DOI 10.21178/2079–6080.2021.1.68
УДК: 630*233:630*181

Оценка состояния лесных насаждений и почвенного покрова на участках рекультивации Кингисеппского месторождения фосфоритов

© Е.А. Кушнир¹, И.С. Недбаев^{1,2}, Э.И. Трещевская^{1,3}

The assessment of forest stand and soil condition on the recultivated area of man-made mineral formations of Kingisepp phosphorite deposit

E.A. Kushnir, I.S. Nedbaev, E.I. Treshchevskaya (Saint Petersburg Forestry Research Institute; Saint Petersburg State University; Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov)

This study is devoted to the assessment of the state of vegetation and soils in the reclaimed territories of technogenic objects of the Kingisepp phosphorite field, directly and indirectly affects the growth of forest plantations.

The taxation characteristics of forest crops created during reclamation in the 80s of the XX century were determined. The analysis of agrochemical indicators of soil cover samples in the areas of quarries for the extraction of phosphorites and dumps of phosphogypsum has been carried out.

As a result of the study, it was found that on the dumps of overburden, the most entrenched forest plantations, which did not degrade for 35–38 years and formed a forest ecosystem, are composed of the following species: *Picea abies*, *Pinus sylvestris*, *Betula pendula* and *Larix sibirica*. The indicators of the state and growth of the stand in general correspond to the average indicators for the region, and there are no deviations in the development of forest stands on a technogenic substrate. During the survey, there was practically no natural renewal of conifers. On the dumps of phosphogypsum, almost 40 years after reclamation, the process of replacing forest cultures with natural aspen communities takes place.

The soil cover formed at the technogenic objects of the Kingisepp phosphorite field has a high content of nitrogen, calcium and phosphorus, which favorably affects the growth of vegetation.

The source of these elements is most likely the underlying rocks. The accumulation of nitrogen is facilitated by both the chemical composition of the underlying rocks and the granulometric composition of the fill soil. In contrast to the natural soils of northwestern Russia, which have a mostly slightly acidic reaction, in the territory of the surveyed object, a weakly alkaline reaction of substrates was recorded almost everywhere, which was caused by carbonate underlying rocks.

The results obtained in the course of the study are of scientific and practical importance for solving the problems of artificial and natural reclamation of open pits for mining in the Baltic-Belozersk taiga forest region, taking into account their regional specifics.

Keywords: ecosystems, forest stand, recultivation, soil cover, phosphorite field

Оценка состояния лесных насаждений и почвенного покрова на участках рекультивации Кингисеппского месторождения фосфоритов

Е.А. Кушнир, И.С. Недбаев, Э.И. Трещевская

Настоящая работа посвящена оценке состояния растительности и почв на рекультивированных территориях техногенных объектов Кингисеппского месторождения фосфоритов, поскольку почвенный покров прямо и косвенно влияет на рост лесных насаждений.

Были определены таксационные характеристики лесных культур, созданных при рекультивации в 80-е годы XX века. Проведён анализ агрохимических показателей проб почвенного покрова на участках карьеров по добыче фосфоритов и отвалов фосфогипса.

В результате исследования установлено, что на отвалах вскрышных пород наиболее закрепившиеся лесные насаждения, которые за 35–38 лет не деградировали и образовали лесную экосистему, образованы следующими породами: *Picea abies*, *Pinus sylvestris*, *Betula pendula* и *Larix sibirica*. Показатели состояния и роста древостоя в целом соответствуют средним показателям по региону, и отклонений в развитии лесных насаждений на техногенном субстрате не наблюдается. При обследовании практически не было обнаружено естественного возобновления хвойных пород. На отвалах фосфогипса спустя практически 40 лет после рекультивации происходит процесс замещения лесных культур естественными осиновыми сообществами.

Почвенный покров, сформировавшийся на техногенных объектах Кингисеппского месторождения фосфоритов, имеет высокое содержание азота, кальция и фосфора, что благоприятно сказывается на росте растительности. Источником данных элементов, скорее всего, являются подстилающие породы. Накоплению азота способствуют как химический состав подстилающих пород, так и гранулометрическая структура насыпного грунта. В отличие от природных почв северо-запада России, имеющих в основном слабокислую реакцию, на территории обследованного нами объекта была зафиксирована почти повсеместно слабощелочная реакция субстратов, что обусловлено карбонатными подстилающими породами.

