

Применение **ТЕХНОЛОГИИ ГЛУБОКОЙ ОЧИСТКИ** производственных сточных вод на предприятиях горной промышленности



Д. Г. Господинов,
генеральный директор,
канд. геол.-минерал. наук

ЗАО «ПО Геоэкология плюс»
ressbertech@geoecology.ru



А. В. Шкарин,
главный технолог,
канд. хим. наук

ЗАО «ПО Геоэкология плюс»

Постоянно ужесточающиеся требования по охране водной среды от загрязнения образующимися производственными сточными водами (ПСВ) в конечном счете сводятся в основном лишь к тому, чтобы заставить предприятия полностью использовать их в оборотном (техническом) водоснабжении. Разрабатываемые в настоящее время Министерством природных ресурсов и экологии РФ законопроекты в экологической сфере направлены на мотивацию предприятий инвестировать в модернизацию производства, строительство современных очистных сооружений, принятие технологических стандартов ведения собственного бизнеса на уровне лучших мировых образцов. Реформирование экологического законодательства предусматривает изменение системы нормирования и ответственности предприятий. По словам Ю. Трутнева, создается «объективная система нормирования, основанная не на частных лимитах для каждого предприятия, а на уровне его воздействия на окружающую среду как по сбросам в водные источники, так и по выбросам в воздух*». Такой подход повышает ответственность предприятий за сохранение окружающей среды и формирует систему экономических стимулов для внедрения новых, более совершенных технологий и оборудования.

Эффективные технологии глубокой очистки ПСВ сложного физико-химического состава разрабатываются и внедряются ЗАО «ПО Геоэкология плюс» с учетом требований Роспотребнадзора и Ростехнадзора к ПСВ при сбросе их на рельеф и в водоемы хозяйственного назначения, а также требований технического водоснабжения предприятий. Технологии прошли апробацию на предприятиях угольной промышленности, цветной металлургии.

Ключевые слова: производственные сточные воды (ПСВ), электрохимическая обработка ПСВ, озонирование ПСВ, сорбционные фильтры, ионитовые фильтры, доочистка.

Проблема глубокой очистки ПСВ перед их сбросом в окружающую природную среду является наиболее острой для предприятий горнодобывающего комплекса. По экспертным оценкам, приходящийся на их долю объем сброса ПСВ составляет около 130 млн м³/год.

Решение проблемы водоочистки в горном производстве осложняется катастрофической нехваткой очистных сооружений, их недостаточной производительностью, несовершенством применяемых технологий. Наиболее распространенные реагентные технологии очистки ПСВ не обеспечивают предельно допус-

тимых концентраций (ПДК) для водоемов культурно-бытового, хозяйственно-питьевого и рыбохозяйственного назначения, куда, как правило, сбрасываются ПСВ. Более того, эти технологии способствуют дополнительному загрязнению водоемов ненормируемыми загрязнителями и осадками высокого класса опасности, особенно характерными для ПСВ предприятий, добывающих и перерабатывающих руды цветных металлов. Инфильтрующиеся из водоемов и прудов-отстойников ПСВ, содержащие реагенты, загрязняют водоносные горизонты хозяйственного назначения, вывода их из водо-

пользования, формируют техногенные водоносные горизонты в сухих (в природном состоянии) горных породах.

ПСВ предприятий горной промышленности в основном образуются: при осушении водонасыщенных полезных ископаемых перед их добычей; за счет поступления из водоносных горизонтов в процессе добычи полезных ископаемых; при переработке и обогащении полезных ископаемых; в процессе эксплуатации горного оборудования, сооружений и пр.

ПСВ угольных и горнорудных предприятий отличаются: по веществ-

* Рабочая встреча Президента РФ Дмитрия Медведева с министром природных ресурсов и экологии Юрием Трутневым 25.02.2010 г.

ЭКОЛОГИЯ

венному и химическому составу загрязняющих веществ; по составу взвешенных веществ (исходные воды угольных месторождений содержат взвешенные вещества, состоящие в основном из частиц угля и породы, воды рудных месторождений – взвешенные вещества, состоящие в основном из частиц породы); по минерализации (как правило, менее 1000 мг/л – для сточных вод угольных разрезов и шахт, от 1500 до 6000 мг/л и иногда выше – для карьерных и шахтных вод медно-цинковых месторождений).

