



IV ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

DOI: 10.25558/VOSTNII.2022.60.11.012

УДК 504.4.054

© Л.А. Иванова, И.В. Тимощук, А.К. Горелкина, Н.С. Голубева, О.В. Беляева,
А. Родионова, 2022

Л.А. ИВАНОВА

канд. техн. наук,
доцент кафедры КемГУ
г. Кемерово
e-mail:



И.В. ТИМОЩУК

д-р техн. наук, доцент,
профессор кафедры
КемГУ, г. Кемерово
e-mail: irina_190978@mail.ru



А.К. ГОРЕЛКИНА

д-р техн. наук,
доцент кафедры
КемГУ, г. Кемерово
e-mail: alengora@yandex.ru



Н.С. ГОЛУБЕВА

канд. техн. наук,
доцент кафедры КемГУ
г. Кемерово
e-mail:



О.В. БЕЛЯЕВА

к.т.н.,
доцент кафедры
КемГУ, г. Кемерово



А. РОДИОНОВА

магистр
КемГУ, г. Кемерово



ОЧИСТКА КАРЬЕРНЫХ СТОЧНЫХ ВОД УГОЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ В РЕГИОНАХ С ПОВЫШЕННОЙ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКОЙ

Сточные воды предприятий угольной промышленности продолжают оставаться одним из основных источников загрязнения водных объектов ресурсо-ориентированных регионов. Они содержат взвешенные вещества, нефтепродукты, минеральные соли, органические соединения, тяжёлые металлы и др. В статье приводится анализ мониторинговых исследований качественного состава карьерных сточных вод, выявлены их приоритетные загрязнители. Описана применяемая технология очистки сточных вод на угольном разрезе «Калтанский» и определены ее ключевые недостатки. Представлены пути повышения технологического уровня и качества очистки карьерных сточных вод.

Ключевые слова: СТОЧНЫЕ ВОДЫ, МОНИТОРИНГ, УГОЛЬНЫЕ ПРЕДПРИЯТИЯ, ОЧИСТКА КАРЬЕРНЫХ ВОД, ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ.

ВВЕДЕНИЕ

Для устойчивого развития региона, приоритетным направлением которого является добыча полезных ископаемых, важно, чтобы вектор развития экономики и экологическое благополучие совпадали и взаимно друг друга дополняли, а не вступали в антагонизм. В Кузбассе отмечен высокий уровень сброса недостаточно очищенных сточных вод в водоемы. Загрязнение водных объектов поллютантами является значительным антропогенным фактором, что негативно влияет на биоту и человека.

На сегодняшний день в Кемеровской области в рамках национального проекта «Экология» разработаны и утверждены четыре региональных проекта: «Чистый воздух», «Комплексная система обращения с ТКО», «Чистая вода» и «Сохранение лесов». Кроме того, реализуется федеральный проект «Сохранение уникальных водных объектов». Надо сказать, что по всем региональным проектам идет активная целенаправленная работа.

ЦЕЛЬ И ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель данной работы — провести мониторинговые исследования качества водных объектов для получения данных о химическом составе загрязнителей от карьерных вод угольных предприятий; оценить эффективность действующей технологии очистки карьерных сточных вод угольного разреза.

Объектом исследования является применяемая технология очистки сточных вод на угольном разрезе «Калтанский» (АО «УК Кузбассразрезуголь»)

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Участок «Тешский» разреза «Калтанский» представляет горную выработку и прилегающий к ней автоотвал. Любая разработка месторождений твердых полезных ископаемых открытым способом на текущем этапе развития технологий объективно приводит к нарушению естественного состояния окружающей среды. Поскольку отработка угля на участке «Тешский» ведется длительное время, произошли соответствующие изменения нарушенного напряжённо-деформированного состояния геологической среды, а также естественного ландшафта в пределах территории отработки. К 2021 году освоена вся территория участка «Тешский». По мере отработки карьера глубина горных выработок увеличивается с каждым годом. Глубина карьера в пределах западного борта в южной части выработки составляет 100 м, в северной части 200 м. В пределах восточного борта глубина выработки тоже неравномерна и изменяется в пределах от 50 до 80 м. Высотные отметки дна карьера в северной части — +201,0 м (абс.), в южной части — до +350,0 м (абс.). Для организации сбора и отвода под-

земных и поверхностных стоков в выработке в пониженном месте на дне карьера организован водосборник (зумпф № 1). В крайней северо-восточной части выработки наблюдаются многочисленные выходы подземных вод (рис. 1). Вода собирается в прибортовые дре-

нажные канавы, далее вода поступает в приемный зумпф, откуда водоотливной насосной установкой сточные воды перекачиваются на очистные сооружения карьерных и ливневых вод.



