

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТРАБОТАННЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ДЛЯ ОЧИСТКИ КАРЬЕРНЫХ ВОД ОТ СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА

А. В. Хохряков, А. М. Ольховский, Г. А. Студенок

Application of exhausted excavations for nitrogen compounds removal from the quarry waters

A. V. Khokhryakov, A. M. Ol'khovskiy, G. A. Studenok

Typical pollutants, whose content in drainage waters of mining enterprises exceeds the maximum permissible concentrations, are nitrogen compounds - ammonium, nitrite and nitrate nitrogen. Their presence in drainage waters is a consequence of the use of explosives based on ammonium nitrate (NH_4NO_3) for preparing the rock mass for excavation. The article presents the results of studies performed in quarries of a large mining enterprise, which justify the possibility of preliminary natural treatment of drainage waters of mining enterprises from nitrogen compounds in exhausted open-cast excavation. Natural purification occurs due to two processes - the first is a natural nitrification of the ammonium ion NH_4^+ and the nitrite ion NO_2^- to the nitrate ion NO_3^- (the nitrate ion represents the least environmental hazard of these nitrogen compounds) with prolonged storage of drainage water in exhausted open-cast excavation in the presence of atmospheric oxygen. The second is a dilution of drainage waters in open-cast excavation by natural underground waters and atmospheric precipitation entering it in a natural way. The results of the studies given in the article became the foundation for the development of the project for the enterprise purification system for drainage water, which successfully passed state expertise and is currently being implemented. The use of preliminary natural treatment of drainage water from nitrogen compounds in exhausted open-cast excavation significantly reduced the cost of the project and subsequent post-treatment at specialized biological treatment facilities, which is especially important in the current economic situation.

Keywords: pollution with nitrogen compounds; natural biological treatment; drainage water.

Типичными загрязнителями, содержание которых в дренажных водах горных предприятий превышает предельно допустимые концентрации, являются соединения азота – аммонийный, нитритный и нитратный азот. Их наличие в дренажных водах является следствием использования взрывчатых веществ на основе аммиачной селитры (нитрат аммония NH_4NO_3) для подготовки горной массы к экскавации. В статье приведены результаты исследований, выполненных в условиях карьеров крупного добывающего предприятия, обосновывающие возможность предварительной естественной очистки дренажных вод горных предприятий от соединений азота в отработанной открытой горной выработке. Естественная очистка происходит за счет двух процессов: естественная нитрификация иона аммония NH_4^+ и иона нитрита NO_2^- до иона нитрата NO_3^- (ион нитрата представляет меньшую экологическую опасность из указанных соединений азота) при длительной выдержке дренажных вод в отработанной открытой горной выработке в присутствии кислорода воздуха; разбавление дренажных вод в отработанной открытой горной выработке природными подземными водами и атмосферными осадками, поступающими в нее естественным путем. Результаты исследований, приведенные в статье, были использованы при разработке проекта системы очистки дренажных вод предприятия, который успешно прошел государственную экспертизу и реализация которого ведется в настоящее время. Использование предварительной естественной очистки дренажных вод от соединений азота в отработанной открытой горной выработке значительно удешевило проект и снизило затраты на последующую доочистку на специализированных сооружениях биологической очистки, что особенно актуально в нынешней экономической ситуации.

Ключевые слова: загрязнение соединениями азота; естественная биологическая очистка; дренажные воды.

Рациональное использование природных ресурсов, снижение уровня загрязнения окружающей среды определены как стратегические задачи России в области охраны окружающей среды и природопользования Федеральным законом от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» [1], Стратегией национальной безопасности Российской Федерации до 2020 г., утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 12.05.2009 № 537 [2] и другими федеральными нормативными документами.

Загрязнение окружающей среды горными предприятиями носит комплексный характер. Наряду с негативным воздействием на атмосферный воздух, земельные ресурсы, растительный и животный мир, горнодобывающий сектор наносит значительный ущерб водным ресурсам.

Характерным для горнодобывающего сектора негативным воздействием на водные ресурсы является сброс неочищенных дренажных карьерных и шахтных вод в водные объекты.

