

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БАРОМЕМБРАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ГОРНОМ ДЕЛЕ

А.А. Куликова<sup>1</sup>, Е.И. Хабарова<sup>2</sup>, Ю.А. Сергеева<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ГИ НИТУ МИСиС, Москва, Россия, e-mail: alexaza@mail.ru

<sup>2</sup> ИТХТ имени М.В.Ломоносова, МИРЭА – Российский технологический университет,  
Москва, Россия

<sup>3</sup> АО «СУЭК», Москва, Россия

**Аннотация:** Рассмотрены процессы формирования шахтных вод, которые образуются в результате их откачки для осушения месторождений. Таких вод образуется большое количество, а на химический состав шахтных вод влияет геологическое и гидрогеологическое строение, климатические условия, а также деятельность самого горнопромышленного предприятия. Согласно геогидродинамической зональности, поверхностные воды, проходящие различные зоны водоносных горизонтов, с углублением меняют свой химический состав от гидрокарбонатных до гидрокарбонатно-сульфатных и сульфатных, а далее переходят в хлоридные воды с повышенной минерализацией. Затем, проходя через выработки до мест водосбора, загрязняются взвешенными веществами, ионами тяжелых металлов и органическими примесями. В результате откачки шахтных вод в районах разработки месторождений наблюдаются мощные депрессионные воронки, приводящие к нарушению гидродинамического режима, способствующие исчезновению родников и поверхностных источников. Следовательно, разработка месторождений приводит к истощению водных горизонтов и загрязнению. Большие объемы шахтных вод на предприятиях не в полной мере используются для хозяйственных и производственных нужд, что связано с недостаточной их очисткой, а в дальнейшем, при сбросе в поверхностные источники, происходит загрязнение последних. Поэтому для того, чтобы использовать шахтные воды и не загрязнять окружающие поверхностные источники, а также бороться с истощением водных горизонтов, необходимо проводить комплексную очистку шахтных вод. Наиболее привлекательными для данных целей являются мембранные технологии. Мембранные технологии являются завершающей стадией водоочистки и позволяют эффективно очистить шахтные воды. Авторами представлено описание различных видов мембранных технологий, даны основные принципы их работы, их спектр и возможности использования, а также обоснована актуальность применения их на горнопромышленных предприятиях.

**Ключевые слова:** шахтные воды, водоносный горизонт, геогидродинамическая зональность, мембранные технологии, микрофильтрация, ультрафильтрация, нанофильтрация, обратный осмос, мембрана, обессоливание.

**Для цитирования:** Куликова А. А., Хабарова Е. И., Сергеева Ю. А. Перспективы использования баромембранных технологий в горном деле // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 2. – С. 22–32. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-2-0-22-32.

---

## Prospects for pressure-driven membrane technologies in mining

A.A. Kulikova<sup>1</sup>, E.I. Khabarova<sup>2</sup>, Yu.A. Sergeeva<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Mining Institute, National University of Science and Technology «MISIS»,  
Moscow, Russia, e-mail: alexaza@mail.ru

<sup>2</sup> Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies,  
MIREA – Russian Technological University, Moscow, Russia

<sup>3</sup> JSC «SUEK», Moscow, Russia

---

**Abstract:** The article discusses accumulation of mine water as a result of drainage of mineral deposits. The chemistry of this voluminous impoundment is governed by the geology and hydrogeology of a deposit, by climate and by the type of mining activity. According to geohydrodynamic zonation, surface water penetrates various aquifers and undergoes alteration in chemical composition from hydrocarbonate to hydrocarbonate-and-sulfate and to sulfate, then to chloride water with increased mineralization. Then, passing through underground excavations to catchment areas, the water gets contaminated with suspended materials, heavy metal ions and organic impurities. Pumping-out of mine water generates large cones of influence, which violates hydrodynamics and results in disappearance of surface springs. Consequently, mineral mining induces depletion and contamination of aquifers. Large volumes of mine water are insufficiently utilized in production and economic activities due to imperfect treatment. Such mine water is later on discharged to surface water sources and contaminates them. To use mine water without pollution of surface water sources nearby, as well as to eliminate depletion of aquifers, it is required to implement integrated treatment of mine water. A promising way to do this is using membrane technologies. The membrane technologies are applied at the final stage of water treatment and allow effective purification of mine water. The authors describe various membrane technologies, their operation, as well as application areas and capabilities, and substantiate their essentiality in mining practices.

