

М.А. Иманбаев*¹, Н.В. Сидорова¹, А.Н. Бирюков², И.М.Джуриная³

¹НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева», Алматы, Казахстан, pk05@mail.ru*, sidorova3112@bk.ru

²ТОО «Эйкос», Алматы, Казахстан, akazarin1@yandex.ru

³АО «Алматинский технологический университет», Алматы Казахстан, indi_06.79@mail.ru

КОМПЛЕКСНАЯ ОЧИСТКА ШАХТНЫХ ВОД

Аннотация

В настоящее время строительство сооружений для очистки шахтных вод является одним из важных мероприятий, направленных на сохранение поверхностных водотоков и водоемов. В статье рассмотрены методы очистки шахтных вод и эффективные варианты очистки. Химический состав шахтных вод разнообразен, что обусловлено влиянием естественных процессов, происходящих в массиве горных пород, водоносных горизонтах, в горных выработках, когда вода вступает в контакт с горными породами. Состав примесей шахтных вод максимально превышает нормативные предельно допустимые концентрации (ПДК), которые подвергаются очистке перед их сбросом в открытые водоемы. Выделены основные загрязняющие вещества шахтных вод, рассмотрены основные методы очистки шахтных вод, отмечены характерные признаки применения методов очистки шахтных вод. В результате выявлено, что правильное определение порядка технологическими и техническими требованиями к каждому процессу водоподготовки, входящие в общую технологическую схему, хорошо очищают воду до требуемого качества. В соответствии с требованиями к качеству очистки шахтных вод необходимо модернизировать очистные сооружения и внедрять новые и эффективные технологии, т.е. решать проблему очистки шахтных вод комплексно.

Ключевые слова: адсорбция, коагуляция, тяжелые металлы, органические примеси, деминерализация, очистка сточных вод, электродеионизация, электромембранным комплексом.

Введение

Рано или поздно любой из природных и искусственных водоемов стареет, проходя через стадию антропогенных загрязнений. Если загрязнения водной среды обусловлено промышленными причинами (увеличение притока азота, фосфора и других химических элементов с дренажной поверхности), то в результате дополнительного притока биологической и химической массы увеличивается дисбаланс всех химических соединений и экосистема переходит в не стабильное квазиустойчивое соединение. Загрязненная шахтная вода образуется, когда горная порода, содержащая сульфидные минералы, подвергается воздействию воды и кислорода, что приводит к образованию кислотности и высокой концентрации металлов и сульфатов в воде.

Разрушение метаболической системы включает механизм автоматического ускорения загрязнения, которое сопровождается активным ростом токсичной флоры в нормальной биосфере. В результате инверсии редокс-потенциала и радионуклидов создаются условия для воспроизводства патогенных микроорганизмов и водные объекты становятся необратимыми для их регенерации традиционными физико-химическими процессами.

Вопрос о решении проблем в связи с возросшими требованиями правил охраны водных объектов, является актуальным при сбросе в них сточных (шахтных) вод. На сегодняшний день необходимо совершенствование методов водоподготовки, поиск новых подходов к оптимизации технологических процессов.

Общие вопросы

В принципе, пассивные системы очистки являются недорогими и трудоемкими, но:

- Высокоминерализованная шахтная вода не может быть надежно очищена до заданного стандарта;
- Некоторые металлы не могут быть удалены пассивными системами (например, большое количество Zn в нейтральных шахтных водах);
- Для очистки высокоминерализованной шахтной воды (много металлов, низкий pH, высокая водоподготовка) с использованием пассивных методов необходима огромная и дорогая площадь.

Одним из традиционных видов очистки многих шахтных вод является обработка реагентами. Выбор реагентов для очистки сточных вод в Казахстане ограничен и неразнообразен ввиду наличия на рынке малого количества реагентных препаратов и отсутствия в Казахстане предприятий по производству флокулянтов и коагулянтов. При этом большинство очистных сооружений Казахстана, которые были в основном запроектированы и построены в 60-80-х годах XX века, не были предназначены для удаления биогенных элементов до требуемых нормативов, так как по существовавшим в те годы нормативным документам требовалось обеспечение полной биологической очистки сточных вод. Эти проблемы весьма актуальны для большинства очистных сооружений Казахстана, так как она с каждым годом обостряется и требует безотлагательного решения [1].