Рис. 1. Выходы подземных вод участка «Тешский»

Очистные сооружения карьерных и ливневых вод разреза «Калтанский» располагаются в логу, на расстоянии 1,2 км на северо-восток в 100 м севернее от границы внешнего отвала, представляют три отстойника и три фильтрующие дамбы. Площадь сооружений составляет примерно 39600 м². Три фильтрующие дамбы отсыпаны коренными породами. Основания дамб и откосы отсыпаны щебнем. Откосы крутые, высотой 15–18 м, ширина дамб по гребню — 6–8 м. Восточный берег

нетронут горными работами, покрыт густой таёжной растительностью (хвойными деревьями, берёзами). С юга дамбой служит отвал «Тешский». Ложе водосборников заполнено водой. Протяженность первого отстойника составляет 80–100 м, ширина — 40–42 м; второй отстойник имеет размеры 70 x 60 м; третий — 60 x 20–25. Вода в отстойниках чистая, прозрачная. Очищенная вода по самотечной канаве и трубопроводу диаметром 700 мм перетекает в р. Чёрный Калтанчик.



Рис. 2. Очистные сооружения разреза «Калтанский»

Негативное воздействие на водосборную площадь поверхностных водных объектов угольных предприятий заключается в нарушении естественного природного состояния рек. Так, в связи с отработкой угольных месторождений происходит нарушение водосборной площади, снижение водности рек и уменьшение их протяжённости [1].

Для оценки качества очистки сточных вод угольного разреза проводится мониторинг водных объектов по основным физико-химическим, химическим параметрам исходя из наличия приоритетных загрязнений, которые влияют на экологический потенциал и химический статус воды.

Степень загрязнения сточных вод органическими веществами оценивается по показателям биохимического и химического потребления кислорода (БПК и ХПК). Источником их поступления могут быть частицы угля, минеральные масла, применяемыми для смазки машин и механизмов. Эти загрязнения находятся в сточных водах в растворенном и взвешенном состоянии.

Наличие в воде взвешенных веществ, нитритов и нитратов обусловлено техническими факторами: проведение взрывных и погрузочно-разгрузочных работ, распыление мелкодисперсных минеральных фракций при транспортировании [1].

Попадание в воду нефтепродуктов об-

условлено, вероятно, работой на разрезе автотранспорта, экскаваторов, буровых станков и т. д., используемых горюче-смазочных материалы.

Содержание тяжелых металлов обусловлено их количеством в подземных водах угленосных отложений и процессами, связанными с миграцией элементов из горных пород в карьерные воды [2].

Наличие солей жесткости и большой минерализации карьерных вод способствует загрязнению водоемов солями, ухудшает питьевые качества, а порой делает их непригодными для хозяйственно-питьевых и промышленных целей.

В случае с открытыми горными работами сульфаты вымываются из горных пород и искусственно в сточные воды не привносятся.

Для оценки влияния природных факторов приводятся условные фоновые концентрации химических веществ, рассчитанные по данным наблюдений в створе, расположенном на 6 км выше устья. Для оценки эффективности, используемой на разрезе «Калтанский», технологии очистки сточных вод был проведен мониторинг поверхностных водотоков в период открытого русла. Полученные данные приводятся в табл. 1. Химический состав вод, вовлеченных в технологический процесс, был определен по данным лабораторных анализов.

