

АНТРОПОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА РАСТИТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ

ФОРМИРОВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ПРИ ЛЕСНОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ПЕСЧАНО-ГРАВИЙНОГО КАРЬЕРА В РЕСПУБЛИКЕ КАРЕЛИЯ

© 2022 г. Е. Э. Костина¹, *, Г. В. Ахметова¹, А. Н. Пеккоев¹, **В. А. Харитонов¹**, А. М. Крышень¹

¹Институт леса – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Федерального исследовательского центра “Карельский научный центр Российской академии наук”,
г. Петрозаводск, Россия

*e-mail: kostina@krc.karelia.ru

Поступила в редакцию 06.05.2022 г.

После доработки 10.06.2022 г.

Принята к публикации 21.06.2022 г.

Проанализировано состояние биогеоценозов, созданных в ходе искусственного лесовосстановления, через 30 лет после посадки *Pinus sylvestris* в двух вариантах рекультивации – без улучшения свойств песчано-гравийного субстрата и с добавлением в него торфа (торфяной смеси). В первом варианте сообщество представлено сосняком лишайниковым 5 класса бонитета, со слабо развитым живым напочвенным покровом и доминированием лишайников *Cladonia* spp. и *Stereocaulon tomentosum*. В этих условиях формируются почвы, находящиеся к моменту исследования на начальных стадиях почвообразования – псаммоземы серогумусовые. Выявлено, что рекультивация, сводящаяся только к посадке древесных растений (сосны), не способствовала ускоренному формированию полноценного биогеоценоза. Применение для рекультивации органического вещества в виде торфяного субстрата (второй вариант) привело к развитию более высокопроизводительного биоценоза (на 3 класса бонитета). Отмечено более высокое видовое разнообразие напочвенного покрова и формирование более сложноорганизованных почв – серогумусовых реплантоземов. При абсолютно равных начальных условиях восстановления почвы и растительности, добавление в субстрат торфа явилось решающим фактором, определившим дальнейший путь развития биогеоценоза. Торф повышает плодородие исходного минерального субстрата, улучшая его химические и физические свойства, и является источником диаспор многих аборигенных лесных и болотных видов растений.

Ключевые слова: песчано-гравийный карьер, рекультивация, *Pinus sylvestris* L., биоразнообразие, восстановление растительности, почвообразование

DOI: 10.31857/S0033994622030074

В результате добычи полезных ископаемых открытым способом происходит удаление почвенного покрова и растительности, изменение рельефа, что приводит к коренному преобразованию условий местопроизрастания. Восстановление биогеоценозов на подобных техногенных землях происходит по типу первичной сукцессии и на начальных стадиях зависит от множества внешних факторов [1–4]. Для полного восстановления естественной растительности на таких территориях, особенно на малопродуктивных грунтах, требуется длительное время [5]. В северных широтах при восстановлении почвенно-растительного покрова отмечают особенно затянутые первоначальные сукцессионные стадии [4, 6–10]. Значительное ускорение процессов восстановления нарушенного растительного покрова в таежной зоне возможно при использовании методов лесной рекультивации. В мире к настоящему вре-

мени накоплен значительный опыт по вопросам искусственного восстановления нарушенных земель [11–16]. Прогноз эффективности восстановления исходной растительности базируется на знаниях о закономерностях естественного формирования сообществ на минеральных субстратах [6, 17–21], роста и устойчивости искусственных насаждений [22–24] и определяется особенностями подготовки участка перед созданием лесных культур [25–27].

В настоящее время на территории Республики Карелия нарушенные земли занимают 13.4 тыс. га [28]. В данной категории земель в Карелии наиболее распространены небольшие (до 3 га) карьеры от добычи песчано-гравийного материала (ПГМ). Для рекультивации таких объектов рекомендуется создавать лесные культуры [29, 30]. Однако вопросы рекультивации карьеров в республике остаются малоизученными [29, 31–33], а сведе-

ния о региональных особенностях естественного восстановления почвенно-растительного покрова являются важным элементом успешного восстановления нарушенных территорий [34]. Успешное выращивание древостоев имеет не только экологическое, но и экономическое значение с учетом стратегий развития района.

Целью данной работы было выявление особенностей формирования почвенно-растительного покрова на минеральном субстрате и при внесении торфа при проведении лесной рекультивации песчано-гравийного карьера.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объектом изучения служил карьер по добыче песчано-гравийного материала (урочище “Лосинный карьер”), площадью около 6 га, расположенный в Кондопожском районе Республики Карелия (координаты: 62.101917° N, 33.969944° E). Район исследования расположен в денудационно-тектоническом грядовом типе ландшафта среднетаежной подзоны Восточной Фенноскандии. Четвертичные отложения представлены флювиогляциальными формами рельефа – узкими озовыми грядами, сложенными песками и гравием. Климат территории умеренно-континентальный. Среднегодовая температура 3.1 °С, сумма осадков – 600–650 мм [35].

Территория относится к Заонежскому флористическому району, отличающемуся богатой флорой и разнообразием растительности [36]. Наиболее распространены ельники и сосняки черничные, восстанавливающиеся через стадию доминирования лиственных пород, на возвышенных сухих местообитаниях – сосняки брусничные [37].

Ненарушенный участок леса с естественным почвенно-растительным покровом, фактически представляющий собой растительное сообщество, существовавшее на данной территории до начала разработки карьера – сосняк брусничный, расположен на оставшейся части оза (высота участка – около 10 м относительно уровня дна карьера). В древесном ярусе произрастают *Pinus sylvestris* L., значительно реже *Betula pubescens* Ehrh. (10С + Б); в травяно-кустарничковом ярусе – *Vaccinium vitis-idaea* L. (40%), *V. myrtillus* L. (5%), *Avenella flexuosa* (L.) Drejer (1%), единично – *Calluna vulgaris* (L.) Hull, *Diphysastrum complanatum* (L.) Hollub и *Luzula pilosa* (L.) Willd.; в мохово-лишайниковом – *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. (10%), *Dicranum polysetum* Sw. (3%), *Hylocomium splendens* (Hedw.) B.S.G. (2%). Общее проективное покрытие живого напочвенного покрова составляет 60%. Относительно низкие показатели проективного покрытия живого напочвенного покрова, возможно, связаны с тем, что здесь около 10 лет назад

прошел беглый низовой пожар, повредивший живой напочвенный покров, который к моменту исследований не успел полностью восстановиться.