Полученные в ходе проведенного исследования результаты имеют научное и практическое значение для решения проблем искусственной и естественной рекультивации карьеров по добыче полезных ископаемых в Балтийско-Белозерском таёжном лесном районе, с учетом их региональной специфики.

Ключевые слова: экосистемы, лесные насаждения, рекультивация, почвенный покров, месторождение фосфоритов

Кушнир Елизавета Андреевна — младший науч. сотр. сектора проблем изменения климата НИО мониторинга лесных экосистем

E-mail: e.kushnir@spb-niilh.ru

Недбаев Иван Сергеевич — младший науч. сотр. НИО мониторинга лесных экосистем, аспирант кафедры геоэкологии и природопользования Института наук о Земле СПбГУ
E-mail: i.nedbaev@spb-niilh.ru

Трещевская Элла Игоревна — д-р с.-х. наук, доцент, профессор кафедры лесных культур, селекции и лесомелиорации ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова ведущий науч. сотр. сектора проблем изменения климата НИО мониторинга лесных экосистем ФБУ «СПбНИИЛХ»
E-mail: ehllt@yandex.ru.

¹ФБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства»
194021, Санкт-Петербург, Институтский пр. 21
Телефон: 8 (812) 552-80-21

²ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»
199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9
Телефон: 8 (812) 328-20-00

³ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8
Телефон: 8(473) 253-76-06

Введение

При разработке карьеров по добыче полезных ископаемых происходит уничтожение растительного и почвенного покрова, и согласно действующему законодательству, необходимо после завершения эксплуатации объектов добывающей промышленности проводить рекультивацию (восстановление плодородного слоя почв и посадку сначала злаковых растений, а затем и саженцев древесных пород и кустарников).

Лесная рекультивация проводится, чтобы восстанавливать нарушенные хозяйственной деятельностью человека территории и использовать их в дальнейшем в соответствии с определяемыми целями (рекреационные зоны, ООПТ, для нужд водного хозяйства и т. д.). При проведении рекультивации возникают вопросы о том, насколько эффективно приживаются лесные насаждения, насколько быстро и какие этапы проходит природная система при восстановлении, и когда появляется новое устойчивое сообщество.

О взаимосвязи почвенного и растительного покрова существует немало научных трудов. И естественно, при проведении лесоразведения необходимо оценивать состояние почвенных условий — достаточно ли субстрат плодороден, сможет ли он снабжать растительный покров питательными веществами и т. д. При этом стоит учитывать, что почва, даже если это привезённый нанесённый слой, формируется при участии подстилающих пород [10].

Так как каждая природная зона и каждый ландшафт имеют свои особенности, влияющие на этапы восстановления растительности, следует подходить к вопросу рекультивации с региональной точки зрения (для каждого региона страны наиболее эффективными будут свои методы и правила рекультивации).

С помощью методов оценки состояния растительности и почвенного покрова можно отследить положительные и негативные изменения на уже рекультивированных территориях, что позволит выявить наиболее значимые показатели оценки восстанавливаемых

территорий. Для древесной растительности такими методами оценки состояния являются таксационные показатели древостоя, по которым можно определить стадию развития лесных насаждений. Для почвенного покрова необходимо изучение агрохимических показателей, характеризующих способность почвы быть питательной средой для будущего фитоценоза.

Цель настоящего исследования заключалась в проведении оценки состояния лесных насаждений и почвенного покрова на территориях рекультивации техногенных объектов Кингисеппского месторождения фосфоритов.

В практике лесная рекультивация на отвалах вскрышной породы и отвалах фосфогипса в Ленинградской области не изучена, слабо освещён мониторинг роста и состояния лесных насаждений в возрасте старше 12–14 лет, а также практически не рассматриваются изменения лесорастительных условий и взаимодействия в системе «почва—растительность» на техногенно нарушенных землях.

