



## ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОМ КОМПЛЕКСЕ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Научная статья

<https://doi.org/10.17073/2500-0632-2024-03-227>

УДК 504.4.054



### Оценка эффективности очистки сточных вод угольных предприятий от взвешенных веществ различными фильтрующими материалами

Л. А. Иванова , А. Ю. Просеков  , П. П. Иванов  , Е. С. Михайлова  ,  
И. В. Тимощук  , А. К. Горелкина 

Кемеровский государственный университет, г. Кемерово, Российская Федерация

✉ [lyuda\\_ivan@mail.ru](mailto:lyuda_ivan@mail.ru)

#### Аннотация

Взвешенные вещества являются преобладающими загрязнителями сточных вод угольных предприятий. Базовая система очистки сточных вод, регламентируемая в НДТ № 15 ИТС-37–2017, не обеспечивает качества очистки до нормативных значений сброса в водоемы рыбохозяйственного назначения. Используемый в данной технологии метод гравитационного осаждения в прудах-отстойниках эффективен для грубодисперсных частиц. Однако формирующиеся коллоидные системы из мелкодисперсных нерастворимых фракций являются сложными для разделения в условиях гравитационного поля. В качестве эффективного метода удаления взвешенных веществ из сточных вод рекомендуем использовать фильтрацию через стационарный слой фильтрующих зернистых материалов. В работе проведено исследование кинетики и динамики фильтрования взвешенных частиц из сточных вод угольных предприятий на фильтрующих материалах различной природы. Построены кривые гравитационного осаждения взвешенных веществ из карьерных сточных вод. Выявлена зависимость степени очистки сточных вод от размера фракций фильтрующих материалов. В работе приведены результаты оценки эффективности применения фильтрующих материалов природного происхождения для очистки сточных вод угольных предприятий от взвешенных веществ. Результаты экспериментов показали, что наиболее эффективным и доступным зернистым фильтрующим материалом является кварцит Бобровского месторождения, который мы рекомендуем использовать, комбинируя его фракции 2,0–5,0 и 0,7–1,2 (в соотношении 1 : 2). Определена оптимальная скорость подачи промывочных вод на этапе регенерации фильтра с зернистой загрузкой.

#### Ключевые слова

угольные предприятия, кварцит, взвешенные вещества, сточные воды, фильтрация, механическая очистка

#### Благодарности

Исследование выполнено в рамках комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи 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», утвержденной Распоряжением Правительства Российской Федерации от 11.05.2022 г. № 1144-р, при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, № соглашения 075-15–2022-1201 от 30.09.2022 г.

#### Для цитирования

Ivanova L. A., Prosekov A. Yu., Ivanov P. P., Mikhaylova E. S., Timoshchuk I. V., Gorelkina A. K. Assessment of the efficiency of wastewater treatment from coal enterprises for suspended solids using various filtering materials. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2024;9(3):263–270. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2024-03-227>



## SAFETY IN MINING AND PROCESSING INDUSTRY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION

Research paper

**Assessment of the efficiency of wastewater treatment from coal enterprises for suspended solids using various filtering materials**L. A. Ivanova  , A. Yu. Prosekov  , P. P. Ivanov  , E. S. Mikhaylova  ,  
I. V. Timoshchuk  , A. K. Gorelkina 

Kemerovo State University, Kemerovo, Russian Federation

 [lyuda\\_ivan@mail.ru](mailto:lyuda_ivan@mail.ru)**Abstract**

Suspended solids are the predominant pollutants in the wastewater of coal enterprises. The basic wastewater treatment system regulated in BAT No. 15 ITC-37–2017 does not ensure water quality meets the discharge standards for fishery water bodies. The gravitational sedimentation method used in this technology is effective for coarse particles. However, colloidal systems formed from fine insoluble fractions are challenging to separate in a gravitational field. As an effective method for removing suspended solids from wastewater, we recommend filtering through a stationary layer of granular filtering materials. The study investigates the kinetics and dynamics of filtering suspended particles from the wastewater of coal enterprises using various filtering materials. Sedimentation curves of suspended solids from quarry wastewater have been constructed. The dependence of wastewater treatment efficiency on the size of filtering material fractions has been identified. The study provides an evaluation of the effectiveness of using natural filtering materials for treating wastewater from coal enterprises. The experiments demonstrated that the most efficient and cost-effective granular filtering material is quartzite from the Bobrovskoye deposit, which we recommend using in a combination of fractions 20–50 and 0.7–12 mm (in a ratio of 1 : 2). The optimal flow rate of wash water during the regeneration of the granular filter is also determined.