**Key words:** mine water, aquifer, geohydrodynamic zonation, membrane technologies, microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration, reverse osmosis, membrane, desalination.

**For citation:** Kulikova A. A., Khabarova E. I., Sergeeva Yu. A. Prospects for pressure-driven membrane technologies in mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(2):22-32. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-2-0-22-32.

---

### Введение

В горнодобывающей промышленности при разработке месторождений полезных ископаемых откачивается большое количество шахтных вод. Практически все шахтные воды, кроме содержания взвешенных веществ, минерализованы и обогащены ионами тяжелых металлов и органическими примесями. На химический состав подземных вод влияет геологическое и гидрогеологическое строение, климатические условия, состав во-

довмещающих пород, а также горнотехнические условия в результате деятельности горнопромышленного предприятия.

Состав подземных вод и факторы, влияющие на его изменение, отражаются геогидродинамической зональностью (рис. 1).

До поступления в шахту подземные воды формируют свой химический состав за счет солей, вымытых при инфильтрации. В зонах интенсивного водо-

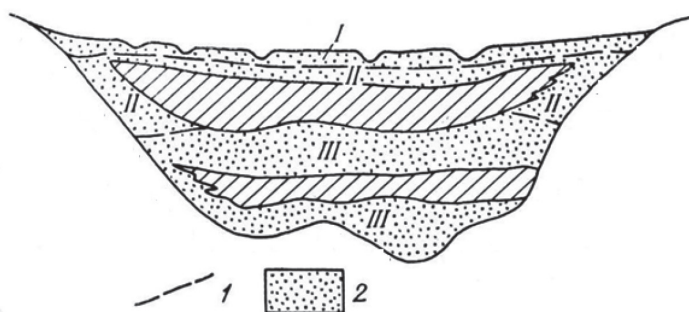


Рис. 1. Схема геогидродинамической зональности: 1 — граница между геогидродинамическими зонами; 2 — водоносные горизонты; I — зона интенсивного водообмена; II — зона затрудненного водообмена; III — зона весьма затрудненного водообмена

Fig. 1. Geohydrodynamic zoning scheme. Filtration fineness of various membrane technologies: 1 — interface of geohydrodynamic zones; 2 — aquifers; I — heavy water exchange; II — impeded water exchange; III — extremely impede water exchange

обмена располагаются грунтовые воды, образующиеся в результате фильтрации поверхностных вод, эти зоны могут простираются на глубину до 300 м. Такие воды в основном пресные, гидрокарбонатные, с глубиной переходящие в гидрокарбонатно-сульфатные и сульфатные. В зонах затрудненного водообмена преобладают сульфатные, натрий-карбонатные или гидрокарбонатно-натриевые воды, имеющие высокую минерализацию. А в зонах весьма затрудненного водообмена на глубине более 600 м наблюдаются хлоридные воды, имеющие концентрацию рассолов [1—3].

Согласно геогидродинамической зональности с увеличением глубины разработки месторождений наблюдается изменение режима и баланса подземных вод, химический состав природных вод меняется от пресных до высокоминерализованных вод. Под действием интенсивной откачки шахтных вод при разработке подземных месторождений образуются депрессионные воронки, которые распространяются на десятки километров и оказывают негативное влияние на экологическое состояние территорий. Осушение массивов горных пород приводят к истощению родников и поверхностных водотоков, а также спо-

собствует прекращению функционирования водозаборов подземных вод и нарушению гидродинамического режима [4—6].

Подземные воды, двигаясь от мест образования (стволы, очистные и подготовительные выработки, выработанные пространства) до водосборников, загрязняются взвешенными частицами и инертной пылью, образующейся в результате разработки [7—10], ржавчиной, а также загрязняются бактериологически. Таким образом, образуется большое количество шахтных вод, непригодных для использования в хозяйственных целях и для нужд шахты. Очистка шахтных вод сводится к удалению взвешенных частиц, а также удалению тяжелых металлов с переводом их в труднорастворимые осадки, которые не могут быть сброшены в окружающую среду без ухудшения экологической обстановки. В связи с дефицитом пресной воды на горнопромышленных предприятиях остро встает вопрос очистки шахтных вод для использования в хозяйственных и производственных целях, а также использования очищенных шахтных вод для борьбы с истощением водных горизонтов. В результате требуется разработка и обоснование техно-

логических схем очистки шахтных вод с использованием современных разработок в комплексе с имеющимися работоспособными устройствами очистки вод от взвешенных веществ.