Оценка состояния лесных насаждений через 30–40 лет после рекультивации является важным направлением научной деятельности для лесной отрасли. Поиск оптимальных древесных пород для рекультивации и контроль почвенно-растительных условий позволит выявить важные особенности для последующих рекультиваций на Северо-Западе России.

Объекты и методы исследований

В настоящем исследовании рассмотрена рекультивация отвалов вскрышной породы при добыче фосфатов и отвала фосфогипса (рис. 1) Кингисеппского месторождения фосфоритов (Ленинградская область). Рекультивация данных посттехногенных объектов проводилась в 80-е годы прошлого века, и представляет научный и практический интерес, насколько восстановились лесные насаждения на отвалах, каково их состояние, насколько они различаются по сравнению с сообществами, сформировавшимися на ненарушенных территориях.

Рис. 1. Общий вид юго-западного склона отвала фосфогипса (июль 2019 г.)

Кингисеппское месторождение фосфоритов эксплуатировалось с 1963 г. Фронт работ продвигался с севера на юг по падению залегания пласта. Запасы Северного участка отработаны в 1980 г. Незадолго до истощения была начата разработка Южного участка (в 1975 г.). Но и запасы Южного участка экономически целесообразно было добывать только до 2006 г. На данный момент ПГ «ООО «Фосфорит» работает на привозном сырье. После выработки месторождения нарушенными оказались 42 км² земель.

Первые рекультивационные работы проводились на нарушенных землях Северного участка в начале 1980-х годов. В 1985–1990 гг. сотрудниками ЛенНИИЛХ (СПбНИИЛХ) проводились исследования, результаты которых предлагали различные проекты рекультивации для Южного участка. Одними из самых подходящих и способных прижиться насаждений оказались сосновые.

К концу 80-х годов на территории Северного участка уже были сформированы молодые сообщества из сосны, ели, лиственницы и ряда других. На момент обследования сотрудниками ЛенНИИЛХ насаждения имели возраст 10–11 лет. На песчаных грунтах сохранность сосны обыкновенной достигала 95 %, на скальных – только 35 %. Площадь жизнеспособных культур ели европейской на отвалах вскрышной породы составлял 60–90 %, у лиственницы данный показатель несколько ниже: 40–70 %.

Определение состояния насаждений проводилось на пробных площадях путем измерения основных биометрических показателей и определения степени поражения энтомо- и фитопатогенами.

Целью исследований в 80-е годы была разработка технологий эффективной рекультивации территории Кингисеппского месторождения фосфоритов. Результаты биоте-

стирования, предварительных химических анализов и первые опыты по лесоразведению лесных насаждений на отвалах Кингисеппского месторождения фосфоритов, произведенные сотрудниками ЛенНИИЛХа, показали, что техногенные почвы обладают удовлетворительными физико-химическими свойствами и пригодны для целей лесной рекультивации. Содержание токсичных элементов не превышало нормы, а наличие питательных элементов находилось на оптимальном для целого ряда древесных пород уровне [8, 9].

Изучением состояния лесных насаждений, созданных в процессе рекультивации, в 90-х годах занимался коллектив научных сотрудников ЛенНИИЛХ (Ю.Е. Самков, Д.В. Огиевский, Т.А. Пардаев и др.). С 2000-х годов ученые Научно-исследовательской лаборатории Института наук о Земле (ИНоЗ) СПбГУ Я.А. Дмитракова и Е.В. Абакумов проводят научные исследования, касающиеся регенерационных почвообразовательных процессов в посттехногенных экосистемах карьерно-отвальных комплексов, включая территории Кингисеппского месторождения фосфоритов [1, 2, 6].

Осенью 2019 года был произведен полевой выезд на территорию этого объекта, в процессе которого заложено 6 пробных площадей на участках, где проводилась рекультивация с посадками 35–40-летних лесных насаждений: 4 — на отвалах вскрышной породы при добыче фосфатов и 2 — на отвалах фосфогипса. Летом 2020 года при очередном обследовании были получены дополнительные данные.