**Keywords**

coal enterprises, quartzite, suspended solids, wastewater, filtration, mechanical treatment

**Acknowledgments**

This research was conducted within the framework of the comprehensive scientific and technical program for the full innovation cycle “Development and Implementation of a Complex of Technologies in the Fields of Exploration and Mining of Mineral Resources, Ensuring Industrial Safety, Bioremediation, and Creating New Deep Processing Products from Coal Raw Materials while Sequentially Reducing Environmental Impact and Risks to Population Life” approved by the Government of the Russian Federation Decree No. 1144-r dated 11.05.2022, with financial support from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under Agreement No. 075-15–2022-1201 dated 30.09.2022.

**For citation**

Ivanova L. A., Prosekov A. Yu., Ivanov P. P., Mikhaylova E. S., Timoshchuk I. V., Gorelkina A. K. Assessment of the efficiency of wastewater treatment from coal enterprises for suspended solids using various filtering materials. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2024;9(3):263–270. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2024-03-227>

**Введение**

Одним из преобладающих загрязнителей сточных вод угольных предприятий являются взвешенные нерастворимые вещества, образование которых связано с буровзрывными работами, экскавацией и транспортированием угля и породы на угольных карьерах [1].

При организации оборотного водоснабжения, например, при использовании сточных вод для снабжения обогатительных фабрик повышенное содержание взвешенных веществ в воде может привести к снижению качества получаемых концентратов, а также повышенному износу труб и насосов.

Минеральные пылевые частицы формируют в воде в зависимости от степени дисперсности различные системы – суспензии, взвеси, коллоидные растворы и др.

Большинство угольных разрезов, расположенных в Кемеровской области – Кузбассе, имеют систему очистки сточных вод, соответствующую базовой очистке, регламентированной НДТ № 15 ИТС-37–2017 «Добыча и обогащение угля», которая включает в себя процесс осаждения взвешенных веществ под действием сил тяжести в прудах-отстойниках и фильтрацию через фильтрующий материал дамб [2].

Отстаивание карьерных сточных вод в прудах-отстойниках – наиболее распространенный метод и применяется на первой стадии очистки. Данный метод является эффективным для удаления крупнообломочных частиц, имеющих размер более 2 мм. Для таких частиц эффективность отстаивания составляет 90–100 %. Кроме того, этот же метод позволяет удалить до 40–60 % грубых и средних песча-



ных частиц с размером более 0,25 мм [3]. Содержание в карьерных сточных водах трудноосаждаемых пылеватых и глинистых частиц размером менее 10 мкм в больших концентрациях делают пруды-отстойники недостаточно эффективными. Чаще всего они не позволяют достичь нормативных концентраций по взвешенным веществам в сбрасываемых сточных водах даже при использовании каскада фильтрующих дамб. Кроме того, пруды-отстойники с регулируемым водосбросом не приспособлены для функционирования в условиях резких и значительных изменений расходов сточных вод, которые могут быть вызваны особенностями горной выработки и метеорологическими условиями [4].

Основное тело фильтрующего массива чаще всего выполнено из [5]:

- коренных пород вскрыши;
- крупного щебня фракции 100–200 мм;
- среднего щебня фракции 60–100 мм;
- горелой породы;
- кварцевого песка или цеолита.

Использование коренных пород вскрыши в качестве фильтрующего материала каскада дамб для очистки сточных вод карьеров имеет существенный недостаток, заключающийся в накоплении во время эксплуатации преобладающих загрязнителей с их последующим вымыванием, что приводит к увеличению их концентрации в очищенной воде.

Мониторинговый анализ качества сбрасываемых сточных вод угольных разрезов показал, что количественное содержание в них взвешенных веществ превышает нормативные значения и неравномерно в течение года, максимальный пик наблюдается в период май–июль [6].

Целью работы является оценка эффективности очистки сточных вод угольных карьеров от взвешенных нерастворимых загрязнений техногенного происхождения методом фильтрования через слой зернистой загрузки.

В задачи исследования входили:

- проведение натурных измерений содержания взвешенных веществ в сточных водах угольных разрезов;
- исследование кинетики гравитационного осаждения взвешенных веществ из сточных вод;
- анализ фильтрующей способности загрузок из материалов природного происхождения;

– определение эффективности очистки сточных вод от взвешенных веществ при формировании рабочего слоя путем комбинирования разных материалов и фракций;

– определение оптимальной скорости подачи промывочных вод на этапе регенерации фильтра с зернистой загрузкой.

