

**ИССЛЕДОВАНИЕ И СОЗДАНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ  
ОЧИСТКИ СБРОСОВЫХ ВОД ЯКОВЛЕВСКОГО ГОКА**

**Караулова Е.А.**

*Белгородский государственный национальный исследовательский университет,  
г. Белгород, Россия*

*E-mail: karaulova.yekaterina@list.ru*

Ежегодный многотоннажных сброс вод предприятий горной промышленности негативно воздействует на поверхностные и подземные воды, донные отложения, водную флору и фауну. Особая опасность связана с химическим загрязнением гидросферы, которая является мобильной средой, где загрязняющие вещества способны мигрировать на большие расстояния.

Несмотря на изученность вопроса, опыт применения эффективных средозащитных мероприятий для России остается недостаточным для полного предотвращения негативного техногенного воздействия на водные ресурсы. В связи с этим возникла необходимость разработки новых технологических решений по очистке сбросовых вод.

На примере Яковлевского горно-обогатительного комбината, который осуществляет разработку Яковлевского месторождения Курской магнитной аномалии, рассмотрим модели очистки и предложим наиболее подходящие.

Расположенный в Белгородской области Яковлевский горно-обогатительный комбинат (ГОК, входит в ПАО «Северсталь») вложил в 2022–2023 годах более 25 млн руб. в реализацию эксперимента по внедрению круглогодичной системы фитоочистки шахтных вод. На первом этапе проекта, который стартовал в 2022 году, в тестовом режиме высадили четыре «зеленые» линии из 800 островов. В рамках второго этапа реализации проекта завершили высадку еще 1600 таких насаждений. В шахте Яковлевского ГОКа собирается вода, которую поднимают на поверхность и аккумулируют в пруду-отстойнике с целью дальнейшего сброса в водный объект. Специально подобранные под местные условия четыре вида прибрежно-водных растений позволяют очищать стоки от азотной группы. Это совместная работа экологов предприятия с учеными Института биологии внутренних вод имени Ивана Папанина. Технология фитоочистки разработана по принципам естественных процессов очистки в водно-болотных угодьях. Корни растений получают питательные вещества для роста и создают благоприятную среду обитания для микроорганизмов, что позволяет удалять загрязняющие вещества.

Инструментальный мониторинг в течение 2022 года показал, что фитоочистная система работает не только в вегетационный сезон, но и в зимнее время. Прогнозируем, что с созданием еще нескольких линий системы процесс очистки сточных вод усилится. Создавая такую систему, Яковлевский ГОК вносит вклад в охрану окружающей среды.

В 2022-2023 году на реализацию данного проекта было затрачено более 25 млн рублей. По предварительным подсчетам, для полной очистки стоков от азотной группы потребуется обустроить до 30-40 % площади водной поверхности пруда-отстойника.

Компания «Северсталь» уделяет первостепенное значение вопросам экологии и защиты окружающей среды. В общей сложности на проекты по очистке сточных вод в Яковлевском ГОКе выделено более 200 млн рублей. В настоящее время сформированная экспериментальная система фитоочистки на базе искусственных плавающих островов занимает площадь более 1600 м<sup>2</sup> пруда-отстойника, состоит из 1600 модулей, в которые загружены более 20 тыс. растений. Результаты эксперимента по итогам 2022 года показали, что концентрация нитрит-ионов и ионов аммония снизилась на 10 % каждого иона.

## ПРОБЛЕМЫ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ В ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ И НА СОПРЕДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

На данный момент в очистке Яковлевского ГОКа не хватает физической модели очистки сбросовых вод данного предприятия.

Сбросовые воды предприятий промышленности загрязнены органическими соединениями. Для удаления последних необходимо запроектировать специальные сооружения – аэротэнки, которые создают благоприятные условия для жизнедеятельности организмов, разрушающих органические вещества. В виде отбросов на дне водоема накапливается активный ил, который, как показали опыты, является превосходным азотным удобрением. Спуск сточных вод можно производить на сельскохозяйственные поля, если такая возможность обоснована и, если в таких водах имеются полезные для сельского хозяйства примеси.

Одним из важных мероприятий при обработке сбросных вод горно-обогатительного комбината является коагуляция шлама. Введение коагулянтов при осветлении сбросных вод может значительно интенсифицировать этот процесс. В качестве коагулянтов при очистке вод угледобывающих предприятий и обогатительных фабрик применяют сульфат алюминия, полиакриламид, известняки и другие вещества.