Для достижения цели исследования проводилась оценка влияния субстрата на рост культур сосны, состав и структуру живого напочвенного покрова, характер и степень проявления почвообразовательных процессов. В мае 1991 г. на предварительно выровненном участке выработанной части карьера на площади 2 га сотрудниками Института леса КарНЦ РАН и работниками Кончезерского лесничества проведены опытно-производственные посадки сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*), однолетними тепличными сеянцами с открытой корневой системой с исходной плотностью 5.0 тыс. шт./га. Ширина междурядий – 2.5–3 м, шаг посадки – 0.7–1.0 м. На части участка (около 0.5 га) посадки осуществлялись в песчаный техногенный субстрат, на поверхность которого дополнительно вносился торфяной субстрат¹. В 2021 г. проведено исследование состояния древостоя и напочвенного покрова на постоянных пробных площадях (ПП) Института леса КарНЦ РАН, размером 25×40 м каждая (рис. 1):

ПП 1 – культуры средней сохранности, сформированные на песчано-гравийном субстрате без внесения торфяного субстрата (рис. 2а);

ПП 2 – культуры высокой сохранности, сформированные на песчано-гравийном субстрате без внесения торфяного субстрата (рис. 2б);

ПП 3 – культуры высокой сохранности, сформированные на песчано-гравийном субстрате с поверхностным внесением торфяного субстрата (рис. 2с).

С целью исключения влияния особенностей рельефа на процессы восстановления растительности было выполнено предварительное инструментальное геодезическое исследование местности с применением стандартного геодезического оборудования (теодолит 2Т30), которое показало отсутствие значимых неровностей в рельефе опытных участков.

На постоянных пробных площадях проведен сплошной пересчет деревьев по диаметру с точностью 0.1 см, измерены высоты у 20–25 модельных деревьев различных ступеней толщины высотометром Suunto-PM5 с точностью 0.25 м. Сохранность лесных культур на пробных площадях определялась как отношение количества жизнеспособных растений на момент исследования к исходной густоте культур и выражалась в процентах.

¹ По причине того, что осуществлялись опытно-производственные посадки сосны, происхождение и точный объем торфа нам неизвестны и документально не подтверждены. Далее в тексте при обозначении данного вида субстрата мы используем термин “торфяной субстрат”.



Рис. 1. Схема расположения постоянных пробных площадей в карьере по добыче ПГМ (источник исходного фото: <https://yandex.ru/maps>).

Fig. 1. The layout of permanent sample plots on reclaimed sand and gravel pit (source of original photo: <https://yandex.ru/maps>).



Рис. 2. 30-летние культуры сосны, созданные в карьере по добыче ПГМ: *a* – ПП 1; *b* – ПП 2; *c* – ПП 3.

Fig. 2. 30-year-old pine artificial stands on reclaimed sand and gravel pit: *a* – SP 1*; *b* – SP 2; *c* – SP 3. * here and further: SP – sample plot.

Геоботаническое описание живого напочвенного покрова включало в себя выявление полного видового состава в пределах каждой ПП и оценку среднего проективного покрытия живого напочвенного покрова в целом и каждого вида по отдельности. Для оценки среднего проективного покрытия на каждой ПП закладывали по 5 площадок размером 1×1 м. Названия видов, а также их принадлежность к аборигенной или адвентивной фракции флоры приведены в соответствии с “Конспектом флоры Карелии” [38]. Для аборигенных видов приводится эколого-ценотическая характеристика по М.Л. Раменской [35]. Экологическая характеристика приводится с сайта www.plantarium.ru [39], где она дана с учетом экологических шкал Г. Элленберга [40, 41], Е. Ландольта [42] и Д.Н. Цыганова [43].

На каждой ПП были заложены почвенные разрезы в четырехкратной повторности. Проведено морфологическое описание почв и отобраны образцы по горизонтам почв в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-2017.

В почвенных образцах определяли физико-химические характеристики общепринятыми методами [44]. Анализы выполнены на научном оборудовании Центра коллективного пользования Федерального исследовательского центра “Карельский научный центр Российской академии наук”. Названия почв даны в соответствии с классификацией почв России [45, 46].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Морфологические и физико-химические свойства почв

Почвы всех пробных площадей характеризуются маломощным профилем (до 30–35 см), песчаным гранулометрическим составом и отличаются сильной каменистостью: содержание скелетной части составляет более 50–60%, в отдельных случаях доходит до 90%. Проведенные исследования показали, что почвы, сформированные на участках без внесения торфа (ПП 1 и 2) и с внесением торфяного субстрата (ПП 3), значительно разли-

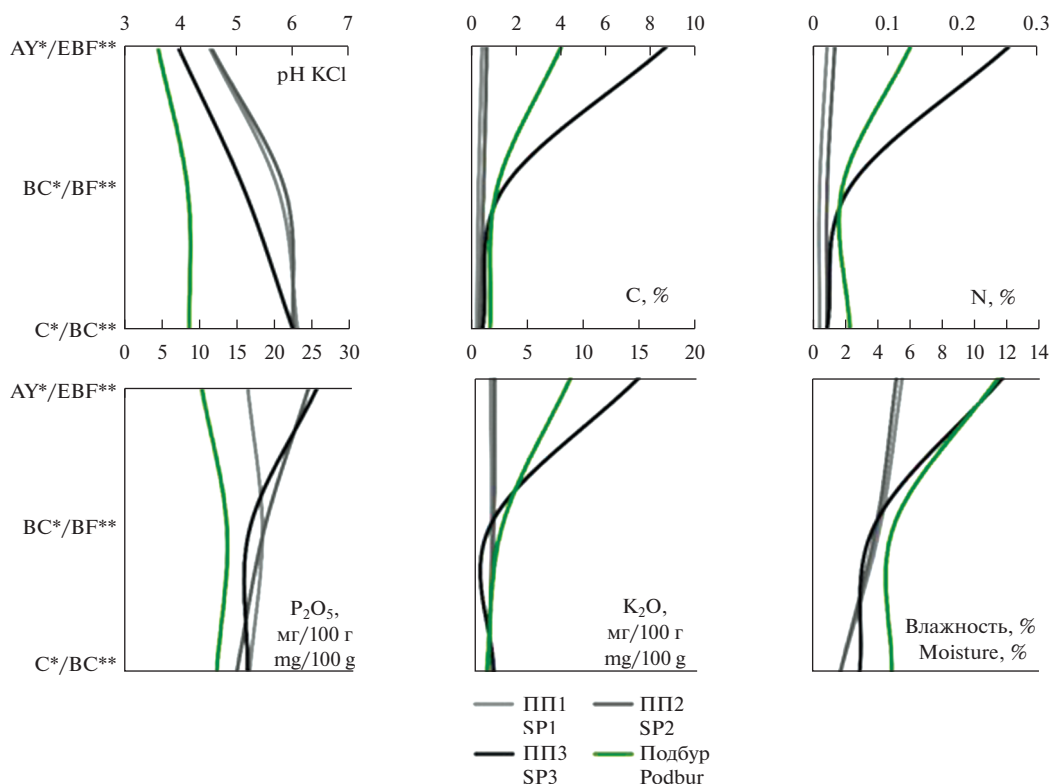


Рис. 3. Физико-химические свойства изучаемых почв. * – индекс горизонта для почв ПП1-3, ** – индекс горизонта подбура.