### Методы исследования

В качестве рекомендованного метода очистки карьерных сточных вод от взвешенных веществ предлагаем использовать безреагентный способ очистки – фильтрование [7–9]. Данный способ в зависимости от концентрации контаминантов в исходной воде можно использовать как самостоятельно, так и одним из этапов комплексной технологии с «нулевым сбросом» [10].

Для анализа взвешенных веществ использовали методику ПНДФ 14.1:2:4.254–2009 «Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовых концентраций взвешенных веществ и прокаленных взвешенных веществ в пробах питьевых, природных и сточных вод гравиметрическим методом».

Дисперсный состав взвешенных частиц в сточных водах определяли с помощью анализатора размера частиц по ГОСТ 8.774–2011.

В лабораторных условиях проведены исследования по выбору фильтрующего материала для загрузки в фильтрующую колонну, установленную на входе в систему комплексной технологии очистки сточных вод, использующую концепцию «нулевого сброса».

### Характеристика объектов исследования

Для анализа эффективности очистки сточных вод от взвешенных веществ фильтрованием в качестве объектов исследования были выбраны природные материалы разного химического состава (табл. 1).

### Результаты исследования очистки сточных вод угольных предприятий от взвешенных веществ фильтрующими материалами

Исследование процесса осаждения взвешенных веществ в кинетических условиях было проведено на карьерной воде, отобранной из зумпфа осенью и весной (с концентрацией 103 и 126 мг/дм<sup>3</sup> соответственно), в которой преобладающими веществами, формирующими взвеси, являлись суглинки с размером фракции 0,005 мкм.

Таблица 1

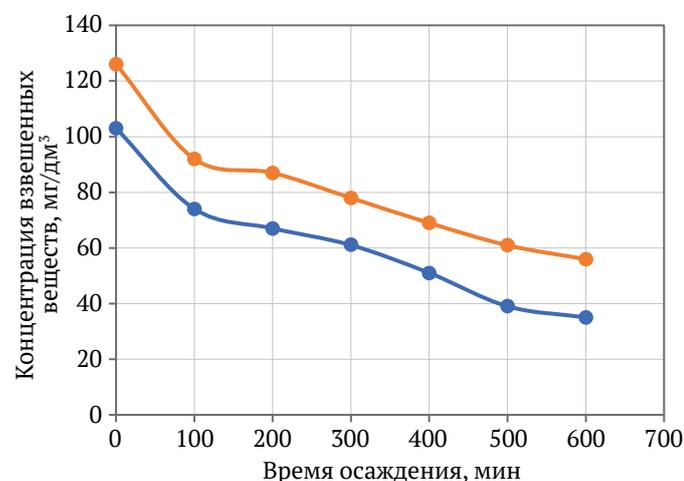
Химический состав фильтрующих материалов, %

Фильтрующий материал	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> общ	MnO	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
Цеолит Холинского месторождения (Читинская область, Россия)	56,27	5,37	2,30	< 0,01	14,90	1,26	0,14	1,24
Сорбент АС (каталитический алюмосиликатный) (Россия)	46,8	1,0	6,12	< 0,01	0,6	0,1	0,72	–
Filter-Ag (США)	70–73	14	1,5–3,5	0,2–2,5	–	–	2,5	1,5
Материал фильтрующий МФУ (Россия)	80	7	5	4	–	–	3	–
Сорбент МС (каталитический алюмосиликатный) (Россия)	16,9	0	9,53	1,7	0,34	6,2	0	–
Кварцит Бобровского месторождения (Россия)	98,7	1,3	0,6	–	–	–	–	–

Кинетика гравитационного осаждения взвешенных веществ из сточных вод приведена на рис. 1. Анализ кривых осаждения позволяет выделить два этапа, каждый из которых имеет разную скорость процесса. Так, в течение первых 100 мин наблюдается значительное снижение концентрации взвешенных веществ вследствие осаждения частиц с преобладающим размером больше 0,05 мкм. В последующем происходит значительное снижение скорости осаждения мелкодисперсных частиц размером менее 0,02 мкм, сложных для разделения в условиях гравитационного поля. Концентрация взвешенных веществ в пробах достигла своего минимального значения (20 мг/дм<sup>3</sup>) только на пятые сутки и потом не изменялась.

Результаты гравитационного осаждения показали, что на коллоидные примеси силы гравитации не оказывают достаточного для их осаждения действия. Другой характерной особенностью является седиментационная и агрегативная неустойчивость образованного осадка [11].

Полученные результаты подтверждают необходимость доочистки сточных вод от взвешенных веществ коллоидной группы после прудов-отстойников, в которых организовано ламинарное течение очищаемых вод, достаточное для удаления крупнодисперсных частиц. Эффективным методом доочистки сточных вод от коллоидных частиц является динамическая фильтрация с использованием аппаратов колонного типа с зернистой загрузкой [12].