На местах рекультивации отвалов вскрышных пород были заложены 4 пробные площади (ПП): в 36-летних чистых культурах ели европейской *Picea abies* L. (ПП № 2), в смешанных культурах с древесным составом 6БЗИв1С (35–38 лет) (ПП № 4, 6), в чистых культурах лиственницы Сукачева *Larix*

sukaczewii Dylis (38–40 лет) (ПП № 8) и в чистых культуры березы повислой *Betula pendula* Roth (ПП № 7, 9). В общей сложности было учтено 1743 дерева. Пробные площади, отражающие состояние и рост естественного возобновления хвойных пород закладывались в смешанных культурах и в культурах березы повислой (почвенные пробы № 6 и 7).

На отвале фосфогипса заложены 2 пробные площади: на нижнем склоне в смешанных культурах, имеющих состав 6Ос2Ив2Б+С (ПП № 1 и № 3) и на верхнем склоне, в естественных условиях зарастания березой (ПП № 5). Естественного возобновления хвойными породами обнаружено не было. В общей сложности учтено 586 деревьев.

Полевые работы на пробных площадях выполнялись по общепринятым в практике лесоведения и почвоведения методикам [3]. Модельные деревья, характеризующие древостой, выбирали по среднему диаметру и средней высоте.

В Научно-исследовательской лаборатории ИНоЗ СПбГУ определялось содержание следующих компонентов: гумуса (по методу Тюрина), общего азота [4], P_2O_5 и K_2O , Ca^{2+} и Mg^{2+} [5]. Также в Лаборатории СПбНИИЛХ во всех пробах была измерена актуальная и обменная кислотность [7].

Результаты и их обсуждение

Лесные насаждения

На отвалах вскрышных пород наиболее закрепившиеся лесные насаждения, которые за 35–38 лет не деградировали и образовали лесные экосистемы, были сформированы такими древесными видами, как береза повислая, ель европейская, лиственница Сукачева и сосна обыкновенная (рис. 2). Другие породы (тополь берлинский, карагана древовидная), которые использовались при рекультивации в 80-е годы, уже погибли или встречаются лишь в единичных экземплярах.

а) береза повислая

б) ель европейская

в) лиственница Сукачева

г) сосна обыкновенная

Рис. 2. Насаждения древесных пород,
произрастающих на отвалах вскрышных пород (июль 2019 г.)

Все исследуемые лесные насаждения типичны для природы Ленинградской области. В таблице 1 приводятся показатели их состояния и роста на отвалах вскрышных пород. Особый интерес представляет лиственница — не самая популярная порода для лесовосстановления в Европейской части России. Однако сложно установить сохранность этих культур, поскольку к настоящему времени нами был выявлен только один уча-

сток. В доминирующем большинстве на отвалах вскрышных пород произрастают монокультуры ели европейской и березы повислой, береза преобладает и в смешанных культурах. Сосна встречается только в смешанных насаждениях.

В таблице 2 представлены показатели состояния и роста древесных пород на отвале фосфогипса Кингисеппского месторождения фосфоритов.

Таблица 1

Показатели состояния и роста древесных пород
на отвалах вскрышных пород

№ ПП	Состав	Возраст, лет	Ср. высота, м	Ср. диаметр, см	Бонитет	Полнота	Кол-во учтенных деревьев, шт.
2	10Е	36	12,4±1,4	19,5±0,9	III	0,6	412
4, 6	6БЗИв1С	36	13,5±1,9	22,1±1,6	III	0,5	676
8	10Л	39	16,1±0,5	16,2±1,4	III–IV	0,3	157
7, 9	10Б	35	8,1±1,1	7,5±1,6	IV–V	0,3	298

Таблица 2

Показатели состояния и роста древесных пород
на отвале фосфогипса (данные 2019 года)

