

# ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ КАРЬЕРНЫХ, ШАХТНЫХ И ПОДОТВАЛЬНЫХ ВОД



**Д. Г. Господинов,**  
генеральный директор,  
канд. геол.-минерал. наук  
ЗАО «ПО Геоэкология плюс»



**С. Ш. Курбангалеев,**  
главный эколог – начальник  
отдела охраны окружающей  
среды и технологических  
гидротехнических сооружений  
ОАО «Учалинский ГОК»



**А. В. Шкарин,**  
главный технолог,  
канд. хим. наук  
ЗАО «ПО Геоэкология плюс»

Одним из перспективных методов очистки промышленных сточных вод от растворенных веществ и коллоидно-дисперсных частиц является метод их электрохимической обработки с использованием растворимых и нерастворимых электродов [1–4]. Наиболее глубокой очистки промышленных сточных вод можно добиться, комбинируя различные методы, в частности, электрохимическую обработку с последующей доочисткой на сорбционных [5–7] или ионитовых фильтрах [8]. Именно такую комбинацию методов использует ЗАО «ПО Геоэкология плюс» при очистке карьерных, шахтных и подотвальных сточных вод от органических и неорганических загрязнителей, обеспечивая очистку до уровня ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения. Предлагаемая ЗАО «ПО Геоэкология плюс»

технология успешно прошла опытно-производственные испытания на различных предприятиях, а с учетом их результатов спроектированы и построены очистные сооружения.

**Технология очистки производственных сточных вод.** Технология глубокой очистки подземных, поверхностных и производственных сточных вод включает электрохимическую обработку воды в электрофлоккоагуляторе (ЭФК) с последующей доочисткой на сорбционных или ионитовых фильтрах. На рис. 1 показана блок-схема комбинированной очистки подземных, поверхностных и производственных сточных вод. Предложенная технологическая схема очистки может использоваться в нескольких вариантах, основными из которых являются:

- ♦ *вариант I*, включающий предварительную очистку, электрохимическую обработку (озонирование), осветление в отстойнике, доочистку в сорбционных фильтрах;
- ♦ *вариант II*, включающий предварительную очистку, электрохимическую обработку, осветление в отстойнике, доочистку в ионитовых фильтрах.

Выбор технологии очистки зависит от вида и концентрации загрязняющих веществ, объема очищаемой воды, требуемой степени очистки и других факторов, которые определяются конкретными условиями.

**Очистка шахтных вод шахты «Разрез Ольжерасский» ОАО «Южный Кузбасс».** Характерная особенность вод, подвергающихся очистке на этом предприятии, – высокая концентрация взвешенных веществ в виде мелкодисперсных частиц угля и глинистых соединений. В водах отмечается повышенная концентрация нитритов и аммонийного азота, а концентрация железа, цинка, меди и нефтепродуктов превышает предельно допустимую. Жесткость воды и сухой осадок находятся в пределах нормы.

В июле 2006 г. на шахте «Разрез Ольжерасский» были проведены опытно-производственные испытания (ОПИ) по очистке шахтных вод. По результатам этих испытаний ЗАО «ПО Геоэкология» разработан проект, а в апреле 2008 г. построены очистные сооружения производительностью 500 м<sup>3</sup>/ч. Реализованная при строительстве технология базируется на I варианте схемы очистки, представленной на рис. 1. Исходная шахтная

вода из горизонтальных прудов-усреднителей (2 шт.) самотеком поступает на очистные сооружения (рис. 2), где сначала проходит через электрофлотокоагуляторы (10 шт.), а затем подается в реакторы-отстойники (6 шт.) для осаждения. Доочистка шахтной воды происходит в сорбционных фильтрах (7 шт.). Очищенная вода сбрасывается в р. Ольжерасс. Осадок, образующийся в реакторах-отстойниках, направляется в пруды-усреднители, где в качестве коагулянта способствует выпадению в осадок взвешенных веществ.

При пусконаладочных работах (ПНР) отработывалась технологическая схема очистки и проверялись отдельные стадии процесса. Следует отметить, что при проведении ОПИ испытывались различные сорбенты (альбитофир; активные угли АГ-3, СКД-515; каталитически активный материал МЖФ), из которых для загрузки в рабочие фильтры был рекомендован МЖФ.

