ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДООЧИСТКИ СТОЧНЫХ КАРЬЕРНЫХ ВОД ОТ МИНЕРАЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА В УСЛОВИЯХ КОЛЬСКОГО СЕВЕРА

Иванова Л.А.¹, Мязин В.А.^{2,3}, Корнейкова М.В.², Фокина Н.В.², Редькина В.В.², Евдокимова Г.А.²

¹ Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина КНЦ РАН, Анапты, ivanova_la@inbox.ru

² Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Анапты, korneykova.maria@mail.ru

³ Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН, Санкт-Петербург, myazin@mail.ru

В настоящее время наряду с физико-химическими и микробиологическими способами очистки карьерных сточных вод от разных видов загрязняющих веществ [1, 10, 16] перспективными признаются методы, основанные на использовании естественных процессов, происходящих в ландшафтных и водных экосистемах («constructed wetlands») [8, 9]. Мировой опыт их применения показывает, что искусственно создаваемые заболоченные территории в качестве сооружений доочистки стоков являются эффективными даже при низких температурах [13, 15, 14]. Несмотря на это, существующие трудности в их создании и функционировании, обусловленные климатическими особенностями, объемами и составом сточных вод, конкретными горно-химическими условиями предприятий, требуют индивидуального подхода.

Целью данной работы стала разработка и оптимизация биотехнологии доочистки сточных карьерных вод от соединений азота с использованием процессов фиторекультивации в природно-климатических условиях Мурманской области.

Объекты и методы исследования

Исследования проводили на пруду-отстойнике Кировогорского карьера АО «Олкон» (г. Оленегорск, Мурманская область). Данный промышленный объект собирает сточные воды с обширной территории открытого карьера, представляет собой копанный пруд, состоящий из двух секций, разделённых насыпной дамбой из песчано-гравийно-каменистого грунта. Грунтовые и талые воды, а также осадки поступают в узел сбора стоков, расположенный на дне карьера, откуда, с помощью насосов, по системе труб направляются в первую секцию пруда-отстойника. В ней, путём осаждения, происходит механическая очистка стоков – выпадение взвешенных минеральных частиц. Далее, проходя через дамбу, в ее фильтрующей толще вода подвергается частичной очистке за счёт фильтрации, адсорбции, осаждения и окислительно-восстановительных реакций. Доочистка карьерных вод от минеральных соединений азота методом фиторемедиации происходит во второй секции пруда-отстойника. Глубина в этой части пруда не более 2 м, он имеет высокую скорость потока и характеризуется часто меняющимся уровнем воды. Из второй секции вода через коллектор поступает в природный водоток – ручей.

Дно водоёма в основном крупнокаменистое и сильно захламлено топляком. Естественное зарастание пруда-отстойника и его прибрежной полосы растительностью протекает крайне медленно, она занимает незначительную часть поверхности объекта. Уровень pH воды варьирует в пределах от 7.6 в I-ой секции до 6.8 во II-ой секции и 6.6 в природном водотоке, а численность сапрофитных бактерий, использующих органические формы углерода, – от сотни клеток до тысячи в 1 мл воды; количество хемотрофных бактерий – нитрификаторов и денитрификаторов, получающих энергию в процессе трансформации неорганических соединений, достигает 25 и 950 кл/мл, соответственно [12].

В связи с использованием взрывчатых веществ при добыче железной руды в пруд-отстойник с карьерными водами ежемесячно поступает 5000-6000 кг нитратов, 30-50 кг нитритов и 60-80 кг аммонийного азота. Среднее содержание минеральных форм азота в воде на начало проведения исследований составляло: нитраты – 134.24 ± 10.10 мг/л, нитриты – 0.75 ± 0.18 мг/л, ион аммония – 1.26 ± 0.30 мг/л. Содержание хлоридов, сульфатов и железа не превышало уровня ПДК.

Показатели качества воды анализировались в соответствии с действующей нормативно-

технической документацией в специализированных аккредитованных лабораториях ФГБУН ИП-ПЭС КНЦ РАН (г. Апатиты) и АО «Олкон» (г. Оленегорск). Полевые исследования включали геоботанические описания, фенологические наблюдения, биометрические измерения. Обработка данных выполнена с применением методов описательной статистики и специализированного программного обеспечения Microsoft Excel 2007.

Результаты исследований

За период с 2012 по 2017 гг. выполнена серия комплексных лабораторных и полевых опытно-промышленных экспериментов по разработке фитосистемы для доочистки сточных карьерных вод от минеральных соединений азота. Исследования проводились в два этапа. Первоначально был разработан и внедрен новый запатентованный способ доочистки сточных карьерных вод с помощью плавающего биоплато [2]. Опытным путем установлено, что для более быстрой и эффективной доочистки водоема от соединений азота площадь таких биоплато должна составлять не менее 40 % от общей площади очищаемого водоема [3]. Была доказана их жизнеспособность и возможность снижать соединения азота – в большей степени аммонийных и нитритных, в меньшей – нитратных форм. Так, концентрация ионов аммония в воде пруда-отстойника после увеличения площади покрытия биоплато до 26 % уменьшилась на 53-90 %, нитратного азота – на 15-20 % [12]. Однако дальнейшие наблюдения показали, что использование только плавающего биоплато позволяет проводить доочистку исключительно на глубоководных участках пруда-отстойника. При этом оказываются не задействованными прибрежная полоса, дамба, мелководье и заводи. Заболачивание этих участков помогло бы значительно увеличить площадь покрытия пруда растениями и ускорить восстановительную сукцессию на объекте.