№ ПП	Порода	Происхождение	Возраст, лет	Ср. высота, м	Ср. диаметр, см	Кол-во учтенных деревьев, шт.
Нижняя часть склона (рекультивированная), состав насаждения 6Ос2Ив2Б+С						586
1	Осина	Естественное	18	6,13±0,8	5,2±1,1	323
	Ива	Искусственное	35	15,7±1,5	18,5±1,5	121
	Береза повислая	Искусственное	35	16,8±2,5	21,1±2,3	112
3	Сосна обыкновенная	Искусственное	37	17,7±0,6	25,7±1,9	30
Верхняя часть (естественное зарастание), состав насаждения 10Б						68
5	На верхней части отвала фосфогипса встречается самосев березы, произрастающей в крайне неблагоприятных условиях, средний диаметр стволов 2,2±0,4 см, высота не превышает 1–1,5 метра. Стволы, искривленные, листва на момент исследования (середина лета) на 70 % пожелтевшая					

Примечание. Полнота насаждения на рекультивированном участке — 0,6; бонитет — II–III.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что спустя практически 40 лет после рекультивации на отвале фосфогипса происходит процесс замещения насаждений лесных культур на естественные осиновые сообщества. Усыханию больше всего подвержена ива, произрастающая на вершине склона. На неё оказывает деструктивное влияние перемещение грубого обломочного материала с верхних площадок отвала. Береза и сосна, хоть и произрастают по III классу бонитета, сохранились лишь на 30–40 %.

Естественное возобновление хвойных пород обнаружено только на отвалах вскрышных пород и имеет единичный характер (рис. 3), при этом сосна обыкновенная встречается чаще, чем ель европейская. В целом подрост имеет удовлетворительное состояние, однако нередко экземпляры с пожелтевшей хвоей. Средняя высота сосны составляет 137 см, у ели – 68 см, средний диаметр – 3,8 и 2,5 см, соответственно.

Рис. 3. Подрост ели в насаждении березы на отвале вскрышных пород (июль 2019 г.)

Почвенный покров

Средняя актуальная кислотность в почвах месторождения составляет 7,5 ед. pH, что позволяет отнести их к щелочным. Данное обстоятельство представляет интерес, так как для Северо-Запада России характерна слабокислая реакция среды. Щелочной pH обусловлен подстилающими породами. Также была измерена обменная кислотность, которая учитывает ионы водорода и алюминия, находящиеся в почвенно-поглощающем комплексе. В среднем этот показатель равен 6,9 ед. pH, что также свидетельствует о преимущественно щелочной реакции среды. Причины аналогичны ситуации с актуальной кислотностью.

Среднее содержание гумуса в отобранных пробах почвы – 2,7 %, что является достаточно высоким для почв рассматриваемого региона. По-видимому, избыток питательных элементов в подстилающих породах позволил растениям способствовать накоплению большего количества органики в почве.

Количество общего азота в почве в среднем составляет 0,1 %, что свидетельствует о естественных процессах аккумуляции и трансформации его в корнеобитаемом слое почвы, относящейся к легким суглинкам; в песчаных и супесчаных субстратах азота как минимум на порядок меньше. фосфора (в P_2O_5) характеризуется показателем 4,9 мг-экв/100 г почвы. Следует отметить, что его значение не претерпело существенных изменений за последние 20 лет: в 90-е годы в грунтах, сформированных на отвалах фосфогипса, фосфора было 4,1–5,9 мг-экв/100 г. Среднее содержание кальция на месте рекультивированных карьеров 7,8 мг-экв/100 г, что незначительно превышает зафиксированное значение в исследованиях 90-х годов (5,0 мг-экв/100 г почвы). Магния в среднем оказалось 6,3 мг-экв/100 г почвы. Это достаточно высокий показатель. Вероятно, здесь наблюдается влияние подстилающих пород.

Как уже указывалось, большая часть почв оказалась по гранулометрическому со-

ставу лёгкими суглинками, что приближает образовавшиеся поверхностные горизонты по физическим свойствам к зональным дерновым горизонтам (АУ – серогумусовый (дерновый) горизонт). Однако такая ситуация наблюдается не везде. В почвенном покрове, сформированном на отвалах фосфогипса, ещё визуальнo заметно влияние подстилающей породы на цвет, гранулометрический состав и другие физические свойства горизонта. Например, цветовой оттенок горизонта на отвалах фосфогипса, несмотря на складированные сверху насыпные грунты, до сих пор остаётся слишком светлым для зональных типов почв.

