

24 декабря 2025 года

Тема «*Перспективы развития технологий очистки и оборотного использования шахтных вод*»

# Альтернативные методы очистки карьерных и шахтных вод

Баландина Юлия Викторовна

Главный технолог по водоподготовке и очистке сточных вод

ООО «Кайрос Инжиниринг», г. Пермь

Телефон: +7(922) 342 23 21

E-mail: [balandina@kairoseng.ru](mailto:balandina@kairoseng.ru)

Промышленные предприятия оказывают негативное влияние на окружающую среду за счет сброса шахтных и карьерных сточных вод в водные объекты без очистки.



Требуется очистка шахтных и карьерных сточных вод



Шахтные и карьерные сточные воды предприятий, применяющих взрывные работы при добыче полезных ископаемых, характеризуются **повышенным содержанием компонентов азотной группы**.



Обильное содержание **сульфатов в шахтных и карьерных сточных водах** наблюдается в случае добычи полезных ископаемых с глубоких водоносных горизонтов.

Наиболее эффективные методы удаления NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> и SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> из шахтных и карьерных сточных вод

- Ионообменная технология
- Технология обратного осмоса



Данные методы имеют существенные недостатки:

- высокие капитальные затраты;
- высокие эксплуатационные затраты;
- большой объем засоленных сточных вод.

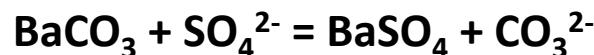
# Разработанный способ очистки карьерных и шахтных сточных вод от компонентов азотной группы, сульфатов и ионов тяжелых металлов



**1. Гидроизолированный буферный водоем** предназначен для накопления карьерных сточных вод перед их подачей на очистку.

## 2. Проницаемый реактивный барьер.

В качестве резервуаров применяются еврокубы, заполненные загрузкой из отсева активного угля (БАУ), песка и  $\text{BaCO}_3$  в соотношении 0,5:2:1.

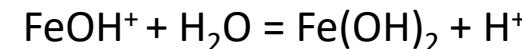
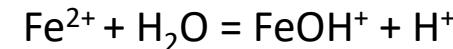


## 3. Редокс-геохимический барьер.

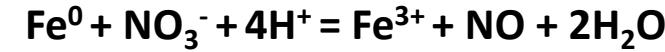
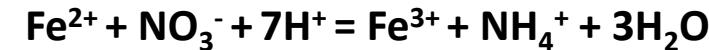
В качестве резервуаров применяются еврокубы, заполненные металлическим скрапом, отсевом угля и песком.

За счет разности электрохимических потенциалов токопроводящих элементов на контакте «железная стружка **Fe<sup>0</sup> – углеродсодержащий материал**» возникает множество гальванопар (ферромагнитные соединения железа), способные сорбировать ионы тяжелых металлов, окислять нитрат-ионы до нитрит-ионов, восстанавливать до аммонийного азота, который в щелочной среде частично удаляется в воздух в виде аммиака.

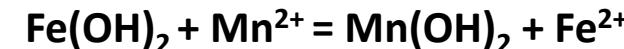
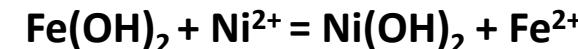
**Образующиеся ионы подвергаются гидролизу:**



**Fe, образующиеся ионы  $\text{Fe}^{2+}$ , гидроксид железа (II) способны восстанавливать нитрат-ионы:**

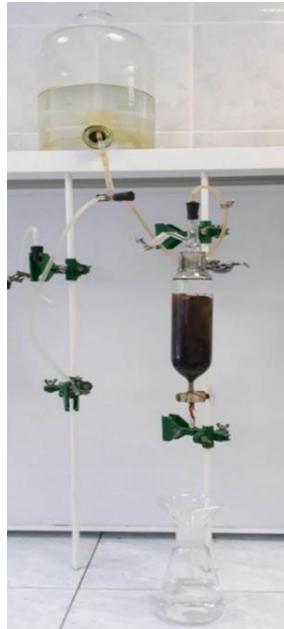


**На свежеобразующемся осадке гидроксидов железа (II, III) также протекают процессы ионного обмена, например:**



**4. Существующее торфяное плато для фильтрации очищенных сточных вод от образующихся вторичных продуктов:** ионов аммония, нитрит-ионов, растворенного железа.