По сложности химического состава ПСВ ранжируются в порядке возрастания содержания загрязнителей следующим образом:

- ◆ ПСВ угольных предприятий, образующиеся при предварительном осушении водонасыщенных угольных пластов с добавлением сточных вод от производственных подразделений (ремонтно-механические мастерские, РМВ, автотранспортные предприятия и пр.);
- ◆ ПСВ угольных предприятий, разрабатывающих сухие угольные пласты (техническая вода с добавлением сточных вод от производственных подразделений);
- ◆ ПСВ предприятий, добывающих и обрабатывающих руды черных металлов с предварительным осушением водонасыщенного рудного тела, с добавлением сточных вод от производственных подразделений;
- ◆ ПСВ предприятий, добывающих и обрабатывающих руды черных металлов в сухих рудных телах, с добав-

лением сточных вод от производственных подразделений;

◆ ПСВ предприятий, добывающих и обрабатывающих руды цветных металлов с предварительным осушением рудных тел, с добавлением сточных вод от производственных подразделений;

◆ ПСВ предприятий, добывающих и обрабатывающих руды цветных металлов в сухих рудных телах, с добавлением сточных вод производственных подразделений;

◆ ПСВ хвостохранилищ горно-обогатительных фабрик;

◆ ПСВ отдельно стоящих предприятий, обслуживающих горнодобывающие предприятия (ремонтно-механические заводы, производственные автотранспортные предприятия).

При разработке технологий очистки необходимо учитывать характерные особенности шахтных, карьерных и подотвальных сточных вод. В частности, исходные шахтные и карьерные воды угольных и медно-цинковых месторождений имеют высокое содержание взвешенных веществ и требуют предварительного отстаивания. Шахтные и карьерные воды угольных месторождений (например, Кузбасса) характеризуются: низкой концентрацией тяжелых металлов, за исключением марганца (менее 0,01 мг/л); высоким содержанием нитратов, нитритов и аммония техногенного происхождения; низкой концентрацией сульфатов и хлоридов. Подотвальные воды медно-цинковых месторождений характеризуются относительно невысокой

концентрацией взвешенных веществ; исходные шахтные и подотвальные воды – повышенной кислотностью и высоким содержанием солей жесткости; исходные шахтные, карьерные и подотвальные воды – высоким содержанием тяжелых металлов, сульфатов и хлоридов, поэтому доочистка этих вод осуществляется на ионообменных фильтрах – до уровня ПДК водоемов рыбохозяйственного значения ($ПДК_{\text{рыбохоз}}$), на катионитных фильтрах – главным образом от катионов кальция, магния и тяжелых металлов, на анионитных фильтрах – от сульфатов и хлоридов.

Современные технологии очистки ПСВ от загрязняющих веществ основаны на достижениях в области электрохимии, адсорбции, использовании новых материалов (ионообменных смол, мембран, сорбентов, композиционных материалов с заданными свойствами и т. д.). Эффективность новых технологий обусловлена высокой степенью очистки сточных вод, соответствующей требованиям Роспотребнадзора, компактностью очистных сооружений, возможностью автоматизации процесса очистки, что в совокупности позволяет снизить единовременные и текущие эксплуатационные затраты.

Среди перспективных методов очистки ПСВ от растворенных веществ и коллоидно-дисперсных частиц – методы электрохимической обработки и электрофлотации сточных вод – в частности, метод электрофлотокоагуляции [1–4].

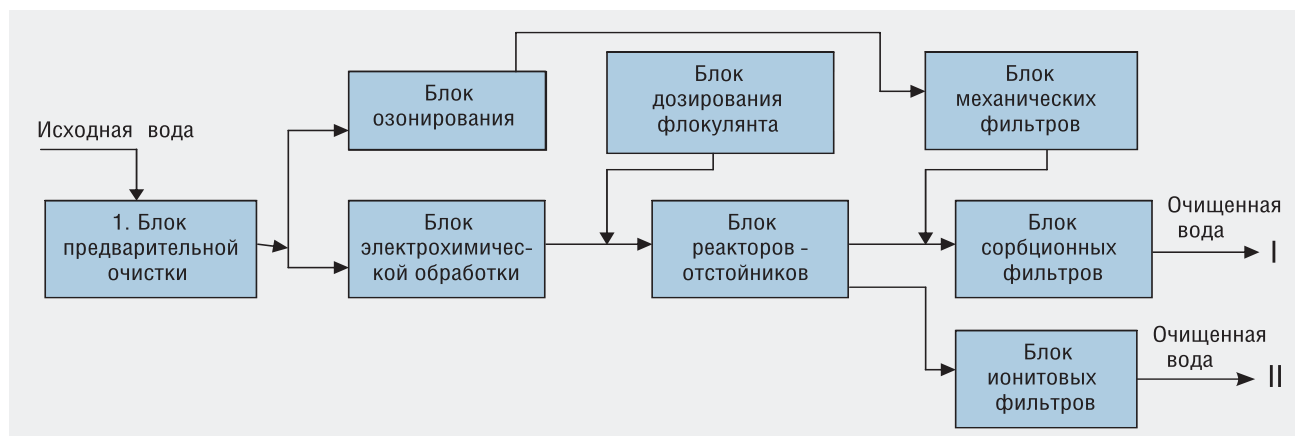


Рис. 1. Блок-схема глубокой очистки шахтных, карьерных и подотвальных сточных вод