Одними из типичных загрязнителей, содержание которых в дренажных водах горных предприятий превышает предельно допустимые концентрации, являются соединения азота – аммо-

нийный, нитритный и нитратный азот. Их наличие в дренажных водах является следствием использования взрывчатых веществ на основе аммиачной селитры (нитрат аммония NH_4NO_3) для буровзрывной подготовки горной массы к экскавации [3–5].

Сброс дренажных вод, загрязненных соединениями азота, приводит к загрязнению природных водоемов за счет их несбалансированной эвтрофикации, т. е. нежелательному бурному росту водной растительности за счет поступления высокого количества биогенных элементов. Кроме того, высокие концентрации ионов аммония и нитрита в сбрасываемых дренажных водах оказывают токсичное влияние на гидробионты (главным образом, рыб).

Независимо от способа добычи полезного ископаемого, ужесточающиеся требования в части обеспечения качества отводимых в водные объекты дренажных вод приводят горные предприятия, такие, например, как ОАО «ЕВРАЗ Качканарский горно-обогатительный комбинат», ОАО «Высокогорский горно-обогатительный комбинат», ОАО «Сеуралбокситруда», ОАО «Ураласбест» и другие к значительным платежам за сброс загрязненных вод, штрафам за нарушение природоохранного законодательства и остро ставят перед предприятиями вопрос о снижении упомянутых экономических издержек.

Это обуславливает необходимость выбора и разработки оптимальной с эколого-экономических позиций технологии очистки дренажных вод перед их сбросом в водные объекты или повторным использованием с учетом конкретных природных, инфраструктурных и геотехнологических условий горного предприятия.

В настоящее время в промышленности очистка сточных вод от рассматриваемых соединений азота (ион аммония NH_4^+ , ион нитрита NO_2^- и ион нитрата NO_3^-) реализуется следующими группами способов [6]:

- физико-химические способы очистки (адсорбция, ионный обмен, обратный осмос и электродиализ);
- химические способы очистки (окисление);
- биологические способы очистки (аэробная и анаэробная очистка).

В 2012 г. были начаты работы по проектированию системы очистки дренажных вод одного из крупных карьеров от соединений азота перед их сбросом в реку.

Применение физико-химических и химических методов для условий горных предприятий сопровождается высокими капитальными и эксплуатационными затратами, обусловленными

большими объемами дренажных вод, достигающими миллионов кубометров в год, поэтому предпочтение было отдано биологической очистке.

Разработке проекта предшествовали предпроектные работы, результаты которых показали следующее. Установлено, что количество соединений азота, поступающих в дренажные воды при ведении взрывных работ, достигает первых единиц процентов от количества азота, содержащегося в израсходованных взрывчатых веществах [7]. Поступление в дренажные воды карьера ионов аммония (аммонийный азот) связано с растворением и вымыванием нитрата аммония при зарядке обводненных скважин. Загрязнение дренажных вод ионами нитрита (нитритный азот) связано с сорбцией горной массой образующихся при взрывах оксидов азота, их последующим вымыванием атмосферными осадками и поступлением образующихся ионов нитрита в дренажные воды [8, 9]. Поступление ионов нитрата в дренажные воды связано как с процессом растворения нитрата аммония в обводненных скважинах, так и с вымыванием атмосферными осадками сорбированных горной массой оксидов азота.

Анализ результатов наблюдений за составом дренажных вод карьера по соединениям азота, выполненных в период 2006–2016 гг., показывает неравномерность их поступления в окружающую среду по периодам года. Максимальная масса выноса по всем соединениям азота характерна для теплого периода года, когда происходит резкое увеличение объема образования дренажных вод за счет атмосферных осадков и снеготаяния (до 70 % годового объема карьерного водоотлива приходится на период с апреля по октябрь).

Годовой вынос всех соединений азота (ионы аммония, нитрита и нитрата) с дренажными водами достигает нескольких сотен тонн в год. При этом содержание в дренажных водах наиболее опасных для окружающей среды соединений азота (ионы аммония и нитрита) существенно превышают установленные для них нормативы предельно допустимых концентраций (ПДК).

При обосновании технологической схемы системы очистки дренажных вод предприятием учтены и использованы характерные параметры его инфраструктуры и геотехнологические особенности, в частности, наличие частично затопленной отработанной горной выработки, состав воды в ней, свободный объем для заполнения, состав дренажных вод, гидрогеологические условия, наличие на территории предприятия водозаборных скважин, геомеханические свойства бортов карьера и др.

