вод, которое позволяет максимально реализовать сорбционный резерв материала при минимальном его расходе. Разработаны лабораторная и опытно-производственная установки для исследования технологического процесса сорбционной очистки с использованием намывных сорбционных фильтров. Для сточных вод машиностроительного предприятия проведены экспериментальные исследования работы узла сорбционной доочистки с использованием намывных сорбционных фильтров на основе использования пылевидного торфа, а также определены оптимальные параметры их работы. Проведен анализ полученных результатов, а также даны рекомендации по возможности использования пылевидного торфа в качестве амфотерного ионообменного материала без специальной предварительной подготовки.

Предмет исследования. Возможность использования пылевидного торфа в качестве амфотерного ионообменного материала без специальной предварительной подготовки, в связи с содержанием в нём карбоксильных и аминок групп, которые обуславливают как катионный, так и анионный обмен

Материалы и методы исследования: В работе были проведены экспериментальные исследования на лабораторной и опытно-промышленной установках, в которых для обеспечения значительной по величине сорбционной поверхности при тонкослойном распределении пылевидного торфа, как мелкозернистого сорбционного материала, применялись твёрдые основы с развитой удельной поверхностью. Разновидностью такой подложки может стать любая сыпучая зернистая основа типа фильтрующей загрузки. При проведении экспериментов контролировались параметры: крупность фильтрующей загрузки, концентрация суспензии сорбента, скорость фильтрации и интенсивность промывки, концентрация загрязнений и степень очистки.

Результаты. В условиях экспериментальных исследований технологических процессов доочистки производственных сточных вод сорбцией с применением пылевидного торфа достигнута эффективность лабораторной установки 96...98% по осветляющей способности и до 93% по органическим загрязнениям, а на пилотной установке обеспечивалось снижение содержания взвешенных веществ в воде на выходе из сорбера как минимум в 2,5 раза, а ХПК – в 1,5 раза.

Выводы. По результатам выполненных экспериментальных исследований установлено, что применение пылевидного сорбента, в виде пылевидного торфа, в практике доочистки сточных вод позволяет максимально реализовать сорбционный резерв материала при минимальном его расходе.

Ключевые слова: торф, пылевидный сорбент, керамзит, фильтрат, фильтрующая загрузка, сточная вода, эффективность очистки.

ВВЕДЕНИЕ

Главным глобальным риском для всего мирового сообщества в течение следующих десятилетий является водный кризис, который становится одним из угрожающих вызовов человечеству. На Всемирных форумах по водным ресурсам определены важнейшие глобальные факторы возникновения их дефицита. Основными являются нерациональное и неправильное использование пресной воды. Возрастающая антропогенная нагрузка на водные объекты, неадекватность используемых технологий водоочистки с дополнительно загрязняющими компонентами обуславливают приоритетную значимость экологических аспектов в решении проблем

обеспечения безопасности водопользования, в том числе питьевого водоснабжения [1,2].

Извлечение всех токсикантов антропогенного генезиса из природных вод достаточно сложно с помощью традиционных методов очистки воды, и технологических процессов реализуемых на большинстве станций РФ, поэтому часть из них попадает с обработанной водой непосредственно к потребителю. Все вышесказанное относится также и к биологическим загрязнениям. С другой стороны, многие токсичные соединения образуются непосредственно на водопроводных станциях в процессах обработки воды при коагуляции, хлорировании, озонировании и др. Состав и количество этих соединений часто трудно предсказуемы.

Оценивая сложившуюся ситуацию в современных условиях водопользования необходима разработка и внедрение методов модернизации существующих очистных сооружений таким образом, чтобы усовершенствовать их работу и увязать качество воды с вновь вводимыми нормативами безопасности жизнедеятельности, создав максимально возможный барьер для наибольшего (в каждом конкретном случае) числа токсикантов. К одним из широко применяемых в практике водоподготовки относится метод сорбционного извлечения примесей из воды. Существенно повысить эффективность очистки воды можно за счет использования местных фильтрующих природных материалов на завершающей стадии очистки воды, к которым относят природные цеолиты и агломератовые туфы. За рубежом и в России активно применяются в качестве таких сорбентов природные глины, глинистые минералы, диатомиты и торф.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Увеличение объемов и темпов мирового промышленного производства приводит к увеличению антропогенного влияния на природную среду, в том числе к загрязнению источников водных ресурсов. Очистные сооружения для обработки воды и стоков на многих промышленных предприятиях по различным причинам не могут обеспечить высокий уровень очистки сточных вод. Поэтому промышленные стоки, включая утечки токсикантов широкого спектра действия, сильно повышают вероятность и масштабность аварийных утечек в окружающую среду таких особо токсичных для человека соединений как нефтепродукты, СПАВ, фенолы и полиароматические соединения. Многие водные объекты, куда регулярно сбрасываются хозяйственно-бытовые и промышленные сточные воды либо попадают «аварийные» сбросы, утрачивают способность к самоочищению, и поэтому существенная часть загрязнений обнаруживается в створах водозаборов очистных сооружений водопроводных очистных сооружений.

Одной из характерных проблем экономики Российской Федерации является недостаточная рациональность использования водных ресурсов. Факторами, оказывающими негативное влияние на уровень рациональности использования водных ресурсов, являются применение устаревших водоемких производственных технологий, что сохраняет высокий уровень негативного антропогенного воздействия на водные объекты. В результате более 70% сточных вод, подлежащих очистке, сбрасываются недостаточно очищенными, почти 20% - загрязненными без очистки, и только 10% - очищенными до установленных нормативов. Более 25% общего объема сброса загрязненных сточных вод приходится на долю промышленных предприятий. Основными источниками загрязнения

водных объектов являются предприятия, осуществляющие целлюлозно-бумажное, химическое, металлургическое производство, полиграфическую деятельность, производство кокса, нефтепродуктов, добычу металлических руд, а также предприятия угольной промышленности. В соответствии с положениями Водной стратегии Российской Федерации одними из основных задач, определяющих направления развития водохозяйственного комплекса являются повышение рациональности использования водных ресурсов [3, 4].