Чтобы выбрать подходящую технологию очистки, необходимо учитывать следующие моменты:

- Существующие или доступные процессы;
- Анализ затрат и выгод альтернативных методов;
- Возможные изменения качества шахтной воды: «долговечность загрязнения шахтной воды».

Методы и материалы

В сложившихся условиях сложной экологической ситуации в республике особую роль приобретает проблема охраны водных ресурсов от загрязнений неочищенными стоками, которые сбрасываются в большом количестве. В связи с нарастающим дефицитом питьевой воды и увеличением объемов сбрасываемых промышленных стоков остро встает вопрос их очистки и использования как для хозяйственных так и для технических нужд оборотного водоснабжения.

Метод очистки шахтных вод выбирается с учетом химического состава шахтных вод и климатических условий угольных месторождений. Одной из существенных проблем закрытых угольных шахт является образование кислых дренажных вод, содержащих сульфаты и металлы. В настоящее время для их очистки применяются химические методы. Стоимость такой очистки высока, а эффективность удаления сульфатов и металлов невысока.

Химический состав шахтных вод разнообразен, что обусловлено влиянием естественных процессов, происходящих в массиве горных пород, водоносных горизонтах, в горных выработках, когда вода вступает в контакт с горными породами. Состав примесей шахтных вод максимально превышает нормативные предельно допустимые концентрации (ПДК), которые подвергаются очистке перед их сбросом в открытые водоемы [2].

Обычно состав загрязненной воды колеблется в следующих пределах:

- большое количество взвешенных не растворимых веществ, концентрация которых достигают 3,6 – 5 г/дм³ причем основную массу составляют (60-80% от общего количества) мелкодисперсные частицы;
- минерализация колеблется в пределах – 3-40 г/дм³,
- жесткость воды обусловлена присутствием солей кальция и магния, которые находятся в пределах – 15-50 мг-экв/дм³;
- соли тяжелых металлов в низких концентрациях (меди, цинка, никеля, молибдена, хрома, марганца, алюминия, стронция, кремния, железа, литий, барий и др.);
- органические загрязнения находящиеся, в растворенном и взвешенном состоянии;

- бактериальные загрязнения [3].

Таблица 1 – Характеристика химического состава шахтных вод, мг/л

Компонент	x_m	Me	x_{min}	x_{max}	S
pH	6.7	7.3	2.2	8.6	1.8
HCO ₃	272	285	0	991	211
SO ₄	1765	1558	390	4327	952
Cl	500	329	46	2798	507
Ca	100	72	15	363	80
Mg	217	220	14	510	105
Na	757	689	169	3558	476

Примечание: x_m - среднее арифметическое, Me - медиана, x_{min} , x_{max} - минимальное и максимальное значение, S - стандартное отклонение.

В естественных условиях в водных объектах происходит биологическое самоочищение воды от ионов тяжелых металлов с помощью гидробионтов и водовоздушных растений при наличии определенных условий, т.е. при невысоком уровне засоления и при малых объемах сбросных вод. Но надо отметить, что при самоочищении вода освобождается от металлов осаждаясь в виде металлоорганических комплексов и накапливается в донных отложениях способствуя вторичному загрязнению.

Высокотехнологичный метод водоподготовки позволяет решать очень важные вопросы: компенсация дефицита пресной воды (шахтные воды превращаются в ресурс промышленного водоснабжения); расширение ресурсов минерального сырья для хозяйственных нужд путем извлечения солей из вод; переход промышленных предприятий на оборотное водоснабжение, обеспечивающее охрану качества воды в поверхностных водных объектах.

Выделение, разделение и очистка солей является весьма трудной технологической задачей и не всегда оказывается экономически целесообразной. Однако, учитывая вред, который наносится рассолами пресным водным объектам, очистка минерализованных вод является актуальной. Рентабельность процесса деминерализации может быть обеспечена путем реализации в качестве товара очищенной воды, а также извлеченных из нее солепродуктов (в сухой, твердой или сгущенной фазах) [4].

