ШЛАКИ КОМБИНАТА «ПЕЧЕНГАНИКЕЛЬ» ДЛЯ СОЗДАНИЯ СУБСТРАТОВ – ПОЧВОЗАМЕНИТЕЛЕЙ (РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТОВ ПО СОЗДАНИЮ ИСКУССТВЕННЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ)

Горбачева Т.Т.¹, Иванова Л.А.² Макаров Д.В.³

¹ *ФИЦ КНЦ РАН, podzol_gorby@mail.ru*

² *Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина КНЦ РАН*

³ *Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН*

Металлургические шлаки и продукты их переработки находят широкое применение в экономике России, в т.ч. в таких направлениях улучшения экологической обстановки в регионах с высококоразвитым промышленным сектором [1], как:

- (1) нейтрализация кислых шахтных вод при прекращении добычи руд;
- (2) очистка грунтовых вод от токсичных загрязнителей;
- (3) выработка твердеющих закладочных смесей при подземной отработке месторождений и закладке карьерных выемок;
- (4) создание буферного или дренажного слоя при проведении рекультивационных работ;
- (5) замена почвенного покрова или известкование почвогрунтов в биологическом этапе рекультивации.

Нами предложено новое направление использования в регионе металлургических шлаков медно-никелевого производства – химическая мелиорация и создание субстратов-почвозаменителей. Стандартные подходы к рекультивации земель, разработанные в целом для РФ, на Севере зачастую оказываются нерезультативными. Землевание как традиционный метод восстановления растительного покрова является малоэффективным в условиях действующего производства из-за быстрой деградации почвенного слоя, нанесенного на нарушенную территорию. В работе [2] авторами проведена оценка шлаков комбината «Печенганикель» по их пригодности для рекультивации в соответствии с требованиями ГОСТ 17.5.1.03-86 «Охрана природы Земли. Классификация вскрышных и вмещающих пород для биологической рекультивации». По результатам работы подтверждена возможность использования шлаков как компонентов смешанного химического мелиоранта. При этом отмечен уровень биодоступности питательных элементов в составе шлаков, приемлемый для создания растительного покрова. Однако ограничивающим фактором внедрения шлаков в практику рекультивации нарушенных земель региона признана их очень низкая влагоемкость, близкая к влажности завядания растений на техногенных землях Европейского Севера [6].

Качество, долговечность и устойчивость искусственно создаваемых посевных фитоценозов во многом зависят не только от качества семян/травосмеси, но и от условий, обеспечивающих их быстрое дружное прорастание, дальнейший интенсивный рост и развитие всходов. Поэтому первая фаза жизненного цикла злаковых растений при формировании растительного покрова является самой важной. В фазу прорастания семян и появления всходов происходит переход семян из состояния покоя к активной жизнедеятельности, начинающийся с их набухания и заканчивающийся появлением всходов. Фаза прорастания включает семь подфаз, которые проходят только при определенных условиях аэрации и в определенном диапазоне температур (от 1-3 до 10 °C) [5]. Триггерным механизмом начала прорастания семян является влажность субстрата, поэтому в период прорастания семян и появления всходов она не должна оставаться ограничивающим фактором.

Помимо высокой влагоемкости, субстрат должен быть воздухоемким – защищающим ростки от перепадов температур; легким – не препятствующим росту проростков, а также стерильным (свободным от патогенной микрофлоры, губительной для молодых всходов). Ограничивающим фактором прорастания семян является pH водной вытяжки, отсюда следует избегать как ее высокой кислотности (ниже 3.5), так и высокой щелочности (выше 8.0). Поэтому крайне важно, чтобы при взаимодействии материала, применяемого для создания почвоподобного субстрата, с водой в растворе создавалась буферная система, обеспечивающая поддержание pH на оптимальном уровне. В ходе выполнения работы авторами продолжено апробирование ранее разработанных методов соз-

дания растительного покрова на основе вермикулитового субстрата, отвечающего всем приведенным выше требованиям.