**Рис. 1.** Кинетика гравитационного осаждения взвешенных веществ

Сточные воды на выходе из прудов-отстойников, имеющие концентрацию взвешенных частиц на уровне 62 мг/дм<sup>3</sup>, с преобладающим размером частиц 0,005–0,02 мкм пропускались через лабораторную установку, схема которой представлена на рис. 2, в которой менялась фильтрующая зернистая загрузка.

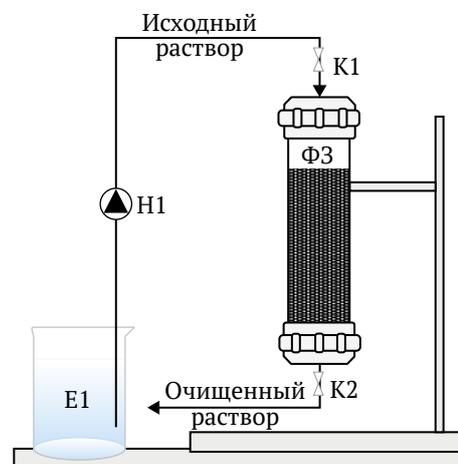
Лабораторная установка представляет собой фильтрующую колонну с высотой фильтрующего слоя зернистой загрузки – 0,50 м, диаметром – 0,1 м. Очищаемая вода подается сверху с начальной скоростью 8 м/ч. Степень очистки сточных вод при использовании различных фильтрующих загрузок определялась после пропускания 200 л.

Перед началом механической фильтрации предварительно обработанная и отстоянная вода заливалась в ёмкость E1, откуда насосом Н1 подавалась на фильтровальную колонку ФЗ с зернистой загрузкой. Скорость фильтрации устанавливалась кранами К1 и К2. Получаемый фильтрат собирался в промежуточную ёмкость.

Расчет степени очистки сточных вод от взвешенных веществ выполнен по формуле [13]:

$$\varepsilon = \frac{C_0 - C_k}{C_0} 100,$$

где  $\varepsilon$  – степень очистки сточных вод, %;  $C_0$  – начальная концентрация взвешенных веществ, мг/л;  $C_k$  – концентрация взвешенных веществ на выходе из колонки после пропускания 200 л сточных вод, мг/л.



**Рис. 2.** Принципиальная схема лабораторной установки механической фильтрации

Таблица 2

**Концентрация взвешенных частиц и степень очистки сточных вод**

Фильтрующий материал	Начальная концентрация взвешенных веществ, мг/л	Концентрация взвешенных веществ на выходе из колонки после пропускания 200 л сточных вод	Степень очистки, %
Filter Ag	62,32	1,47	97,64
Материал фильтрующий МФУ	60,54	42,94	29,02
Сорбент АС	59,42	54,74	7,84
Цеолит Холинского месторождения	68,20	22,73	66,67
Сорбент МС	62,34	29,75	52,24
Кварцит Бобровского месторождения (фракция 2–5)	64,50	9,28	85,61

Результаты эксперимента приведены в табл. 2.

Данные лабораторного эксперимента показали, что наибольшую степень очистки модельных растворов от взвешенных веществ имеют Filter Ag и кварцит Бобровского месторождения.

Результаты исследования влияния фракционного состава фильтрующего материала на степень очистки модельных растворов от взвешенных веществ провели на кварцевом материале Бобровского месторождения. Результаты приведены на рис. 3.

Как показали экспериментальные данные, с увеличением размера фракций степень очистки уменьшается. Это объясняется увеличением размера канальцев между частицами зернистого материала, что способствует снижению гидравлического сопротивления стационарного слоя материала и, соответственно, недостаточному понижению кинетической энергии взвешенных частиц для их задержки в слое фильтрующей загрузки.

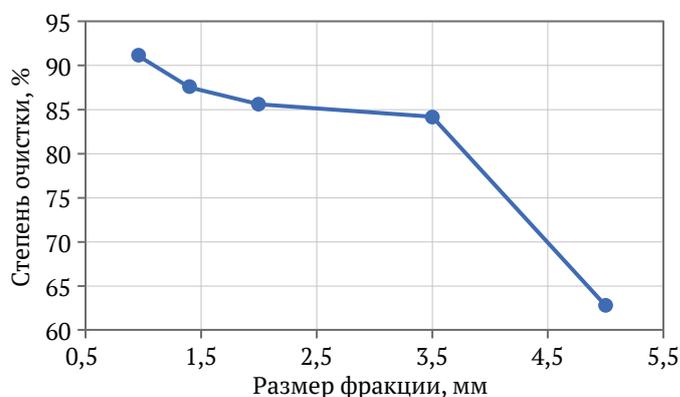
Обзор литературных данных показал, что одним из способов повышения эффективности очистки сточных вод от взвесей является формирование комбинированной загрузки зернистого материала [14]. При этом первым по ходу потока очищаемых сточных вод, как правило, используют материал с большим размером частиц, постепенно уменьшая его к выходу из колонны. Кроме того, использование принципа комбинирования фильтрующих материалов позволяет снизить стоимость очистки сточных вод [15, 16].