Fig. 3. Physical and chemical properties of the studied soils. * – horizon index for soils SP 1-3, ** – podbur horizon index

чаются, как по морфологическим, так и по физико-химическим свойствам.

Почвы ПП 1 и 2 имеют небольшую мощность (15–20 см), профиль слабо дифференцирован на горизонты, на поверхности формируется дискретный тонкий слой лесной подстилки. Верхний минеральный слой почвы пропитан гумусом. В почвах ПП 2 отмечается наличие обломков шунгитсодержащих пород. Рассматриваемые почвы можно классифицировать как псаммоземы серогумусовые.

На ПП 3 почвообразовательными процессами преобразован более мощный слой песчано-гравийных отложений – около 30–35 см, отмечено формирование задерненной лесной подстилки небольшой мощности (1–2 см). Торф, использованный в качестве дополнительного субстрата, в настоящее время морфологически не проявляется. Накопление органического вещества за счет разложившегося торфа и поступающего опада способствовало более интенсивному прокрашиванию верхнего минерального слоя и формированию водопрочной комковато-ореховатой структуры. Почва классифицирована как реплантозем серогумусовый на торфяно-минеральной смеси.

На ненарушенном, прилегающем к карьере, участке леса, в условиях сосняка брусничного

формируются подбуры оподзоленные иллювиально-железистые песчаные (Entic Podzols Arenic по классификации WRB) на водно-ледниковых песчаных сильнокаменистых отложениях.

Физико-химические свойства изучаемых почв различаются в зависимости от характера субстрата, на котором они формируются (рис. 3). Показатели кислотности почв ПП 1 и 2 имеют сходные значения, верхние горизонты характеризовались слабокислой реакцией ($pH_{KCl} - 4.5-5$), вниз по профилю кислотность снижалась ($pH_{KCl} - 6$). Верхние горизонты почв ПП 3 отличались более высокими показателями кислотности ($pH_{KCl} - 4$), по сравнению с ПП 1 и 2, тем не менее, вниз по профилю эти значения также снижаются до pH_{KCl} равной 6. В то время как для почв ненарушенного лесного участка (подбур) характерна типичная для зональных почв [47] кислая и сильнокислая реакция (pH_{KCl} от 3.7 до 4.2). Показатели влажности всех горизонтов почв ПП 1 и 2 очень низкие – 5–6%, тогда как лесная подстилка ПП 3 способствует лучшему сохранению влаги верхнего слоя почвы и имеет значения влажности, сходные с характерными для естественных почв – 10–12%.

Содержание органического вещества в минеральных горизонтах исследуемых почв (рис. 3)

также сильно варьировало в зависимости от условий формирования. Минимальные значения содержания углерода характерны для псаммозема ПП 1 (до 0.5–1%), в почве ПП 2 доля органического вещества немного выше – 0.7–1.3%, что, вероятно, связано с шунгитсодержащими включениями. В реплантоземе ПП 3 отмечен довольно высокий уровень углерода – до 15% в серогумусовых горизонтах, распределение его по профилю почв носит регрессивно-аккумулятивный характер, то есть резко снижается с глубиной (до 1%). Отношение C/N, показывающее обогащение органического вещества азотом и темпы минерализации, довольно широкие – 20–30, то есть минерализация идет замедленными темпами и продуцируется небольшое количество азота. Особенности содержания и профильного распределения общего азота в изучаемых почвах сходно с выявленными закономерностями, описанными для органического вещества. Очень низкий уровень обеспеченности азотом отмечен в минеральных горизонтах псаммоземов ПП 1 и 2. Для реплантозема ПП 3 характерно содержание его в верхних гумусированных горизонтах до 0.2–0.4%.

Содержание подвижного фосфора (рис. 3) в верхнем горизонте изменялось в зависимости от условий формирования почвы от 15 до 25 мг/100 г почвы. В почве ненарушенного лесного участка оно было более низким – 10 мг/100 г. Пространственное и профильное распределение подвижного калия в исследуемых почвах сильно различалось, его минимальный уровень в верхнем горизонте наблюдался в псаммоземах ПП 1 и 2 – 1–3 мг/100 г почвы (рис. 3). Наиболее высокое накопление калия не только в лесной подстилке, но в серогумусовых горизонтах выявлено в реплантоземе ПП 3.

Формирование живого напочвенного покрова

В живом напочвенном покрове на всех ПП выявлено 63 вида, из них 11 видов лишайников, 6 – мхов и 46 – сосудистых растений (табл. 1). Большинство видов сосудистых растений (43–94%) являлись аборигенными.

На двух участках без внесения торфа (ПП 1 и 2) из древесных видов отмечены: в подлеске – редко – ива (*Salix caprea*, *S. myrsinifolia*) до 0.3 м высотой, по одному экземпляру ольхи серой (*Alnus incana*) и осины (*Populus tremula*). В подросте выявлены единичные всходы и сеянцы ели (*Picea abies*) и березы (*Betula pubescens*) высотой до 0.1 м. На ПП 3 в подлеске произрастали *Padus avium*, *Salix myrsinifolia*, *S. phylicifolia*, *Sorbus aucuparia*, в подросте – *Picea abies*, *Pinus sylvestris*, *Betula pubescens* и *B. pendula*.

На ПП 1 общее проективное покрытие живого напочвенного покрова составляло 60%, преобладали лишайники *Stereocaulon tomentosum* (30%) и

виды рода *Cladonia* (30%). Единично произрастали 6 видов сосудистых растений (*Antennaria dioica*, *Avenella flexuosa*, *Chamaenerion angustifolium*, *Pilosella officinarum*, *Poa annua*, *Vaccinium vitis-idaea*) и 1 вид мхов (*Polytrichum juniperinum*).

На ПП 2 отмечено 12 видов лишайников, 4 вида сосудистых растений (*Calluna vulgaris*, *Chamaenerion angustifolium*, *Poa annua*, *Vaccinium vitis-idaea*) и 4 вида мхов (*Niphotrichum canescens*, *Pleurozium schreberi*, *Polytrichum juniperinum*, *Rhytidiadelphus triquetrus*). В живом напочвенном покрове преобладали лишайники – виды рода *Cladonia* (30%) и *Stereocaulon tomentosum* (20%). Остальные виды отмечены единично.