У имеющихся методов водоподготовки существуют проблемы недостаточной очистки шахтных вод, использование устаревшего оборудования с высокими эксплуатационными расходами и проблемами энергосбережения.

Результаты и обсуждение

Очистка шахтных вод – это комплексное технологическое мероприятие, порядок которого определяется технологическими и техническими требованиями к каждому процессу водоподготовки.

В общем случае, этот порядок следующий:

- предварительная очистка;
- очистка;
- доочистка и обеззараживание.

Показатели качества шахтной воды, предусмотренные в рамках этой схемы:

- содержание бора – 1,94 мг/дм³;
- содержание кальция – 2016 мг/дм³;
- содержание магния – 950 мг/дм³.
- ХПК – 192 мгО₂/дм³.

После предочистки:

- содержание бора – 1,42 мг/дм³;
- содержание кальция – 1760 мг/дм³;
- содержание магния – 690 мг/дм³.
- ХПК – 86 мгО₂/дм³.

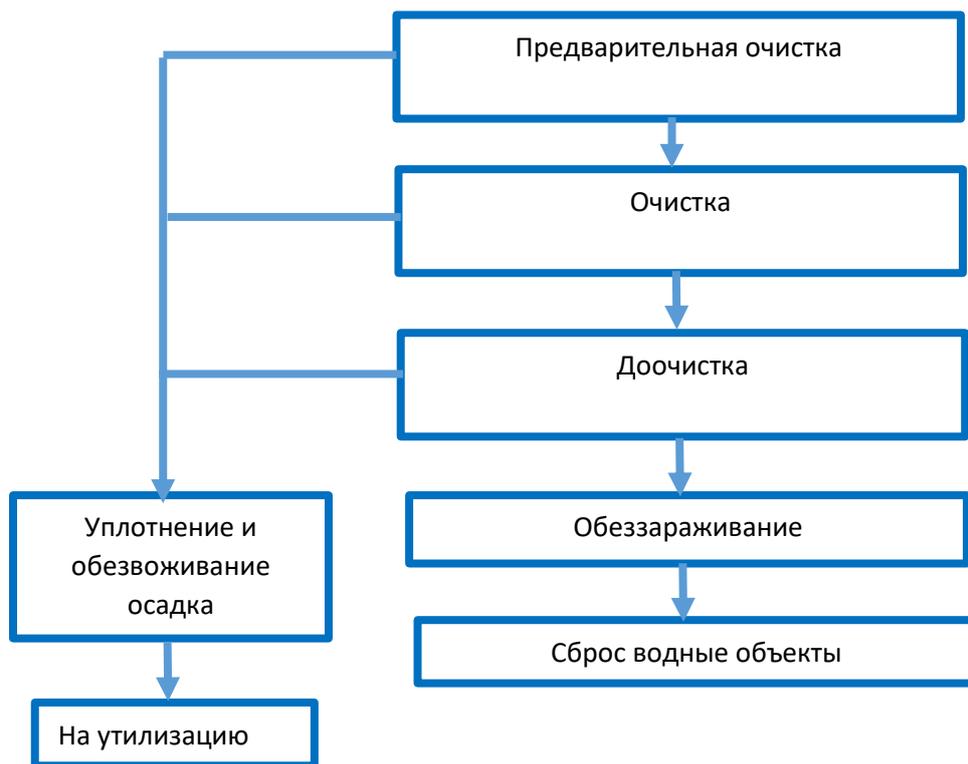


Рисунок 1 – Схема очистки шахтных вод

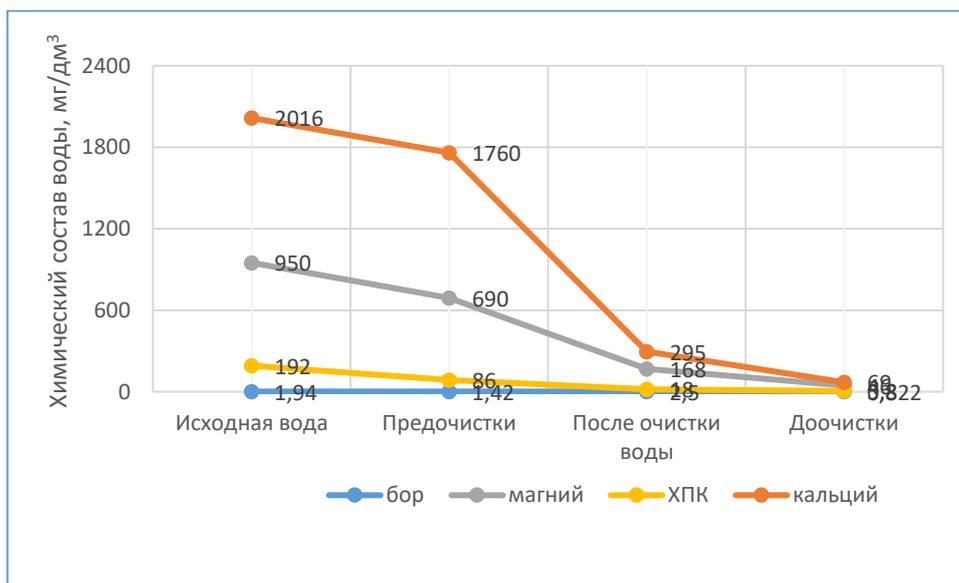


Рисунок 2 – Показатели качества воды после схемы очистки шахтных вод

После очистки воды:

- содержание бора – 2,5 мг/дм³;
- содержание кальция – 295 мг/дм³;
- содержание магния – 168 мг/дм³.
- ХПК – 18 мгО₂/дм³.

После доочистки:

- содержание бора – 0,822 мг/дм³;
- содержание кальция – 69 мг/дм³;
- содержание магния – 46 мг/дм³.
- ХПК – 5,8 мгО₂/дм³.

На первой стадии предварительной очистки шахтных вод применяются механические и химические методы очистки [5], такие как: процеживание, осветление, фильтрование, выделение твердой фазы, коагулирование, сорбция, флокулирование, нейтрализация, озонирование и др.

Данные методы водоподготовки используются как предварительная очистка, обеспечивающая в дальнейшем технологическом процессе уменьшение нагрузки на следующие стадии очистки, уменьшение и/или отсутствие компонентов, ухудшающие те или иные свойства мембран [6].