Для сравнения эффективности комбинирования зернистой загрузки собрали модельную установку, имеющую два слоя разных фракций или фильтрующих материалов. Результаты эксперимента приведены в табл. 3.

Анализ экспериментальных данных показал, что наиболее высокая степень удаления взвешен-

ных веществ достигается при использовании комбинации фильтрующих материалов – кварцевого песка и Filter Ag (в соотношении 1 : 2). Наименьшая степень удаления взвешенных веществ наблюдается при использовании комбинации фильтрующих материалов – кварцевого песка с частицами размером 1,0–2,0 мм и цеолита (в соотношении 1 : 2). При этом наибольшей удельной стоимостью очистки сточных вод обладают загрузки с комбинациями, включающими цеолиты (обладающие низкой степенью очистки от взвешенных веществ) и Filter Ag (обладающий высокой стоимостью и отсутствием локализации его производства в России).

Таким образом, наиболее эффективным и доступным зернистым фильтрующим материалом является кварцит Бобровского месторождения, который мы рекомендуем использовать, комбинируя его фракции 2,0–5,0 и 0,7–1,2 (в соотношении 1 : 2).



**Рис. 3.** Зависимость степени очистки на кварцевом материале Бобровского месторождения от размера фракции

Таблица 3

**Степень очистки сточных вод от взвешенных частиц комбинированным слоем зернистой загрузки**

Фильтрующий материал	Количество очищенной воды до достижения ПДК, л	Стоимость загрузки для лабораторной установки, руб.	Удельная стоимость очистки одного литра сточных вод, руб/л
Кварцит Бобровского месторождения, фракция 2,0–5,0/0,7–1,2 (в соотношении 1 : 2)	480	150	0,31
Кварцит Бобровского месторождения, фракция 2,0–5,0/0,8–2,0 (в соотношении 1 : 2)	250	145	0,58
Кварцит Бобровского месторождения, фракция 1,0–3,0/цеолит (в соотношении 1 : 1)	180	162	0,90
Кварцит Бобровского месторождения, фракция 1,0–3,0/цеолит (в соотношении 1 : 2)	100	123	1,23
Кварцит Бобровского месторождения, средняя фракция 1,0–3,0 / цеолит (в соотношении 2 : 1)	250	140	0,56
Кварцит Бобровского месторождения, фракция 2,0–5,0/Filter Ag (в соотношении 1 : 2)	720	433	0,60
Кварцит Бобровского месторождения, фракция 2,0–5,0/кварцит Бобровского месторождения, фракция 0,7–1,2/Filter Ag (в соотношении 1 : 1 : 1)	580	291	0,50

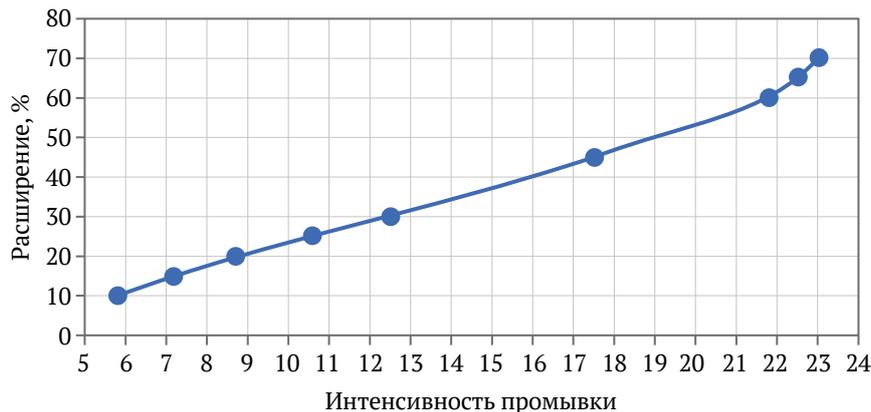


Рис. 4. Зависимость расширения загрузки кварцита Бобровского месторождения, фракция 2,0–5,0 / 0,7–1,2 (в соотношении 1 : 2), от интенсивности промывки

Для восстановления фильтрующей способности зернистой загрузки проводится ее регенерация путём обратноточной промывки.