Наибольшая степень глубокой очистки сточных вод достигается при использовании комбинированных методов очистки. В частности, электрохимическая обработка различных сточных вод с последующей доочисткой на сорбционных [5–7] или ионитовых фильтрах [8] обеспечивает очистку воды до уровня ПДК_{рыбохоз}.

Принцип комбинирования разных методов принят ЗАО «ПО Геоэкология плюс» за основу при создании технологии глубокой очистки подземных поверхностных и производственных сточных вод от органических и неорганических загрязнителей. В частности, для глубокой очистки шахтных, карьерных и подотвальных сточных вод используется электрохимическая обработка воды в электрофлотокоагуляторе (ЭФК) или обработка сточных вод озоном с последующей доочисткой на сорбционных или ионитовых фильтрах. Приемлемые варианты схемы очистки выбираются в зависимости от вида и концентрации загрязняющих веществ, объема очищаемой воды, требуемой степени очистки и других факторов, определяемых конкретными условиями.

Базовые варианты схемы включают следующие основные стадии очистки (рис. 1):

- ♦ вариант I – «предварительная очистка – электрохимическая обработка или озонирование – осветление в отстойнике или на фильтрах механической очистки – доочистка в сорбционных фильтрах»;
- ♦ вариант II – «предварительная очистка – электрохимическая обработка – осветление в отстойнике – доочистка в ионитовых фильтрах».

Разработанная ЗАО «ПО Геоэкология плюс» комбинированная технология очистки карьерных, шахтных и подотвальных вод апробирована на угольных и горнорудных предприятиях цветной металлургии. В основу технологии заложен I вариант схемы очистки (см. рис. 1). Исходная шахтная вода из двухсекционного пруда-отстойника самотеком поступает на очистные сооружения (рис. 2), где сначала проходит электрохимиче-

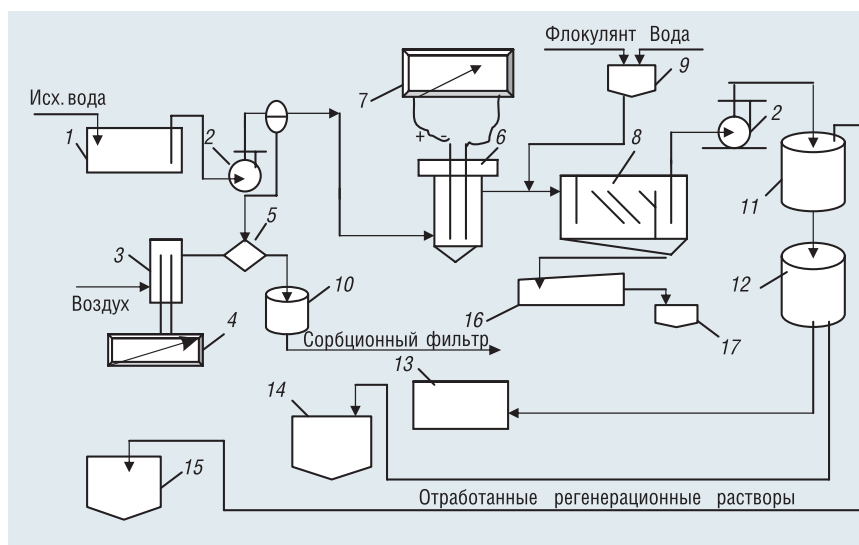


Рис. 2. Схема комбинированной технологии очистки карьерных, шахтных и подотвальных вод:

1 – пруд-усреднитель; 2 – насос; 3 – озонатор; 4 – источник питания озонатора; 5 – камера смешения; 6 – электрофлотокоагулятор (ЭФК); 7 – источник питания ЭФК; 8 – реактор-отстойник; 9 – дозатор флокулянта; 10 – фильтр механической очистки; 11, 12 – катионитный и анионитный фильтры соответственно; 13 – резервуар чистой воды; 14, 15 – сборники отработанного регенерационного раствора после анионитов и катионитов соответственно; 16 – фильтр-пресс; 17 – бункер для сбора обезвоженного осадка

скую обработку в ЭФК, а затем поступает в реакторы-отстойники, где происходит выпадение осадка. Доочистка шахтной воды осуществляется в сорбционных фильтрах. Очищенная вода используется для технических целей. Осадок, образующийся в реакторах-отстойниках, поступает в пруд-отстойник. Результаты апробации комбинированной технологии очистки приведены ниже.