Таблица 2 – Требования к качеству воды, обрабатываемого электромембранным комплексом

Показатель	Величина показателя
Общее солесодержание, мг/дм ³ , не более	2,5
Количество взвешенных веществ, мг/дм ³ , не более	2,5
Жесткость общая, мг-экв/дм ³ , не более	10
Жесткость карбонатная, мг-экв/дм ³ , не более	1
Соединения железа, мг/дм ³ , не более	0,1
Количество марганца, мг/дм ³ , не более	0,05
Количество алюминия (нормируется только при коагуляции серноокислым алюминием), мг/дм ³ , не более	0,1
Перманганатная окисляемость, мг О ₂ /дм ³ , не более	5
Концентрация водородных ионов, рН, не более	7,5
Содержание активного хлора	Отсутствие
Температура, °С, не менее	15
не более	35

На второй стадии очистки, в зависимости от предъявляемых требований к качеству воды и состава исходной воды, определяется аппаратный состав технологического оборудования. На этой стадии осуществляется полная очистка шахтных вод от примесей, но очищенная вода пока непригодна для сброса в реку [7]. Чтобы сделать такую воду пригодной для сброса в водные объекты рыбохозяйственного назначения, необходима ее дальнейшая обработка до достижения нормативных требований. В результате, после очистки воды получаем воду для дальнейшей ее доочистки, т.е. после очистки вода подается на финишный каскад селективной электродеионизации. Каскады финишной доочистки воды позволяют получить очищенную воду требуемого качества [8].

Окончательной и обязательной стадией очистки шахтных вод является их обеззараживание перед сбросом в водные объекты, т.к. согласно санитарным нормам эти воды относятся к сточным, опасным в эпидемиологическом отношении. Обеззараживание воды производится различными химическими (озон, хлор) и физическими (УФ-обработка) методами [9].