При проведении ПНР в июле–сентябре 2008 г. было установлено, что оборудование работает в соответствии с техническими требованиями и очистные сооружения обеспечивают необходимую степень очистки. Результаты ОПИ и ПНР приведены в табл. 1. Анализ информации по работе очистных сооружений шахты «Разрез Ольжерасский» в период ПНР и эксплуатации показал, что очистка шахтных вод осуществляется в соответствии с проектными решениями.



Рис. 1. Блок-схема комбинированной очистки подземных, поверхностных и производственных сточных вод

**Очистка карьерных вод на месторождении Осеннее ОАО «Гайский ГОК».** Особенность очищаемых вод на месторождении Осеннее – повышенная концентрация железа, меди, цинка и марганца, а также высокое содержание взвешенных веществ. Следует отметить также повышенную жесткость воды. Поскольку очищенные воды предполагается сбрасывать в р. Кiemбай, требовалось обеспечить их очистку до уровня ПДК для рыбохозяйственных водоемов.

При создании очистных сооружений для карьерных вод производительностью 150 м<sup>3</sup>/ч в основу технологии был заложен I вариант схемы очистки, представленной на рис. 1. Карьерная вода из ранее построенного пруда насосом закачивается на очистные сооружения, где сначала

проходит через электрофлотокоагуляторы (8 шт., рис. 3), а затем поступает в реакторы-отстойники (2 шт.) для осаждения. Доочистка шахтной воды происходит в сорбционных фильтрах (5 шт.), в которые загружен МЖФ. Очищенная вода сбрасывается в р. Кiemбай. Осадок, образующийся в реакторах-отстойниках, подается в пруд-накопитель, откуда, по мере накопления, направляется на утилизацию. Результаты ОПИ и ПНР приведены в табл. 2.

Результаты ОПИ легли в основу проекта, а при проведении ПНР проверялись рабочие режимы оборудования и эффективность сорбента МЖФ, загружаемого в фильтры. При проведении ПНР было установлено, что оборудование работает в соответствии с техническими требованиями и очистные сооружения обеспечивают необходимую степень очистки.

Анализ информации, полученной в период ПНР и при эксплуатации, показал, что очистка шахтных вод осуществляется эффективно. Однако с течением времени происходит «зашламление» электродов, обуславливающее постепенное уменьшение рабочего тока и снижение эффективности очистки. Для восстановления эффективности очистки необходимо периодически очищать электроды от шлама, используя, например, специально разработанный для этой цели ЗАО «ПО Геоэкология» способ очистки поверхности электродов от накипи и шлама.



Рис. 2. Внешний вид очистных сооружений на шахте «Разрез Ольжерасский» ОАО «Южный Кузбасс»

Таблица 1. Результаты очистки шахтных вод шахты «Разрез Ольжерасский»

Ингредиенты	ПДК для рыбохозяйственных водоемов	Шахтные воды до очистки	Шахтные воды после очистки	
			ОПИ	ПНР
Сухой остаток, мг/л	1000	580	30,3	560
Взвешенные вещества, мг/л	Ф+0,75	5000	1,8	2,0
Нитраты, мг-экв/л	40,0	19,3	0,15	19
Нитриты, мг/л	0,08	1,94	0,05	0,1
Аммоний, мг/л	0,5	10,2	0,12	0,4
Сульфаты, мг/л	100	96,6	н/о	73
Железо, мг/л	0,1	49,1	0,08	0,04
Цинк, мг/л	0,01	—	—	<0,014
Медь, мг/л	0,001	0,01	0,0009	0,002
Марганец, мг/л	0,01	н/о	н/о	0,007
Нефтепродукты, мг/л	0,05	3,77	0,38	н/о

Таблица 2. Результаты очистки карьерных вод на месторождении Осеннее

Показатели	ПДК для рыбохозяйственных водоемов	Карьерные воды до очистки	Карьерные воды после очистки	
			ОПИ	ПНР
рН	6,5–8,5	7,93	8,6	8,5
Сухой остаток, мг/л	1000	720	366	512
Взвешенные вещества, мг/л	—	63,3	8,0	1,0
Жесткость, мг-экв/л	7,0	5,8	5,4	4,5
Железо, мг/л	0,05/0,1	0,64	н/о	0,04
Цинк, мг/л	0,01	0,19	0,008	0,008
Медь, мг/л	0,001	0,030	н/о	0,002
Марганец, мг/л	0,01	0,05	н/о	0,007
Нефтепродукты, мг/л	0,05	—	—	0,012