Наряду с основными стадиями очистки большое значение имеют вспомогательные стадии: очистка электродов, обезвоживание осадков, приготовление растворов для регенерации ионитовых фильтров, утилизация отработанных регенерационных растворов, утилизация осадков.

Утилизация (восстановление) отработанных регенерационных растворов особенно актуальна при использовании в схемах очистки стадии ионного обмена. Решение проблемы утилизации является ключевым, так как именно она сдерживает широкое использование технологии ионного обмена для очистки сточных вод на предприятиях горнорудной промышленности. Только на очистных сооружениях предприятий, разрабатывающих медно-цинковые месторождения, объемы отра-

ботанных регенерационных растворов составляют тысячи кубических метров в год.

После насыщения ионитных фильтров проводят их регенерацию: как правило, катионитные фильтры обрабатывают раствором кислоты, анионитные – раствором щелочи.

Хорошо известен метод электрохимического восстановления (патенты РФ 2042639 и 2078737).

Оригинальный способ электрохимического восстановления отработанных растворов, главным образом сульфата натрия или смеси сульфата и хлорида натрия, образующихся после регенерации анионитовых фильтров, разработан ЗАО «ПО Геоэкология плюс» [9]. Однако практическая реализация этого способа сдерживается отсутствием предназначенных для него промышленных установок. Существующие мембранные электролизные установки, во-первых, не обеспечивают требуемых объемов восстановления отработанных регенерационных растворов (100–150 м³/сут), что подтверждено результатами проведенных ЗАО «ПО Геоэкология плюс» опытно-производственных испытаний лабораторного аналога (патент на полезную модель № 77265 RU,

ЭКОЛОГИЯ

Таблица 1. Результаты очистки шахтных вод комбинированным способом на шахте «Разрез Ольжерасский»

Контролируемые показатели шахтных вод	Исходные показатели (до очистки)	Показатели после очистки на этапе		Показатели после озонирования и доочистки на фильтрах на этапе ОПИ (май 2009 г.)
		ПНР (авг. 2008 г.)	Э (янв. 2009 г.)	
pH	6,9	7,2	7,7	8,2
Сухой остаток, мг/л	567	560	610	480
Взвешенные вещества, мг/л	45	2,0	3,3	–
Нитраты, мг-экв/л	19,3	19,0	14,2	–
Нитриты, мг/л	0,5	0,1	0,73	0,2
Аммоний, мг/л	0,39	0,4	1,65	0,18
Сульфаты, мг/л	67,0	73,0	70,0	74,0
Железо, мг/л	0,91	0,04	0,25	0,05
Цинк, мг/л	0,0084	< 0,014	–	–
Медь, мг/л	0,0052	0,002	–	< 0,005
Марганец, мг/л	0,02	0,007	0,073	–
Нефтепродукты, мг/л	0,31	н/о	0,02	0,03
СПАВ, мг/л	1,5	0,6	5,1	0,04

Условные обозначения: ПНР – пусконаладочные работы; Э – эксплуатация; ОПИ – опытно-промышленные испытания; н/о – не обнаружено.

МПК С02В1/40) мембранного электролизера типа МБЭ-5 для обеззараживания воды (производитель ООО «НПО Экотехнология»), во-вторых, мембранные электролизеры, используемые в хлорной промышленности, практически не доступны для восста-

новления отработанных растворов (например, после регенерации анионитных фильтров).

Реальной основой для решения проблемы утилизации отработанных регенерационных растворов электрохимическим методом могут слу-

жить разработки, выполненные под руководством В. М. Бахира [10, 11]. В частности, работы по электролизу растворов солей подтверждают возможность восстановления отработанных регенерационных растворов в мембранных электролизерах с целью их повторного использования для регенерации ионитов. Установки «Аквахлор» в отдельных случаях могут применяться для электролиза растворов сульфата натрия, который образуется при регенерации анионитных фильтров, и получения натриевой щелочи, которую можно повторно использовать для регенерации анионитных фильтров.