Использование в процессе водоочистки отходов производства, в качестве сорбентов/коагулянтов намного улучшит работу мембранного комплекса. Известны работы по использованию отходов производства на основе гуминовых кислот или отходов металлургии для удаления ионов тяжелых металлов из шахтных вод.

Выводы

Комплексное решение с разработкой новых высокоэффективных технологии, с применением дешевых алюминийсодержащих сорбентов/коагулянтов из отходов производства, в технологической цепи с электромембранным комплексом, позволит расширить возможности их применения, снизит необходимость в дорогостоящей предварительной химической обработке сточной воды, позволит получить очищенную воду

требуемого качества, соответствующую нормативным требованиям для сброса в водные объекты рыбохозяйственного значения [10-11].

Список литературы

- 1 Оспанов К., Сейтасанов И., Меркурьева С., Абдукадырова А., Онласын У. (2024). ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОСАДКА ВОДОПРОВОДНЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ В КАЧЕСТВЕ РЕАГЕНТА ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ФОСФАТОВ. *Izdenister Natigeler*, (1 (101), 122–132. <https://doi.org/10.37884/1-2024/13>
- 2 Монгайт, И.Л. Очистка шахтных вод / И.Л. Монгайт, К.Д. Тикиниди, Г.И. Никодадзе. – М.: Недра, 1978. – 173 с.
- 3 Дьяченко, Н.Н. Комплексная очистка шахтных вод от крупного дисперсного шлама / Н.Н. Дьяченко // Горный журнал. – 2009. – № 12. – С. 60–61.
- 4 Способ комплексной очистки шахтных вод // Королев А. А., Крестьянинов А.Т., Краюхин С.А., Тимофеев К.Л., Кочин В.А., Курдюмов В.Р. // Патент RU 2 666 859. С2. Заявл. 2016.12.01. Опубл. 2018.09.12.
- 5 Пилат Б.В. Основы электродиализа – М.: Авваллон, 2004 – 456 с.
- 6 Одинцев В.Н., Милетенко Н.А. (2015) Прорыв воды в шахтах вследствие спонтанного гидроразрыва пласта. Журнал минеральных наук, 51:423–434.
- 7 S. Meibner, The impact of metal mining on global water stress and regional carrying capacities—a gis-based water impact assessment, *Resources* 10 (2021) 120, <https://doi.org/10.3390/RESOURCES10120120/S1>.
- 8 Pinto PX, Al-Abed SR, Balz DA, Butler BA, Landy RB, Smith SJ. Bench-scale and pilot-scale treatment technologies for the removal of total dissolved solids from coal mine water: a review. *Mine Water Environ* 2016;35:94–112. <https://doi.org/10.1007/s10230-015-0351-7>.
- 9 Runtti H, Tolonen ET, Tuomikoski S, Luukkonen T, Lassi U. How to tackle the stringent sulfate removal requirements in mine water treatment—A review of potential methods. *Environ Res* 2018;167:207–22. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.07.018>.
- 10 Foudhaili T, Lefebvre O, Coudert L, Neculita CM. Sulfate removal from mine drainage by electrocoagulation as a stand-alone treatment or polishing step. *Miner Eng* 2020;152:106337. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2020.106337>.
- 11 Xin Wang, Zhimin Xu, Yajun Sun, Jieming Zheng, Chenghang Zhang, Zhongwen Duan. Construction of multi-factor identification model for real-time monitoring and early warning of mine water inrush. *International Journal of Mining Science and Technology* 31 (2021), 853-866.