Учитывая сложившуюся ситуацию, требуется, с одной стороны вести поиск и внедрение методов, способствующих самоочищению водоемов, с другой – модернизировать существующие очистные сооружения [5, 6]. Распространение химических загрязнений техногенного происхождения и их специфика в источниках водоснабжения хорошо коррелируется с расположенными в данных районах объектами различных отраслей промышленности. Поэтому самоочищению источников питьевого водоснабжения способствует полноценная очистка сточных вод, сбрасываемых в эти водные объекты. Основной задачей преодоления рисков от техногенных и антропогенных загрязнений является достижение требований гигиенического нормирования при минимизация дополнительной химизации воды, которые могут быть преодолены только технологически с учётом современных технологических достижений. Не менее важным при внедрении современных технологических процессов обеспечить их высокую технико-экономическую эффективность. Начальной стадией процесса водоподготовки природной воды чаще всего применяются процессы расширенного окисления: химического, физического или физико-химического. Использование окислительных технологий в основном купирует имеющуюся микробиологическую компоненту, что позволяет в дальнейшем водопроводным очистных сооружениям работать с большей эффективностью при их защите от бактерицидного загрязнения. Удаление техногенных загрязнений, не поддающихся полной деструкции окислителями, обуславливает применение на конечном участке технологической схемы сорбционных методов доочистки.

Несмотря на широкое практическое использование сорбционных методов и комплексов в очистке производственных сточных вод, в этой области существует ряд проблем. К наиболее существенным относятся следующие: недостаточная сорбционная емкость материалов, отсутствие надежных способов регенерации сорбентов, ресурсосберегающих экологизированных технологий очистки с использованием сорбентов, способов утилизации тяжелых металлов из отходов комплексообразованием. На практике используются различные сорбенты, которые разделяют на углеродные и минеральные. К первым относятся

активные угли, торф и другие материалы, получаемые в основном при переработке различных органических материалов, ко вторым – силикагели, алюмогели, цеолиты. Все сорбенты в той или иной мере также проявляют активность к поглощению как нефтепродуктов, так и ионов металлов. Стоимость природных сорбентов в десятки раз ниже, чем искусственных, поэтому часто их не регенерируют. Сорбционное извлечение металлов из сточных вод получило достаточно широкое распространение вследствие высокой эффективности и отсутствия вторичных загрязнений. Сорбционные материалы поглощают из водных растворов металлы практически до любых остаточных концентраций [7, 8].

Основной проблемой современных технологических систем применения сорбционных методов доочистки является разработка экологически безопасных технологий с максимально замкнутым циклом и минимальным количеством отходов. Сложившаяся в настоящее время ситуация в этой области исследований вызвала необходимость совершенствования сорбционных технологий и селективных процессов очистки загрязненных растворов и технологических жидкостей для комплексного решения ресурсосберегающих и экологических проблем. В результате направленных исследований широкого спектра сорбционных материалов применительно к очистке сточных вод получили дальнейшее развитие процессы адсорбции на природных сорбентах и их аналогах [7].

Применение природных минералов в очистке сточных вод приемлемо с экологической и экономической точки зрения, но зачастую такие материалы не обладают нужными сорбционными свойствами и их необходимо химически модифицировать. В результате модифицирования получают сорбенты с отличной от исходного минерала природой поверхности и сочетающие в себе полезные свойства исходного материала и синтетических сорбентов [8]. Хорошие результаты достигаются при модифицировании бурых углей и коксов на их основе. Технология получения активированных углей энергоёмкая, что повышает стоимость готового продукта и приводит к необходимости регенерировать сорбент. Для регенерации активных углей используют термические, химические или биологические методы. Однако их доступность и дальнейшая возможность использования в качестве топлива или добавок к стройматериалам, позволяют широко использовать их для очистки природных и сточных вод.

Сорбционными свойствами обладают многие природные материалы, такие как цеолиты, сапропели, торфы и т.д. Идея использования торфа для очистки стоков не нова. Практическому использованию торфа способствует то, что это природное вещество не токсично, дёшево. Технология его добычи проста, а торфяное сырьё широко доступно. Хотя сорбционная ёмкость торфа

ниже, чем у других сорбентов, но низкая стоимость его конкурентно способна. Торф многокомпонентная система, в состав которой входят органические и минеральные части, а также вода. В естественном состоянии торф содержит до 95% воды, в сухом – до 50 % минеральных веществ. Гуминовые вещества торфа, обладающие различными активными группами и развитой пористостью, являются хорошими сорбентами. Известно, что торф можно использовать для очистки сточных вод от тяжёлых металлов.

Месторождения торфа в Беларуси распространены почти повсеместно, возраст этого полезного ископаемого четвертичный. Согласно данным «Государственного научно-производственного объединения НППЦ НАН Беларуси по биоресурсам «Торфяники Беларуси» [9] на 13.08.2019 года в Беларуси выявлено около 9200 месторождений, в которых сосредоточено 3 млрд. т торфа. Эксплуатируется порядка 400 месторождений, ежегодно добывается 13...15 млн. т. За все годы разработки торфяных залежей добыто 1,1 млрд. т торфа. Фрагмент базы данных «НППЦ НАН Беларуси по биоресурсам «Торфяники Беларуси»» приведен в табл. 1.

Предполагается использовать торф в качестве амфотерного ионообменного материала без специальной предварительной подготовки. Применимость этого материала объясняется содержанием в нём карбоксильных и аминогрупп. Первые обуславливают катионный обмен, вторые – анионный. Торфу присущи некоторые недостатки, например, низкая механическая прочность. Однако эти недостатки компенсируются низкой стоимостью материала и необязательной вследствие этого регенерацией поглотителя. Известно, путём сжигания сорбционного материала можно возвратит поглощённые металлы в виде их окисей. К, примеру, при содержании ртути 50 мг/дм³ при pH = 2 торф сорбирует её до 90 %, медь из аммиачных растворов может быть сорбирована на 100 % [10].