В качестве очистки шахтных вод можно использовать наиболее перспективные мембранные технологии (микро- и ультрафильтрация, обратный осмос и др.), которые хорошо себя зарекомендовали в водоподготовке и очистке воды.

### **Мембранные технологии**

Мембранная очистка воды связана с использованием мембран, представляющих собой тонкий слой материала с множеством мельчайших пор. Такая очистка способна разделить две фазы с различными свойствами и составом, отличающимся по физическим и химическим характеристикам, она обладает селективными свойствами по отношению к разным компонентам.

В зависимости от вида и свойств мембраны и движущих сил процессов разделения выделяют:

- диффузионные (градиент концентрации) — сам процесс иногда называется «пассивная диффузия», т.е. когда вещество способно переходить из области большей концентрации в область с меньшей и распределяться по разные стороны мембраны;

- термомембранные (градиент температуры) — когда в веществе возникает температурная неоднородность, тепловое движение молекул стремится к выравниванию этой неоднородности, вследствие чего возникает явление переноса сквозь мембрану;

- электромембранные (градиент электрического потенциала) — движущей силой в веществе является разность электрических потенциалов: компоненты или частицы переносятся от высокопотенциала к низкому;

- баромембранные (градиент давления) — под влиянием разности давлений в средах по разные стороны мембраны растворитель и некоторые молекулы растворенного вещества проникают через мембрану [11–13].

Одним из наиболее передовых и эффективных методов фильтрации воды считаются мембранные методы разделения водных сред. Самыми перспективными в области очистки воды оказались баромембранные мембраны, которые благодаря своей унифицированности и простоте действия хорошо себя зарекомендовали.

Под воздействием внешнего давления только молекулы воды и некоторых солей проходят через мембрану, в то время как другие вещества задерживаются в фильтруемом растворе. Чем более чистую жидкость необходимо получить, тем меньше должны быть микропоры в мембране и, соответственно, выше наружное давление.

В зависимости от размеров пор мембраны выделяют следующие виды фильтрации:

- микрофильтрацию;
- ультрафильтрацию;
- нанофильтрацию;
- обратный осмос (рис. 2).

Мембраны, комплектуемые в установке для очистки воды, имеют высокую производительность, компактны, легко сочетаются с другими технологическими процессами, могут работать непрерывно, автоматически управляемы, позволяют очистить сточные воды различного состава и дисперсности, а также скорректировать физико-химические свойства очищенной воды и извлечь из нее ценные химические вещества.

Мембранная обработка воды является процессом, способным удалять бесполезные компоненты из воды. Мембраны — это физический барьер, который в зависимости от размера молекулы и

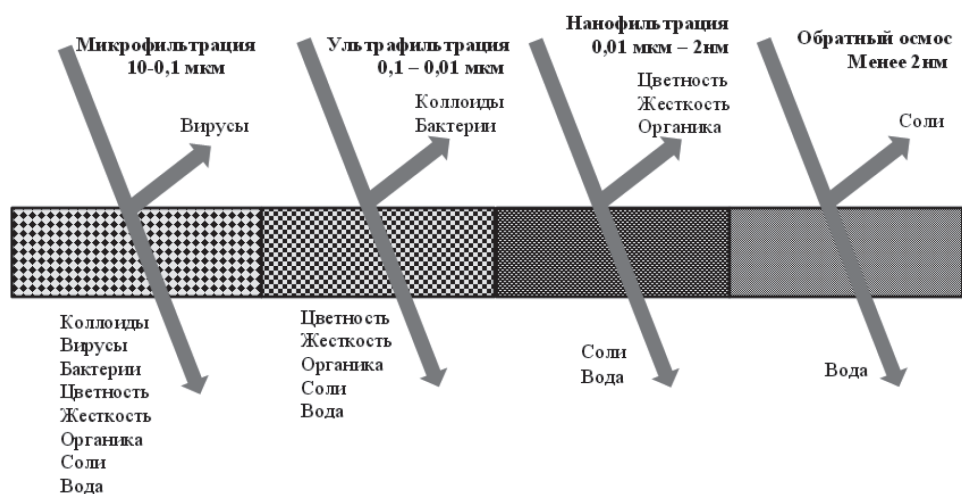


Рис. 2. Тонкость фильтрации различных мембранных технологий  
 Fig. 2. Filtration fineness of various membrane technologies

пор позволяет некоторым веществам проходить через них и блокировать другие. В мембранной технологии используют различные типы мембран и процессов для очистки поверхностных, подземных и сточных вод. Интерес к этим методам растет в результате растущей озабоченности по поводу загрязнителей воды, и в связи с тем, что они исключают использование реагентов, являясь более экологичными. В мембранных технологиях используются в основном полимерные мембраны, но одним из недостатков является низкое сопротивление температурным, химическим и бактериальным воздействиям водной среды. Несмотря на это, они хорошо зарекомендовали себя в водоподготовке и водоочистке [14, 15].