References

- 1 Ospanov K., Sejtasanov I., Merkur'eva S., Abdukadyrova A., Onlasyn U. (2024). ISPOL'ZOVANIE OSADKA VODOPROVODNYKH OCHISTNYKH SOORUZHENIJ V KACHESTVE REAGENTA DLYA OCHISTKI STOCHNYKH VOD OT FOSFATOV. *Izdenister Natigeler*, (1 (101), 122–132. <https://doi.org/10.37884/1-2024/13>
- 2 Mongajjt, I.L. Očistka šahtnyh vod / I.L. Mongajjt, K.D. Tikinidi, G.I. Nikodadze. – М.: Nedra, 1978. – 173 s.
- 3 D'âčenko, N.N. Kompleksnaâ očistka šahtnyh vod ot krupnogo dispersnogo šlama / N.N. D'âčenko // Gornyj žurnal. – 2009. – № 12. – S. 60–61.
- 4 Sposob kompleksnoj očistki šahtnyh vod // Korolev A. A., Krest'âninov A.T., Kraûhin S.A., Timofeev K.L., Kočin V.A., Kurdûmov V.R. // Patent RU 2 666 859. S2. Zaâvl. 2016.12.01. Opubl. 2018.09.12.
- 5 Pilat B.V. Osnovy èlektrodializa – М.: Avvallon, 2004 – 456 s.
- 6 Odincev V.N., Miletenko N.A. (2015) Proryv vody v šahtah vsledstvie spontannogo gidrorazryva plasta. Žurnal mineral'nyh nauk, 51:423–434.
- 7 S. Meibner, The impact of metal mining on global water stress and regional carrying capacities—a gis-based water impact assessment, *Resources* 10 (2021) 120, <https://doi.org/10.3390/RESOURCES10120120/S1>.

8 Pinto PX, Al-Abed SR, Balz DA, Butler BA, Landy RB, Smith SJ. Bench-scale and pilot-scale treatment technologies for the removal of total dissolved solids from coal mine water: a review. *Mine Water Environ* 2016;35:94–112. <https://doi.org/10.1007/s10230-015-0351-7>.

9 Runtti H, Tolonen ET, Tuomikoski S, Luukkonen T, Lassi U. How to tackle the stringent sulfate removal requirements in mine water treatment—A review of potential methods. *Environ Res* 2018;167:207–22. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.07.018>.

10 Foudhaili T, Lefebvre O, Coudert L, Neculita CM. Sulfate removal from mine drainage by electrocoagulation as a stand-alone treatment or polishing step. *Miner Eng* 2020;152:106337. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2020.106337>.

11 Xin Wang, Zhimin Xu, Yajun Sun, Jieming Zheng, Chenghang Zhang, Zhongwen Duan. Construction of multi-factor identification model for real-time monitoring and early warning of mine water inrush. *International Journal of Mining Science and Technology* 31 (2021), 853-866.

М.А. Иманбаев*¹, Н.В. Сидорова¹, А.Н. Бирюков², И.М. Джуринская³,

¹«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Алматы, Қазақстан, pko05@mail.ru*, sidorova3112@bk.ru

²«Эйкос» ЖШС, Алматы, Қазақстан, akazarin1@yandex.ru

³«Алматы технологиялық университеті» АҚ, Алматы, Қазақстан, indi_06.79@mail.ru

ШАХТА СУЛАРЫН КЕШЕНДІ ТАЗАРТУ

Аңдатпа

Қазіргі уақытта шахталық су тазарту құрылыстарын салу жер үсті су ағындары мен су қоймаларын сақтауға бағытталған маңызды шаралардың бірі болып табылады. Мақалада шахталық суды тазарту әдістері және тиімді тазарту жолдары қарастырылады. Шахта суының химиялық құрамы әр түрлі, бұл тау жыныстары массивтерінде, сулы горизонттар мен кен қазбаларында судың тау жыныстарымен жанасқан кездегі табиғи процестердің әсерінен. Шахталық сулардағы қоспалардың құрамы ашық су объектілеріне жіберілгенге дейін тазартуға жататын стандартты шекті рұқсат етілген концентрациялардан (ШПК) барынша асып түседі. Шахта суларының негізгі ластаушылары анықталып, шахта суларын тазартудың негізгі әдістері қарастырылып, шахта суларын тазарту әдістерін қолданудың сипаттамалық ерекшеліктері атап өтілді. Нәтижесінде жалпы технологиялық сызбаға енгізілген әрбір суды тазарту процесіне технологиялық және техникалық талаптардың ретін дұрыс анықтау суды қажетті сапаға дейін ұңғыманы тазартатыны анықталды. Шахталық суды тазарту сапасына қойылатын талаптарға сәйкес тазарту құрылыстарын жаңғырту және жаңа және тиімді технологияларды енгізу қажет, т.б. шахта суын тазарту мәселесін кешенді түрде шешу.