Преимуществом торфяной загрузки является и то, что она способна задерживать значительное количество взвеси. Эффект ионного обмена при этом не снижается. В работах специализированной государственной научно-исследовательской организации в области комплексного использования водных ресурсов Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь (ЦНИИКИВР) показано, что фагновый торф способен поглощать металлы из дождевых сточных вод [11]. Принципиально возможно использовать торф и для очистки сточных вод для предприятий машиностроительной отрасли.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СОРЕБЦИОННЫХ СВОЙСТВ ТОРФА

С физической точки зрения торф – трёхфазная, полидисперсная система, состоящая из твёрдой, жидкой и газообразных фаз. Определение влажности торфа было проведено в соответствии с требованиями ГОСТ 12597-67. В естественном состоянии торф содержит от 85% до 95% воды.

Зольность определялась в соответствии с ГОСТ 12596-67. В зависимости от вида торфа (а их более 40), условия его залегания и питания месторождений грунтовыми, сточными и атмосферными осадками содержание минеральной части меняется от 0 до 50%. Зольность 50% предельная для торфа (это граница между понятиями “торф” и “почва”).

Таблица 1. База данных «Торфяники Беларуси»

Информация предоставлена на 13.08.2019 года								
Область	Район	Общая площадь торфяника, га	Земельный фонд, га	Фонд особо ценных видов торфа, га	Разрабатываемый фонд, га	Выбывшие из промышленной эксплуатации торфяники, га	Средняя глубина торфяной залежи, м	Общая площадь болот, га
Гомельская Минская	Солигорский, Житковичский	21716,6	5181,6	0	3574	4957,4	1,67	12961
Гомельская	Житковичский	2399	2399	0	0	80,4	1,19	0
Гомельская	Житковичский, Петриковский	320	0	0	0	0	1,65	320
Гомельская	Житковичский	364	364	0	0	0	0,9	0
Гомельская	Житковичский	1145	1145	0	0	0	0,85	0
Гомельская	Житковичский	24	24	0	0	18,3	2,26	0
Гомельская	Житковичский	2727	2727	0	0	659,7	1,69	0
Брестская, Гомельская, Минская	Солигорский, Лунинецкий, Житковичский	28070	21368	0	0	805,2	1,01	6702
Брестская, Гомельская	Столинский, Житковичский, Петриковский, Лельчицкий, Мозырский	85243,7	6793,7	0	400	495,4	2,09	78050
Итого по странице		147943,3	40002,3	0	3974	7016,4		103967
Всего по таблице		2674803,1	1629713,1	19448	98816	308959,2		926826

Твёрдая фаза торфа состоит из частиц различных размеров от крупных, видимых невооружённым глазом, до коллоидных, которые обнаруживаются только под микроскопом, т.е. торф - дисперсионный материал. Изменения дисперсности слагающих торф растительных остатков сказывается на таких характеристиках торфа, как пористость, плотность, адсорбционная активность. При высушивании сырого торфа нагреванием при температуре 105°C был получен сухой торф или сухой остаток, называемый “абсолютно сухим торфом”. Он состоит из органической и минеральной частей.

В состав золы торфа входят окиси кремния, кальция, железа, натрия, марганца серы и других элементов по данным Института торфа АН БССР. Процентное содержание отдельных элементов колеблется в широких пределах. Органическая масса торфа содержит в основном пять элементов: углерод, водород, кислород, серу и азот. Содержание углерода в органической массе торфа изменяется от 48 до 65%; кислорода – от 25 до 45%; водорода – от 4,7 до 7,3%. Процент азота колеблется в значительных пределах и зависит от типа торфа: в верховом типе от 0,6 до 2,5%, а в торфе низинного типа от 1,3 до 3,8%. Серы в торфе не более 1%. Гуминовые вещества торфа составляют от 20 до 70% по органической части.

Химическая природа торфа позволяет использовать его в качестве сорбента при очистке сточных вод. Причём, повышению его сорбционной ёмкости способствует применение пылевидного торфа и основную роль в процессе извлечения тяжёлых металлов (ТМ) и органических загрязнений из сточных вод предприятий машиностроительных отраслей играет хемосорбция. Определение осветляющей способности пылевидного торфа по метиленовому голубому проводилось по ГОСТ 4453-48. Осветляющая способность рассчитывается по формуле

$$A = 5n.$$

где n – количество раствора метиленового голубого, обесцвеченное навеской сорбента в 0,1 кг, дм^3 ,

Осветляющая способность определялась как в статических, так и в динамических условиях. Осветляющая способность некоторых видов торфа достигает 60...65%. Определение сорбционной активности по йоду проводилось по методу, описанному в МРТУ №6-16-10 003-67. Сорбционная активность F (%) вычислялась по формуле:

$$F = \frac{(V_1 - V_2) \cdot 0.0127 \cdot 100 \cdot 100}{10PG_Y}, \%,$$

где V_1 – объём 0,1N раствора тиосульфата натрия, израсходованного на титрование 10 мл исходного 0,1 N раствора йода, мл; V_2 – объём 0,1N раствора тиосульфата натрия, израсходованного на титрование 10 мл осветлённого испытываемым сорбентом раствора йода, мл; G_Y – величина навески

сорбента, г; 0,0127 – количество йода, соответствующее 1 мл 0,1N раствора тиосульфата натрия, г;

В опытах сорбционная активность составляла от 58,5 до 63,5%.

Адсорбция органических примесей производится из растворов в дистиллированной воде реактивом марок “ХЧ” и “ЧДА”. Общая обменная ёмкость торфа основных видов мг-экв/г показана в табл. 2

Таблица 2

Виды торфа	БИСИ	Никонов	Институт торфа
Верховой	83	74	149
Переходный	102	107	187
Низинный	132	77	160

Обменная ёмкость по бариям составляет (по данным института торфа) от 0,66 до 10 мг-экв/г в зависимости от атомного веса металлов. Таким образом, принципиально возможно использование пылевидного торфа в качестве сорбента при очистке сточных вод предприятий машиностроительной отрасли, содержащих ионы тяжёлых металлов, таких как Zn, Ni, Cu, Cd и т.д. и органические загрязнения.