Химический состав шахтных и подземных вод интенсивно изменяется при разработке рудных и угольных месторождений. Ведение горных работ, а особенно без закладки выработанного пространства с формированием обширных воронок обрушения, приводит к возрастанию минерализации вод и концентрации сульфат-ионов, понижается значение pH среды. Все это способствует

образованию агрессивных кислых шахтных вод сульфатного состава, в которых содержание железа, меди, алюминия, марганца и других металлов возрастает до нескольких тысяч мг/л. Такие агрессивные шахтные воды способны разрушать не только шахтное оборудование и конструкции, но и будут губительно влиять на полимерные мембраны. Поэтому для очистки шахтных вод целесообразно использовать мембраны, которые будут изготовлены из материала, устойчивого к агрессивным средам, например, на основе углерода и керамики. Они не только высокопроизводительны и селективны по выделяемому компоненту, но обладают химической стабильностью, имеют биологическую и тепловую стойкость, а также имеют возможность утилизации как твердых отходов, которые сжигаются, или способны микробно разлагаться [16, 17].

### Возможности применения мембранных технологий в горном деле

Если вода горнодобывающих предприятий, содержит угольную и рудничную пыль, ржавчину, бактерии, а также

минеральные соли до 1 г/л, то можно рекомендовать использовать микрофильтрацию. Микрофильтрация используется для очистки воды от взвешенных частиц размером до 0,1 мкм, для этого применяют мембраны с размером ячеек до 1 мкм. Микрофильтрация эффективна как финишная стадия очистки перед сбросом и перед опреснением в системах оборотного водоснабжения предприятия.

При этом осуществляется глубокая очистка сточных вод от тяжелых металлов до 0,005 мг/л, взвешенных веществ и нефтепродуктов — до 0,01 — 0,05 мг/л. Действие метода микрофильтрации основано на низконапорной (до 2 — 3 бар) фильтрации исходного стока через полуволоконные мембранные модули, имеющие размер пор, равный 0,1 мкм. Микрофильтрационные мембраны применяют при отделении твердых микрочастиц, коллоидов и микроорганизмов в водной среде. Часто процессы микрофильтрации относят к стадии механической очистки воды [18, 19].

Рассматривая возможности использования мембранных технологий, делаем вывод о том, что ее можно применять для очистки шахтных вод на горнодобывающих предприятиях. Например, при истощении подземных вод применяют искусственное пополнение их запасов путем инфильтрации воды из поверхностных источников в водоносные пласты. Но химический состав поверхностных вод может отличаться от химического состава подземных. В таких случаях можно использовать ультрафильтрацию с процессом коагуляции. Ультрафильтрационные мембраны применяются для задержки примеси размером более 10 — 100 нм, что позволяет полностью избавиться от коллоидных и взвешенных веществ, от содержащихся в воде бактерий и удалить вирусы, а также снизить содержание органиче-

ских примесей на 70 — 80%. Благодаря ультрафильтрационной мембране солевой состав обрабатываемой воды не меняется, поэтому способ подойдет не только для очистки вод поверхностных источников, но шахтных вод с небольшой минерализацией.

Еще на горнодобывающих предприятиях остро встает вопрос дефицита ресурсов пресной воды и постоянного роста ее стоимости, а также ужесточения законодательных норм в области охраны водных ресурсов. Поэтому перед горнопромышленными предприятиями ставятся задачи использовать воду повторно в промышленной и хозяйственной деятельности и эффективно очищать их при сбросе в поверхностные источники. Причем использовать очищенные шахтных воды экономичнее, чем сбрасывать в водоем. Применение мембранных технологий представляется весьма привлекательным, так как комбинирование и легкость внедрения их в технологические схемы позволит не только эффективнее очищать шахтные воды, но и регулировать их химический состав. На рис. 3 показана эффективность мембранных методов при улавливании одновалентных и двухвалентных ионов минеральных солей.