На участке с внесением торфа (ПП 3) в живом напочвенном покрове выявлено 35 видов сосудистых растений, 7 видов мхов (*Dicranum polysetum*, *D. scoparium*, *Hylocomium splendens*, *Niphotrichum canescens*, *Pleurozium schreberi*, *Polytrichum juniperinum*, *Rhytidiadelphus triquetrus*) и 1 вид лишайников (*Cladonia cornuta*). ОПП живого напочвенного покрова достигало 90%. Наибольшим проективным покрытием отличались *Calamagrostis arundinacea*, *Deschampsia cespitosa*, *Filipendula ulmaria*, *Vaccinium myrtillus* (по 10%).

Подавляющее большинство видов сосудистых растений живого напочвенного покрова, отмеченных на всех ПП, являются аборигенными – 36 видов (92%). Доля синантропных видов составляет 51%. Среди них 17 апофитов и 3 адвентивных вида (*Alchemilla subcrenata*, *Poa annua* и *Leucanthemum irtutianum*). Два первых заносятся человеком непреднамеренно и являются натурализовавшимися видами, способными внедряться в полустественные и естественные сообщества. Последний вид распространяется самостоятельно по вторичным биотопам [38]. *Poa annua* отмечен на ПП 1 и 2, два других – только на участке с добавлением торфа (ПП 3).

Эколого-ценотический анализ аборигенной фракции видового состава травяно-кустарничкового яруса показал, что большая часть видов (30 видов – 86%), произрастающих на всех ПП, являются лесными (рис. 4). На участках без добавления торфа (ПП 1 и 2) отмечены те лесные виды, которые в естественных условиях произрастают преимущественно в сухих сосняках на малоплодородных почвах – *Antennaria dioica*, *Calluna vulgaris*, *Pilosella officinarum* и *Vaccinium vitis-idaea*, а также 2 вида (*Avenella flexuosa*, *Chamaenerion angustifolium*), характерные для более богатых сосняков. На участке с добавлением торфа (ПП 3) большинство видов (22 вида – 63%) являлись лесными, среди которых преобладали виды более богатых лесов. Это представители сосняков – 11 видов – 31% (*Anthriscus sylvestris*, *Avenella flexuosa*, *Calamagrostis arundinacea*, *Chamaenerion angustifolium*, *Cirsium heterophyllum*, *Fragaria vesca*, *Geranium*

Таблица 1. Видовой состав и проективное покрытие живого напочвенного покрова на участках с посадками сосны обыкновенной в карьере по добыче ПГМ с внесением торфа и без него
Table 1. Species composition and projective cover of living ground vegetation on sand and gravel pit plots reforested with Scots pine on soils with or without peat improvement

Виды Species	Карьер, № ПП Quarry, № SP			Естественное лесное сообщество Natural forest community	ЭЦГ ECG	Экологические группы по шкалам Ecological groups		
	1	2	3			свет light	влажность moisture	почвенное богатство soil fertility
<i>Aegopodium podagraria</i> L.	0	0	5	0	1*	С-Сц/S-Sci	М	Эв/Еу
<i>Agrostis capillaris</i> L.	0	0	+	0	6*	С-Гел/S-Hel	М	Ме-Ол/Ме-Ол
<i>Alchemilla subscrenata</i> Bus.	0	0	+	0	adv/adv	Гел/Hel	М	Ме-Ол/Ме-Ол
<i>Antennaria dioica</i> (L.) Gaertn.	1	0	0	0	3	С-Гел/S-Hel	К-М/Х-М	Ме-Ол/Ме-Ол
<i>Anthoxanthum odoratum</i> L.	0	0	+	0	6*	Гел/Hel	К-М/Х-М	Ме-Ол/Ме-Ол
<i>Anthriscus sylvestris</i> (L.) Hoffm.	0	0	5	0	2*	Гел/Hel	М	Ме-Эв/Ме-Еу
<i>Avenella flexuosa</i> (L.) Drej.	+	0	5	1	2	С-Гел/S-Hel	К-М/Х-М	Ол/Ол
<i>Calamagrostis arundinacea</i> (L.) Roth	0	0	10	0	2*	С-Сц/S-Sci	М	Ме
<i>Calluna vulgaris</i> (L.) Hull	0	1	0	+	3	Гел/Hel	К-М/Х-М	Ол/Ол
<i>Campanula rotundifolia</i> L.	0	0	+	0	4	Гел/Hel	М	Ме-Ол/Ме-Ол
<i>Chamaenerion angustifolium</i> (L.) Scop.	+	+	5	0	2*	Гел/Hel	М-Г/М-Н	Эв/Еу
<i>Cirsium heterophyllum</i> (L.) Hill	0	0	3	0	2	С-Гел/S-Hel	М-Г/М-Н	Ме-Эв/Ме-Еу
<i>Coccyanthe flos-cuculi</i> (L.) Fourr.	0	0	+	0	5*	Гел/Hel	М-Г/М-Н	Ме-Эв/Ме-Еу
<i>Convallaria majalis</i> L.	0	0	4	0	1	Гел/Hel	М	Ме
<i>Deschampsia cespitosa</i> (L.) Beauv.	0	0	10	0	6*	С-Гел/S-Hel	М-Г/М-Н	Ме
<i>Diphysastrum complanatum</i> L.	0	0	0	+	3	Гел/Hel	К-М/Х-М	Ол/Ол
<i>Dryopteris carthusiana</i> (Vill.) H.P. Fuchs	0	0	5	0	4*	С-Сц/S-Sci	М-Г/М-Н	Ме
<i>Filipendula ulmaria</i> (L.) Maxim.	0	0	10	0	5	С-Гел/S-Hel	Г/Н	Ме-Эв/Ме-Еу
<i>Fragaria vesca</i> L.	0	0	+	0	2*	С-Гел/S-Hel	М	Ме-Эв/Ме-Еу
<i>Galium mollugo</i> L.	0	0	1	0	6*	С-Гел/S-Hel	М	Ме-Эв/Ме-Еу
<i>Geranium silvaticum</i> L.	0	0	2	0	2	С-Гел/S-Hel	М-Г/М-Н	Ме-Эв/Ме-Еу
<i>Lathyrus vernus</i> (L.) Bernh.	0	0	+	0	1	Сц/Sci	М	Ме-Эв/Ме-Еу
<i>Leucanthemum ircutianum</i> Turcz. Ex DC	0	0	+	0	adv/adv	Гел/Hel	К-М/Х-М	Ме
<i>Luzula pilosa</i> (L.) Willd.	0	0	0	+	2	С-Сц/S-Sci	М	Ме
<i>Maianthemum bifolium</i> (L.) F.W. Schmidt	0	0	1	0	2	С-Сц/S-Sci	М	Ме