ИССЛЕДОВАНИЕ УЗЛА СОРБЦИОННОЙ ДООЧИСТКИ ОСВЕТЛЁННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

В лабораторных условиях

Предпосылки для построения модели установки. Применение пылевидного сорбента в практике доочистки сточных вод требует использования такого технологического процесса, который бы позволил максимально реализовать сорбционный резерв материала при минимальном его расходе. При этом необходимо учесть также, тот факт, что определяющее место в сорбционном процессе на пылевидном сорбенте занимает внешняя диффузия, т.е. подвод загрязнителей к активным центрам поглотителя. Проникновение же адсорбтива во внутрь сорбционных зёрна имеет второстепенное значение. Поэтому из стимулирующих факторов поглощения следует считать развитость внешней активной поверхности слоем минимальной толщины, не превышающей двух – трёх диаметров среднего размера сорбционного зёрна.

Этого можно достичь за счёт повышения дисперсности сорбента. Улучшение условий внешней диффузии достижимо также путём выбора скорости подвода сорбтива к поверхности сорбента, а также созданием для внешнего потока доступности сорбционных центров. Для мелкодисперсного сорбента последнее условие выполнима лишь тогда, когда материал либо находится во взвешенном состоянии и сорбтив

может свободно обтекать каждое зерно, либо нанесён на твёрдую основу.

Получение значительной по величине сорбционной поверхности при тонкослойном распределении мелкозернистого сорбционного материала осуществимо лишь в случае применения твёрдой основы с развитой удельной поверхностью. Разновидностью такой подложки может стать любая сыпучая зернистая основа типа фильтрующей загрузки. Выделение частичек суспензии на зёрнах фильтрующего материала позволит распределить поглотитель в виде тонкого слоя в зонах, доступных для фильтрационного потока. Заполненный таким образом слой зернистого материала может служить основой аппарата адсорбера [12].

Учитывая приведенные соображения, была создана экспериментальная сорбционная установка, принципиальная схема которой представлена на рис. 1. Все элементы установки расположены на эстакаде таким образом, что основные потоки движутся самотёком. Фильтровальная колонка снабжена игольчатыми пьезометрами, расположенными на разных уровнях по высоте установки. Скорость фильтрации устанавливается с помощью специального устройства и контролируется по показаниям расходомер-ротаметра РС-3. узлы соединены с помощью силиконовых шлангов различного диаметра. Для определения технологических параметров работы установки используется фотоэлектрический адсорбциометр-нефелометр ЛМФ-69 и рН-метр рН-340.

Методика проведения экспериментов. Установка работает следующим образом. Предварительно фильтр загружается инертным фильтрующим материалом определённой крупности. Загрузка промывается. Затем готовится суспензия пылевидного сорбента определённой концентрации и производится намыв сорбента в слой фильтрующей загрузки. После создания намывного слоя установка переключается на режим фильтрования. В качестве модельных сточных вод, как красителей, так и солей различных металлов в водопроводной воде. Добавление красителей в сточную воду связано с наличием на базовом предприятии окрасочного производства.

После полного насыщения сорбента (или в случае проскока загрязнений) процесс фильтрации прекращается и фильтрующий слой промывается водопроводной водой. Причём отработанный сорбент отводится в узел утилизации. При проведении экспериментов контролируются следующие параметры: крупность фильтрующей загрузки, Концентрация суспензии сорбента, скорость фильтрации и интенсивность промывки, концентрация загрязнений

Результаты работы установки. В результате проведения серии опытов для исследуемого вида торфа установлены следующие оптимальные параметры работы установки:

1. Фильтрующий слой – керамзит крупностью зёрен 1...2 мм.
2. Концентрация суспензии пылевидного торфа до 90 г/дм³.
3. Высота фильтрующего слоя – 500 мм.
4. Скорость фильтрации - 6 м/ч.
5. Интенсивность промывки до 10 дм³/с·м².

В результате анализа полученных параметров установлено, что при указанных условиях, эффективность установки составляет 96...98% по осветляющей способности и до 93% по органическим загрязнениям.

В качестве узла сорбционной очистки использован каркасно-засыпной фильтр. Конструкция фильтра-сорбера аналогична модели, использованной в лабораторных исследованиях.

Результаты исследований, проведённых на пилотной установке. В ходе испытаний сорбционного фильтра производили намыв мелкодисперсного сорбента в фильтрующий слой и исследование процесса фильтрации через комбинированный слой. В качестве мелкодисперсного сорбента использовали различные фракции торфа из месторождений Беларуси. В ходе испытаний выяснилось, что некоторые виды торфа требуют специальной подготовки перед процессом намывки, так как получение их суспензии чрезвычайно затруднено. Некоторые образцы торфа при попытке получения относительно однородной суспензии всплывают на поверхность и создание намывного слоя с этим видом торфа не привело к желаемым результатам.

В связи с изложенным были проведены поисковые исследования по намыву различных видов торфа в фильтрующий слой. При введении в слой загрузки, выполненной из керамзита крупностью 2...3 мм, интенсивность намыва или подачи суспензии мелкодисперсного торфа оказалась близкой к 10...12 дм³·с·м². Однако при фильтровании сточной жидкости через полученный комбинированный фильтрующий слой был отмечен вынос сорбционной загрузки при скорости фильтрования 2...3 м/ч.

Введение сорбента в фильтрующий слой, крупность зёрен которого составляла менее 2 мм, оказался затруднительным в связи с несовершенством самого сорбционного фильтра. Недостатки системы намыва сорбента (при его крупности более 0,2...0,3 мм) определили проведение экспериментов с предварительно созданным намывным слоем, загружаемым в фильтр. В ходе проведения опытов осуществлялся контроль за качеством исходной воды и фильтрата по основным показателям: концентрации взвешенных веществ и ХПК сточных вод.

Исследовался фильтрующий слой с крупностью зёрен керамзита 1,0...1,5 мм. В фильтрующем слое находился торф в количестве 0,1 г/дм³. Скорость фильтрования поддерживалась в пределах 6...7 м/ч. Результаты опытов представлены на рис. 3 и 4.