Если шахтные воды содержат тяжелые металлы и органические примеси, а также одновалентные и двухвалентные ионы минеральных солей, то для их очистки целесообразно использовать нанофильтрацию и обратный осмос. Сравнение эффективности мембран нанофильтрации и обратного осмоса приведено в таблице.

Нанофильтрационные мембраны имеют размер пор в пределах 10 — 70 Å. Это особый процесс фильтрации, занимающий промежуточное положение между обратным осмосом и ультрафильтрацией. Разделение достигается за счет создания постоянного электрического



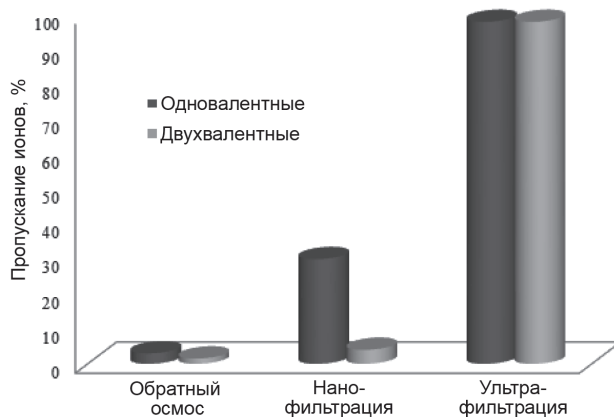


Рис. 3. Эффективность мембранных методов при улавливании одновалентных и двухвалентных ионов  
 Fig. 3. Efficiency of membrane methods for capturing monovalent and divalent ions

заряда на мембране, отталкивающего от поверхности частицы и ионы, несущие заряд того же знака. И чем больше величина заряда у частицы, тем с большей силой она отталкивается мембраной. Нанофильтрационные мембраны используют для удаления органики с одновременной коррекцией солевого состава воды, для извлечения поливалентных ионов. Эффективность при очистке воды от тяжелых металлов и солей жесткости составляет 98–99%. Целесообразно использовать нанофильтрующие мембраны для шахтных вод, откаченных из водоносных горизонтов с зонами затрудненного и интенсивного водообмена с преобладанием сульфатных

вод. Использование нанофильтрующих мембран в составе с другими методами очистки позволит очистить и подготовить шахтные воды необходимого химического состава [20].

Обратноосмотические мембраны имеют поры в пределах 1–15 Å. Суть обратного осмоса заключается в фильтровании растворов под давлением, превышающем осмотическое, через полупроницаемые мембраны, пропускающие молекулы воды, но задерживающие молекулы или ионы растворенных низкомолекулярных веществ. При помощи установок обратного осмоса обеспечивается возможность очистки воды одновременно от растворимых неорганиче-

### Эффективность мембран нанофильтрации и обратного осмоса Efficiency of nanofiltration and reverse osmosis membranes

Показатель	Эффективность мембраны нанофильтрации, %	Эффективность мембраны обратного осмоса, %
Кальций ( $\text{Ca}^{2+}$ )	88	98,7
Магний ( $\text{Mg}^{2+}$ )	91	98,4
Натрий ( $\text{Na}^+$ )	55	95,1
Гидрокарбонаты ( $\text{HCO}_3^-$ )	86	94,1
Сульфаты ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	70	96,7
Хлориды ( $\text{Cl}^-$ )	57	95,1
Снижение общего солесодержания	66	95,4

ских (ионных) и органических примесей, высокомолекулярных соединений, взвешенных веществ, вирусов, бактерий и других загрязнений [21 – 23].

Благодаря способности обратноосмотической мембраны удалять из воды одновалентные и двухвалентные ионы минеральных солей, такие мембраны могут найти применение в очистке шахтных вод, откаченных с водоносных горизонтов с зоной весьма затрудненного водообмена с преобладанием хлоридных вод, имеющих высокую минерализацию.

Если учитывать, что поток фильтраата прямо пропорционален площади поверхности мембраны и обратно пропорционален ее толщине, то следует выбирать мембраны с максимальной возможной площадью и минимально возможной толщиной на единицу объема аппарата.

По сравнению с обычной фильтрацией, в установках мембранных технологий удаляемые примеси задерживаются не в объеме, а только на поверхности мембран, поэтому мембраны могут быстро засориться и утратить фильтрационные свойства. В связи с этим для обработки шахтных вод, которые представляют собой гетерогенную систему, содержащую различные загрязнения, необходимо перед обратноосмотической мембраной ставить ультрафильтрационную.