Сосудистые растения
Vascular plants

Таблица 1. Продолжение / Table 1. Continuation

Виды Species	Карьер, № ПП Quarry, № SP			ЭЦГ ECG	Естественное лесное сообщество Natural forest community	Экологические группы по шкалам Ecological groups			почвенное богатство soil fertility
	1	2	3			свет light	влажность moisture		
<i>Melampyrum sylvaticum</i> L.	0	0	2	2	0	С-Гел/S-Hel	М	Мс	
<i>Melica nutans</i> L.	0	0	+	1	0	С-Сцл/S-Sci	М-Г/М-Н	Мс	
<i>Oxalis acetosella</i> L.	0	0	5	1	0	Сцл/Sci	М-Г/М-Н	Мс	
<i>Ornithia secunda</i> (L.) House	0	0	1	4	0	С-Гел/S-Hel	М	Мс-Ол/Мс-ОИ	
<i>Pilosella officinarum</i> F. Schultz et Sch. Bip.	1	0	0	3*	0	С-Гел/S-Hel	К-М/Х-М	Мс	
<i>Poa annua</i> L.	+	+	0	алв/adv	0	С-Гел/S-Hel	М	Эв/Еу/Мс-Еу	
<i>Ranunculus acris</i> L.	0	0	+	6*	0	Гел/Hel	М	Мс	
<i>Rosa acicularis</i> Lindl.	0	0	1	2	0	С-Гел/S-Hel	М	Мс	
<i>Rubus saxatilis</i> L.	0	0	+	2	0	С-Гел/S-Hel	М-Г/М-Н	Мс-Эв/Мс-Еу	
<i>Stellaria graminea</i> L.	0	0	+	7*	0	Гел/Hel	М	Мс	
<i>Trollius europaeus</i> L.	0	0	+	6*	0	Гел/Hel	М-Г/М-Н	Мс	
<i>Vaccinium myrtillus</i> L.	0	0	10	1	5	С-Гел/S-Hel	М	Мс	
<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.	1	1	5	4	40	С-Гел/S-Hel	М	Мс-Ол/Мс-ОИ	
<i>Veronica officinalis</i> L.	0	0	+	3*	0	С-Гел/S-Hel	М	Мс-Эв/Мс-Еу	
<i>Vicia cracca</i> L.	0	0	+	6*	0	Гел/Hel	М	Мс-Эв/Мс-Еу	
<i>Viola canina</i> L.	0	0	+	6	0	С-Гел/S-Hel	М	Мс	
Подорог древесных растений Undergrowth of woody plants									
<i>Alnus incana</i> (L.) Moench	+	+	0	2	0	С-Гел/S-Hel	М-Г/М-Н	Мс	
<i>Betula pubescens</i> Ehrh.	+	+	+	4	+	Гел/Hel	М	Мс	
<i>Betula pendula</i> Roth	0	0	+	4	0	Гел/Hel	М	Мс	
<i>Padus avium</i> Mill.	0	0	+	1	0	С-Гел/S-Hel	М-Г/М-Н	Мс-Эв/Мс-Еу	
<i>Picea abies</i> (L.) Karst.	+	+	+	4	0	С-Сцл/S-Sci	М	Мс	
<i>Pinus sylvestris</i> L.	+	+	+	4	+	Гел/Hel	М	Мс-Ол/Мс-ОИ	
<i>Populus tremula</i> L.	+	+	0	4	0	Гел/Hel	М	Мс	
<i>Salix caprea</i> L.	+	+	0	2	0	С-Гел/S-Hel	М	Мс	
<i>Salix myrsinifolia</i> Salisb.	0	+	+	2	0	Гел/Hel	Г/Н	Мс	
<i>Salix phylicifolia</i> L.	0	0	+	4	0	Сцл/Sci	М-Г/М-Н	Мс	
<i>Sorbus aucuparia</i> L.	0	0	+	2	0	С-Сцл/S-Sci	М	Мс	
Всего Total	12	11	43		8				
в т.ч. древесных растений including woody plants	6	7	8		2				

Таблица 1. Окончание / Table 1. Ending

Виды Species	Карьер, № ПП Quarry, № SP			ЭЦГ ECG	Экологические группы по шкалам Ecological groups	
	1	2	3		свет light	почвенное богатство soil fertility
Лишайники Lichens						
<i>Cladonia arbuscula</i> (Wallr.) Flot.	10	10	0			
<i>Cladonia rangiferina</i> (L.) Web.	10	10	0			
<i>Cladonia stellaris</i> (Opiz) Pouzar et Vězda	10	10	0			
<i>Cladonia deformis</i> (L.) Hoffm.	+	+	0			
<i>Cladonia coniocraea</i> (Florke) Spreng.	+	+	0			
<i>Cladonia decorticata</i> (Florke) Spreng.	+	+	0			
<i>Cladonia verticillata</i> (Hoffm.) Schaer.	+	+	0			
<i>Cladonia</i> cf. <i>merochlorophaea</i> Asahina	+	+	0			
<i>Cladonia crispata</i> (Ach.) Flot.	+	+	0			
<i>Cladonia gracilis</i> subsp. <i>Turbinata</i> (Ach.) Ahti	5	+	0			
<i>Cladonia cornuta</i> (L.) Hoffm.	+	+	+			
<i>Stereocaulon tomentosum</i> Fr.	30	20	0			
Мхи Mosses						
<i>Dicranum polysetum</i> Sw.	0	0	+			
<i>Dicranum scoparium</i> Hedw.	0	0	4			
<i>Hypocnemium splendens</i> (Hedw.) Br.	0	0	2			
<i>Niphotrichum canescens</i> (Hedw.) Bednarek-Ochyra & Ochyra	0	+	+			
<i>Polyptrichum juniperinum</i> Hedw.	+	+	3			
<i>Pleurozium schreberi</i> (Brid.) Mitt	0	+	5			
<i>Rhytidadelphus triquetrus</i> (Hedw.) Warnst.	0	+	1			
Всего видов мхов и лишайников Total species of mosses and lichens	13	16	8			
Общее проективное покрытие Total projective cover	60	50	90			