В качестве базового элемента принятой схемы очистки для разработки проектных решений является использование отработанной горной выработки для предварительной очистки дренажных вод от соединений азота перед их последующей доочисткой на сооружениях биологической очистки. Отработанная горная выработка представляла на момент начала использования отработанный карьер, частично затопленный за счет поступления атмосферных осадков и подземных вод (его отработка была закончена в 2002 г.). Химический состав воды в затопленной части карьера характеризовался отсутствием токсических соединений в концентрациях, превышающих ПДК.

Возможность использования выбранной отработанной горной выработки для очистки дренажных вод основывается на использовании естественных микробиологических процессов нитрификации соединений азота (ионов аммония и нитрита) в аэробных условиях в водоемах [10].

Для установления геотехнологических условий использования отработанного карьера в качестве предварительной ступени очистки дренажных вод от соединений азота был проведен комплекс гидрогеологических и геомеханических инженерных изысканий и исследований для обоснования предельного уровня заполнения карьера дренажными водами, при котором обеспечивается:

- отсутствие риска возникновения оползневых явлений на бортах карьера, связанных с его затоплением дренажными водами (увеличение уровня воды в карьере);
- сохранение существующего гидрогеологического и гидрохимического режима прилегающей к карьере территории.

Результаты проведенных гидрогеологических и геомеханических инженерных изысканий и исследований показали воз-

можность использования данного карьера для накопления и предварительной очистки дренажных вод с одним ограничением – предельный уровень воды в горной выработке не должен превышать определенный по результатам исследований: +215,0 м. При этом будет отсутствовать влияние вод в отработанной горной выработке на расположенные в зоне ее воздействия водозаборные скважины. Кроме того, было установлено отсутствие обратной фильтрации вод из отработанной горной выработки в Центральный карьер.

Установление предельного уровня затопления отработанной горной выработки дренажными водами обусловлено также тем, что в конечном итоге эффективность очистки дренажных вод от ионов аммония и нитрита будет зависеть от времени их выдержки в объеме карьера, которое определяется скоростью поступления в нее данных соединений азота и скоростью их микробиологической нитрификации.

Для обоснования параметров эксплуатации карьера в качестве предварительной ступени очистки дренажных вод от соединений азота была разработана балансовая модель его заполнения, учитывающая все водоприитоки в карьер, включая поступающие на очистку дренажные воды, атмосферные осадки с учетом испарения и подземные воды.

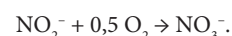
Исходя из данных о составе вод, поступающих в карьер (дренажных, атмосферных, подземных) и накопленных на момент начала его заполнения, балансовая модель позволяет также прогнозировать химический состав вод, которые будут поступать на вторую ступень очистки (сооружения биологической очистки) в зависимости от времени выдержки дренажных вод в буферной емкости.

Принятое в модели предположение о возможности протекания процесса микробиологической нитрификации основывается на аналогии поведения соединений азота в отработанной горной выработке и природных водоемах при заполнении ее дренажными водами.

Процесс микробиологической нитрификации в природных водоемах протекает в две стадии [10]. На первой стадии под действием аммонийоксилирующих бактерий (*Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrosolobus* и др.) идет процесс окисления иона аммония (NH_4^+) до иона нитрита (NO_2^-):



Последующее окисление иона нитрита (NO_2^-) до нитрата (NO_3^-) осуществляется нитритооксилирующими бактериями (*Nitrobacter*, *Nitrosococcus* и др.):



Таким образом, процессы микробиологического окисления ионов аммония и нитрита обуславливают уменьшение их концентраций в водной среде на фоне увеличения содержания иона нитрата.

Проект описанной двухступенчатой системы очистки успешно прошел государственную экспертизу, и в настоящее время ведется его реализация.

С начала заполнения карьера (ноябрь 2013 г.) дренажными водами предприятием ведется инженерно-экологический мониторинг его функционирования как предварительной ступени системы очистки. Мониторинг за ее функционированием включает регулярный контроль уровня воды в отработанной горной выработке и объема поступающих дренажных вод, а также отбор и количественный химический анализ поступающих дренажных вод и воды в отработанной горной выработке.