Благодаря уникальным свойствам (стерильность, высокая влаго- и воздухоемкость, буферность (поддержание pH на уровне 7.0-7.5), способность с катионо- и анионообмену) вермикулит выполняет функции биологически активного почвоподобного материала. Его применение позволяет получать в короткие сроки (до 14 дней) высококачественную растительную дернину с заданным видовым составом и плотностью травостоя [3]. Субстрат производится из вермикулитового концентрата Ковдорского месторождения по инновационной запатентованной технологии [7]. Вермикулит широко применяют либо в качестве компонента почвосмесей, либо как основу для выращивания любых видов растений гидропонным способом. Субстраты на основе вермикулита используют для посева семян, черенкования, выращивания рассады, многолетнего культивирования овощных и декоративных растений, транспортировки и хранения сельскохозяйственной продукции (клубней, луков, корневищ), защиты растений от заморозков. Единственным серьезным ограничением широкого применения вермикулитового сырья для целей рекультивации является необходимость его термоактивации и отсюда относительно высокая цена. Одним из возможных направлений повышения эффективности применения инновационных технологий является поиск добавок, позволяющих снизить дозы внесения вермикулита без существенного снижения качества формирующегося растительного покрова. В качестве такой добавки предлагается использовать шлаки комбината «Печенганикель».

Целью данной работы являлся выбор допустимых соотношений «шлаки медно-никелевого производства: водоудерживающий компонент (вермикулит)» для создания растительного покрова (искусственного фитоценоза).

Материалы и методы исследования

По результатам проведенного нами исследования [2] сделано предположение, что шлаки в сочетании с вермикулитом, обладающим высокой водоудерживающей способностью, могут найти применение не только как химический мелиорант, но и как субстрат-почвозамениватель при создании травяного покрова на нарушенных территориях. В 2012 г. были проведены лабораторные опыты по созданию растительного покрова на минеральных грунтах лежалых шлаков, отобранных на шлакоотвале комбината «Печенганикель». В работе в качестве водоудерживающей добавки использовали мелкодисперсный термоактивированный вермикулит марки Випон-2. Основные характеристики материала: размер гранул – 2-5 мм, влагоемкость – 5 мл/г, пористость – 98 %, насыпная масса – 350-399 кг/м³ [1]. Вермикулитовые субстраты способны удерживать влагу в течение от 1 до 4 недель в зависимости от температуры окружающего воздуха. Это способствует сокращению поливов и расхода поливной воды.

Экспериментальные исследования проводились в апреле 2012 г. в лабораторных условиях. Растения выращивали в круглых пластиковых емкостях высотой 4.7 см с посевной площадью поверхности 0.95 дм², объемом 0.45 дм³. На дно сосуда производили послойную укладку шлаков и вермикулита. Схема лабораторных опытов представлена в таблице 1. Все слои увлажняли водой из расчета 10 л/м².

В качестве ценозообразователей использовали травосмесь из 4 видов злаковых растений: пырей сизый (*Agropyron intermedium* (Host.) Beauv.), овсяница красная (*Festuca rubra* L.), райграс пастбищный (*Lolium perenne* L.), тимофеевка луговая (*Phleum pratense* L.), взятые в соотношении 1:1:2:2 (по массе). Семена трав были приобретены в розничной торговле.

Емкости с растениями размещали стационарно, эксперимент проводили при естественном освещении. Интенсивность освещения в период проведения опытов в среднем составляла в пасмурные дни 6, в солнечные – 20 Клк, температура воздуха в помещении – 18-22 °С, влажность воздуха – 60 %.

Статистическая обработка полученных результатов проводилась методами описательной статистики и однофакторного дисперсионного анализа.

Результаты и обсуждение

Параметры сформированного фитоценоза приведены в таблице 1. Опыты по каждому варианту проводились в пяти повторностях.

Таблица 1. Влияние состава субстрата на параметры посевного фитоценоза.

Вариант	Субстрат	Дата			Средние значения параметров				
		закладки опыта	появления первых всходов / %*	появления массовых всходов	высота травостоя, см		проективное покрытие, %	зеленая биомасса, г	мощность дернины, см
					13.04	17.04			
1	шлаки (1 см) + вермикулит (1 см)	06.04	10.04/10	12.04	5.7	13.1	100	15.3	2.0
2	шлаки (2 см) + вермикулит (1 см)	06.04	10.04/10	12.04	5.5	13.9	100	15.7	3.0
3	шлаки (3 см) + вермикулит (1 см)	06.04	10.04/20	12.04	5.4	12.4	100	16.2	4.0
4	вермикулит (1 см) (контроль)	06.04	10.04/30	12.04	7.6	12.5	100	12.3	1.0

Примечание: * - относительное число проростков, %

Появление первых всходов

Независимо от варианта опыта появление первых зеленых всходов растений отмечено на 4-й день от начала эксперимента, массовых всходов – на 6-й день. Более стремительное появление проростков наблюдалось в контрольном варианте (вермикулит без добавки шлаков). Уровень прорастания семян в контроле составил 30%, в то время как в вариантах с применением шлака – от 10 до 20% в зависимости от толщины слоя шлака.