В почвенной пробе на ПП № 1, взятой на склоне отвала фосфогипса под берёзовыми насаждениями, наблюдалась аномально высокое (по сравнению с другими образцами) содержание кальция, фосфора и общего азота, а именно: 53,2 мг-экв/100 г, 14,5 мг-экв/100 г почвы и 0,4 %, соответственно. Очевидно, это также

можно объяснить влиянием подстилающих пород, которыми и является сам фосфогипс. Формула данного продукта производства – $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, в качестве примеси присутствуют различные соединения фосфора: фосфорная кислота, моно- и дикальций фосфат. Как видим, обилие кальция и соединения фосфора дают повышенные концентрации данных элементов в почвенных растворах. Для подтверждения этого предположения стоит отметить пробу № 3, которая тоже была взята на склоне отвала фосфогипса – под сосновым сообществом. Как видно из таблицы 3, содержание фосфора и кальция тоже велики в сравнении с другими образцами. Хочется отметить ситуацию с содержанием азота. В пробе № 1 общее содержание азота составляет 0,4 %, а в других – не превышает 0,1 %. Вероятно, это связано с более тяжёлым гранулометрическим составом почвы, позволяющим соединениям азота более эффективно закрепляться в корневом слое.

Таблица 3

Результаты лабораторных исследований почвенных проб, отобранных на участках рекультивации Кингисеппского месторождения фосфоритов

№ ПП	$\text{pH}_{\text{вод}}$	$\text{pH}_{\text{сол}}$	Гумус, %	Азот, %	P_2O_5 , мг-экв/100 г почвы	Са, мг-экв/100 г почвы	Mg, мг-экв/100 г почвы	Гранулометрический состав
1	7,2	6,7	3,1	0,40	14,5	53,2	0,3	Средний суглинок
2	7,1	6,7	3,4	0,05	3,8	16,9	4,7	Лёгкий суглинок
3	7,1	6,3	3,4	0,05	11,4	20,2	3,0	Супесь
4	7,6	6,8	2,4	0,05	3,0	10,0	0,5	Лёгкий суглинок
5	7,4	6,6	0,7	0,02	2,3	8,4	3,6	Лёгкий суглинок
6	7,6	7,0	1,6	0,09	2,9	4,9	0,5	Лёгкий суглинок
7	7,9	7,2	1,4	0,07	4,1	10,9	43,8	Лёгкий суглинок
8	7,9	7,3	5,3	0,09	1,1	2,7	0,2	Лёгкий суглинок
9	8,0	7,3	3,2	0,05	1,2	0,9	0,2	Супесь

В целом, хочется отметить, что производство фосфорных удобрений оставляет после себя богатые питательными веществами объекты, и субстраты, формирующиеся здесь, могут вполне эффективно использоваться для роста и развития лесных насаждений при лесоразведении, а при отсутствии загрязнения почвенного покрова, атмосферного воздуха и грунтовых вод — возможно, даже и для производства сельскохозяйственной продукции.

Был проведён корреляционный анализ полученных данных с целью установления

взаимосвязи между содержанием различных элементов и поиска закономерностей, существующих в природной среде на исследованной территории. Так как всего 9 проб, то критическое значение коэффициента корреляции при ($p = 0,05$) составило 0,666. То есть, все числа, превышающие по модулю данное значение, могли свидетельствовать о наличии взаимосвязи между показателями. Значимые коэффициенты корреляции для имеющихся данных приведены в таблице 4.

Таблица 4

Значимые коэффициенты корреляции между актуальной и потенциальной кислотностью почв, содержанием в них общего азота, фосфора фосфатов, кальция, гранулометрическим составом и типом техногенного объекта

Параметры	$pH_{\text{вод}}$	$pH_{\text{сол}}$	Азот	P_2O_5	Ca	Объект	Гранулометрический состав
$pH_{\text{вод}}$	1,00	-	-	-	-	-	-
$pH_{\text{сол}}$	0,92	1,00	-	-	-	-	-
Азот	-	-	1,00	-	-	-	-
P_2O_5	-	-	0,73	1,00	-	-	-
Ca	-	-	0,88	0,91	1,00	-	-
Тип техногенного объекта (отвалы фосфогипса и отвалы вскрышной породы)	-	0,75	-	-0,71	-	1,00	-
Гранулометрический состав	-	-	0,71	-	-	-	1,00