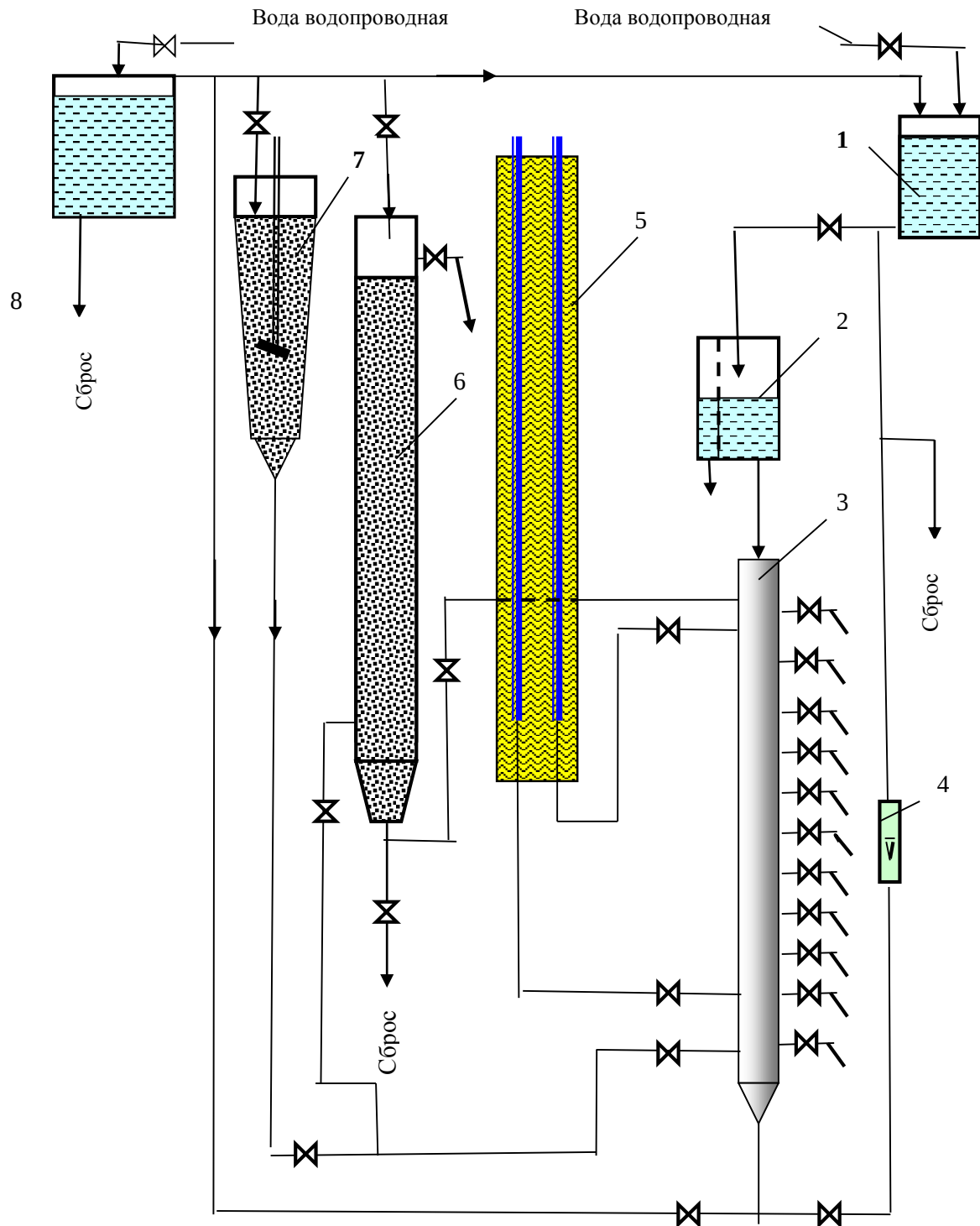


Рис. 1. Схема лабораторной установки
 1 – ёмкость исходной воды; 2 – ёмкость постоянного уровня; 3 – модель фильтра; 4 – ротаметр РС-3; 5 –
 пьезометрический щит; 6 – ёмкость отработанного сорбента; 7 – ёмкость приготовления суспензии сорбента; 8 –
 ёмкость промывной воды

Fig. 1. Scheme of the laboratory setup
 1 - the capacity of the source water; 2 – constant level capacitance; 3 – filter model; 4 – rotameter RS-3; 5 - piezometric
 shield; 6 – capacity of spent sorbent; 7 – container for preparation of sorbent suspension; 8 – wash water tank