Качественно новым и наиболее перспективным направлением решения проблемы утилизации отработанных регенерационных растворов является использование керамических диафрагм вместо гибких мембран.

Обезвоживание и утилизация осадков. При глубокой очистке шахтных и карьерных сточных вод образуется два вида осадков: I – в прудах-усреднителях (см. рис. 2, поз. 1) при осаждении из шахтных или карьерных вод до поступления их на очистные сооружения; II – при электрохимической обработке и отстаивании в реакторе-отстойнике (поз. 8).

Образующийся при очистке ПСВ угольных шахт и разрезов осадок I вида обезвоживается и может подвергаться утилизации, поскольку состоит в основном из мелкодисперсных частиц угля. Содержание углерода в осадке достигает 90 %, влажность осадка после сушки в естественных условиях составляет 30–40 %. Осадок II вида, состоящий, главным образом, из гидроксида алюминия (в случае использования алюминиевых растворимых электродов) и загрязняющих компонентов, после реактора-отстойника может использоваться в качестве коагулянта для ускорения осаждения взвешенных веществ в пруду-усреднителе (как, например, на шахте «Разрез Ольжерасский»).

При очистке ПСВ карьеров и шахт медно-цинковых месторождений осадок I вида, состоящий в основном из частиц породы (содержание меди и цинка достигает 0,6 %, остальное –

Таблица 2. Результаты очистки карьерных вод комбинированным методом на месторождении Джусинское

Контролируемые показатели карьерных вод	Исходные показатели (до очистки)	Показатели после очистки с применением		ПДК _{рыбохоз}
		ЭФК	ЭФК и фильтров с ионитами КУ и АВ	
pH	6,5	6,8	7,3	6,5–8,5
Сухой остаток, мг/л	3331,0	2779,0	687,0	1000,0
Жесткость, мг-экв/л	21,7	13,9	1,4	7,0
Хлориды, мг/л	1775,0	1175,0	383,0	300,0
Сульфаты, мг/л	665,0	614,0	11,0	100,0
Железо, мг/л	0,021	0,022	0,085	0,1
Цинк, мг/л	0,052	0,004	0,012	0,01
Медь, мг/л	0,009	0,013	0,005	0,001
Свинец, мг/л	0,029	0,014	0,014	0,006
Марганец, мг/л	0,206	0,044	0,007	0,01

кремний, алюминий и кальций), обезвоживается и вывозится в отвалы. Влажность осадка после сушки в естественных условиях составляет 50–60 %. Осадок II вида, состоящий главным образом, из тяжелых металлов (0,04–1,2 % меди, 0,05–2,4 % цинка) и гидроксидов железа или алюминия (в зависимости от применяемых растворимых электродов), может использоваться в качестве коагулянта для ускорения осаждения взвешенных веществ в пруду-усреднителе. Влажность осадка 99,5–99,8 %.

Снижение класса опасности осадков. Образующиеся при очистке шахтных и карьерных сточных вод осадки (шламы) относятся к промышленным отходам III и IV класса опасности. Поэтому вопросы обеззараживания таких осадков являются актуальными.

Одним из возможных методов обезвреживания токсичных осадков и снижения их класса опасности является химическая стабилизация компонентов, входящих в состав осадка, методом ферритизации [12]. Процесс ферритизации осадка протекает в щелочной среде в присутствии ионов двухвалентного железа, при температуре 50 °С. Ферриты тяжелых металлов (Cu, Zn, Ni, Pb и др.) практически нерастворимы в воде и не представляют опасности для окружающей среды.

Другим направлением снижения класса опасности осадков является извлечение тяжелых металлов из осадков с помощью комплексонов [13–15].

Результаты апробации комбинированной технологии очистки шахтных, карьерных и подотвальных вод на предприятиях угольной промышленности и цветной металлургии

Очистка шахтных вод на шахте «Разрез Ольжерасский» ОАО «Южный Кузбасс» проводилась с применением двух способов – электрохимической обработки и озонирования с последующей доочисткой на сорбционных фильтрах, загруженных каталитически активным сорбентом МЖФ. Анализ полученных данных (табл. 1) показал, что в начальный период очист-

Таблица 3. Результаты очистки карьерных и подотвальных вод рудника «Молодежный» комбинированным методом с использованием разных фильтрующих загрузок