# Основные результаты испытаний



| Вещество/<br>показатель | Среднее значение концентрации за<br>период ОПИ (05.2023-09.2024), мг/дм <sup>3</sup> |           |                               | ПДК для<br>НДС, мг/дм <sup>3</sup> |
|-------------------------|--|-----------|-------------------------------|------------------------------------|
|                         | До очистки   | После ПРБ | После<br>торфяной<br>площадки |                                    |
| Нитрат-ионы             | 98,35  | 37,17     | 9,66                          | 40,00                              |
| Ионы марганца           | 0,390  | 0,182     | 0,107                         | 0,010                              |
| Ионы никеля             | 0,221  | 0,023     | 0,026                         | 0,100                              |
| Нитрит-ионы             | 0,667  | 14,364    | 0,800                         | 0,800                              |
| Ионы аммония            | 5,43   | 7,73      | 1,30                          | 0,50                               |
| Железо общ.             | 0,362  | 0,624     | 0,623                         | 0,100                              |
| Сульфаты                | 612  | 250       | 243                           | 390                                |



## Выявленные недостатки:

### При фильтрации сточных вод через модуль очистки от сульфат-ионов :

- быстрое срабатывание  $\text{BaCO}_3$  в фильтрующей загрузке;
- требуется одновременная замена фильтрующей загрузки, включая инертные материалы раньше окончания их эксплуатационного срока;
- большое количество образующихся отходов.

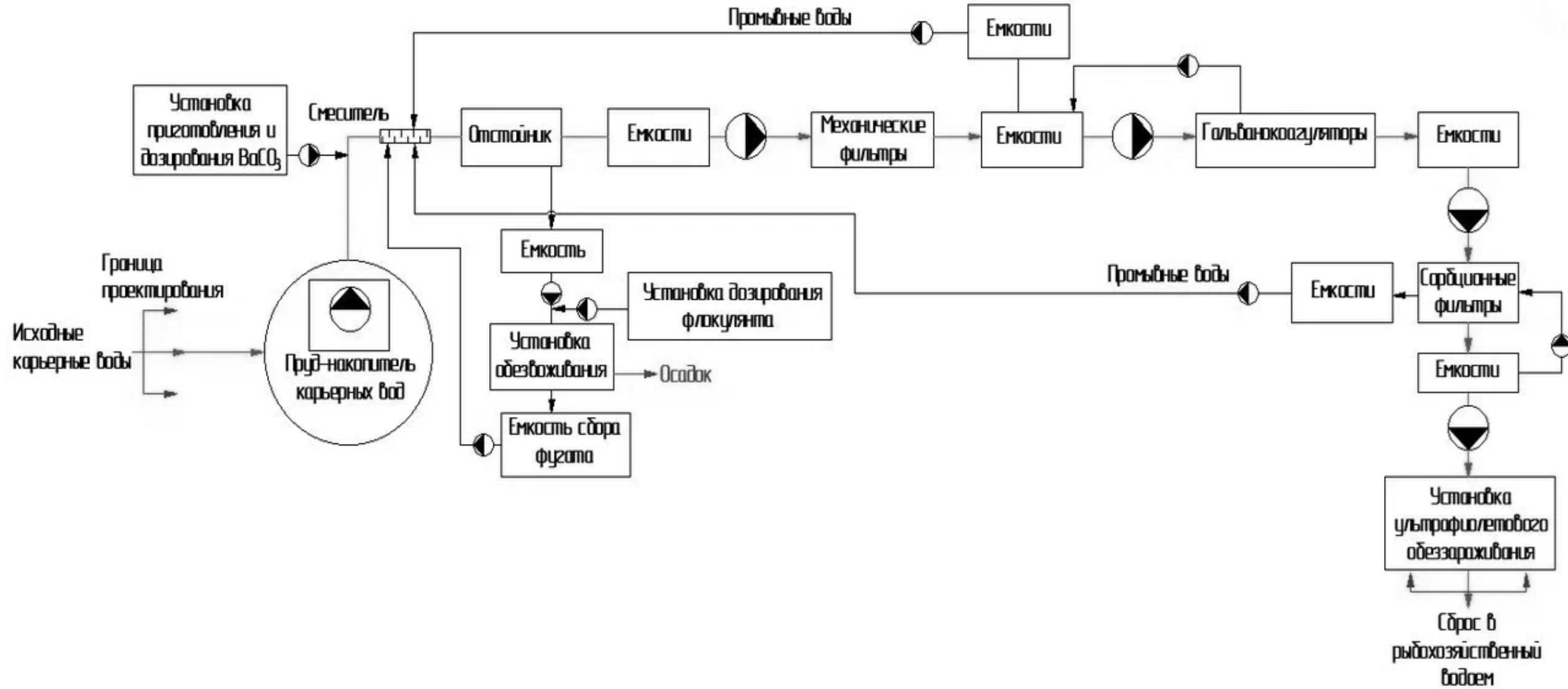
### При фильтрации через модуль очистки от нитрат-ионов :