Взрывы, вспышки происходят на станциях предварительной очистки сточных вод. Для предупреждения подобных аварий промыватели, разделители жидкости, фазоразделители, абсорберы, десорберы, отгонные и другие аппараты, в которых сбросные воды контактируют со взрывоопасными газами и ЛВЖ, не должны непосредственно соединяться трубопроводами с сетями канализации. Промышленные стоки из таких аппаратов перед сбросом в канализацию должны быть дегазированы и освобождены от примесей ЛВЖ. Для этого предусматривают локальные системы дегазации и отпарки в составе технологических цехов, а также общезаводские сооружения для дегазации стоков, образующихся при промывке технологической аппаратуры, содержащей горючие и взрывоопасные продукты.

Система канализации загрязненных промышленных стоков в нефтехимических и химических производствах является постоянным потенциальным источником загазованности окружающей территории. Даже при содержании загрязнений в сбросных водах отдельных цехов и установок в пределах нормы такие воды при смешении в коллекторе с более нагретыми потоками, поступающими из других цехов и установок, десорбируют углеводороды и другие летучие взрывоопасные и ядовитые вещества, загазовывая воздушную подушку в канализационной сети и окружающую атмосферу. При нарушениях же технологического режима установок локальной очистки сточных вод, а также в аварийных случаях количество загрязнений резко возрастает.

Эксперименты по применению обратного осмоса для очистки и концентрирования сбросной воды проводились на модельных радиоактивных растворах и на сбросных водах. Было показано, что во всех опытах на модельных растворах активность воды после очистки снижается на 2-3 порядка. Последующие испытания, проведенные на реальной сбросной воде, подтвердили высокую эффективность обратноосмотической очистки радиоактивных отходов. В частности, применяя ацетатцеллюлозные мембраны, удается на два порядка снизить активность сбросных вод и достигнуть 100-кратного уменьшения их объема.

На основе проведенных исследований были разработаны варианты технологических схем очистки и концентрирования сбросных вод с использованием обратноосмотических установок, которые позволяют сократить число стадий переработки и резко снизить расход химических реагентов.

Колебания концентраций указанных примесей в воде могут иметь весьма широкий диапазон. Так, известно, что концентрация растворимых солей в сбросных водах угледобывающих предприятий колеблется от 200 до 30 000 мг/л.

Для очистки вод обычно сооружаются специальные станции. Работа водоочистных станций основывается на управлении системой раствор – суспензия – эмульсия – коллоиды. С подобной системой приходится иметь дело как при обработке циркуляционных, так и

## ПРОБЛЕМЫ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ В ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ И НА СОПРЕДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

сбросных вод. При этом наличие в водах, возвращающихся при циркуляции в производство, диспергированных веществ может резко изменить и нарушить сам процесс обогащения.

Примеси в сбросных водах загрязняют и природные водоемы, так как сброс воды даже не непосредственно в водоемы, а в скважины, отстоящие от них и на несколько километров, не гарантирует от возможности загрязнения. Проникая через грунт и смешиваясь с подземными водами, сточные воды могут загрязнять и отравлять водный бассейн целого региона.

При сбросе вод в природные водоемы они загрязняются примесями, имеющимися в сбросных водах, и может произойти изменение их флоры и фауны, а также содержания растворенных солей. Например, угольные предприятия Донбасса сбрасывают большие количества воды в реку Донец. По общим положениям очистка от солей таких сбросных вод считается достаточной при концентрации 3-3,5 мг/л. Такая вода на протяжении 500 м реки должна дать среднее разбавление, не нарушающее режима реки и засоления почв ее водой. Однако в некоторых районах течения реки такие предпосылки себя не совсем оправдали и требовали дополнительных мероприятий по очистке сбросной воды. В то же время гидроотвалы и отстойники требуют большой площади полезных земель.

Необходимо остановиться еще на методе использования отстоя и сбросных вод, принятом в мазутных хозяйствах электростанций Башкирэнерго. Как известно, нефтеловушки мазутных хозяйств электростанций не эффективны и не обеспечивают очистку воды до санитарных норм, в результате чего сбросы так называемой замазученной воды приводят к увеличению загрязнения водоемов. Очистка же сбросной воды мазутных хозяйств электростанций с помощью механических и угольных фильтров, как показывают расчеты, экономически нецелесообразна. Наиболее правильное решение заключается либо в сбросе замазученных вод в очистные сооружения близлежащих крупных заводов, могущих обеспечить необходимую очистку воды, либо в сжигании замазученных вод в топках котлов. Во втором случае возможно перемешивание сбросной воды со всей массой топлива (например, при циркуляционном перемешивании) или направление замазученной воды по специальному трубопроводу к отдельным форсункам одного-двух котлов. Последний способ предпочтительнее, в особенности для электростанций, получающих безводный мазут по трубопроводам с нефтеперерабатывающих заводов, так как при этом ухудшается качество топлива только для одного котла (или корпуса), а остальные котлы, переведенные на работу с малыми избытками воздуха, продолжают работать на высококачественном топливе. В связи с этим в разработанных Башкирэнерго фактах реконструкции мазутных хозяйств электростанций предусмотрено сжигание замазученных вод в топке одного-двух котлов.