Оптимальный процент расширения зернистой загрузки при её регенерации составляет 30% [17]. Для достижения заданного расширения для каждого типа зернистой загрузки требуется своя интенсивность подачи промывной воды.

С целью определения оптимальной интенсивности обратноточной промывки для исследованных фильтрующих материалов проведена серия экспериментов. Зависимость расширения фильтрующего слоя от расхода промывной воды снималась на фильтровальной колонне, описанной выше. Промывная вода подавалась в фильтрующую колонну снизу, а отводилась сверху, интенсивность промывки регулировалась краном, поз. К2.

Для каждого типа фильтровальной загрузки определена зависимость её расширения от интенсивности подачи промывной воды. График зависимости расширения загрузки в комбинации: кварцит Бобровского месторождения, фракция 2,0–5,0/0,7–1,2 (в соотношении 1 : 2), представлен на рис. 4.

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что для эффективной регенерации фильтрующей комбинированной загрузки: кварцит Бобровского месторождения, фракция 2,0–5,0/0,7–1,2 (в соотношении 1 : 2), оптимальная скорость подачи промывной воды составляет 12–13 л/м<sup>2</sup>·с.

## Заключение

Нерастворимые взвешенные вещества являются преобладающими загрязнителями карьерных сточных вод. Наиболее простым и экономически обоснованным методом очистки сточных вод от этого типа загрязнителей является метод фильтрования через стационарный зернистый слой фильтрующего материала. На угледобывающих предприятиях широко используют систему очистки сточных вод, рекомендованную НДТ № 15 ИТС-37–2017 «Добыча и обогащение угля», включающую пруды-отстойники, представляющие собой открытые земляные емкости, изготавливаемые путем выемки грунта (например, отстойники котлованного типа) или путем перегораживания естественных логов дамбами из комбинированного минерального материала (например, отстойники овражно-балочного типа). В качестве доочистки карьерных сточных вод рекомендуем использовать фильтрование с использованием аппаратов с зернистой загрузкой.

Наиболее высокую эффективность среди исследованных материалов показал кварцит Бобровского месторождения в комбинации различных фракций, обеспечивающих двухступенчатое фильтрование. Для восстановления фильтрующей способности зернистой загрузки проводится ее регенерация путём обратноточной промывки. Для эффективной регенерации фильтрующей комбинированной загрузки: кварцит Бобровского месторождения, фракция 2,0–5,0/0,7–1,2 (в соотношении 1 : 2), оптимальная скорость подачи промывной воды составляет 12–13 л/м<sup>2</sup>·с.

## Список литературы / References

- Ivanova L. A., Salishcheva O. V., Timoshchuk I. V. et al. Major wastewater pollutants in coal mining. *Coke and Chemistry*. 2023;66(4):227–231. <https://doi.org/10.3103/S1068364X23700722>
- Иванова Л. А., Голубева Н. С., Тимошук И. В. и др. Оценка эффективности очистки сточных вод угледобывающего предприятия и ее влияние на загрязнение малых рек. *Экология и промышленность России*. 2023;27(1):60–65. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2023-1-60-65>  
Ivanova L., Golubeva N., Timoshchuk I. et al. Evaluation of the efficiency of wastewater treatment of a coal mining enterprise and its impact on the pollution of small rivers. *Ecology and Industry of Russia*. 2023;27(1):60–65. (In Russ.) <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2023-1-60-65>