- без перемешивания загрузки с очищаемыми сточными водами реакции восстановления протекают не в полном объеме;
- высокое содержание невосстановленных нитритов.

### При фильтрации через торфяное плато:

- низкая степень очистки;
- отсутствие гидроизоляции противоречит экологическим нормам применения;
- ограниченное применение при низких температурах в течение года.

# Принципиальная блок-схема технологии очистки

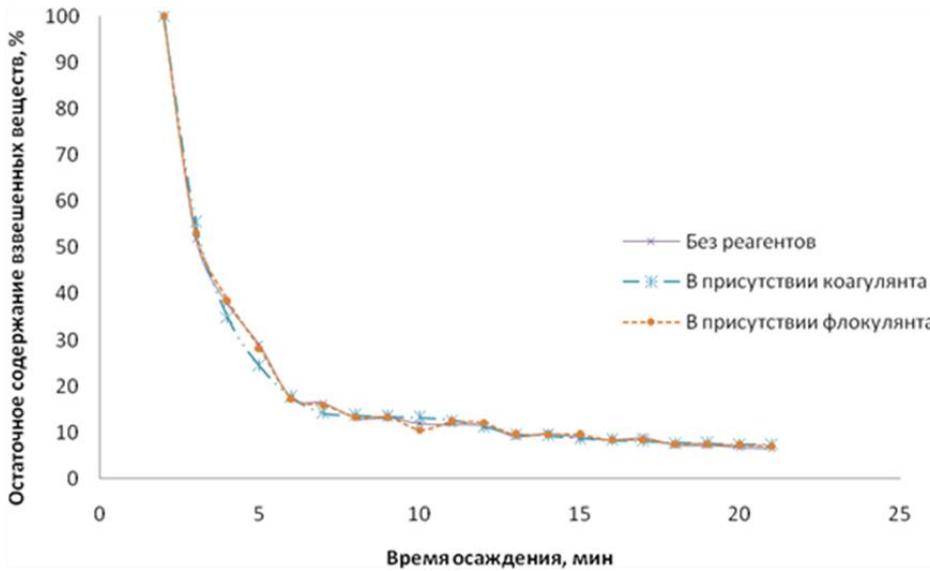


# Качество карьерных сточных вод после каждой стадии очистки

| Показатель                | Качественный состав карьерных сточных вод |                |                                  |                   |                |                             |                              |
|---------------------------|---|----------------|----------------------------------|-------------------|----------------|-----------------------------|------------------------------|
|                           | До очистки                                | Норматив (НДС) | После обработки карбонатом бария | После отстойников | После фильтров | После гальвано-коагуляторов | После доочистки на сорбентах |
| pH                        | 7,7                                       | 6-9            | 9,0                              | 9,0               | 9,0            | 9,0                         | 8,7                          |
| Кальций, мг/л             | 160,9                                     | 180            | 160,9                            | 160,9             | 35,8           | 44,8                        | 44,8                         |
| Магний, мг/л              | 42,8                                      | 40             | 42,8                             | 42,8              | 39,3           | 37,2                        | 37,2                         |
| Марганец, мг/л            | 1,0                                       | 0,4            | 1,0                              | 1,0               | 0,1            | 0,2                         | 0,2                          |
| Железо общее, мг/л        | 0,3                                       | 0,5            | 0,3                              | 0,3               | 0,8            | 0,3                         | 0,3                          |
| Взвешенные вещества, мг/л | 7,4                                       | 26             | 835,7                            | 83,6              | 6,7            | 1,7                         | 1,7                          |
| Сульфат-ион, мг/л         | 643,9                                     | 390            | 643,9                            | 450,7             | 300,0          | 318,9                       | 318,9                        |