### **Заключение**

Анализ способов мембранной технологии показал, что данные технологии можно применять для очистки шахтных вод. Причем они имеют хорошую тен-

денцию к развитию и внедрению в процессы водоочистки при разработке рудных и угольных месторождений, в результате деятельности которых образуется большое количество шахтных вод с различным химическим составом.

Мембранные технологии отличаются малыми габаритами, простотой монтажа, отсутствием реагентов, легкостью управления и эксплуатации, они могут автоматизироваться и сочетаться с другими технологическими процессами очистки. Но не это делает их привлекательными для использования в горном деле.

Используя мембранные технологии для очистки шахтных вод, можно корректировать их состав и на выходе получать воды с заданными параметрами. Благодаря этому шахтные воды можно будет использовать в полной мере для промышленных и хозяйственных нужд горнопромышленного предприятия, извлекать ценные компоненты, а также получать воды с таким химическим составом, который идентичен составу подземных вод разрабатываемого месторождения, и закачивать обратно в водные горизонты для борьбы с истощением. Но для того, чтобы использовать мембранные способы при разработке месторождений, необходимо проводить изучение химического состава подземных и шахтных вод конкретного месторождения, знать необходимые параметры очистки вод, уяснить, для каких целей они будут использованы, при этом возможно формирование других параметров шахтных вод. Для этого можно будет применять разные способы мембранных технологий.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Гавришин А. И. Закономерности формирования химического состава шахтных вод восточного Донбасса // Доклады академии наук. — 2018. — Т. 481. — № 2. — С. 186–188.
2. Баловцев С. В., Шевчук Р. В. Геомеханический мониторинг шахтных стволов в сложных горно-геологических условиях // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2018. — № 8. — С. 77–83. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-8-0-77-83.



3. Зиновьева О. М., Колесникова Л. А., Меркулова А. М., Смирнова Н. А. Анализ экологических проблем в угледобывающих регионах // Уголь. — 2020. — № 10. — С. 62–67. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-10-62-67.

4. Kulikova E. Yu. Estimation of factors of aggressive influence and corrosion wear of underground structures // Materials Science Forum. 2018. Vol. 931. Pp. 385–390. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.931.385 Trans Tech Publications, Switzerland.

5. Kulikova E. Yu. Assessment of operating environment of concrete lining of sewage collector tunnels // IOP Conference Series. Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 687. Article 044035. DOI: 10.1088/1757-899X/687/4/044035.

6. Гавришин А. И. Шахтные воды Восточного Донбасса и их влияние на состав подземных и поверхностных вод региона // Водные ресурсы. — 2018. — Т. 45. — № 5. — С. 555–565.

7. Лебедев В. С., Скопинцева О. В. Остаточные газовые компоненты угольных пластов: состав, содержание, потенциальная опасность // Горный журнал. — 2017. — № 4. — С. 84–86. DOI: 10.17580/gzh.2017.04.17.

8. Лебедев В. С., Скопинцева О. В., Савельев Д. И. Исследование остаточной газоносности угля при тепловом воздействии // Горный журнал. — 2014. — № 5. — С. 20–22.

9. Баловцев С. В., Скопинцева О. В., Коликов К. С. Управление аэрологическими рисками при проектировании, эксплуатации, ликвидации и консервации угольных шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 6. — С. 85–94. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-6-0-85-94.

10. Batugin A., Kolikov K., Ivannikov A., Ignatov Y., Krasnoshtanov D. Transformation of the geodynamic hazard manifestation forms in mining areas / 19th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2019. Conference proceedings. 2019. Vol. 19. Issue 1.3. Pp. 717–724. DOI: 10.5593/sgem2019/1.3/S03.091.

11. Zirehpour A., Rahimpour A. Membranes for wastewater treatment: Applications / Nanostructured Polymer Membranes. 2016, pp. 159–207.

12. Elam J. W. Membrane materials for water purification: design, development, and application // Environmental Science: Water Research and Technology. 2016. Vol. 2. No 1. Pp. 17–42.

13. Куликова Е. Ю. Оценка экологичности полимерных материалов в подземном строительстве // Экология и промышленность России. — 2016. — Т. 20. — № 3. — С. 28–31.

14. Бойко Н. И., Одарюк В. А., Сафонов А. В. Применение мембранных технологий в очистке воды // Технологии гражданской безопасности. — 2014. — Т. 11. — № 2(40). — С. 64–69.