Это позволяет постоянно актуализировать разработанную балансовую модель с целью повышения точности прогнозирования химического состава воды по соединениям азота (аммонийный, нитритный и нитратный азот) после предварительной стадии очистки.

Результаты мониторинга показали, что при заполнении и выдержке в карьере дренажных вод результирующие концентрации в них соединений азота определяются протеканием двух одновременно идущих процессов:

Таблица 1. Концентрации соединений азота в исследуемых водах в период 2014–2016 гг.

Форма азота	Концентрации (в дренажных водах/в отработанной горной выработке), мг/л			
	в отработанной горной выработке до заполнения	2014 г.	2015 г.	2016 г.
Аммонийный	0,193	10,88/0,576	6,80/0,205	4,27/0,102
Нитритный	0,096	3,7/0,602	4,37/0,225	5,07/0,213
Нитратный	12,23	26,16/21,46	22,43/21,72	19,15/20,52

Таблица 2. Эффективность очистки дренажных вод от соединений азота в период 2014–2016 гг.

Форма азота	Эффективность очистки, %		
	2014	2015	2016
Аммонийный	94,7	97,0	97,6
Нитритный	83,7	94,9	95,8
Нитратный	18,0	3,2	-7,2

– микробиологической нитрификацией аммонийного и нитритного азота с образованием нитратов;

– разбавлением поступающих дренажных вод при смешении с атмосферными осадками, природными подземными водами, а также естественно накопленным в карьере объемом воды до начала его заполнения.

Важным фактором, предопределившим текущие процессы очистки, являлось наличие в отработанной горной выработке на момент начала его заполнения естественно сложившейся экосистемы с участием водной растительности и микроорганизмов, а также тот факт, что концентрации загрязняющих веществ в нем либо не превышали, либо незначительно превышали предельно допустимые (табл. 1).

Протекание процесса нитрификации в карьере характеризуется наблюдаемым по результатам мониторинга снижением содержания аммонийной и нитритной форм азота на фоне незначительного увеличения нитратной формы в воде карьера по сравнению с поступающим дренажными водами (рис. 1–3).

Для оценки влияния на концентрацию соединений азота процесса разбавления поступающих дренажных вод при смешении с накопленными карьерными водами, атмосферными осад-

ками и подземными водами в качестве индикатора при проведении мониторинговых наблюдений использовались данные по содержанию хлорид-иона в поступающих дренажных водах и в водах карьера. Выбор данного индикатора обусловлен тем, что его концентрация в карьере связана только с процессами разбавления, без протекания каких-либо химических преобразований при поступлении в него дренажных вод.

Аналогичное влияние процесса разбавления при смешении поступающих дренажных вод с уже накопленными в карьере водами наблюдается и для общего азота (сумма аммонийного, нитритного и нитратного азотов), рис. 4.

Анализ полученных результатов показывает практически одинаковое влияние процесса разбавления на формирование концентрации хлорид-иона и общего азота при эксплуатации предварительной ступени очистки дренажных вод (близкие значения величины степени разбавления). Это означает, что общий азот, поступающий в отработанную горную выработку, накапливается в ней (т. е. отсутствуют процессы денитрификации), а меняются соотношения форм азота, т. е. идут процессы нитрификации (наиболее токсичные аммонийный и нитритный формы азота переходят в наименее токсичный нитратный), и косвенно характеризует корректность решений, положенных в основу проекта системы очистки.

Наблюдаемое для хлорид-иона и общего азота постепенное снижение величины степени разбавления обусловлено их накоплением в воде карьера по сравнению с фоновыми значениями до начала эксплуатации предварительной ступени очистки дренажных вод.