3. Красавцева Е.А., Максимова В.В., Макаров Д.В., Маслобоев В.А. Методы очистки сточных вод горнопромышленных предприятий от взвешенных веществ. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2022;(3):136–146. <https://doi.org/10.15372/FTPRPI20220314> (Перев. вер.: Krasavtseva E.A., Maksimova V.V., Makarov D.V., Masloboev V.A. Removal of suspended solids from industrial wastewater. *Journal of Mining Science*. 202;58(3):466–475. <https://doi.org/10.1134/s1062739122030140>)  
Krasavtseva E.A., Maksimova V.V., Makarov D.V., Masloboev V.A. Removal of suspended solids from industrial wastewater. *Journal of Mining Science*. 202;58(3):466–475. <https://doi.org/10.1134/s1062739122030140> (Orig. ver.: Krasavtseva E.A., Maksimova V.V., Makarov D.V., Masloboev V.A. Removal of suspended solids from industrial wastewater. *Fiziko-Tekhnicheskiye Problemy Razrabotki Poleznykh Iskopayemykh*. 2022;(3):136–146. (In Russ.) <https://doi.org/10.15372/FTPRPI20220314>)
4. Блинов С.М., Караваева Т.И., Боков Д.А. Способ очистки воды от взвешенных веществ с использованием дражных отвалов. *Вестник Пермского университета. Геология*. 2012;(2):86–91.  
Blinov S.M., Karavaeva T.I., Bokov D.A. Method of water clearing from suspended substances with use of drag's dumps. *Bulletin of Perm University. Geology*. 2012;(2):86–91. (In Russ.)
5. Чайковский Д.Я., Чайковская А.А., Арканова И.А. Целесообразность применения кварцевого песка в качестве фильтрующего зернистого материала для очистки воды от взвешенных веществ. *Вестник научных конференций*. 2016;(3–7):218–219.  
Tchaikovskiy D.Ya., Tchaikovskaya A.A., Arkanova I.A. Expediency of using quartz sand as a filtering granular material for water purification from suspended solids. *Vestnik Nauchnykh Konferentsiy*. 2016;(3–7):218–219. (In Russ.)
6. Гронь В.А., Будник Е.В., Шахрай С.Г., Кондратьев В.В. Новые возможности для очистки сточных вод угольных месторождений. *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2012;(9):183–189.  
Gron V.A., Budnik E.V., Shakhrai S.G., Kondratyev V.V. New opportunities for coal deposit wastewater treatment. *Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2012;(9):183–189. (In Russ.)
7. Das A., Saha A.K., Sarkar Sh. et al. A multidimensional study of wastewater treatment. *International Journal of Experimental Research and Review*. 2022;28:30–37. <https://doi.org/10.52756/ijerr.2022.v28.005>
8. He L., Gao Z., Fan L., Tan T. The shock effect of inorganic suspended solids in surface runoff on wastewater treatment plant performance. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2019;16(3):453. <https://doi.org/10.3390/ijerph16030453>
9. Shi J., Huang W., Han H., Xu C. Pollution control of wastewater from the coal chemical industry in China: Environmental management policy and technical standards. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2021;143:110883. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110883>
10. Zhang Sh., Wu Q., Ji H. Research on zero discharge treatment technology of mine wastewater. *Energy Reports*. 2022;8(2):275–280. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.01.014>
11. Yuan N., Zhao A., Hu Z. et al. Preparation and application of porous materials from coal gasification slag for wastewater treatment: A review. *Chemosphere*. 2022;287(2):132227. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132227>
12. Mao G., Han Y., Liu X. et al. Technology status and trends of industrial wastewater treatment: A patent analysis. *Chemosphere*. 2022;288(2):132483. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132483>
13. Горелкина А.К., Тимошук И.В., Голубева Н.С. и др. Способы снижения воздействия горнодобывающей отрасли на водные экосистемы. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2023;(7):64–75. [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2023\\_7\\_0\\_64](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_7_0_64)  
Gorelkina A.K., Timoshchuk I.V., Golubeva N.S. et al. Reduction of impact of mining on water ecosystems. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2023;(7):64–75. (In Russ.). [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2023\\_7\\_0\\_64](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_7_0_64)
14. Иванова Л.А., Тимошук И.В., Горелкина А.К. и др. Выбор сорбента для элиминации ионов железа из сточных и природных вод. *Техника и технология пищевых производств*. 2024;54(2):398–411. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-2-2516>  
Ivanova L., Timoshchuk I. Gorelkina A. et al. Removing excess iron from sewage and natural waters: selecting optimal sorbent. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2024;54(2):398–411. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-2-2516>
15. Михайлова Е.С., Иванова Л.А. Технологии полного цикла очистки карьерных и поверхностных сточных вод для предприятий по добыче угля открытым способом: тенденции и перспективы. *Уголь*. 2023;(9):63–69. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2023-9-63-69>  
Mikhaylova E.S., Ivanova L.A. Technologies of full-cycle treatment of pit and surface wastewater for open-pit coal mining operations: trends and prospects. *Ugol'*. 2023;(9):63–69. (In Russ.). <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2023-9-63-69>
16. Mkilima T., Meiramkulova K., Zandybay A. et al. Investigating the influence of column depth on the treatment of textile wastewater using natural zeolite. *Molecules*. 2021;26(22):7030. <https://doi.org/10.3390/molecules26227030>