15. Левин А. А., Абоносимов О. А., Лазарев С. И., Холодилин В. Н., Лазарев Д. С., Горелова Е. И. Мембранная очистка технологических растворов от ионов железа и марганца // Вестник Технологического университета. — 2019. — Т. 22. — № 11. — С. 70–73.

16. Пелипенко М. В., Баловцев С. В., Айнбиндер И. И. К вопросу комплексной оценки рисков аварий на рудниках // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 11. — С. 180–192. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-0-180-192.

17. Гавришин А. И. Закономерности формирования химического состава шахтных вод и их влияние на геоэкологическую ситуацию (ш. Комиссаровская, Восточный Донбасс) // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. — 2015. — № 6. — С. 505–513.


18. Парамонова С. В., Федоров Г. Ю. Очистка сточных вод методом микрофльтрации // Вестник магистратуры. — 2016. — № 1-1. — С. 55–56.

19. Sutrisna P. D., Candrawan J., Tangguh W. W. Microfiltration of oily waste water: a study of flux decline and feed type // IOP Conference Series. Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 543. Article 012079. DOI: 10.1088/1757-899X/543/1/012079.

20. Гришина Е. С., Крупнов Е. И., Тимошин Л. И. Мембранные технологии на основе нанофльтрации // Информационная среда вуза. — 2016. — № 1 (23). — С. 426–429.

21. Babicheva R. I., Dmitriev S. V., Kistanov A. A., Dahanayaka M., Law Aw. K., Zhou K. New carbon membrane for water desalination via reverse osmosis // IOP Conference Series. Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 447(1). Article 12053. DOI: 10.1088/1757-899X/447/1/012053.

22. Landry M. J. The coset construction for non-equilibrium systems. DOI: 10.1007 / JHEP07(2020)200. [arXiv:1912.12301[hep-th]].

23. Landry M. J. Dynamical chemistry: non-equilibrium effective actions for reactive fluids. [arXiv:2006.13220[hep-th]]. 

## REFERENCES

1. Gavrishin A. I. Regularities of the formation of the chemical composition of mine waters in the eastern Donbass. *Doklady Akademii nauk*. 2018, vol. 481, no 2, pp. 186–188. [In Russ].

2. Balovtsev S. V., Shevchuk R. V. Geomechanical monitoring of mine shafts in difficult ground conditions. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no 8, pp. 77–83. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-8-0-77-83.

3. Zinovieva O. M., Kolesnikova L. A., Merkulova A. M. & Smirnova N. A. Environmental analysis in coal mining regions. *Ugol'*. 2020, no 10, pp. 62–67. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-10-62-67.

4. Kulikova E. Yu. Estimation of factors of aggressive influence and corrosion wear of underground structures. *Materials Science Forum*. 2018. Vol. 931. Pp. 385–390. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.931.385 Trans Tech Publications, Switzerland.

5. Kulikova E. Yu. Assessment of operating environment of concrete lining of sewage collector tunnels. *IOP Conference Series. Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 687. Article 044035. DOI: 10.1088/1757-899X/687/4/044035.

6. Gavrishin A. I. Mine waters of the Eastern Donbass and their impact on the composition of ground and surface waters in the region. *Water resources*. 2018, vol. 45, no 5, pp. 555–565. [In Russ].

7. Lebedev V. S., Skopintseva O. V. Residual coalbed gas components: Composition, content, hazard. *Gornyi Zhurnal*. 2017, no 4, pp. 84–86. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2017.04.17.

8. Lebedev V. S., Skopintseva O. V., Savelev D. I. Research of residual gas-bearing capacity of coal with thermal influence. *Gornyi Zhurnal*. 2014, no 5, pp. 20–22. [In Russ].

9. Balovtsev S. V., Skopintseva O. V., Kolikov K. S. Aerological risk management in designing, operation, closure and temporary shutdown of coal mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no 6, pp. 85–94. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-6-0-85-94.

10. Batugin A., Kolikov K., Ivannikov A., Ignatov Y., Krasnoshtanov D. Transformation of the geodynamic hazard manifestation forms in mining areas. *19th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2019. Conference proceedings*. 2019. Vol. 19. Issue 1.3. Pp. 717–724. DOI: 10.5593/sgem2019/1.3/S03.091.

11. Zirehpour A., Rahimpour A. Membranes for wastewater treatment: Applications. *Nanostructured Polymer Membranes*. 2016, pp. 159–207.