Длина надземной части растений на ранней стадии развития была больше у растений в контрольном варианте: на 9-й день она достигла 7.6 см., а в вариантах со шлаком не превысила уровень 5.4-5.7 см.

Проективное покрытие

На 13 день сформированный травостой во всех вариантах имел 100% проективное покрытие и хорошо развитую корневую систему. Корни растений полностью освоили субстраты и сформировали плотную травяную дернину (рис. 1).

Рис. 1. Освоение двухслойного почвозаменителя корневой системой растений, вариант 3, верхний слой – вермикулит Випон-2; нижний – шлаки (3 см).

Мощность дернины зависела от состава субстрата: наибольшая мощность дернины (4 см) отмечена в варианте 3, где слой шлака имел максимальную в опытах толщину 3 см. Минимальная мощность дернины отмечена в контрольном варианте (монослой вермикулита). Вероятно, биодоступность питательных элементов в шлаке выше, чем в термовермикулите, что и сказалось на росте и развитии растений. К концу эксперимента высота растений во всех вариантах опыта сравнялась, а в варианте 1 и 2 даже несколько превысила этот показатель в контроле. Все это отразилось и на накоплении зеленой массы – она была существенно выше в вариантах с применением шлаков.

Выводы

В краткосрочном лабораторном опыте показано положительное влияние шлаков комбината «Печенганикеля» на накопление биомассы растительного покрова, что связано с наличием биодоступных форм питательных элементов в их составе;

Использование шлака с добавкой термовермикулита как водоудерживающего агента способствует ускоренному формированию качественных искусственных посевных фитоценозов даже в случае преобладания шлаков в составе смеси (3:1 по мощности слоя).

Планируется проведение оценки пролонгированности действия комплексного мелиоранта/почвозаменителя при имитации аэротехногенной нагрузки в лабораторных условиях, а также подтверждение устойчивости фитоценоза при применении мелиоранта в полевом опыте.

Литература

1. Антонинова Н.Ю., Шубина Л.А. Использование техногенных отходов ГМК в природоохранных целях на предприятиях ГМК // Экология и промышленность России. 2015. № 10. С. 38-41.
2. Горбачева Т.Т., Иванова Л.А., Макаров Д.В. Шлаки «Печенганикеля» в решении экологических задач // XIV Всероссийская (с международным участием) Ферсмановская научная сессия, посвященная 100-летию со дня рождения д. г.-м.н. Козлова Е.К. Апатиты: Изд. КНЦ РАН. 2018 (данный сборник).
3. Иванова Л.А., Котельников В.А. Перспективы гидропонного выращивания растений в Мурманской области. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН. 2006. 106 с.
4. Иванова Л.А., Котельников В.А. Полезная модель «Трубчатая наклонная печь для обжига вспучивающихся материалов»: Пат. № 55110, заявка № 2006105085, зарегистрировано в Госреестре полезных моделей РФ 27 июля 2006 г. № 21.
5. Обручева Н.В. Различная регуляция выхода семян из физиологического покоя и их прорастания // Физико-химические механизмы адаптации растений к антропогенному загрязнению в условиях Крайнего Севера: Годичное собрание общества физиологов растений России. Тезисы международной конференции. Апатиты. 2009. С. 248-250.
6. Федорец Н.Г., Соколов А.И., Шильцова Г.В., Германова Н.И., Крышень А.М., Антипина Г.С. Начальные стадии формирования биогеоценозов на техногенных землях Европейского Севера. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 1999. 74 с.
7. Kotelnikov V.A., Ivanova L.A. (en) Method for biologically recultivating industrial wastelands. Pub. No.: WO/2011/084079. International Application No.:PCT/RU2010/000001. Publication Date: 14.07.2011. International Filing Date: 11.01.2010. IPC: A01B 79/02 (2006.01), A01G 1/00 (2006.01), A01G 31/00 (2006.01).