Примечания. Знаком "+" отмечено проективное покрытие менее 1%; * – еваофиты по сводке А.В. Кравченко [38].
Эколого-педотические группы (ЭЦГ) приводятся по монографии М.Л. Раменской (1983): 1 – лесные эвтрофные мезогитрофиты сциофиты; 2 – лесные мезоолиготрофные мезозофиты сциофиты-семигелиофиты; 3 – лесные олиготрофные ксерофиты-гелиофиты; 4 – лесные виды с широкой экологической амплитудой; 5 – болотные эу-мезотрофы; 6 – луговые мезогитрофиты; 7 – прибрежные пресноводных водоемов; адв – адвентивный вид.
Экологические группы. По отношению к свету: Гел – гелиофит, С-Гел – семигелиофит, С-Сц – семисциофит, Сц – сциофит; по отношению к влажности: К-М – ксеро-мезофит, М – мезофит, М-Г – мезо-гигрофит, Г – гигрофит; по отношению к плодородию почвы: Ол – олиготроф, Ме-Ол – мезо-олиготроф, Ме – мезотроф, Ме-Эв – мезо-эвтроф, Эв – эвтроф.
 Note. The "+" sign marks the projective cover less than 1%; * – euarophytes by A.V. Kravchenko [38].
Ecological-coenotic groups (ECG) are given according to M.L. Ramenskaya monograph (1983): 1 – forest eutrophic meso-hygrophilous sciophilous species; 2 – forest meso-oligotrophic mesophilous sciophilous-semiheliophilous species; 3 – forest oligotrophic xerophilous heliophilous species; 4 – forest species with a wide ecological amplitude; 5 – meso-eutrophic mire species; 6 – meso-hygrophilous plants of meadows; 7 – species of freshwater shores, adv – advent species.
Ecological groups. With respect to light: Hel – heliophilous, S-Hel – semi-heliophilous, S-Sci – semi-sciophilous, Sci – sciophilous; with respect to moisture: X-M – xero-mesophilous, M – mesophilous, M-H – meso-hygrophilous, H – hygrophilous, H-Hy – hydro-hygrophilous; with respect to soil fertility: OI – oligotrophic, Me-OI – meso-oligotrophic, Me – mesotrophic, Me-Eu – meso-eutrophic, Eu – eutrophic.

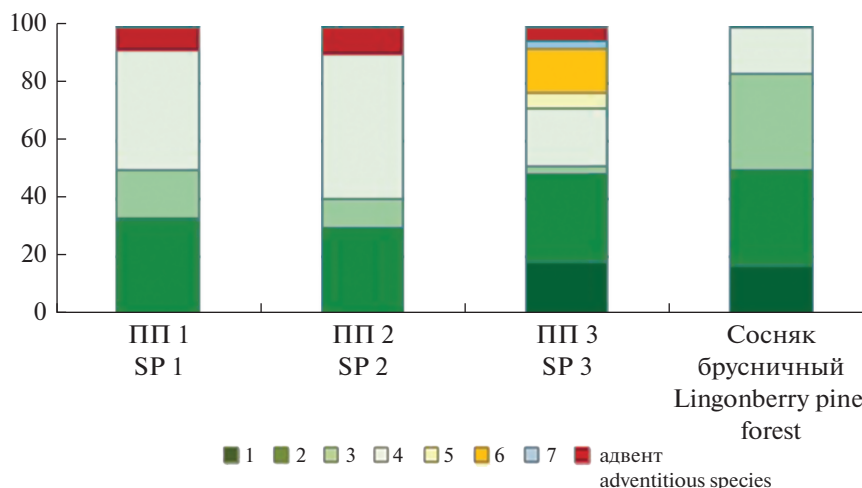


Рис. 4. Эколого-ценотическая структура видового состава сосудистых растений живого напочвенного покрова на участках с посадками сосны в карьере по добыче ПГМ и естественном лесном сообществе. По вертикали – относительное участие (в %) от абсолютного числа видов; Цифрами обозначены номера эколого-ценотических групп по М.Л. Раменской (1983). Полные названия – см. в обозначениях к таблице 1; адвент – адвентивный вид.

Fig. 4. Ecological and coenotic structure of living ground cover vascular plants species composition on sand and gravel pit plots reforested with Scots pine and in natural forest community. Y-axis – relative participation (%) of the total number of species; the numbers indicate the ecological and coenotic groups according to M.L. Ramenskaya (1983). See abbreviations in the notes to table 1.

sylvaticum, *Maianthemum bifolium*, *Melampyrum sylvaticum*, *Rosa acicularis*, *Rubus saxatilis*) и ельников – 6 видов – 17% (*Aegopodium podagraria*, *Convallaria majalis*, *Lathyrus vernus*, *Melica nutans*, *Oxalis acetosella*, *Vaccinium myrtillus*). Еще 4 из выявленных лесных видов в естественных условиях могут произрастать в разных типах лесных сообществ. Кроме того, отмечено 8 луговых видов, 7 из которых являлись апофитами (*Agrostis capillaris*, *Anthoxanthum odoratum*, *Deschampsia cespitosa*, *Galium mollugo*, *Ranunculus acris*, *Trollius europaeus*, *Vicia cracca*), 1 вид прибрежных (*Stellaria graminea*) и 2 вида переувлажненных местообитаний (*Coccyganthe flosculi*, *Filipendula ulmaria*). Все они, за исключением *Filipendula ulmaria*, являются апофитами. В естественном лесном сообществе предсказуемо преобладали виды, характерные для сосновых лесов.

В сложении общего проективного покрытия (ОПП) травяно-кустарничкового яруса доли эколого-ценотических групп распределены следующим образом. На участке с внесением торфа (ПП 3) наибольшее ОПП имеют виды богатых лесных сообществ. Среди них *Vaccinium myrtillus*, *Calamagrostis arundinacea* (по 10%), *Aegopodium podagraria* (5%), *Convallaria majalis* (4%) и др. в совокупности – 61%. За ними следуют виды с широкой экологической амплитудой (13%), из которых наибольшим проективным покрытием отличаются *Dryopteris carthusiana* и *Vaccinium vitis-idaea* – по 5%, и луговые виды (13%), среди которых доминирует луговой апофит *Deschampsia cespitosa* (10%). Проективное покрытие видов переувлажненных местообитаний составляет 11%, среди них доми-

нирует *Filipendula ulmaria* (10%). На участках без внесения торфа соотношение групп в сложении ОПП иное: большую часть напочвенного покрова составляют лишайники (50–60%), участие сосудистых растений характерно для бедных сосняков (*Antennaria dioica*, *Calluna vulgaris*, *Pilosella officinarum*) незначительно – 7% на ПП 1 и 5% на ПП 2.

Анализ видового состава травяно-кустарничкового яруса по отношению к световому фактору (рис. 5a) показал, что в целом на всех ПП в живом напочвенном покрове преобладали светолюбивые виды – семи- и гелиофиты (19 и 18 видов – 49 и 46% соответственно). На участках без добавления торфа (ПП 1 и 2) отмечены только семи- и гелиофиты, тогда как на ПП 3 также присутствовали семисциофиты – 5 видов (14%) и сциофиты – 2 вида (6%).

По отношению к почвенному увлажнению (рис. 5b), на всех ПП в видовом составе преобладали мезофиты – 22 вида (56%), за ними следуют мезо-гигрофиты – 10 видов (26%), ксеро-мезофиты – 6 видов (15%) и гигрофиты – 1 вид (3%). На (ПП 1 и 2) преобладали ксеро-мезофиты и мезофиты; на ПП 3 – мезофиты и мезо-гигрофиты (21 и 10 соответственно).