12. Elam J. W. Membrane materials for water purification: design, development, and application. *Environmental Science: Water Research and Technology*. 2016. Vol. 2. No 1. Pp. 17–42.

13. Kulikova E. Yu. Assessment of polymer materials environmental compatibility in underground development. *Ecology and Industry of Russia*. 2016, vol. 20, no 3, pp. 28–31. [In Russ].

14. Boyko N. I., Odaryuk V. A., Safonov A. V. Application of membrane technologies in water purification. *Tekhnologii grazhdanskoj bezopasnosti*. 2014, vol. 11, no 2(40), pp. 64–69. [In Russ].

15. Levin A. A., Abonosimov O. A., Lazarev S. I., Kholodilin V. N., Lazarev D. S., Gorelova E. I. Membrane purification of technological solutions from iron and manganese ions. *Bulletin of the Technological University*. 2019, vol. 22, no 11, pp. 70–73. [In Russ].

16. Pelipenko M.V., Balovtsev S.V., Aynbinder I.I. Integrated accident risk assessment in mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no 11, pp. 180–192. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-0-180-192.

17. Gavrishin A. I. Regularities of the formation of the chemical composition of mine waters and their impact on the geoecological situation (Komissarovskaya mine, Eastern Donbass). *Geoecology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocryology.* 2015, no 6, pp. 505–513. [In Russ].

18. Paramonova S.V., Fedorov G.Yu. Wastewater purification by microfiltration. *Vestnik magistracy.* 2016, no 1-1, pp. 55–56. [In Russ].

19. Sutrisna P.D., Candrawan J., Tangguh W.W. Microfiltration of oily waste water: a study of flux decline and feed type. *IOP Conference Series. Materials Science and Engineering.* 2019. Vol. 543. Article 012079. DOI: 10.1088/1757-899X/543/1/012079.

20. Grishina E.S., Krupnov E.I., Timoshin L.I. Membrane technology based on nanofiltration. *Information environment of the university.* 2016, no 1 (23), pp. 426–429. [In Russ].

21. Babicheva R.I., Dmitriev S.V., Kistanov A.A., Dahanayaka M., Law Aw.K., Zhou K. New carbon membrane for water desalination via reverse osmosis. *IOP Conference Series. Materials Science and Engineering.* 2018. Vol. 447(1). Article 12053. DOI: 10.1088/1757-899X/447/1/012053.

22. Landry M.J. *The coset construction for non-equilibrium systems.* DOI: 10.1007 / JHEP07(2020)200. [arXiv:1912.12301[hep-th]].

23. Landry M.J. *Dynamical chemistry: non-equilibrium effective actions for reactive fluids.* [arXiv:2006.13220[hep-th]].

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Куликова Александра Анатольевна – старший преподаватель,  
ГИ НИТУ «МИСиС», e-mail: alexaza\_@mail.ru,

Хабарова Елена Ивановна – кандидат химических наук, доцент,  
ИТХТ имени М.В. Ломоносова, МИРЭА –  
Российский технологический университет,  
e-mail: khabarova@mitht.ru,

Сергеева Юлия Александровна – заместитель начальника  
Управления ПК, ПБ, ОТ и ООС, начальник отдела  
охраны окружающей среды, АО «СУЭК», e-mail: sergeevaya@suek.ru.

**Для контактов:** Куликова А.А., e-mail: alexaza\_@mail.ru.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

A.A. Kulikova, Senior Lecturer, e-mail: alexaza\_@mail.ru,  
Mining Institute, National University of Science  
and Technology «MISIS», 119049, Moscow, Russia,

E.I. Khabarova, Cand. Sci. (Chem.), Assistant Professor,  
Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies,  
MIREA – Russian Technological University, Moscow, Russia,  
e-mail: khabarova@mitht.ru, Russia,

Yu.A. Sergeeva, Deputy Head of Department of Industrial Control,  
Industrial Safety, Labor Protection and Environmental Protection;  
Head of Department of Environmental Protection, JSC «SUEK»,  
Moscow, Russia, e-mail: sergeevaya@suek.ru.

**Corresponding author:** A.A. Kulikova, e-mail: alexaza\_@mail.ru.

Получена редакцией 13.08.2020; получена после рецензии 21.10.2020; принята к печати 10.01.2021.

Received by the editors 13.08.2020; received after the review 21.10.2020; accepted for printing 10.01.2021.