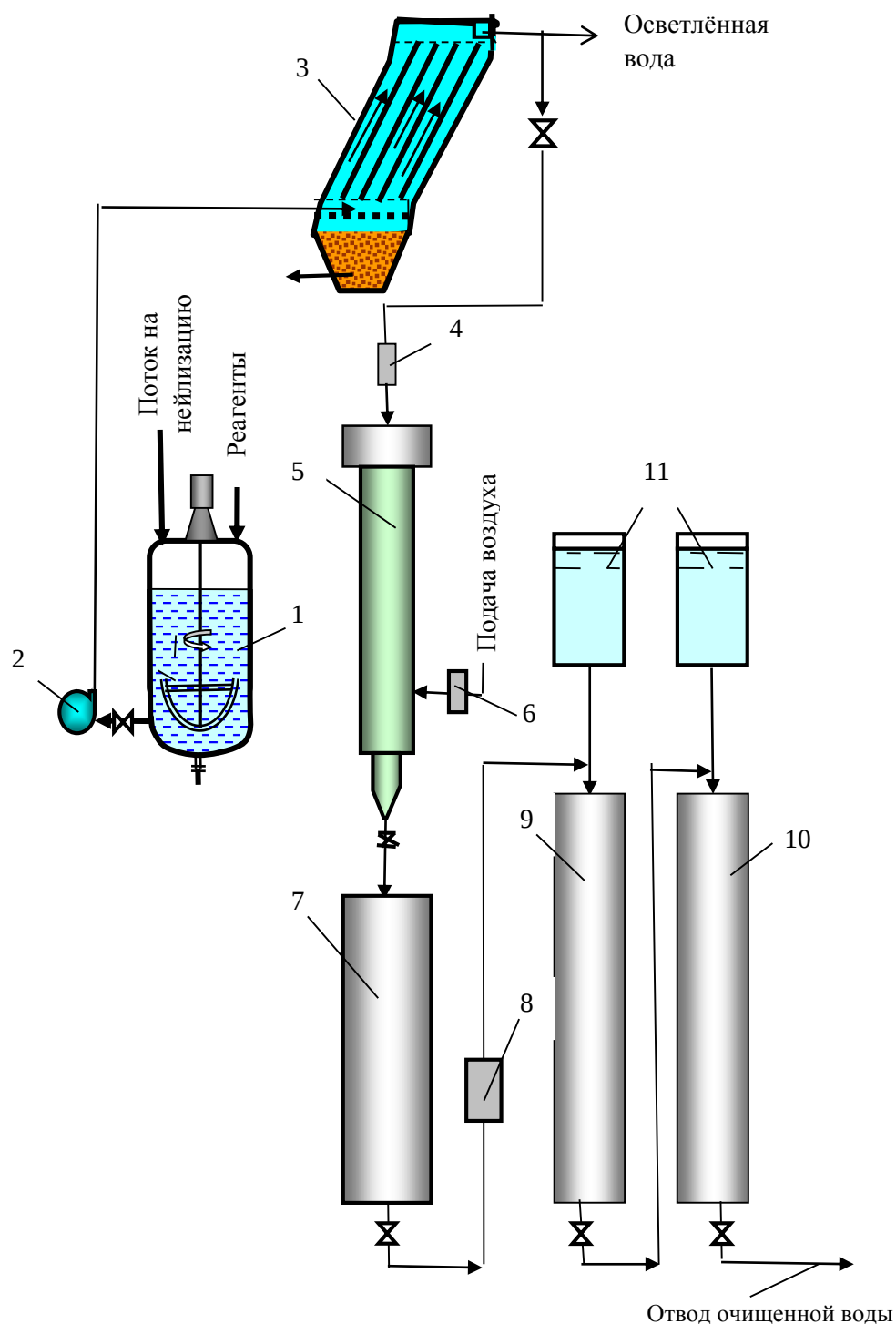


Рис. 2. Схема опытно-производственной установки:

1 – реактор-нейтрализатор; 2 – насос; 3 – полочный отстойник; 4 – ротаметр РС-5;
5 – фильтр-флотатор; 6 – ротаметр РС-5; 7 – сорбционный фильтр; 8 – ротаметр РС-3;
9 – катионитовый фильтр; 10 – анионитовый фильтр; 11 – баки для регенерации

Fig. 2. Diagram of the pilot plant:

1 - reactor-neutralizer; 2 - pump; 3 - shelf sump; 4 – rotameter RS-5; 5 – filter flotation;
6 – rotameter RS-5; 7 – sorption filter; 8 – rotameter RS-3; 9 - cationite filter; 10 – anion exchanger filter;
11 – tanks for regeneration

Отработка гидравлических и технологических характеристик фильтра-сорбера на пилотной установке

Разработанная схема пилотной установки предназначена для доочистки сточных вод

гальванического и покрасочного производства, прошедших предварительную реагентную обработку. Основными элементами установки (рис. 2) являются узлы осветления, фильтрования и сорбционной очистки.

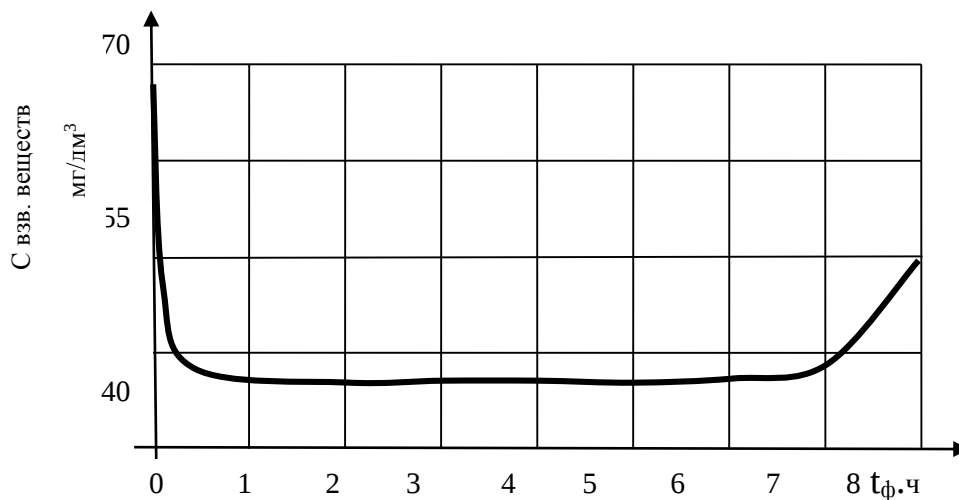


Рис. 3. Зависимость содержания взвешенных веществ в воде на выходе из сорбера от времени фильтрования

Крупность керамзита 1,5 мм, $C_{торфа} = 0,1 г/дм³$, $V = 8 м/ч$

Fig. 3. Dependence of the content of suspended solids in the water at the outlet of the sorber on the filtration time