| Аммоний-ион, мг/л         | 10,6                                      | 0,5            | 10,6                             | 10,6              | 8,4            | 7,7                         | 0,5                          |
| Нитрит-ион, мг/л          | 1,4                                       | 0,08           | 1,4                              | 1,4               | 1,4            | 0,03                        | 0,02                         |
| Нитрат-ион, мг/л          | 221,3                                     | 85             | 221,3                            | 221,3             | 221,3          | 27,8                        | 21,5                         |
| Сухой остаток, мг/л       | 1419,7                                    | 1000           | 1419,7                           | 1419,7            | 857,5          | 556,5                       | 556,5                        |
| Никель, мг/л              | 0,34                                      | 0,01           | 0,3                              | 0,3               | 0,03           | 0,01                        | 0,01                         |

# Очистка карьерных сточных вод от сульфат-ионов

Дозирование суспензии карбоната бария в смеситель с последующим осаждением сульфата бария в отстойниках тонкослойного типа и на загрузке механических фильтров без применения коагулянтов и флокулянтов.



## Преимущества:

- ✓ Непрерывный процесс осаждения сульфат-ионов;
- ✓ Эффективный процесс очистки при низких температурах и без применения коагулянтов и флокулянтов (подтверждено лабораторными испытаниями);
- ✓ Равномерное удаление обезвоженного осадка;
- ✓ Сокращение количества образующихся отходов;
- ✓ Невысокая трудоемкость, простота в обслуживании.



# Очистка карьерных сточных вод от азотной группы, никеля, марганца

1. Карьерные сточные воды после реагентной обработки, отстаивания и фильтрации непрерывно подаются во вращающийся гальванокоагулятор, заполненный железным скрапом (например, стружкой) с отсевом производства АУ и БАУ (размер зерен 2-5 мм) в весовом соотношении 4:1.
2. Вращение корпуса коагулятора с определенной скоростью обеспечивает перемешивание скрапа и переменный контакт его с очищаемыми сточными водами и кислородом воздуха.
3. Скрап поднимается полками (ворошителями) над поверхностью очищаемых сточных вод, что создает условия для контакта жидкой, твердой и газообразной фаз в пленочном слое жидкости, удерживаемом скрапом.
4. При свободном падении железного скрапа, контакт гальванической пары «кокс – железо» изменяется.
5. Создаются условия для быстрого окисления железа и его взаимодействия с нитрат-ионами.
6. Дозагрузка новых порций скрапа по мере его расхода производится с остановкой гальванокоагулятора не реже одного раза в месяц.