По отношению к почвенному плодородию (рис. 5c) в видовом составе преобладали мезотрофы – 16 (41%). За ними в порядке уменьшения следует мезо-эвтрофы – 11 видов (28%), мезо-олиготрофы – 7 видов (18%), эвтрофы – 3 вида (8%), олиготрофы – 2 вида (5%). На ПП 1 и 2 среди шести произраставших здесь видов травяно-кустарничкового яруса отмечено по 2 мезо-

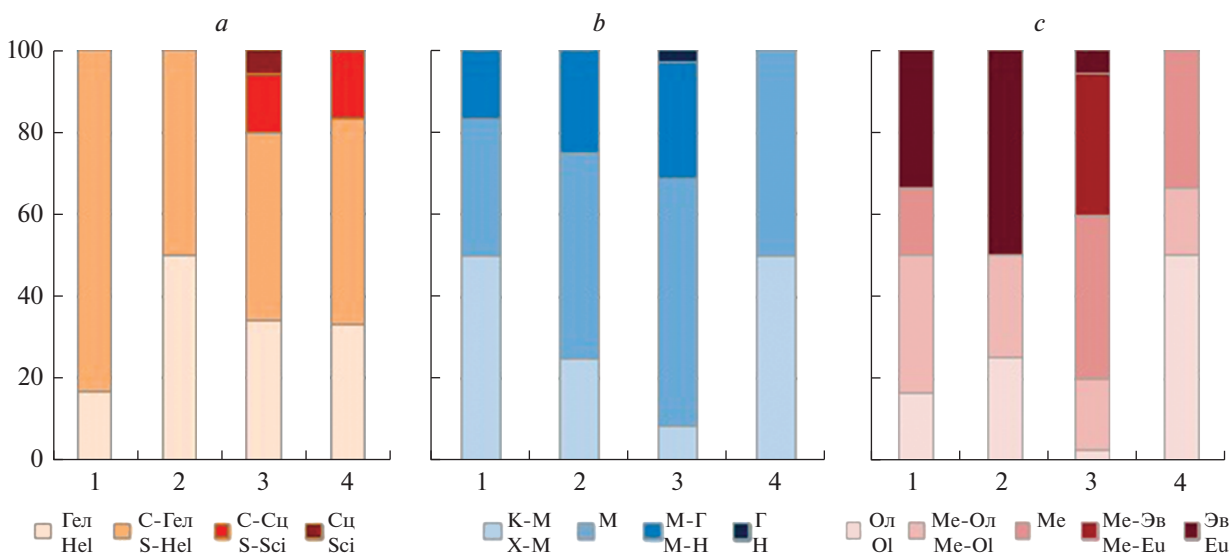


Рис. 5. Соотношение числа видов сосудистых растений в живом напочвенном покрове по отношению к экологическим факторам на участках с посадками сосны в карьере по добыче ПГМ и естественном лесном сообществе. По вертикали: относительное участие (в %) от абсолютного числа видов; по горизонтали: 1 – ПП 1, 2 – ПП 2, 3 – ПП 3, 4 – сосняк брусничный (естественное лесное сообщество). *a* – освещенность (Гел – гелиофит, С-Гел – семигелиофит, С-Сц – семисциофит, Сц – сциофит), *b* – влажность (К-М – ксеро-мезофит, М – мезофит, М-Г – мезо-гигрофит, Г – гигрофит), *c* – плодородие почвы (Ол – олиготроф, Ме-Ол – мезо-олиготроф, Ме – мезотроф, Ме-Эв – мезо-эвтроф, Эв – эвтроф).
Fig. 5. The ratio of the number of vascular plant species of living ground cover in relation to environmental factors on sand and gravel pit plots reforested with Scots pine and in natural forest community. Y-axis: relative participation (%) of the total number of species; x-axis: 1 – SP 1, 2 – SP 2, 3 – SP 3, 4 – lingonberry pine forest *Pinus sylvestris*–*Vaccinium vitis-idaea* (natural forest community). *a* – illumination (Hel – heliophilous, S-Hel – semi-heliophilous, S-Sci – semi-sciophilous, Sci – sciophilous), *b* – humidity (X-M – xero-mesophilous, M – mesophilous, M-H – meso-hygrophilous, H – hygrophilous), *c* – soil fertility (Ol – oligotrophic, Me-Ol – meso-oligotrophic, Me – mesotrophic, Me-Eu – meso-eutrophic, Eu – eutrophic).

олиготрофа и эвтрофа и по одному олиготрофу и мезотрофу. На ПП 3 по отношению к плодородию почвы в видовом составе значительно преобладали мезотрофы (14 видов) и мезо-эвтрофы (12 видов).

В естественном лесном сообществе в видовом составе травяно-кустарничкового яруса по отношению к освещенности в близких долях представлены семи- и гелиофиты, по отношению к влажности – ксеро-мезофиты и мезофиты; по от-

ношению к почвенному богатству преобладали олиготрофы.

Сохранность и рост лесных культур сосны

Сохранность лесных культур является важным показателем при определении эффективности лесовосстановительных мероприятий. Приживаемость культур первого года на всех ПП была довольно высокой и составляла 88–91%. Спустя

Таблица 2. Таксационная характеристика 30-летних культур сосны обыкновенной на постоянных пробных площадях
Table 2. Mensurational characteristics of 30-year-old Scots pine stands on sample plots

№ ПП № Sample plots	Густота, шт./га Density, ind./ha	Сохранность культур, % Preservation of forest crops, %	Средние Average		Полнота Areal density		Бонитет Quality class	Запас, м³/га Volume, m³/ha
			диаметр, см diameter, cm	высота, м height, m	абсолютная basal area, m²/ha	относительная relative density		
1	2680	54	4.3	3.1	3.6	0.3	V,9	12
2	3280	65	5.0	4.2	6.0	0.4	V,2	20
3	2990	60	10.4	10.5	26.0	1.1	II,5	144

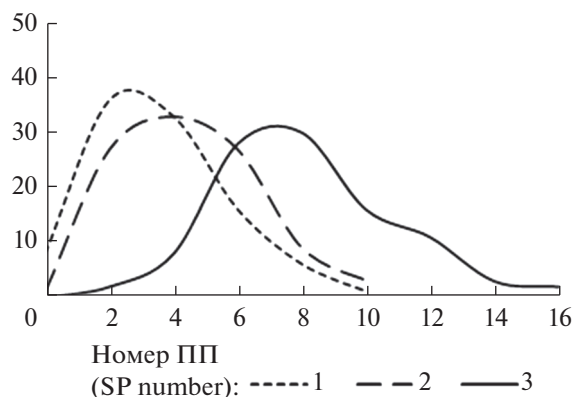


Рис. 6. Распределение культур сосны по диаметру в зависимости от типа субстрата (ПП 1 и ПП 2 – песчаный субстрат, ПП 3 – песчаный субстрат с торфом). По вертикали – количество деревьев, %; по горизонтали – диаметр, см.