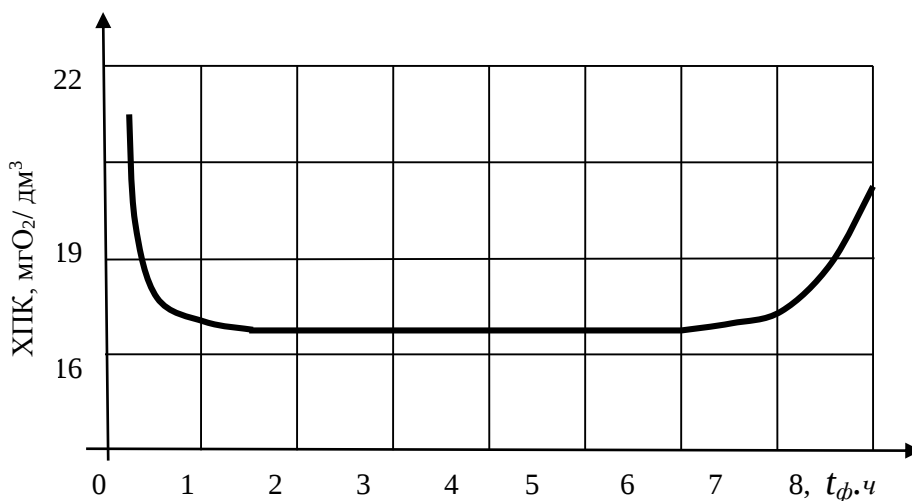


Рис. 4. Зависимость ХПК в воде на выходе из сорбера от времени фильтрования

Крупность керамзита 1,5 мм, $C_{торфа} = 0,1 г/дм³$, $V = 8 м/ч$

Fig. 4. Dependence of COD in water at the outlet of the sorber on the filtration time

Expanded clay size 1.5 mm, $C_{peat} = 0.1 г/дм³$, $V = 8 м/ч$

В результате анализа выполненных экспериментальных исследований на пилотной установке предложенная технологическая схема, при указанных условиях, позволяет снизить содержание взвешенных веществ в воде на выходе из сорбера как минимум в 2,5 раза, а ХПК – в 1,5 раза. Следует отметить, что при общем времени

работы фильтра, достигавшем 24 часов, в процессе фильтрования установки установка периодически отключалась. Следует отметить, что в отдельных сериях опытов, ХПК после фильтра превышало исходное ХПК, что указывало на необходимость предварительной обработки применяемого в качестве загрузки торфа.

ВЫВОДЫ

Возрастающая антропогенная нагрузка на водные объекты, неадекватность используемых технологий водоочистки с дополнительно загрязняющими компонентами обуславливают приоритетную значимость экологических аспектов, в том числе с применением технологических процессов адсорбции на природных сорбентах и их аналогах.

Основной проблемой современных технологических систем применения сорбционных методов доочистки является разработка экологически безопасных технологий с максимально замкнутым циклом и минимальным количеством отходов. Анализ характеристик различных сорбционных материалов применительно к очистке сточных вод показал, что применение природных минералов приемлемо с экологической и экономической точки зрения, но в некоторых случаях такие материалы не обладают комплексом нужных свойств и их необходимо химически модифицировать.

Исследована возможность использования торфа в качестве амфотерного ионообменного материала без специальной предварительной подготовки, в связи с содержанием в нём карбоксильных и аминогрупп, которые обуславливают как катионный, так и анионный обмен.

Выполнены экспериментальные исследования на разработанной лабораторной установке с применением пылевидного торфа в качестве сорбента и опытно-производственной установки для доочистки сточных вод гальванического и покрасочного производства, прошедших предварительную реагентную обработку. Анализ результатов выполненных экспериментальных исследований показал работоспособность предложенной конструкции с комбинированным фильтрующим слоем, а также высокую эффективность применения сорбента на основе пылевидного торфа для доочистки производственных сточных вод.

При рассмотренных условиях экспериментальных исследований технологических процессов доочистки производственных сточных вод сорбцией с применением пылевидного торфа:

- на лабораторной установке эффективность составляет 96...98% по осветляющей способности и до 93% по органическим загрязнениям.

- на пилотной установке, обеспечивалось снижение содержания взвешенных веществ в воде на выходе из сорбера как минимум в 2,5 раза, а ХПК – в 1,5 раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Данилов-Данильян В.И. Потребление воды: экологические, экономические, социальные и политические аспекты / В.И. Данилов-Данильян, К.С. Лосев; Ин-т водных проблем РАН. – М.: Наука, 2006. – 221 с.

2. Данилов-Данильян В.И. Водные ресурсы мира и перспективы водохозяйственного комплекса России. – М.: ООО «Типография Левко», Институт устойчивого развития/Центр экологической политики России, 2009. – 88 с.

3. Водная стратегия Российской Федерации на период до 2020 года. Распоряжение Правительства РФ от 27 августа 2009 г. N 1235-р. Электронный ресурс: <http://government.ru/docs/10049/> (дата обращения 07.03.2021 г.).

4. Постановление Правительства РФ от 19.04.2012 N 350 (ред. от 31.05.2017) "О Федеральной целевой программе "Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012-2020 годах". Электронный ресурс: <http://government.ru/docs/37156/> (дата обращения 07.03.2021 г.).

5. Тарасевич Ю.И. Природные, модифицированные и полусинтетические сорбенты в процессах очистки воды // Химия и технология воды. – 1994. – № 6, т. 16. – С. 626-640.

6. Говорова Ж.М. Обоснование и разработка технологий очистки природных вод, содержащих антропогенные примеси: Автореф. дис. ... докт. техн. наук. – М., 2004.

7. Смирнов А.Д. Сорбционная очистка воды. – Л.: Химия, 1982. – 168 с.

8. Климов Е. С. Природные сорбенты и комплексоны в очистке сточных вод / Е. С. Климов, М. В. Бузаева. – Ульяновск: УлГТУ, 2011. – 201 с.

9. База данных «Государственного научно-производственного объединения НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам ТОРФЯНИКИ БЕЛАРУСИ». Минск. 2019

10. Белькевич П.И. Чистова Л.Р. «Торф и проблема защиты окружающей среды» Мн. Наука и техника, 1979. – С. 3-61.

11. Климкова В.Ф. «Перспективы использования торфа для очистки поверхностного стока с городских территорий» ЦНИИКИВР, М. 1989 г.

12. Брестский инженерно-строительный институт. НИР. Разработка элементов безотходной технологии и их исследование на сооружениях БЭМЗ. № гос. регистрации 80028756. г. Брест. 1983 г.