Контролируемые показатели карьерных и подотвальных вод	Исходные показатели (до очистки)	Показатели после очистки с применением			ПДК _{рыбохоз}
		ЭФК (A=140 A/m ²)	ЭФК и фильтров с ионитами КУ и АВ	ЭФК и фильтров 1-й и 2-й ступени	
рН	7,6	7,8	7,8	7,5	6,5–8,5
Сухой остаток, мг/л	2980,0	3000,0	12,0	22,0	1000,0
Жесткость, мг-экв/л	15,3	9,2	0,25	0,26	7,0
Сульфаты, мг/л	1200,0	900,0	8,0	9,0	100
Нитриты, мг/л	1,8	1,6	0,01	0,005	0,08
Аммоний, мг/л	0,3	2,1	1,7	0,05	0,5
Железо, мг/л	0,3	0,05	0,08	0,07	0,05/0,1
Цинк, мг/л	10,2	3,6	0,3	0,02	0,01
Медь, мг/л	0,9	0,04	0,04	0,005	0,001
Марганец, мг/л	–	2,4	0,003	0,0003	0,01
Кадмий, мг/л	0,03	0,03	0,0008	0,0006	0,005

ка шахтных вод осуществляется эффективно, но с течением времени эффективность снижается. Выявленная причина – появление в исходной шахтной воде смачивателя (СПАВ), который отсутствовал при проектировании и строительстве очистных сооружений. При концентрации СПАВ до 1 мг/л происходит его полное окисление в ЭФК при рабочем токе 800–900 А. При большей концентрации СПАВ или снижении рабочего тока до 400–500 А окисление осуществляется не полностью, что ведет к постепенному «зарастанию» электродного блока электрофлокоаглюляторов. В результате происходит «проскок» СПАВ в сорбционные фильтры и их «отравление». Для снижения концентрации СПАВ в шахтной воде, поступающей на очистные сооружения, было принято решение установить озонатор, который позволяет практически полностью окислить СПАВ и тем самым обеспечить нормальную работу электрофлокоаглюляторов. Следует отметить, что использование озонатора способствует не только увеличению срока службы сорбционных

фильтров, но и повышению эффективности их работы при очистке шахтных вод от металлов, а также одновременно решает проблему окисления аммонийного азота, нитрита и нефтепродуктов до уровня ПДК.

Очистка карьерных вод на месторождении Джусинское. Для карьерных вод характерно совместное присутствие сульфатов и хлоридов, извлечение которых анионитом происходит по-разному в зависимости от концентрации. Комбинированный метод очистки карьерных вод (электрохимическая обработка с последующей доочисткой на ионообменных смолах) позволяет добиться высокой степени очистки (табл. 2). При электрохимической обработке общая жесткость воды снизилась на 36 %, содержание хлоридов и сульфатов – на 3 и 8 % соответственно. Степень очистки от тяжелых металлов варьируется в широких пределах (от 10 до 90 %) в зависимости от вида металла. Доочистка карьерной воды в фильтрах, загруженных ионитами типа КУ-2-8 и АВ-17-8, позволила уменьшить: содержание сухого остатка на 78 % (с 3331 до 744 мг/л); общую жесткость –

ЭКОЛОГИЯ

Таблица 4. Результаты очистки шахтных вод подземного рудника ОАО «Гайский ГОК»

Контролируемые показатели шахтных вод	Исходные показатели (до очистки)	Показатели после очистки с применением		ПДК _{хим. в-в} (ГН 2.1.5.1315-03)
		ЭФК и отстаивания	ЭФК и фильтров с ионитами КУ и АВ	
рН	4,4	4,48	2,85	6,0–9,0
Сухой остаток, мг/л	5398,0	5054,0	658,0	1000,0
Взвешенные вещества, мг/л	6593,0	107,5	10,0	–
Жесткость, мг-экв/л	13,0	12,0	5,5	7,0
Хлориды, мг/л	407,0	405,0	274,0	350,0
Сульфаты, мг/л	2811,0	2814,0	1,65	500,0
Железо, мг/л	47,3	36,7	0,17	0,3
Цинк, мг/л	101,0	72,7	0,7	1,0
Медь, мг/л	55,8	40,9	0,3	1,0
Нефтепродукты, мг/л	2,9	0,7	0,1	0,1

на 96–97 %; содержание сульфатов – на 98 % (с 665 до 14 мг/л); содержание хлоридов – на 78 % (с 1775 до 383 мг/л), причем дальнейшее снижение хлоридов возможно при использовании второй ступени очистки. Таким образом, комбинированный способ обеспечивает очистку карьерных вод практически до требуемых норм.