**Очистка карьерных и подотвальных вод на Узельгинском месторождении ОАО «Учалинский ГОК».** Характерная особенность очищаемых вод на этом месторождении — высокая концентрация меди, марганца, цинка, солей жесткости и сульфатов, а также высокое содержание сухого остатка. Поскольку очищенные воды предполагается, как и в предыдущем случае, сбрасывать в водоем, требовалось обеспечить их очистку до уровня ПДК для рыбохозяйственных водоемов.

Для очистки вод, загрязненных тяжелыми металлами, сульфатами и т. п., был предложен комбинированный метод, включающий электрофлотокоагуляцию и ионный обмен. Результаты очистки при проведении ОПИ приведены в табл. 3. Как следует из табл. 3, электрохимическая обработка карьерной воды приводит к заметному (на 17–94,5 %) снижению концентрации тяжелых металлов. Концентрация аммонийного азота уменьшилась на 50,5 %, а нитритов — на 55,9 %. Содержание сульфатов и величина сухого остатка практически не изменились.

Комбинированный способ очистки, т. е. электрохимическая обработка карьерных вод с последующей доочисткой на ионитовых фильтрах, позволяет получить более высокую степень очистки и достигнуть требуемых норм практически по всем анализируемым ингредиентам.

Карьерные и подотвальные сточные воды Узельгинского месторождения содержат большое количество сульфат-ионов, поэтому при регенерации анионитовых фильтров образуется раствор сульфата натрия (в качестве исходных регенерационных растворов для анионитовых фильтров используется раствор NaOH). Как правило, от-

работанные регенерационные растворы нейтрализуют и сбрасывают в канализацию. Иногда отработанные регенерационные растворы упаривают и вывозят в отвалы.

Очистные сооружения горнорудных предприятий перерабатывают сотни тысяч кубических метров сточ-



Рис. 3. Электрофлотокоагуляторы на очистных сооружениях на месторождении Осеннее ОАО «Гайский ГОК»

Таблица 3. Результаты очистки карьерных и подотвальных вод на Узельгинском месторождении

Показатели	Воды до очистки	Воды после		
		ЭФК и отстоя	ЭФК и ионитовых фильтров I ступени	ЭФК и ионитовых фильтров I и II ступеней
pH	6,5	7,4	8,0	9,7
Сухой остаток, мг/л	2601	2571	12	19
Взвешенные вещества, мг/л	44,9	25,3	0,5	0,5
Жесткость, мг-экв/л	21,6	25,8 1	0,1	0,2
Сульфаты, мг/л	1527,4	513,9	2,5	2,5
Нитриты, мг/л	1,34	0,59	0,02	0,02
Аммоний, мг/л	8,85	4,38	1,8	1,09
Железо, мг/л	6,81	0,76	0,28	0,05
Цинк, мг/л	25,1	14,7	0,13	0,008
Медь, мг/л	2,2	0,12	0,005	0,000
Марганец, мг/л	4,94	4,1	0,00	0,00
Кадмий, мг/л	0,077	0,063	0,000	0,000

ных вод в год. При этом объемы отработанных регенерационных растворов могут составить тысячи кубических метров в год, и вопрос их восстановления является весьма актуальным. Одним из возможных методов восстановления отработанных регенерационных растворов может быть электрохимический метод [9, 10]. В ЗАО «ПО Геоэкология» разработан способ электрохимического восстановления отработанных растворов после регенерации анионитовых фильтров. После соответствующей электрохимической обработки отработанный раствор может вновь использоваться для регенерации анионитовых фильтров. Для опытно-производственных испытаний использовался мембранный биполярный электролизер МБЭ-5, разработанный и изготовленный ООО «НПО Экотехнология». (Электролизер МБЭ-5 предназначен для получения дезинфицирующего агента – хлорной воды с содержанием диоксида хлора – и используется для обеззараживания природных, сточных вод и воды хозяйственно-бытового назначения.) Принципиальная схема электролизера МБЭ-5 аналогична схеме электролизе-

ра, разработанного ЗАО «ПО Геоэкология» (пат. на полезную модель № 77265 RU, МПК C02B1/40). Испытания проводили следующим образом: в анодную камеру электролизера заливали отработанный раствор после регенерации анионитового фильтра, который представляет собой раствор соли (в данном случае – раствор сульфата натрия), а в катодную камеру – чистую воду. Электролиз проводили в течение 15–30 мин. По окончании электролиза катодит из катодной камеры сливали в емкость, а затем повторно использовали для регенерации анионита.