Кілт сөздер: адсорбция, коагуляция, ауыр металдар, органикалық қоспалар, минералсыздандыру, сарқынды суларды тазарту, электродеионизация, электромембраналық кешен.

М.А. Imanbayev*¹, N.V. Sidorova¹, A.N. Biryukov², I.M. Dzhurinskaya³

¹NPJSC K.I. Satbayev Kazakh National Research Technical University”, Almaty, Kazakhstan, pko05@mail.ru*, sidorova3112@bk.ru

²LLP «EJKOS», Almaty, Kazakhstan, akazarin1@yandex.ru

³JSC «Almaty Technological University», Almaty, Kazakhstan, indi_06.79@mail.ru

COMPREHENSIVE TREATMENT OF MINE WATERS

Abstract

Currently, the construction of mine water treatment facilities is one of the important measures aimed at preserving surface watercourses and reservoirs. The article discusses methods of mine water purification and effective treatment options. The chemical composition of mine waters is diverse, due

to the influence of natural processes occurring in the rock mass, aquifers, and in mine workings when water comes into contact with rocks. The composition of mine water impurities exceeds the regulatory maximum permissible concentrations (MPC) as much as possible, which are cleaned before they are discharged into open reservoirs. The main pollutants of mine waters are highlighted, the main methods of mine water purification are considered, and characteristic signs of the use of mine water purification methods are noted. As a result, it was revealed that the correct determination of the order by the technological and technical requirements for each water treatment process included in the general technological scheme purifies the water well to the required quality. In accordance with the requirements for the quality of mine water treatment, it is necessary to modernize treatment facilities and introduce new and effective technologies, i.e. solve the problem of mine water treatment comprehensively.

Key words: adsorption, coagulation, heavy metals, organic impurities, demineralization, wastewater treatment, electrodeionization, electromembrane complex.

МРНТИ 70.25.17

DOI <https://doi.org/10.37884/4-2024/31>

*К.Т. Оспанов*¹, Е.И. Кульдеев¹, У.К. Онласын², С.Н. Меркурьева³, Г.Н. Муханова⁴,*

¹Казахский национальный исследовательский технический университет, Алматы, Республика Казахстан, k.ospanov@satbayev.university, e.kuldeyev@satbayev.university*

²Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы, Республика Казахстан, ulzhan.onglassyn@kaznaru.edu.kz

³ГКП «Астана Су Арнасы», Астана, Республика Казахстан, snezhok_msn@mail.ru

⁴ГКП «Алматы Су», Алматы, Республика Казахстан, gulbanu.mukhanova.67@mail.ru

ВЫБОР ФЛОКУЛЯНТА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ОСАДКОВ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ГОРОДА АЛМАТЫ

Аннотация

В процессе очистки природных вод образуется большое количество сильно обводненных осадков, которые являются потенциальным источником загрязнения окружающей среды. Развитие мощностей водопроводных станций, повышение требований к созданию энергосберегающих технологий и к охране окружающей среды обуславливают необходимость обработки осадков водопроводных станций. На практике используются следующие основные направления обработки водопроводного осадка: сброс осадка в поверхностные водотоки и водоемы, захоронение в открытом море, обезвоживание осадка в естественных условиях, подсушивание осадка на иловых площадках в режиме испарения или замораживания-оттаивания, механическое обезвоживание уплотненного осадка на камерных или ленточных фильтр-прессах или в центрифугах с предварительным кондиционированием его с применением реагентов, удаление с осадком канализационных сооружений путем сброса водопроводных осадков и промывных вод на канализационные очистные сооружения. Настоящая статья посвящена вопросу обработки осадков очистных сооружений питьевых вод города Алматы. Приведены результаты лабораторных исследований по выбору эффективного флокулянта для обезвоживания осадков очистных сооружений. Лабораторно-экспериментальным путем определено, что при обезвоживании водопроводных осадков очистных сооружений города Алматы наиболее эффективны высокомолекулярные флокулянты марок Praestol 650 TR и Floram AN 913 SH. Данные флокулянты показали хорошие результаты по двум из трех показателей. Наилучший результат по водоотдаче и чистоте фугата.