Очистка карьерных и подотвальных вод рудника «Молодежный» ОАО «Учалинский ГОК». Карьерные и подотвальные воды характеризуются наличием сульфатов и азотсодержащих загрязняющих веществ. В ходе испытаний была установлена зависимость эффективности электрохимической обработки вод от плотности тока A . При $A=140 \text{ A/m}^2$ происходит значительное снижение концентрации тяжелых металлов (меди – на 95,5 %, цинка – на 64,7 %, железа – на 83,3 %), а также снижение концентрации сульфатов на 25 % и жесткости – на 39,9 %. При уменьшении плотности тока до 70 A/m^2 эффективность электрохимической обработки по тяжелым металлам существенно падает, по сульфатам и жесткости – не меняется. Изменение плотности тока не влияет на концентрацию нитрита и аммонийного азота и практически не влияет на количество сухого остатка. Результа-

ты комбинированной очистки карьерных и подотвальных вод (табл. 3) в целом подтвердили возможность достижения требуемой степени очистки вод. Однако ввиду того, что предварительная очистка карьерных и подотвальных вод электрохимическим методом с последующей доочисткой в фильтрах первой ступени (катионит и анионит) не обеспечивает полной очистки вод от меди и цинка, было принято решение использовать две ступени очистки.

Очистка шахтных вод подземного рудника ОАО «Гайский ГОК». Шахтная вода подземного рудника характеризуется большим содержанием взвешенных веществ, повышенной жесткостью, высокой концентрацией сульфатов и хлоридов, наличием железа, меди и цинка в значительных количествах. Поскольку очищенную воду предполагается использовать для технологических целей, шахтные воды достаточно очистить до уровня ПДК химических веществ (ПДК_{хим. в-в}) для воды объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, качество которой регламентируется ГН 2.1.5.1315-03.

Ввиду сложности химического состава шахтных вод их очистка выполнялась комбинированным методом.

Были получены следующие результаты (табл. 4). После предварительной обработки шахтной воды в ЭФК снизились: количество сухого остатка – на 6,3 %; концентрация взвешенных веществ – на 98,3 %; содержание нефтепродуктов – на 75,6 %; концентрация железа – на 22,4 %, цинка – на 28 %, меди – на 26,7 %. Содержание сульфатов и хлоридов практически не изменилось. Последующая доочистка на ионитных фильтрах позволяет очистить шахтную воду до ПДК_{хим. в-в}. Следует отметить, что насыщаемость катионита ионами тяжелых металлов до уровня ПДК происходит быстрее, чем ионами кальция и магния, поэтому необходимо степень очистки шахтной воды контролировать по концентрации железа после фильтров. Опытные производственные испытания показали также, что насыщаемость анионита хлорид-ионами происходит быстрее, чем сульфат-ионами. ■

Problems of industrial waste water purification in mining industry
D. G. Gospodinov, Dr. Sc. (Geol.-Mineral.), General Director;
A. V. Shkarin, Dr. Sc. (Chem.), Chief Process Engineer;
ZAO PO Geoekologiya Plyus, Novosibirsk, Russia

The article discusses the aspects of the enhancement of purification efficiency of industrial waste waters in mining industry by way of combining different technologies. In particular, for fine purification of mine, spoil-bank and tailing pond waste waters use is made of electrochemical treatment of water in electrical flotation coagulator (EFC) or ozone treatment of waste waters with subsequent afterpurification on sorption and ion-exchange filters. The authors present data of the test program of combined fine water treatment technology providing for the removal of organic and inorganic contaminating agents from surface and underground waste waters in coal and non-ferrous metal industries.

Key words: industrial waste waters (IWW), electrochemical IWW treatment, ozone treatment of IWW, sorption filters, ion-exchange filters, afterpurification.