В 2017 гг. были проведены эксперименты по модификации технологии плавающего биоплато в более эффективную фитоочистную болотоподобную экосистему, позволяющую максимально охватить территорию водного объекта. В основу разработки легла инновационная технология создания фитоматов, позволяющая формировать растительные сообщества разного типа.

Фитомат представляет собой пластиковый сетчатый мешок размером 0.5×0.8 м, в который помещается 12.5 л органо-минерально-растительной смеси, состоящей из древесных опилок и термовермикулита, взятых в соотношении 4:1 (по объему), и 50 г травосмеси. Данная многокомпонентная смесь позволяет формировать слой питательного грунта с уже помещенным в него набором семян, высотой до 10 см, площадью около 0.3-0.4 м². Для создания фитоматов применяли 2 вида субстратов-почвозаменителей – термовермикулит (размер гранул 2-5 мм, влагоёмкость – 5 мл/г, пористость – 98 %, насыпная масса – 350-399 кг/м³) [4, 5] и древесные опилки (свежие и подстилочные). Эти субстраты не являются источником вторичного загрязнения, обладают высокими воздухо- и влагоёмкостью, обеспечивают оптимальные условия для гарантированного и быстрого прорастания семян (на 5-7-й день, а массовое – на 10-13-й день), входящих в состав фитоматов, и интенсивного роста и развития растений на последующих стадиях онтогенеза, а также сорбционной способностью, усиливающей очищающую функцию создаваемой фитосистемы [11].

Главное назначение фитоматов – обеспечить возможность быстрого формирования высококачественных искусственных фитоценозов (растительных блоков) 3-х типов: 1) для задернения песчано-гравийных участков прибрежной полосы, откосов фильтрующих дамб и других наземных территорий, где отсутствуют естественные плодородные почвы, (фитозаградительные барьеры); 2) для заболачивания участков водоемов с глубиной менее 0.5 м в качестве пригодного для произрастания растений питательного органо-минерального слоя на дне; 3) для формирования сообществ на глубоководных (более 0.5 м) участках водоемов (в комплексе с плавающими биоплато).

Наряду с применением фитоматов был опробован метод искусственного заболачивания мелководных заводей путем максимального насыщения их растениями.

В качестве ценозообразователей испытание прошли 24 вида сосудистых растений: рогоз широколистный (*Typha latifolia* L.), осоки (*Carex* sp.), пушица многоколосковая или узколистная (*Eriophorum angustifolium* Honck = *E. polystachion* L.), пушица Шейхцера (*Eriophorum vaginatum*

Л.), вахта трёхлистная (*Menyanthes trifoliata* L.), сабельник болотный (*Cómarum palústre* L.), белокрыльник болотный (*Calla palustris* L.), калужница болотная (*Cómarum palústre* L.), хвощ топяной (*Equisetum fluviatile* L.), хвощ болотный (*Equisetum palustre* L.), ива филиколистная (*Salix phylicifolia* L.), ива козья, (*Sálix cáprea* L.), сфагнум (*Sphagnum* sp.), ряска малая (*Lemna minor* L.), хвостник, или водяная сосенка (*Hippuris* L.), мать-и-мачеха (*Tussilago farfara* L.), лютик ползучий (*Ranunculus repens* L.), пырей сизый (*Agropyron intermedium* (Host.) Beauv.), пырей ползучий (*Elytrigia repens* (L.) Desv. ex Nevski), овсяница красная (*Festuca rubra* L.), тимopheевка луговая (*Phleum pratense* L.), волоснец песчаный (*Léymus arenárius* (L) Hochst.), горец Вейриха (*Polygonum weyrichii* Fr. Schmidt), змеевик живородящий (*Bistorta vivipara* (L.) Delarbre).

В ходе мониторинга содержания минеральных форм азота в воде пруда-отстойника после внедрения предлагаемой биотехнологии доочистки было отмечено снижение концентрации нитратов на 10-25% от исходного уровня. В период интенсивного снеготаяния в результате разбавления воды талыми водами содержание нитратов снижалась еще больше. В природном водотоке в июне-июле концентрация нитратов уменьшалась до значений, не превышающих или равных ПДК (45 мг/л), а в августе и сентябре (в связи с многочисленными поступлениями в водоем карьерных вод) отмечалось превышение ПДК на 30-50 %. В среднем за период наблюдения концентрация нитратов в воде II секции составляла 84.8 ± 14.9 мг/л, что превышает установленное значение ПДК в 2 раза, а содержание ионов аммония и нитрит-ионов оставалось ниже значений ПДК. В ходе выполнения исследований установлено, что увеличение времени задержки воды в отстойнике и, как следствие, продолжительности контакта воды и растительности, приводит к заметному снижению концентрации нитрат-ионов. Изучение содержания нитрат-ионов в растениях выявило тенденцию к их накоплению в корнях растений, произрастающих на биоплато. В целом за весь период проведения исследований эффективность очистки карьерных вод была увеличена на 22 %.