Результаты повторного использования восстановленного регенерационного раствора для регенерации анионитового фильтра приведены в табл. 4. Для сравнения там же даны результаты регенерации анионитового фильтра раствором щелочи, т. е. классическим способом.

Исходная вода (*проба 1*) представляет собой смешанные подотвальные и рудничные воды, которые характеризуются высоким содержанием, наличием тяжелых металлов, высокой жесткостью и значительной концентрацией сульфатов. Комбиниро-

ванная очистка таких вод методом электрохимической обработки в электрофлотокоагуляторе с последующей доочисткой на ионообменных фильтрах позволяет добиться хороших результатов (*проба 2*). Однако после пропускания через ионитовые фильтры пятидесяти объемов очищаемой воды происходит насыщение фильтров и очистка прекращается. Для восстановления обменной емкости ионитов их необходимо регенерировать. Следует отметить, что регенерации подвергалась загрузка анионитового фильтра (АВ 17–8), загрузка катионитового фильтра (КУ-2–8) периодически заменялась на свежую. Результаты, представленные в табл. 4, свидетельствуют о том, что регенерация анионита 5 %-ным раствором щелочи (*проба 3*) или раствором католита (*проба 4*), т. е. восстановленным регенерационным раствором, практически одинаково восстанавливает ионообменные свойства анионита. Таким образом, восстановление отработанного раствора после регенерации анионита электрохимическим способом позволяет повторно использовать восстановленный раствор для регенерации анионита. ■

Таблица 4. Результаты регенерации анионитового фильтра раствором щелочи и восстановленным регенерационным раствором

Показатели	ПДК для рыбохозяйственных водоемов	Пробы			
		1	2	3	4
pH	6,5–8,5	5,2	7,6	11,4	4,9
Сухой остаток, мг/л	1000	3816	10	348	72
Жесткость, мг-экв/л	7,0	40,9	0,9	0,6	0,7
Сульфаты, мг/л	100	2241	10	10	10
Нитриты, мг/л	0,08	0,01	—	0,02	0,02
Аммоний, мг/л	40	1,83	—	2,77	0,61
Железо, мг/л	0,1	16,6	0,08	0,07	0,07
Цинк, мг/л	0,01	13,78	0,058	0,13	0,25
Медь, мг/л	0,001	7,90	0,046	0,092	0,14
Марганец, мг/л	0,01	5,09	0,01	0,03	0,05