Список литературы = References

1. *Технология электрохимической очистки воды*/С. В. Яковлев [и др.]. Л.: Стройиздат, 1987. = *Technology for electrochemical treatment of water.* / S.V. Yakovlev et al. L.: Stroyizdat Publishers, 1987 (in Russian).
2. *Апелъцина Е. И. Электрохимические методы в технологии очистки природных и сточных вод: Обзор ЦИНИС.* – М.: Госстрой СССР, 1971. = *E. I. Apeltsina. Electrochemical methods for natural and waste water treatment technology: TsINIS Review.* – М.: USSR Gosstroy, 1971 (in Russian).
3. *Бычин Н. А., Повх И. Л., Казимиренко Н. В. Исследование электрокоагуляционного метода очистки шахтных вод.* Пермь, 1973. = *N. A. Bychin, I. L. Povkh, N. V. Kazimirenko. Research into electrical coagulation methods of mine water purification.* Perm, 1973 (in Russian).
4. *Колесников В. А. Электорофлотационная технология и аппараты для извлечения ионов тяжелых металлов и органических загрязнителей из жидких отходов электрохимических производств с утилизацией ценных компонентов: авторефер. дисс. ... д-ра техн. наук.* М., 1993. = *V.A. Kolesnikov. Electrical floatation technology and equipment for the removal of heavy metals and organic impurities from liquid wastes of electrochemical operations, with the utilization of useful components: Author's abstract of the doctoral dissertation.* М., 1993 (in Russian).
5. *Кельцев Н. В. Основы адсорбционной техники.* М.: Химия, 1984. = *N. V. Keltsev. Basics of adsorption technique.* М.: Khimiya Publishers, 1984 (in Russian).
6. *Адсорбционная технология очистки сточных вод*/А. М. Когановский [и др.]. Киев: Техника, 1981. С. 29–40. = *Adsorption technology for waste water treatment* / A.M. Koganovsky et al. – Kiev: Tekhnika Publishers, 1981. pp. 29–40 (in Russian).
7. *Смирнов А. Д. Сорбционная очистка воды.* Л.: Химия, 1982. = *A. D. Smirnov. Water purification by sorption.* L.: Khimiya Publishers, 1982 (in Russian).
8. *Гребенюк В. Д. Обессоливание воды ионитами.* М.: Химия, 1980. = *V. D. Grebenyuk. Ion-exchange desalination of water.* – М.: Khimiya Publishers, 1980 (in Russian).
9. *Господинов Д. Г., Шкарин А. В. 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 г. = *D. G. Gospodinov, A. V. Shkarin. Electrochemical method of regenerating solution production for anion exchangers, and utilization of solutions after regeneration of anion-exchange filters*// Collected papers. V International Congress on waste management and environmental protection technologies. Moscow, 29 May, 2007 (in Russian).
10. *Электрохимическая модульная ячейка для обработки водных растворов, установка для получения продуктов анодного окисления раствора хлоридов щелочных или щелочноземельных металлов: пат. РФ №2176989. Заявл. 01.11.2000. Опубл. 20.12.2001/Авторы: Б. И. Леонов, В. М. Бахир, Ю. Г. Задорожний, С. А. Паничева.* = *Electrochemical modular cell for aqueous solution treatment; an alkali and alkali-earth metal solution electrolytic oxidation product plant: RF Patent № 2176989. Appl. of 01. 11. 2000. Issued 20.12. 2000/ Authors: B. I. Leonov, V. M. Bakhir, Yu. G. Zadorozhny, S. A. Panicheva* (in Russian).
11. *Бахир В. М. Установка «Аквалор»: оптимальная система для обеззараживания воды*//Водоснабжение и канализация. 2009. № 3. = *V. M. Bakhir. Akvakhlor Plant: an optimal system for water decontamination*// *Vodosnabzhenie i Kanelizatsiya.* 2009, № 3 (№ 36) (in Russian).
12. *Обезвреживание шламов гальванических производств методом ферритизации*/В. В. Семенов [и др.]//Экология и промышленность. 2005. № 1. С 34–36. = *V. V. Semenov et al. Slurry decantation by ferritizing method at galvanic operations* // *Ekologiya i Promyshlennost.* 2005. № 1, pp. 34–36 (in Russian).
13. *Утилизация шламов гальванических производств комплексонами*/О. А. Завальцева [и др.]//Изв. Вузов: Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2006. Прил. 1. 113 с. = *Utilization of slurries at galvanic operations by chelating method.* // О. А. Zavaltseva et al. // *Izvestiya Vuzov, Severo-Kavkazsky Region. Technicheskie Nauki,* 2006, Pril. 1, 113 pp. (in Russian).
14. *Завальцева О. А. Экология производства.* 2009. № 8. С. 60–63. = *O. A. Zavaltseva. Ecology of Production.* 2008, № 8. pp. 60–63 (in Russian)
15. *Господинов Д. Г., Шкарин А. В. Оптимизация технологии очистки шахтных, карьерных и подотвальных сточных вод медно-цинковых месторождений с целью снижения нагрузки на экосистему*//Водоснабжение и канализация. 2010. № 1, 2. = *D. G. Gospodinov, A. V. Shkarin. Optimization of purification technology for mine, spoil dump, tailing pond waste waters of copper-zinc deposits aimed at the reduction of ecosystem stresses.*// *Vodosnabzhenie i Kanelizatsiya.* 2010, № 1–2, p. 90 (in Russian).