13. Урецкий Е.А. Ресурсосберегающие технологии в водном хозяйстве промышленных предприятий. Монография. – Брест, изд-во БГТУ, 2007. – 396 с.

14. Урецкий Е. Ресурсосберегающие технологии в водном хозяйстве промышленных предприятий. Монография. – LAP LAMBERT Academic Publishing, Germany, 2014. – 360 с.

REFERENCES

1. Danilov-Danilyan V.I. Water consumption: ecological, economic, social and political aspects / V.I. Danilov-Danilyan, K.S. Losev; Institute of Water Problems of the Russian Academy of Sciences. – М.: Nauka, 2006. – 221 p.

2. Danilov-Danilyan V.I. Water resources of the world and prospects of the water management complex of Russia. – M.: ООО "Tipografiya Levko", Institute of Sustainable Development/Center for Environmental Policy of Russia, 2009. – 88 p.
3. Water strategy of the Russian Federation for the period up to 2020. Order of the Government of the Russian Federation of August 27, 2009 N 1235-R. Electronic resource: access mode <http://government.ru/docs/10049> / (accessed 07.03.2021).
4. Decree of the Government of the Russian Federation of 19.04.2012 N 350 (ed. of 31.05.2017) "On the Federal target program "Development of the water management complex of the Russian Federation in 2012-2020". Electronic resource: access mode: <http://government.ru/docs/37156> / (accessed 07.03.2021).
5. Tarasevich Yu.I. Natural, modified and semi-synthetic sorbents in water purification processes // Chemistry and technology of water. – 1994. – № 6, vol. 16. – Pp. 626-640.
6. Govorova Zh.M. Justification and development of technologies for the purification of natural waters containing anthropogenic impurities: Abstract. dis. ... doct. technical Sciences. – M., 2004.
7. Smirnov A.D. Sorption water purification. – L.: Chemistry, 1982. – 168 p.
8. Klimov E. S. Natural sorbents and complexes in wastewater treatment / E. S. Klimov, M. V. Buzaeva. - Ulyanovsk: UISTU, 2011. – 201 p.
9. Database of the "State Scientific and Production Association of the National Research and Production Center of the National Academy of Sciences of Belarus for bioresources Peatlands of BELARUS". Minsk.2019
10. Belkevich P.I. Chistova L.R. "Peat and the problem of environmental protection" Mn. Science and Technology, 1979. – Pp. 3-61.
11. Klimkova V.F. "Prospects of using peat for cleaning surface runoff from urban areas" TSNIKIVR, M.1989.
12. Brest Institute of Civil Engineering. NIR. Development of waste-free technology elements and their research at the BEM facilities. State registration no. 80028756. Brest. 1983.
13. Uretsky E.A. Resource-saving technologies in water management of industrial enterprises. Monograph. – Brest, publishing house of BSTU, 2007. – 396 p.
14. E. Uretsky. Resource-saving technologies in the water sector of industrial enterprises. Monograph: LAP LAMBERT Academic Publishing, Germany, 2014. – 360 p.

INVESTIGATION OF THE OPERATION OF THE SORPTION WASTEWATER TREATMENT UNIT USING ALLUVIAL SORPTION FILTERS

Uretskiy¹ E.A., Nikolenko² I. V., Moroz³ V. V.

¹Republican Unitary Enterprise Belarusian State Design Institute "BelSPI"

210602, Republic of Belarus, Vitebsk, st. Pushkin, 6, e-mail: euretsky@yandex.by

² Academy of Construction and Architecture «V. I. Vernadsky Crimean Federal University»

295493, Republic of Crimea, Simferopol, st. Kievskaya 181 e-mail: energia-09@mail.ru

³Brest State Technical University

224017 Republic of Belarus Brest, st. Moscow, 267

Summary. The article shows that the increasing anthropogenic load on water bodies, the inadequacy of water treatment technologies used with additional polluting components determine the priority importance of environmental aspects, including the use of technological processes of adsorption on natural sorbents and their analogues. The use of natural minerals in wastewater treatment is acceptable from an ecological and economic point of view, but additional research is needed to clarify their sorption properties. The use of a pulverized sorbent in the practice of wastewater after treatment is justified, which makes it possible to maximize the sorption reserve of the material with minimal consumption. Laboratory and pilot production facilities have been developed to study the technological process of sorption purification using alluvial sorption filters. Experimental studies of the sorption after treatment unit using alluvial sorption filters based on the use of pulverized peat were carried out for wastewater of a machine-building enterprise, and the optimal parameters of their operation were determined. The analysis of the obtained results is carried out, and recommendations are given on the possibility of using pulverized peat as an amphoteric ion-exchange material without special preliminary preparation.

The subject of the study. The possibility of using pulverized peat as an amphoteric ion-exchange material without special preliminary preparation, due to the content of carboxyl and amino groups in it, which cause both cationic and anionic exchange.

Materials and methods of research: experimental studies were carried out in the work on laboratory and pilot plants, in which solid foundations with a developed specific surface were used to ensure a significant sorption surface with a thin-layer distribution of pulverized peat as a fine-grained sorption material. Any loose granular base of the type of filter loading can become a type of such substrate. During the experiments, the following parameters were controlled: the size of the filter load, the concentration of the sorbent suspension, the filtration rate and the intensity of washing, the concentration of impurities and the degree of purification.

Results. In the conditions of experimental studies of technological processes of post-treatment of industrial wastewater by sorption using pulverized peat, the efficiency of the laboratory installation was 96...98% in terms of clarifying ability and up to 93% in terms of organic pollutants, and the pilot installation provided a reduction in the content of suspended solids in the water at the outlet of the sorber by at least 2.5 times, and COD - by 1.5 times.

Conclusions. According to the results of the experimental studies carried out, it was found that the use of a pulverized sorbent, in the form of pulverized peat, in the practice of wastewater treatment makes it possible to maximize the sorption reserve of the material with minimal consumption.

Key words: peat, pulverized sorbent, expanded clay, filtrate, filter loading, waste water, purification efficiency.