Таблица 1

Результаты анализа качества сточных вод на различных участках очистных сооружений разреза «Калтанский» и условные фоновые концентрации химических веществ в воде р. Чёрный Калтанчик

Наименование показателя	Ед. изм.	Фоновая концентрация	В реке выше выпуска сточных вод	В реке ниже выпуска сточных вод	ПДК
Азот аммонийный	мг/дм ³	0,39±0,016	3,15±1,3	3,02±1,3	0,5
БПК ₅	мгО/дм ³	1,83±0,12	4,10±0,60	4,16±0,62	3,0
Сульфаты	мг/дм ³	59,9±0,17	129,0±5,1	154,1±6,5	500
Азот нитритный	мг/дм ³	0,016±0,0001	0,064±0,02	0,084±0,02	0,02
Азот нитратный	мг/дм ³	1,5±0,012	5,13±0,62	10,3±0,62	9,0
Взвешенные вещества	мг/дм ³	14,7±1,2	23,5±3,5	23,1±3,5	0,75
Нефтепродукты	мг/дм ³	0,05±0,001	0,025±0,010	0,024±0,010	0,05
Железо общее растворенное	мг/дм ³	0,47±0,0012	0,789±0,014	0,780±0,014	0,1

Фоновый химический состав водных объектов тесно связан с составом и строением пород водоносного пласта, а также с составом подземных вод, которые принимают участие в питании водоносных горизонтов верхней зоны, перемещаясь по тектонически ослабленным зонам или путем медленной фильтрации через слабопроницаемые породы.

Как показывают лабораторные исследования, после механической очистки на сбросе такие показатели: нитраты, нитриты, сульфаты и взвешенные вещества довольно высокие. Наличие в воде взвешенных веществ (содержание $23,5 \text{ мг/дм}^3$ при ПДК = $6,5 \text{ мг/дм}^3$), нитритов (содержание $0,064 \text{ мг/дм}^3$ при ПДК = $0,02 \text{ мг/дм}^3$) и нитратов (содержание $10,3 \text{ мг/дм}^3$ при ПДК = $9,0 \text{ мг/дм}^3$) обусловлено техническим фактором, проведением взрывных работ, осаждением пыли и дыма на водную поверхность. Сульфаты (содержание $127,04 \text{ мг/дм}^3$ при НДС 100 мг/дм^3) накапливаются в воде за счет осаждения аэрозолей диоксида серы из воздуха вместе с пылью под действием сил гравитации. Высокое содержание вышеперечисленных компонентов, обусловлено техногенной нагрузкой на окружающую среду в результате освоения угольного месторождения.

Таким образом, проведенный анализ позволил изучить динамику химического состава воды, вовлеченной в технологический процесс, и сделать вывод о недостаточной степени ее механической очистки.

В настоящее время в рамках комплексной научно-технической программы «Чистый уголь — Зелёный Кузбасс» АО «Кузбассразрезуголь» совместно с Кемеровским государственным университетом работает над стратегически важной экологической целью — поиском экономически эффективной технологии очистки сточных вод, способной обеспечить наибольшее снижение концентраций загрязняющих веществ (в т. ч. растворенных) в сбрасываемых сточных водах.

Основная сложность в очистке нитритов и нитратов связана с недостаточными их концентрациями в карьерной воде для использования биологических способов очистки.

Известными на сегодняшний день тех-

нологическими решениями, позволяющими удалить из сточных вод растворенные соединения, являются ионный обмен, сорбция или обратный осмос. В целом данные методы физико-химической очистки имеют общую технологическую особенность, ограничивающую их возможное применение для очистки дренажных вод, низкую селективность по отношению к соединениям азота (ионы аммония, нитрита и нитрата), приводящую к образованию значительного количества концентрированных растворов, содержащих кроме соединений азота другие растворенные в воде вещества. Общими недостатками технологий тонкой очистки воды являются требования к исходному качеству воды, высокая стоимость их внедрения на очистных сооружениях, существенные эксплуатационные затраты, вызванные применением кислот и щелочей для технологических промывок, а также необходимость привлечения высококвалифицированного обслуживающего персонала. Кроме того, реализация этих методов возможна только после реализации базового метода очистки, а в ряде случаев с применением элементов физико-химической очистки.

Данный недостаток является особенно значимым для предприятий угольной промышленности, где объемы сточных вод весьма значительным (десятки и сотни $\text{м}^3/\text{ч}$).

Применение в качестве очистных сооружений отстойников и фильтрующих дамб соответствует перечню доступных технологий, изложенному в информационно-техническом справочнике по наилучшим доступным технологиям ИТС 37-2017 «Добыча и обогащение угля». Однако эффективность очистки от растворенных соединений традиционными технологиями недостаточна.