## Список литературы = References

1. *Технология электрохимической очистки воды* / С. В. Яковлев [и др.]. Л., Стройиздат, 1987 = *Electrochemical water treatment technology* / S. V. Yakovlev, [et al.]. L., Stroiizdat, 1987 (in Russian).
2. *Апельцина Е. И. Электрохимические методы в технологии очистки природных и сточных вод: Обзор.* М., ЦИНИС; Госстрой СССР, 1971 = *Apeltsina E. I. Electrochemical methods and technologies for purification of natural and waste waters: Review.* М.: TsINIS, USSR Gosstroy, 1971 (in Russian).
3. *Бычин Н. А., Повх И. Л., Казимиренко Н. В. Исследование электрокоагуляционного метода очистки шахтных вод.* Пермь, 1973 = *Bychin N. A., Povkh I. L., Kazimirenko N. V. Research into electrical coagulation method of mine water treatment.* Perm. 1973 (in Russian).
4. *Колесников В. А. Электрофлотационная технология и аппараты для извлечения ионов тяжелых металлов и органических загрязнителей из жидких отходов электрохимических производств с утилизацией ценных компонентов.* Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. М., 1993 = *Kolesnikov V. A. Electrofloatation technology and equipment for the separation of heavy metal ions and organic impurities from tailings of electrochemical plants, with the subsequent utilization of useful components.* Author's abstract of doctor's thesis. М.:1993 (in Russian).
5. *Кельцев Н. В. Основы адсорбционной техники.* М., Химия, 1984 = *Keltsev N. V. Fundamentals of adsorption technique.* М.: Khimia, 1984 (in Russian).
6. *Адсорбционная технология очистки сточных вод* / А. М. Когановский [и др.]. Киев: Техника, 1981 = *Adsorption technology for waste water treatment* / А. М. Koganovsky [et al.]. Kyiv: Tekhnika Publishers, 1981 (in Russian).
7. *Смирнов А. Д. Сорбционная очистка воды.* Л.: Химия, 1982 = *Smirnov A. D. Water treatment by sorption method.* L.: Khimia, 1982 (in Russian).
8. *Гребенюк В. Д. Обессоливание воды ионитами.* М: Химия, 1980 = *Grebenuyk V. D. Demineralization of water with ion-exchange materials.* М.: Khimia, 1980 (in Russian).
9. Кольчевский А. К., Егорушкина Н. Н., Соколянский Д. А. Патент RU № 2133708, МПК С02F1/42.
10. *Господинов Д. Г., Шкарин А. Д. Электрохимический способ получения регенерационных растворов для анионитов и утилизация растворов после регенерации анионитовых фильтров: Сб. докл. V Международного конгресса по управлению отходами и природоохранным технологиям.* Москва, 29 мая, 2007 = *Gospodinov D. G., Shkarin A. D. Electrochemical method of regenerating solution recovery for anion exchangers, and utilization of solutions after regeneration of anion exchange filters: Collected Papers of the V International Congress on Waste Management and Environmental Technologies.* Moscow, 29 May, 2007 (in Russian).

**Characteristics of the technology for opencast, underground mine and tailing pond water treatment**
**D. G. Gospodinov, S. Sh. Kurbangaleev, A. V. Shkarin**

The article describes some peculiar characteristics of the technology for integrated waste water purification based on electrochemical treatment methods with the subsequent second-stage treatment on sorption and ion-exchange filters. Case studies are also given of the technology practical application for opencast, underground mine and tailing pond water treatment by OAO Yuzhny Kuzbass, Gaisky GOK and Uchalinsky GOK mining companies. Special attention is attached to the recovery of regenerating solutions.

**Key words:** *underground, opencast mine, tailing pond waters, technology of industrial waste water treatment, electrochemical treatment, sorption filters, ion-exchange filters, electrofloatation coagulating agents, regenerating solutions.*

## ЮБИЛЕИ


**Исполнилось 60 лет Андрею Георгиевичу Чернявскому,**

известному специалисту в области организации и проведения геологоразведочных работ, главному геологу ФГУ ГКЗ.

После окончания в 1971 г. Московского геологоразведочного института А. Г. Чернявский начал трудовую деятельность в Северо-Восточном ПГО в Магаданской области. Работая в полевых экспедициях, он в качестве ответственного исполнителя разрабатывал проекты геологоразведочных работ. В дальнейшем Андрей Георгиевич специализировался на геологоразведочных работах ранних этапов и геолого-экономической оценке объектов, что помогло ему при работе в аппарате Министерства геологии СССР.

В ГКЗ Андрей Георгиевич работает с начала 1992 г. Руководя отделом твердых полезных ископаемых, он организовывал и непосредственно участвовал в экспертизе ТЭО кондиций и подсчета запасов месторождений, в том числе крупных. С февраля 2007 г. А. Г. Чернявский – главный геолог ФГУ ГКЗ. В

настоящее время накопленный производственный и административный опыт он реализует, принимая активное участие в разработке стратегии целостной системы государственной геологической экспертизы месторождений твердых полезных ископаемых. Андрей Георгиевич – куратор филиалов ФГУ ГКЗ, щедро делится опытом и знаниями с молодыми геологами. Он также активно сотрудничает с редакцией журнала «Недропользование-XXI век», постоянно публикуясь на его страницах и являясь членом редакционного совета издания.

*Сердечно поздравляем Андрея Георгиевича Чернявского с юбилеем и от души желаем ему крепкого здоровья, счастья, благополучия и новых трудовых свершений.*

ФГУ «Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых»,  
НП «Национальная ассоциация по экспертизе недр»,  
Общество экспертов России по недропользованию,  
редколлегия и редакция журнала «Недропользование-XXI век»