В целом за период эксплуатации 2014–2016 гг. наблюдается увеличение эффективности очистки дренажных вод от аммоний-

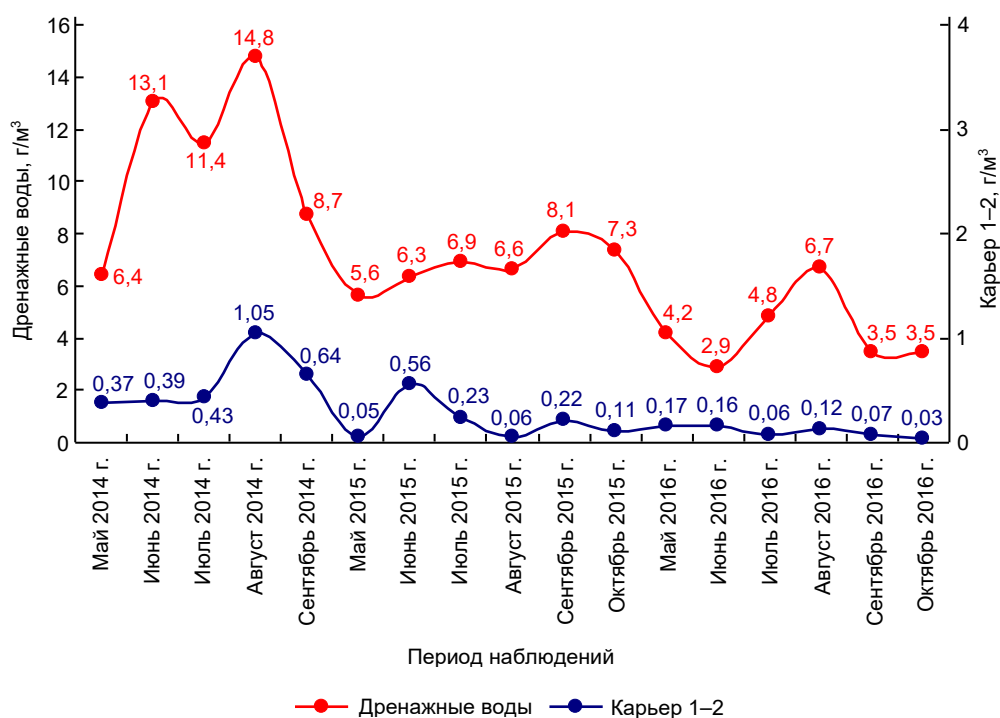


Рисунок 1. Изменение содержания аммонийного азота в отработанной горной выработке при ее заполнении дренажными водами.

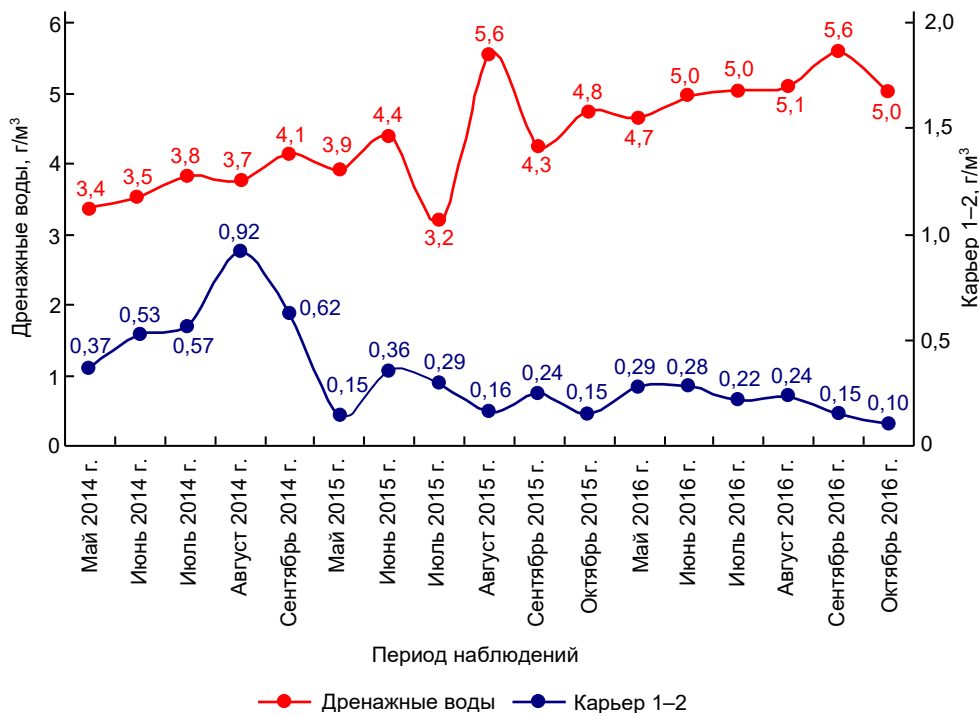


Рисунок 2. Изменение содержания нитритного азота в отработанной горной выработке при ее заполнении дренажными водами.