Опыт работы электростанций Башкирэнерго показывает, что следует пересмотреть типовые решения по мазутному хозяйству в части применения циркуляционной схемы для электростанций, получающих от НПЗ по трубопроводам безводный и достаточно подогретый мазут. В то же время можно ожидать, что и для таких электростанций с целью утилизации сбросных вод мазутного хозяйства одну из небольших емкостей рационально оборудовать циркуляционной схемой с подачей водомазутной смеси на один-два котла.

Сбросные воды, загрязненные радиоактивными изотопами, могут очищаться также на песчаных фильтрах, имеющих тонкий слой биологического шлама, или в баках, где этот шлам находится в виде взвешенных в жидкости хлопьев и производится продувка воздуха. Фильтр представляет собой бассейн, на дне которого лежит слой гравия, покрытый слоем песка толщиной 80-90 см, под гравием расположена дренажная система. Вода проходит через фильтр со скоростью 10 см/ч, очищается механически и с помощью находящихся в слое песка микроорганизмов, которые задерживают коллоидные и растворенные органические вещества. Таким методом очистки воды, загрязненной радиоактивными веществами, можно добиться удаления 95 % исходного содержания только для 5 г, и причем бактериальный шлам.

## ПРОБЛЕМЫ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ В ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ И НА СОПРЕДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Рассматривая выше предложенные методы, которые имеют существенные недостатки очистки необходимо предложить наиболее качественный.

Для эффективной очистки сбросовых вод от органических и неорганических соединений, нефтепродуктов, поверхностно-активных веществ, а также для дезактивации сточных вод от вирусов, бактерий, микробов предназначена экологически чистая установка, включающая корпус, систему подогрева и последовательно расположенные в корпусе по ходу движения очищаемых сточных вод секции очистки. Сбросовые воды на очистку поступают через входной патрубок корпуса в камеру гашения скорости жидкостного потока, где происходит снижение, выравнивание его скорости, изменение направления движения и первичное отделение крупных и тяжелых частиц загрязнений. Далее сбросовые воды поступают в камеру первичного отстаивания, где происходит также осаждение крупных и тяжелых частиц загрязнений. Очищаемые сбросовые воды, нагретые в камере системой подогрева до необходимой температуры, обеспечивающей оптимальные условия для жизнедеятельности микроорганизмов, через нижний перелив поступают в камеру тонкого отстаивания для осветления сбросовых вод. При этом скорость проходящего между пластинами жидкостного потока резко падает.

В результате столкновения с ребрами, выполненными на нижней поверхности пластин, частицы загрязнений задерживаются в них, осадок стекает в конусообразное углубление днища. На верхних пластинах осаждаются самые тонкие маленькие частицы. Одновременно в камере, где обеспечены оптимальные температурные условия для микроорганизмов, начинается процесс сбразивания растворенных органических веществ, содержащихся в сбросовых водах, до более простых соединений. Осветленные сбросовые воды с частично разложившимися органическими соединениями из камеры тонкослойного отстаивания поступают через верхний перелив в первую камеру секции с иммобилизованными на носителях микроорганизмами – деструкторами. Здесь происходит более полное разложение растворенных в воде органических соединений на более простые вещества. После прохождения стоков через камеры секции, разделенные перегородкой, осветленные стоки с разложившимися органическими соединениями поступают в секцию, где происходит окончательное разложение органических соединений. В камеры секции через воздухопроводы и мелкопузырчатые дисковые аэраторы от источника сжатого воздуха поступает воздух в виде мельчайших пузырьков размером до 100 мкм, что необходимо для обеспечения жизнедеятельности аэробных микроорганизмов. В секции происходит полная минерализация активного ила, в результате чего он становится неспособным к загниванию. После секции очищенные стоки поступают в камеру тонкослойного отстаивания и доочистки, где происходит осаждение иловых частиц в конусообразное углубление днища. Далее сбросовые воды поступают в камеру фильтрации, а затем в камеру доочистки с секциями, и графитовыми фильтрами, где происходит доочистка стоков от эмульгированных нефтепродуктов, вирусов и бактерий. Вторая и третья секции доочистки стоков разделены перегородками и, которые выполнены в виде последовательно расположенных друг за другом пластин с каналом между ними для перетекания стоков, причем нечетные пластины закреплены на верхнем основании корпуса, а четные пластины – на нижнем основании корпуса. Такое закрепление пластин позволяет создать узкий канал между ними для перетекания стоков из одной секции в другую.