На сегодняшний день в качестве основных способов очистки сточных вод от растворенных-ионов используют ионный обмен или обратный осмос.

Являясь растворенной солью сульфаты трудно связуемы и очищаемы с помощью фильтрации. Требуется реагентная обработка, позволяющая реализовать ионный обмен, при котором используются стандартные или

анионообменные смолы сильного основания. Использование стандартных анионитов требует осторожности и контроля в процессе очистки воды, которая содержит сульфаты, потому что возможен эффект их накопления и внезапного выброса за счет вытеснения их сульфат-ионами, обладающими большим сродством. К недостаткам данного метода относят:

- необходимость повышенного контроля в связи с возможностью выброса сульфатов в очищенную воду, что происходит за счет перенасыщения анионита;
- требуется строгий контроль качества исходной и очищенной воды;
- целесообразность применения только на крупнотоннажных производствах;
- высокий расход агрессивных реагентов;
- необходимость обработки концентрированных растворов солей, образующихся при регенерации ионообменных смол.

Средний расход реагентов на регенерацию ионообменной смолы при решении аналогичных задач для очистки 1 м³ воды составляет 5 л 30 % раствора соляной кислоты и 4 л 50 % раствора щелочи.

Тогда для станции производительностью 500 м³/час расход 30 % соляной кислоты составит 60 м³/сут, 50 % раствора щелочи — 48 м³/сут.

Вместе с тем проблема утилизации соле-содержащих растворов, образующихся при регенерации ионообменных смол при применении ионообменных фильтров, стоит очень остро.

Альтернативным вариантом может служить технология очистки воды от растворенных соединений обратным осмосом. В результате прохождения воды через системы обратного осмоса она практически полностью избавляется от примесей: аммиака, железа, нитратов, сульфатов, хлоридов, кальция и магния. Кроме того, за счет действия фильтров обратного осмоса снижается жесткость воды. Вода, пропущенная через системы обратного осмоса, полностью избавляется от запахов, чего не может обеспечить ни одна другая система фильтрации. Установ-

ки обратного осмоса используются также и для подготовки технологической воды, а в последнее время огромным спросом пользуются установки обратного осмоса, которые обеспечивают высочайшую степень фильтрации. Такие установки позволяют сократить содержание в воде неорганических молекул до двух процентов и полностью удаляют всевозможные фенолы и пестициды.

К недостаткам установок обратного осмоса относятся:

- высокая стоимость (относительно метода ионного обмена);
- наличие концентрата солей, до 25 % от общего объема воды, что делает данную технологию неприменимой для очистки крупнотоннажных промышленных стоков.

Рассматриваемые технологии очистки сульфатсодержащих сточных вод не являются доступными для большинства угледобывающих предприятий по причине высоких капитальных и эксплуатационных затрат.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Поверхностные воды, находящиеся в зоне действия горнодобывающего предприятия, подвержены влиянию техногенных факторов, поэтому вопрос об их современном эколого-геохимическом состоянии приобрел особо актуальное значение.

В результате проведенных исследований по эффективности очистки карьерных вод разреза «Калтанский» можно сделать вывод, что механическая очистка в отстойниках проходит неэффективно. Карьерные сточные воды угольного разреза характеризуются повышенным содержанием сульфатов, хлоридов и общей минерализации. Предлагаемые варианты усовершенствования технологической схемы очистки имеют свои особенности и недостатки. В связи с чем целесообразно продолжать разработку в области совершенствования комплекса очистных сооружений угольных предприятий с использованием конструктивно новых эффективных технологических приёмов, учитывающих технологическую мощность и особенности загрязнений сточных вод.