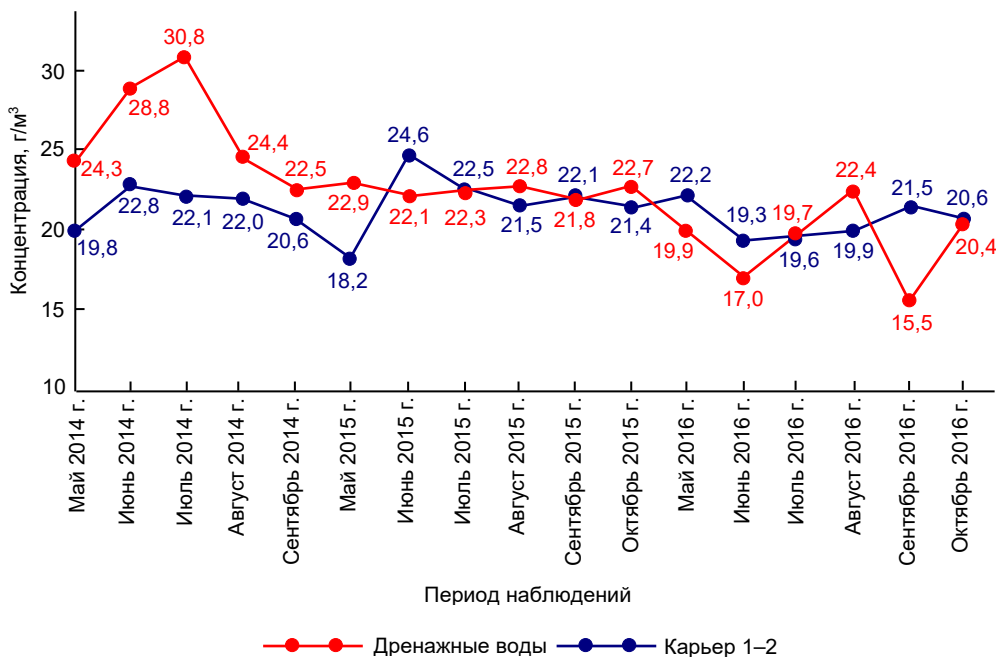


Рисунок 3. Изменение относительного содержания нитратного азота в отработанной горной выработке при ее заполнении дренажными водами.

ного и нитритного азота, что связано с общим временем пребывания дренажных вод в отработанной горной выработке, используемой для предварительной очистки дренажных вод (табл. 1, 2). При этом ведущим процессом, определяющим общую эффективность очистки дренажных вод от наиболее токсичных соединений азота (аммонийный и нитритный азот), является процесс нитрификации, обеспечивший снижение концентрации аммонийного азота ниже установленных нормативов ПДК для водоемов рыбохозяйственной категории. Для нитритного азота за рассматриваемый период при наблюдаемой эффективности очистки (95,8 %) значение концентрации остается выше установленного для него норматива ПДК для водоемов рыбохозяйственной категории (0,02 мг/л) [11] и ниже, чем для водоемов

хозяйственно-бытового и культурного назначения (норматив 1,0 мг/л). Для нитратного азота за счет его накопления в процессе нитрификации фиксируется незначительное (не более чем двукратное превышение) установленных нормативов ПДК как для водоемов хозяйственно-бытового и культурного назначения, так и для водоемов рыбохозяйственной категории. Снижение содержания и предупреждения последующего накопления ионов нитрата может, по мнению авторов, быть достигнуто путем искусственной посадки в береговой зоне затопленной части карьера водной растительности. Таким образом, опыт трехлетней эксплуатации отработанной карьерной выемки в качестве первой ступени системы очистки дренажных вод от наиболее токсичных соединений азо-

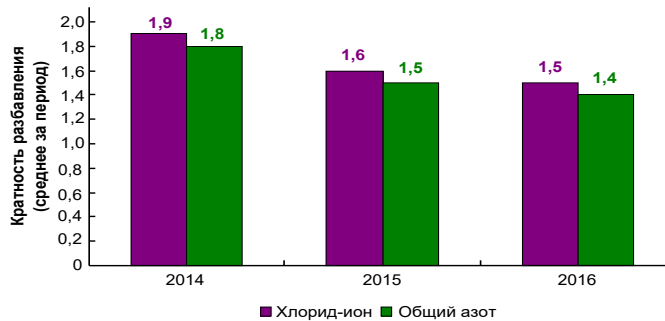


Рисунок 4. Изменение степени разбавления хлорид-иона и общего азота при эксплуатации предварительной ступени очистки дренажных вод в отработанной горной выработке.