Заключение

В результате многолетних исследований разработана научно-обоснованная малозатратная технология трансформирования техногенных водоёмов в природоподобную болотную экосистему для доочистки сточных карьерных вод от минеральных соединений азота. В ее основе использование фитоматов, позволяющих в ускоренном режиме создавать разные комбинации растительных блоков, аналогичных природному ландшафту для локального залужения прибрежных территорий и заболачивания глубоко- и мелководных частей водоёмов.

Предлагаемая очистная система базируется на природных механизмах с использованием местных видов высших растений и субстратов-почвозаменителей (термовермикулит и древесные опилки), не требует затрат энергии, химикатов и дефицитных в регионе почвенных ресурсов. Преобладание естественных экосистемных процессов в сформированных фитоценозах позволяет увеличивать эффективность доочистки карьерных вод, а использование доступных материалов – минимизировать затраты на создание и обслуживание. Предлагаемый комплексный подход к формированию природоподобных болотных экосистем для очистки сточных карьерных вод впервые осуществлён в практике действующих горнорудных предприятий в экстремальных условиях Арктической зоны РФ.

Работа выполнена при финансовой и технической поддержке АО «Олкон» (Оленегорский ГОК), г. Оленегорск в рамках договора № 27-3-2012 от «01» октября 2012.

Литература

1. Бирман Ю.А., Вурдова Н.Г. Инженерная защита окружающей среды. Очистка вод. Утилизация отходов. М.: Изд-во АСВ, 2002. 296 с.
2. Евдокимова Г.А., Иванова Л.А., Мязин В.А. Устройство для биологической очистки сточных карьерных вод // Патент на изобретение № 2560631, заявка № 2014122204, приоритет изобретения 30 мая 2014 г. Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 22 июля 2015 г.
3. Евдокимова Г.А., Иванова Л.А., Мозгова Н.П., Мязин В.А., Фокина Н.В. Плавающие биоплато для очистки сточных карьерных вод от минеральных соединений азота в арктических условиях // Экология

- и промышленность России. 2015. №9. Т. 19. С. 35-41.
4. Иванова Л.А., Котельников В.А. Перспективы гидропонного выращивания растений в Мурманской области. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2006. 106 с.
 5. Иванова Л.А., Иноземцева Е.С., Кременецкая М.В. Способ создания газонной дернины на органо-минеральной основе: заявка 2011127457/13(040623) Российская Федерация; 04.07.2011.
 6. Казмирук В.Д., Казмирук Т.Н. Очистка воды методами фитотехнологий // Водочистка. 2015. № 5-6. С. 66-70.
 7. Калайда М.Л., Борисова С.Д. Доочистка производственных сточных вод с помощью высших водных растений // Экология и промышленность России. 2010. № 3. С.33-35.
 8. Нефедьева Е.Э., Сиволобова Н.О., Кравцов М.В., Шайхиев И.Г. Доочистка сточных вод с помощью фиторемедиации // Вестник технологического университета. 2017. № 10. Т. 20. С. 145-148.
 9. Савичев О.Г. Биологическая очистка сточных вод с использованием болотных биогеоценозов // Изв. Томского политехнического университета. 2008. Т. 312. № 1. С. 69-74.
 10. Хенце М., Армоэс П., Ля-Кур-Янсен Й., Арвин Э. Очистка сточных вод: пер. с англ. М.: Мир. 2006. 480 с.
 11. Allison F.E. Decomposition of wood and bark sawdusts in soil, nitrogen requirements and effects on plants. USDA Cir. 1965. V. 1332. P. 1-56.
 12. Evdokimova G.A., Ivanova L.A., Mozgova N.P., Myazin V.A., Fokina N.V. Floating bioplato for purification of waste quarry waters from mineral nitrogen compounds in the Arctic // Journal of Environmental Science and Health, Part A. 2016. V. 51. Iss.10. P. 833-838.
 13. Jenssen P.P., Maehlum T. and Krogstad T. Potential use of Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Northern Environments // Water Science Techniques. 1993. V. 28. № 10. P. 149-157.
 14. Johanna Nyquist, Maria Greger. A field study of constructed wetlands for preventing and treating acid mine drainage // Ecological engineering. 2009. V. 35. P. 630-642.
 15. Maehlum T., Jenssen P.D., Warner W.S. Cold-climate constructed wetlands // Water Science and Technology. 1995. V. 32. № 3. P. 95-101.
 16. Mattila K., Zaitsev G. & Langwaldt J. Biological removal of nutrients from mine waters (Biologinen ravinteiden poisto kaivosvedesta). Final report – loppuraportti. 2007. 99 p.