Вполне обоснованной выглядит сильная корреляция (0,92) между актуальной и обменной кислотностью, поскольку эти они характеризуют концентрацию в почве одних и тех же ионов, только при разной экстракции. Стоит отметить корреляцию (0,75) между обменной кислотностью и объектом исследования. В данном случае это стоит трактовать как то, что почвенно-поглощающий комплекс образцов, отобранных на склонах хранилища фосфогипса, менее насыщен ионами водорода и алюминия, чем в почвенных образцах с

отвалов вскрышных пород. Иными словами, поверхностная порода, изъятая при добыче сырья для фосфорных удобрений, оказывается чуть более щелочным субстратом для формирования почв, чем фосфогипс.

Наблюдается взаимная корреляция между тремя химическими элементами — кальцием, азотом и фосфором. Вероятно, это обусловлено геохимическими особенностями территории Ордовикского карбонатного плато, вблизи которого расположен район исследований.

Как уже отмечалось выше, имеется корреляция (0,71) между гранулометрическим составом почвы и общим содержанием азота. Чем более тяжёлый механический состав имеет субстрат, тем интенсивнее там идут процессы накопления соединений азота. Ещё это может быть связано с тем, что на лёгком механическом составе закрепляется меньше растений, что не даёт сформировать эффективный цикл накопления азота.

Отметим также, что фосфора накапливается больше на отвалах фосфогипса, что объясняется составом этого продукта.

Выводы

На отвалах вскрышных пород наиболее закрепившиеся лесные насаждения, которые за 35–38 лет не деградировали и образовали лесные экосистемы, сформированы следующими древесными породами: береза повислая, ель европейская, лиственница Сукачева и сосна обыкновенная. Растения других видов, которые использовались при рекультивации в 80-е годы, погибли или встречаются лишь в единичных экземплярах (тополь берлинский, карагана древовидная).

Показатели состояния и роста древостоя в целом соответствуют средним показателям по региону, и отклонений в развитии лесных насаждений на техногенном субстрате не наблюдается.

На исследованных площадках практически не было обнаружено естественного возобновления хвойных пород.

Почвенный покров, сформировавшийся на техногенных объектах Кингисеппского месторождения фосфоритов, имеет высокое содержание азота, кальция и фосфора, что благоприятно сказывается на росте растительности. Источником данных элементов, скорее всего, являются подстилающие породы.

Накоплению азота способствует не только химический состав подстилающих пород, но и гранулометрическая структура насыпного грунта. При проведении рекультивации стоит учитывать, что такой необходимый в развитии растительности элемент как азот аккумулируется в тяжёлых по гранулометрическому составу субстратах.

Несмотря на то, что почвы Северо-Запада России имеют в природных условиях в основном слабокислую реакцию, на территории Кингисеппского месторождения фосфоритов нами была зафиксирована почти повсеместно слабощелочная реакция субстратов, что обусловлено карбонатными подстилающими породами.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-35-90099.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абакумов, Е.В. Почвообразование в посттехногенных экосистемах карьеров на Северо-Западе Русской равнины / Е.В. Абакумов, Э.И. Гагарина. – СПб. : Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2006. – 208 с.
2. Абакумов, Е.В. Регенерационное почвообразование в посттехногенных экосистемах карьерно-отвальных комплексов Северо-Запада России : автореф. дис. ... канд. биол. наук / Абакумов Евгений Васильевич. Санкт-Петербург, 2004. – 16 с.
3. ГОСТ 17.4.4.02–2017. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа : взамен ГОСТ 17.4.4.02–84 : дата введ. 01.01.2019 / разработ. Ассоциацией «НП КИЦ СНГ». – М. : Стандартинформ, 2018. – 12 с.
4. ГОСТ 26107–84. Почвы. Методы определения общего азота : дата введ. 01.01.1985 / разработ. Министерством сельского хозяйства СССР. – М. : Государственный комитет СССР по стандартам, 1984. – 10 с.
5. ГОСТ 26428–85. Почвы. Методы определения кальция и магния в водной вытяжке : дата введ. 01.01.1986. – М. : Государственный комитет СССР по стандартам, 1985. – 12 с.