та (ионы аммония и нитрита) показал возможность, целесообразность и перспективность принятой схемы очистки дренажных вод от соединений азота. Полученные результаты по эффективному снижению содержания соединений азота (аммонийный и нитритный азот) в дренажных водах позволяют при необходимости их дальнейшего сброса в водоем рыбохозяйственной категории значительно снизить затраты на их доочистку за счет сокращения или исключения энергоемкой стадии аэрации на сооружениях биологической очистки (перевод аммонийного и нитритного азота в нитратный). Кроме того, при определенных условиях можно использовать частично очищенную дренажную воду в качестве дополнительного источника технического водоснабжения.

Полученные предварительные результаты очистки дренажных вод в конкретных производственных условиях крупнейшего горного предприятия позволяют рассчитывать на успешное решение вопроса повышения эффективности охраны водных ресурсов при разработке месторождений полезных ископаемых, так как довольно часто горные предприятия имеют отработанные горные выработки, накопители или отстойники, что позволяет включать их в системы очистки дренажных вод.

ЛИТЕРАТУРА

1. Об охране окружающей среды: федер. закон № 7-ФЗ от 10 января 2002 г. (последняя редакция). Доступ из справ.-правовой системы «Консультант-Плюс».
2. О стратегии национальной безопасности Российской Федерации до 2020 года: указ Президента Российской Федерации от 12 мая 2009 № 537. Доступ из справ.-правовой системы «Консультант-Плюс».
3. Лозовик П. А., Бородулина Г. С. Соединения азота в поверхностных и подземных водах Карелии // Водные ресурсы. 2009. Т. 36, № 6. С. 694–704.
4. Рево А. В., Хохряков А. В., Медведева И. В., Цейтлин Е. М. Воздействие предприятий горно-металлургического комплекса на динамику загрязнения реки Чусовой // Изв. вузов. Горный журнал. 2015. № 2. С. 67–74.
5. Экологическая геология крупных горнодобывающих районов Северной Евразии (теория и практика) / под ред. И. И. Косиновой. Воронеж: ОАО «Воронежская областная типография», 2015. 576 с.
6. Студенок А. Г., Студенок Г. А., Рево А. В. Оценка методов очистки сточных вод от соединений азота для дренажных вод горных предприятий // Изв. УГГУ. 2013. № 2(30). С. 26–30.
7. Хохряков А. В., Ольховский А. М., Студенок А. Г., Студенок Г. А. Количественная оценка вклада взрывных работ в загрязнение дренажных вод карьеров соединениями азота // Изв. вузов. Горный журнал. 2005. № 6. С. 29–31.
8. Хохряков А. В., Студенок А. Г., Студенок Г. А. Исследование процессов

формирования химического загрязнения дренажных вод соединениями азота на примере карьера крупного горного предприятия // Изв. УГГУ. 2016. № 4(44). С. 35–37.

9. Chochrjakow A. W., Studenok A. G., Studenok G. A. Die Erforschung von Prozessen der chemischen Verunreinigung des Dränagewassers durch Stickstoffverbindungen am Beispiel vom dem Tagebau eines grossen Bergbauunternehmens // Die Nachrichten der Uraler Staatlichen Bergbauuniversität. 2016. № 4(44). S. 38–40.
10. Гогина Е. С. Удаление биогенных элементов из сточных вод. М.: МГСУ, 2010. 120 с.
11. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения: приказ Росрыболовства от 18 января 2010 года № 20. Доступ из справ.-правовой системы «Консультант-Плюс».