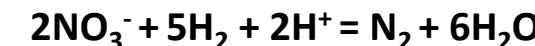
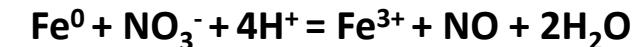
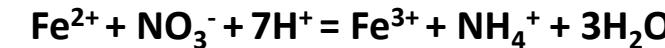
## Преимущества:

- ✓ Эффективный процесс восстановления нитратов до аммоний-ионов, в условиях постоянного перемешивания;
- ✓ Равномерная дозагрузка фильтрующего материала;
- ✓ Периодическое образование отходов в небольших количествах;
- ✓ Невысокая трудоемкость, простота в обслуживании.

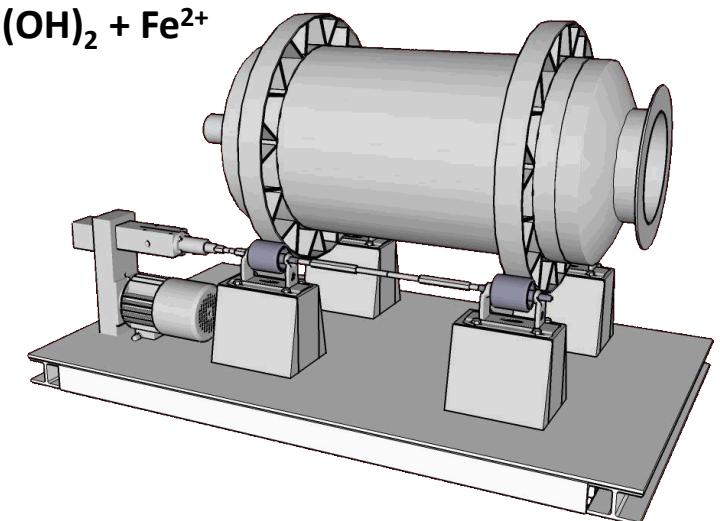
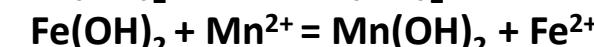
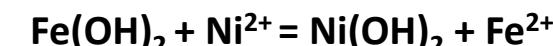
Образующиеся ионы подвергаются гидролизу:



Fe, образующиеся ионы  $\text{Fe}^{2+}$ , гидроксид железа (II) способны восстанавливать нитрат-ионы:



На свежеобразующемся осадке гидроксидов железа (II, III) также протекают процессы ионного обмена, например:



# Сравнительная характеристика методов и основные выводы

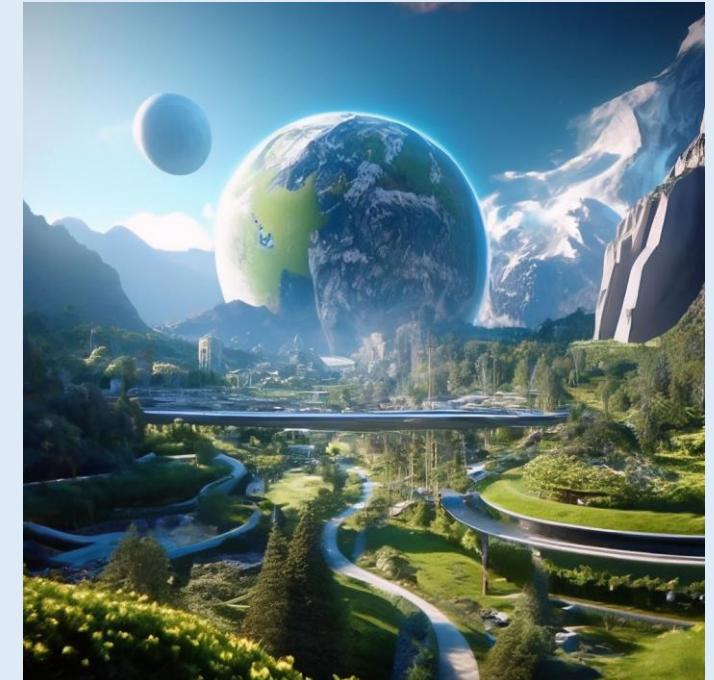
| № | Критерии сравнения   | Альтернативная схема очистки<br>(BaCO <sub>3</sub> , загрузка из железного скрата и отсева активного угля, клиноптиолит, обезвоживание осадка)   | Стандартная схема очистки<br>(предочистка, двухступенчатый обратный осмос, установка выпаривания, обезвоживание осадка)                            |
|---|--|--|--|
| 1 | Эффективность очистки  | До норм НДС  |  |
| 2 | Количество и качество образующихся сточных вод                 | 10%<br>Промывные сточные воды, повторное использование   | 40%<br>Засоленные сточные воды, дорогостоящая утилизация   |
| 3 | Количество отходов, т/год                                      | 6 280  | 6 450  |
| 4 | Энергопотребление, кВт*ч                                       | 1882   | 5588   |
| 5 | Эксплуатационные затраты, тыс. руб. без НДС в год              | 603 600,8  | 798 740,0  |
| 6 | Капитальные затраты, тыс. руб. без НДС                         | 3 090 087,5  | 4 400 000,0  |
| 7 | Стоимость 1 м <sup>3</sup> очищенных сточных вод, руб. без НДС | 289,5  | 383,1  |
| 8 | Преимущества   | 1. Эффективный процесс физико-химической очистки сточных вод при низких температурах и без применения коагулянтов и флокулянтов.<br>2. Невысокое энергопотребление.<br>3. Меньшее количество образования отходов.<br>4. Невысокая трудоемкость, простота в обслуживании. | 1. Высокая эффективность очистки.<br>2. Высокая автоматизация процесса.<br>3. Метод присутствует в справочниках наилучших доступных технологий.    |
| 9 | Недостатки   | 1. Метод отсутствует в справочниках наилучших доступных технологий.<br>2. Требуется проведение пилотных испытаний перед началом строительства.   | 1. Высокие капитальные и эксплуатационные затраты.<br>2. Высокое энергопотребление.<br>3. Требуется высокая квалификация обслуживающего персонала. |

# Заключение

На данный момент разработанный метод отсутствует в справочниках наилучших доступных технологий.

При определении технологического метода в качестве наилучшей доступной технологии требуется рассмотрение его на соответствие следующим критериям:

- ✓ Наименьший уровень негативного воздействия на окружающую среду;
- ✓ Экономическая эффективность внедрения и эксплуатации;
- ✓ Применение ресурсо- и энергосберегающих методов;
- ✓ Период внедрения;
- ✓ Промышленное внедрение технологического метода на 2-х и более объектах в Российской Федерации, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду.



Опробование и внедрение технологии на промышленных предприятиях позволит сохранить будущее нашей планеты

# Разработчики



permский  
политех

Кайрос  
инжиниринг

## Пермский государственный национальный исследовательский университет (ПГНИУ):

1. Блинов Сергей Михайлович – руководитель работ, зав. лабораторией инженерно-экологических исследований ПГНИУ, канд. геол.- мин. наук;
2. Белкин Павел Андреевич – науч. сотр. лаборатории инженерно-экологических исследований ПГНИУ, канд. геол.- мин. наук.

## Пермский национальный исследовательский политехнический университет (ПНИПУ):

1. Глушанкова Ирина Самуиловна – профессор кафедры охраны окружающей среды ПНИПУ, доктор техн. наук;
2. Рудакова Лариса Васильевна – зав. кафедрой охраны окружающей среды ПНИПУ, доктор техн. наук;
3. Бессонова Елена Николаевна – инженер кафедры охраны окружающей среды ПНИПУ.

## ООО «Кайрос Инжиниринг»:

1. Готфрид Александр Владимирович – генеральный директор ООО «Кайрос Инжиниринг»;
2. Баландина Юлия Викторовна – главный технолог ООО «Кайрос Инжиниринг»;
3. Петухова Евгения Олеговна – ведущий технолог ООО «Кайрос Инжиниринг»;
4. Беляева Анастасия Владимировна – инженер 2-й категории ООО «Кайрос Инжиниринг»;
5. Шардина Екатерина Александровна – главный специалист ООО «Кайрос Инжиниринг».