В графеновых фильтрах ионы серебра, находящиеся между нанотрубками, при контакте с вирусами, бактериями, микробами, простейшими дезактивируют стоки. Размеры нанотрубок графена достаточно малы (размеры м), они пропускают молекулы, но удерживают эмульгированные нефтепродукты, вирусы и бактерии (размеры м, м) в своем объеме и эффективно очищают сточные воды. Очищенные сбросовые воды отводятся потребителю из камеры доочистки через патрубок. Для обеспечения регенерации графеновые фильтры выполнены в виде съемных кассет.

## ПРОБЛЕМЫ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ В ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ И НА СОПРЕДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Эффективность очистки сбросовых вод от взвешенных частиц загрязнений, эмульсированных нефтепродуктов, масел, жиров, поверхностно-активных веществ, вирусов, бактерий, микробов в установке микробиологической очистки сточных вод достигает 98–99 %.

Фирма Kamiyama Taкао, Sis Eng Co, Ltd (Республика Корея) запатентовала в США устройство для эффективной биологической очистки сбросовых вод от органических соединений, состоящую из двух ванн: анаэробной и аноксидной. Подвижная перегородка отделяет аноксидную ванну от анаэробной ванны и может перемещаться, изменяя объемы этих ванн. Для подвода воздуха в очищаемые сбросовые воды в аноксидной ванне установлены воздушные сопла, а активный ил из анаэробной ванны подается в аноксидную.

Образующийся при биологической очистке производственных сбросовых вод активный ил представляет большую проблему при утилизации как многотоннажный отход.

Одним из способов утилизации активного ила является использование его в качестве биофлокулянта, что позволяет решать задачу не только его утилизации, но и интенсификации процесса очистки сбросовых вод. При этом активность использования активного ила повышается с применением его предварительной обработки, позволяющей подавать активный ил в сгущенном виде, а также путем его активации. Полученные результаты экспериментальных исследований показали, что при регентной и флотационной обработке активного ила перед использованием его в качестве биофлокулянта его объем удается сократить в 1,5–3 раза.

Удобно в эксплуатации мобильное устройство для комплексной очистки сбросовых вод от взвешенных веществ, хлоридов, сульфатов и других загрязнений, состоящее из последовательно расположенных по спирали отстойника, зернистого механического фильтра, адсорбционного фильтра, емкости для очищенных сбросовых вод, которые находятся в едином цилиндрическом корпусе, изготовленном из прочного и легкого стеклопластика, не поддающегося агрессивному воздействию. Устройство позволяет эффективно осуществлять очистку сбросовых вод, имеет простую конструкцию, технологично в обслуживании

Высокое качество комплексной очистки сбросовых вод от взвешенных частиц загрязнений, нефтепродуктов, ионов тяжелых металлов и болезнетворных микробов обеспечивает способ очистки, включающий многоступенчатую механическую очистку в емкости проточного типа с грубой и промежуточной фильтрацией, обработку очищаемых сбросовых вод магнитным полем и финишную фильтрацию в конце очистки. Одновременно с фильтрованием поток очищаемых сбросовых вод подвергается электролизу, обработкой окислителем и УФ-обработкой. После финишной фильтрации сбросовые воды дополнительно отстаиваются.

### Список литературы

1. Андреев С.Ю., Петрунин А.А. Повышение эффективности флотационной очистки сточных вод за счет использования гидродинамических устройств // Энциклопедия инженера-химика. – 2014. – № 10. – С. 30–34.
2. Буренин В.В. Новые фильтры, устройства и установки для очистки сточных вод промышленных предприятий // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2018. – № 1. – С. 45–48.
3. Климов Е.С., Бузаева М.В. Природные сорбенты и комплексоны в очистке сточных вод. – Ульяновск: УлГТУ, 2011. – 201 с.
4. Коваленко Т.А., Авдеева Л.Н. Сорбент для комплексной очистки сточных вод, полученный из возобновляемого сырья – сапропеля: Тезисы докладов на 19 Менделеевском съезде по общей и прикладной химии 25–30 сентября 2011 г. – Волгоград: Химическое образование, 2011. – с. 247.
5. Пат. 2408540 Россия. МПК C02F. Устройство для очистки нефтесодержащих сточных вод / А.А. Адельшин, А.Б. Адельшин. Опубл. 10.01.2011. Бюл. № 1.