REFERENCES

1. Ob okhrane okruzhayushchey sredy: feder. zakon № 7-FZ ot 10 yanvarya 2002 goda (poslednyaya redaktsiya) [On Environmental Protection: Federal Law No. 7-FZ of January 10, 2002 (latest version)].
2. O strategii natsional'noy bezopasnosti Rossiyskoy Federatsii do 2020 goda: ukaz Prezidenta Rossiyskoy Federatsii ot 12 maya 2009 № 537 [On the National Security Strategy of the Russian Federation until 2020: Presidential Decree No. 537 of May 12, 2009].
3. Lozovik P. A., Borodulina G. S. 2009, Soedineniya azota v poverkhnostnykh i podzemnykh vodakh Karelii [Nitrogen compounds in surface and groundwater of Karelia]. Vodnye resursy [Water Resources], vol. 36, no. 6, pp. 694–704.
4. Revvo A. V., Khokhryakov A. V., Medvedeva I. V., Tseytlin E. M. 2015, Vozdeystvie predpriyatiy gorno-metallurgicheskogo kompleksa na dinamiku zagryazneniya reki Chusovoy [The impact of mining and metallurgical enterprises on the dynamics of pollution of the river Chusovoy]. Izv. vuzov. Gornyy zhurnal [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 2, pp. 67–74.
5. Kosinova I. I. 2015, Ekologicheskaya geologiya krupnykh gomodobyvayushchikh rayonov Severnoy Evrazii (teoriya i praktika) [Ecological geology of large mining regions of Northern Eurasia (theory and practice)], Voronezh, 576 p.
6. Studenok A. G., Studenok G. A., Revvo A. V. 2013, Otsenka metodov ochistki stochnykh vod ot soedineniy azota dlya drenazhnykh vod gornyykh predpriyatiy [Evaluation of wastewater treatment methods from nitrogen compounds for drainage waters of mining enterprises]. Izv. UGGU [News of the Ural State Mining University], no. 2(30), pp. 26–30.
7. Khokhryakov A. V., Ol'khovskiy A. M., Studenok A. G., Studenok G. A. 2005, Kolichestvennaya otsenka vklada vzryvnykh rabot v zagryaznenie drenazhnykh vod kar'erov soedineniyami azota [Quantitative assessment of the contribution of blasting to the pollution of drainage waters of quarries with nitrogen compounds]. Izv. vuzov. Gornyy zhurnal [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 6, pp. 29–31.
8. Khokhryakov A. V., Studenok A. G., Studenok G. A. 2016, Issledovanie protsessov formirovaniya khimicheskogo zagryazneniya drenazhnykh vod soedineniyami azota na primere kar'era krupnogo gornogo predpriyatiya [Research of processes of formation of chemical pollution of drainage waters by nitrogen compounds on the example of a quarry of a large mining enterprise]. Izv. UGGU [News of the Ural State Mining University], no. 4(44), pp. 35–37.
9. Chochrjakow A. W., Studenok A. G., Studenok G. A. 2016, Die Erforschung von Prozessen der chemischen Verunreinigung des Dränagewassers durch Stickstoffverbindungen am Beispiel vom dem Tagebau eines grossen Bergbauunternehmens [The investigation of processes of the chemical contamination of the drainage water by nitrogen compounds by the example of the open pit mining of a large mining company]. Izv. UGGU [News of the Ural State Mining University], no. 4(44), pp. 38–40.
10. Gogina E. S. 2010, Udaleniye biogennykh elementov iz stochnykh vod [Removal of biogenic elements from waste water], Moscow, 120 p.
11. Ob utverzhdenii normativov kachestva vody vodnykh ob'ektov rybkhozayastvennogo znacheniya: prikaz Rosrybolovstva ot 18 yanvarya 2010 goda № 20 [On the approval of water quality standards for water objects of fishery value, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of water bodies of fishery importance: the order of the Federal Agency for Fisheries of January 18, 2010 No. 20].

Александр Владимирович Хохряков,
ief.ie@m.ursmu.ru
Александр Михайлович Ольховский,
Геннадий Андреевич Студенок
genand@mail.ru
Уральский государственный горный университет
Россия, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Aleksandr Vladimirovich Khokhryakov,
ief.ie@m.ursmu.ru
Aleksandr Mikhailovich Ol'khovskiy,
Gennadiy Andreevich Studenok
genand@mail.ru
Ural State Mining University
Ekaterinburg, Russia