17. Nikitin A.P., Dudnikova Y.N., Mikhaylova E.S., Ismagilov Z.R. Raman characteristics of Kuznetsk basin coal and coal-based sorbents. *Coke and Chemistry*. 2019;62(9):379–384. <https://doi.org/10.3103/S1068364X19090059>
18. Zvekov A.A., Zykov I.Y., Dudnikova Y.N. et al. Sorption of organic compounds by carbon sorbents from Kuzbass coals. *Coke and Chemistry*. 2019;62(6):240–244. <https://doi.org/10.3103/S1068364X19060103>

### Информация об авторах

**Людмила Анатольевна Иванова** – кандидат технических наук, доцент кафедры техносферной безопасности, Кемеровский государственный университет, г. Кемерово, Российская Федерация; ORCID 0000-0002-4103-8780; e-mail [lyuda\\_ivan@mail.ru](mailto:lyuda_ivan@mail.ru)

**Александр Юрьевич Просеков** – доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, ректор, Кемеровский государственный университет, г. Кемерово, Российская Федерация; ORCID 0000-0002-5630-3196, Scopus ID 57194498125, ResearcherID C-7606-2014; e-mail [rector@kemsu.ru](mailto:rector@kemsu.ru)

**Павел Петрович Иванов** – кандидат технических наук, доцент кафедры мехатроники и автоматизации технологических систем, Кемеровский государственный университет, г. Кемерово, Российская Федерация; ORCID 0000-0002-8086-3273, Scopus ID 57214880844; e-mail [ipp7@yandex.ru](mailto:ipp7@yandex.ru)

**Екатерина Сергеевна Михайлова** – кандидат химических наук, директор Института нано-, био-, информационных, когнитивных и социогуманитарных технологий, доцент кафедры техносферной безопасности, Кемеровский государственный университет, г. Кемерово, Российская Федерация, ORCID 0000-0002-0673-0747, Scopus ID 57189052967; e-mail: [e\\_s\\_mihaylova@mail.ru](mailto:e_s_mihaylova@mail.ru)

**Ирина Вадимовна Тимошук** – доктор технических наук, профессор кафедры техносферной безопасности, Кемеровский государственный университет, г. Кемерово, Российская Федерация; ORCID 0000-0002-1349-2812, Scopus ID 56646335100, ResearcherID L-4795-2016; e-mail [irina\\_190978@mail.ru](mailto:irina_190978@mail.ru)

**Алена Константиновна Горелкина** – доктор технических наук, профессор кафедры техносферной безопасности, Кемеровский государственный университет, г. Кемерово, Российская Федерация; ORCID 0000-0002-3782-2521; e-mail [alengora@yandex.ru](mailto:alengora@yandex.ru)

### Information about the authors

**Ludmila A. Ivanova** – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department of Technosphere Safety, Kemerovo State University, Kemerovo, Russian Federation; ORCID 0000-0002-4103-8780; e-mail [lyuda\\_ivan@mail.ru](mailto:lyuda_ivan@mail.ru)

**Alexander Yu. Prosekov** – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Rector, Kemerovo State University, Kemerovo, Russian Federation; ORCID 0000-0002-5630-3196, Scopus ID 57194498125, ResearcherID C-7606-2014; e-mail [rector@kemsu.ru](mailto:rector@kemsu.ru)

**Pavel P. Ivanov** – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department of Mechatronics and Automation of Technological Systems, Kemerovo State University, Kemerovo, Russian Federation; ORCID 0000-0002-8086-3273, Scopus ID 57214880844; e-mail [ipp7@yandex.ru](mailto:ipp7@yandex.ru)

**Ekaterina S. Mikhaylova** – PhD (Chem.), Director of the Institute of Nano-, Bio-, Information, Cognitive and Socio-Humanitarian Technologies, Department of Technosphere Safety, Kemerovo State University, Kemerovo, Russian Federation, ORCID 0000-0002-0673-0747, Scopus ID 57189052967; e-mail: [e\\_s\\_mihaylova@mail.ru](mailto:e_s_mihaylova@mail.ru)

**Irina V. Timoshchuk** – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Department of Technosphere Safety, Kemerovo State University, Kemerovo, Russian Federation; ORCID 0000-0002-1349-2812, Scopus ID 56646335100, ResearcherID L-4795-2016; e-mail [irina\\_190978@mail.ru](mailto:irina_190978@mail.ru)

**Alena K. Gorelkina** – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Department of Technosphere Safety, Kemerovo State University, Kemerovo, Russian Federation; ORCID 0000-0002-3782-2521; e-mail [alengora@yandex.ru](mailto:alengora@yandex.ru)

Поступила в редакцию 11.03.2024

Поступила после рецензирования 23.04.2024

Принята к публикации 10.06.2024

Received 11.03.2024

Revised 23.04.2024

Accepted 10.06.2024