6. Дмитрикова, Я.А. Восстановление почвенно-растительного покрова на участках рекультивации Кингисеппского месторождения фосфоритов / Я.А. Дмитрикова, Е.В. Абакумов // Почвоведение. – 2018. – № 5. – С. 630–640.
7. Опекунова, М.Г. Методы физико-химического анализа почв и растений / М.Г. Опекунова, И.Ю. Арестова, Е.Ю. Елсукова, Н.А. Шейнерман – СПб : Изд-во СПбГУ, 2015. – 86 с.
8. Разработка методов и технологий лесной рекультивации нарушенных земель с использованием посадочного материала «Брикет» : отчет о НИР (заключ.) / ЛенНИИЛХ ; рук. Маслаков Е.Л. ; испол.: Самков Ю.Е., Мойко М.Ф. – Л., 1990. – 180 с.
9. Самков, Ю.Е. Лесокультурное закрепление отвалов промышленных отходов на примере Кингисеппского ПО «Фосфорит» : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Самков Юрий Ефимович. – Санкт-Петербург, 1993. – 19 с.
10. Трещевская, С.В. Особенности мелиорации промышленных отвалов Курской магнитной аномалии культурами сосны : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Трещевская Светлана Викторовна. – Волгоград, 2015. – 18 с.

REFERENCES

1. Abakumov E.V., Gagarina E.I. Pochvoobrazovanie v posttehnogennykh ehkosistemakh kar'erov na Severo-Zapade Russkoj ravniny. St. Peterburg, 2006, 208 p. (In Russian)
2. Abakumov E.V. Regeneratsionnoe pochvoobrazovanie v posttehnogennykh ehkosistemakh kar'erno-otval'nykh kompleksov Severo-Zapada Rossii. Extended abstract of candidate's thesis. Abakumov Evgenij Vasil'evich. St. Peterburg, 2004, 16 p. (In Russian).
3. GOST 17.4.4.02–2017. Okhrana prirody. Pochvy. Metody otbora i podgotovki prob dlya khimicheskogo, bakteriologicheskogo, gel'mintologicheskogo analiza. Moscow, 2018, 12 p. (In Russian)
4. GOST 26107–84. Pochvy. Metody opredeleniya obshhego azota. Moscow, 1984, 10 p. (In Russian)
5. GOST 26428–85. Pochvy. Metody opredeleniya kal'tsiya i magniya v vodnoj vytyazhke. Moscow, 1985, 12 p. (In Russian)
6. Dmitrakova Ya.A., Abakumov E.V. Vosstanovlenie pochvenno-rastitel'nogo pokrova na uchastkakh rekul'tivatsii Kingiseppskogo mestorozhdeniya fosforitov. *Pochvovedenie*. 2018, no. 5, pp. 630–640. (In Russian)
7. Opekunova M.G., Arestova I.Yu., Elsukova E.Yu., Shejnerman N.A. Metody fiziko-khimicheskogo analiza pochv i rastenij. St. Peterburg, 2015, 86 p. (In Russian)
8. Razrabotka metodov i tekhnologij lesnoj rekul'tivatsii narushennykh zemel' s ispol'zovaniem posadochnogo materiala "Briket", otchet o NIR, LenNIILKh, ruk. Maslakov E.L., ispoln. Samkov Yu.E., Mojko M.F, Leningrad., 1990, 180 p. (In Russian)
9. Samkov Yu.E. Lesokul'turnoe zakreplenie otvalov promyshlennykh otkhodov na primere Kingiseppskogo PO "Fosforit". Extended abstract of candidate's thesis, St. Peterburg, 1993, 19 p. (In Russian)
10. Treshhevskaya S.V. Osobennosti melioratsii promyshlennykh otvalov Kurskoj magnitnoj anomalii kul'turami sosny. Extended abstract of candidate's thesis, Volgograd, 2015, 18 p. (In Russian)

Статья поступила в редакцию 12.03.2021