Работа выполнена в рамках КНТП полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в области разведки и добычи твердых полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения» распоряжение правительства от 11.05.2022, N 1144-р, мероприятие 13 «Инновационная технология очистки сточных вод на предприятиях по добыче угля открытым способом»

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудряшова Е.Н., Глушанкова И.С., Бессонова Е.Н. Очистка карьерных вод горнодобывающих предприятий от нитрат-ионов // Химия. Экология. Урбанистика. 2021. Т. 2021-1. С. 116–120.
2. Краснова Т.А., Беляева Е.Е., Беляева О.В., Гора Н.В., Иванова Л.А. Использование углеродных сорбентов для удаления марганца из водных сред // Водоснабжение и санитарная техника. 2022. № 7. С. 18–24.
3. Тимощук И.В., Горелкина А.К., Иванова Л.А., Просеков А.Ю., Латохин В.А. К вопросу о возможности использования адсорбции при очистке карьерных сточных вод // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2021. № 3. С. 59–63.
4. Волков Д.Д., Иванова Л.А., Краснова Т.А., Гора Н.В., Сколубович Ю.Л., Козлов Д.В. Математическое моделирование сорбционных процессов очистки природных и сточных вод от органических соединений // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2020. № 10 (742). С. 27–32.
5. Gorelkina A.K, Krasnova T.A., Timoshchuk I.V., Gora N.V., Golubeva N.S. Dynamics of trichloroethylene adsorption on activated carbons // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 315. P. 052026.

DOI: 10.25558/VOSTNII.2022.60.11.012

UDC 658.382

© L.A. Ivanova, I.V. Tymoshchuk, A.K. Gorelkina, N.S. Golubeva, O.V. Belyaeva, A. Rodionova, 2022

L.A. IVANOVA

Candidate of Engineering Sciences,
Associate Professor of the Department
KemSU, Kemerovo

I.V. TYMOSHCHUK

Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor,
Professor of the Department
KemSU, Kemerovo
e-mail: irina_190978@mail.ru

A.K. GORELKINA

Doctor of Engineering Sciences,
Associate Professor of the Department
KemSU, Kemerovo
e-mail: alengora@yandex.ru

N.S. GOLUBEVA

Candidate of Engineering Sciences,
Associate Professor of the Department
KemSU, Kemerovo

O.V. BELYAEVA

Candidate of Engineering Sciences,
Associate Professor of the Department
KemSU, Kemerovo

A. RODIONOVA

Master
KemSU, Kemerovo

TREATMENT OF QUARRY WASTEWATER OF COAL PLANT IN REGIONS WITH INCREASED ANTHROPOGENIC LOAD

Wastewater from coal industry enterprises continues to be one of the main sources of pollution of water bodies in resource-oriented regions. They contain suspended solids, petroleum products, mineral salts, organic compounds, heavy metals, etc. The article provides an analysis of monitoring studies of the qualitative composition of quarry wastewater, their priority pollutants are identified. The Kaltansky coal-mine wastewater treatment technology is described and its key drawbacks are identified. Presented are ways to improve the technological level and quality of treatment of quarry wastewater.

Keywords: WASTEWATER, MONITORING, COAL PLANTS, QUARRY WATER TREATMENT, ENVIRONMENTAL PROBLEMS.

REFERENCES

1. Kudryashova E.N., Glushenkova I.S., Bessonova E.N. Purification of quarry waters of mining enterprises from nitrate ions // Chemistry. Ecology. Urbanistics [Himiya. Ekologiya. Urbanistika]. 2021. T. 2021–1. P. 116–120. [In Russ.].
2. Krasnova T.A., Belyaeva E.E., Belyaeva O.V., Gora N.V., Ivanova L.A. The use of carbon sorbents for the removal of manganese from aqueous media // Water supply and sanitary engineering [Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika]. 2022. No. 7. P. 18–24. [In Russ.].
3. Tymoshchuk I.V., Gorelkina A.K., Ivanova L.A., Prosekov A.Yu., Latokhin V.A. On the question of the possibility of using adsorption in the treatment of quarry wastewater // Bulletin of the Scientific Center for the safety of work in the coal industry [Vestnik Nauchnogo centra po bezopasnosti rabot v ugolnoj promyshlennosti]. 2021. No. 3. P. 59–63. [In Russ.].
4. Volkov D.D., Ivanova L.A., Krasnova T.A., Gora N.V., Skolubovich Yu.L., Kozlov D.V. Mathematical modeling of sorption processes of purification of natural and wastewater from organic compounds // News of higher educational institutions. Construction [Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitelstvo]. 2020. No. 10 (742). P. 27–32. [In Russ.].
5. Gorelkina A.K., Krasnova T.A., Timoshchuk I.V., Gora N.V., Golubeva N.S. Dynamics of trichloroethylene adsorption on activated carbons // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 315. P. 052026.