Fig. 6. Diameter distribution of pine crops depending on substrate (SP 1 and SP 2 – sandy substrate, SP 3 – sandy substrate with peat). Y-axis – the number of trees, %; x-axis – diameter, cm.

З десятилетия наиболее высокая сохранность (60–65%) наблюдалась в варианте посадок сосны на ПП 2 и 3 (табл. 2).

К 30-летнему возрасту культур разница между исследуемыми вариантами по среднему диаметру достигала 2.1–2.4 крат, а по средней высоте 2.5–3.4 крат. Данное преимущество отразилось в накоплении запаса древесины, который на ПП 3 составлял 144 м³/га, в то время как на участках ПП 1 и 2 составлял всего 12 и 20 м³/га соответственно. Продуктивность местопроизрастания благодаря внесению торфа повысилась в среднем на 3 класса бонитета.

Существенные различия в росте культур сосны нашли отражение в характере распределения деревьев в насаждениях (рис. 6). На ПП 1 в возрасте 30 лет 8% деревьев еще не достигли высоты 1.3 м, а 69% деревьев относилось к низшим ступеням толщины – 2 и 4 см. Слабый рост и развитие отмечен для культур на ПП 2, где около 60% посадок имели диаметр на высоте 1.3 м менее 6 см. В варианте с торфом (ПП 3) относительно лучшие условия минерального питания обеспечили более интенсивный рост культур. Здесь 90% деревьев имели диаметр 8 см и более, в том числе 31% в диапазоне 12–18 см, т.е. относились к тем ступеням толщины, которые в других вариантах были представлены лишь единичными экземплярами или полностью отсутствовали.

Таким образом, на участке с внесением торфа культуры сосны характеризуются более высокими показателями роста, древостой находится в фазе активного формирования и отличается значительно более широкой дифференциацией особей по диаметру и высоте.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Формирование почвенного и растительного покрова – глубоко взаимосвязанные процессы. По мере развития растительного покрова происходит постепенное формирование почвы, изменяются ее морфологические и физико-химические свойства: наблюдается увеличение влажности, накопление органического вещества за счет опада, изменение кислотно-щелочных свойств и др. [15]. В то же время при трансформации почвенной толщи, накоплении питательных веществ растения лучше растут и развиваются, более разнообразным становится и состав растительного покрова [48]. Наиболее ярко эти процессы проявляются на начальных стадиях восстановления биогеоценоза. Наши исследования показали, что субстраты, формирующиеся на месте бывшего песчано-гравийного карьера, находятся на начальных стадиях почвообразования и имеют укороченный маломощный профиль. Отмечено формирование серогумусового горизонта, наблюдается гумусонакопление и гумусоформирование – ведущие почвообразовательные процессы при формировании почв выработанных песчаных карьеров [8, 49]. Происходит типичный для зональных почв процесс формирования лесной подстилки [50]. Развитие растительного покрова происходит по зональному типу, который определяет лесорастительные условия. Лесные культуры *Pinus sylvestris* имеют относительно хорошую сохранность. Однако в связи с использованием разных сценариев рекультивации направленность и скорость развития биогеоценозов принципиально различаются.

Наименьшие значения содержания биогенных элементов в изучаемых почвах (С, N и К) отмечены на ПП 1 и 2. Эти насаждения отличаются от естественных более низким биоразнообразием и проективным покрытием видов живого напочвенного покрова, который сформирован небольшой группой нетребовательных к почвенным условиям видов растений и лишайников. В мохово-лишайниковом покрове доминируют лишайники. Ксерофильные виды сосудистых растений, характерные для северотаежных сосняков лишайниковых, присутствуют единично [21, 37, 51]. Высокая сохранность сосны через 30 лет подтверждает ее перспективность для лесной рекультивации карьеров в таежной зоне [22, 30], в том числе и в Карелии [29, 52]. Однако без дополнительного минерального питания деревья характеризуются низкими показателями роста. Такое сочетание относительно высокой сохранности и низкой производительности при равномерной посадке и неудовлетворительных условиях роста культур закономерны [53]. Основным ограничивающим фактором для успешного роста культур в данном случае выступает бедность субстрата, который, в

связи с особенностями гранулометрического состава (пески и гравий), отличается нестабильностью водного режима и является крайне малообеспеченным элементом минерального питания. Это отражается как на процессах почвообразования, так и на развитии растительного сообщества в целом [2, 21, 24, 29, 54–60], особенно в северных условиях [1, 2, 61–63]. Почвы нарушенных территорий обычно имеют очень низкое содержание углерода [64], а дефицит азота, который в условиях средней тайги является лимитирующим фактором для роста и развития растений [65], во многом определяет состояние напочвенного покрова на ПП 1 и 2. Медленно развивающиеся лесные культуры сосны обыкновенной и разреженный живой напочвенный покров хотя и способствовали биологической активизации исходного минерального субстрата, но не привели к активному почвообразованию. Восстановление подобных биогеоценозов на начальных стадиях происходит крайне медленно. В результате, рекультивация карьера по добыче песчано-гравийного материала, сводящаяся только к посадке древесных растений (сосны), не привела к ускоренному формированию полноценного биогеоценоза в условиях таежной зоны, что согласуется с данными исследований, выполненных в других регионах [48, 55, 66–68].

На участке, на поверхность которого был дополнительно внесен торф (ПП 3), почва отличается более активными почвообразовательными процессами, высокими показателями содержания влаги, интенсивнее идут процессы накопления органического вещества. Заметно увеличилось содержание большинства элементов минерального питания: почвы характеризуются высоким уровнем содержания углерода в верхнем органо-генном горизонте (13–32%) и в нижележащих горизонтах (2–10%), более высоким содержанием азота (0.05–0.2%) и калия (3–13 мг/100 г). В верхнем 10-сантиметровом минеральном горизонте почвы под влиянием внесенного торфа и в результате формирования более развитого напочвенного покрова (следовательно, более обильного опада) произошла более существенная трансформация кислотно-щелочных свойств. Трансформация морфологических и физико-химических свойств почв свидетельствует о том, что скорость педогенных процессов, трансформация минеральной части техногенного субстрата активизируется под действием органического вещества [69]. Внесенный торфяной субстрат приводит к изменению физических (накапливает и удерживает атмосферную влагу, изменяет показатели кислотности) и химических (обогащает биогенными элементами) свойств песчаного субстрата, и, таким образом, способствует улучшению условий произрастания растений [2, 32, 70]. Это отразилось на сохранности и росте древесных растений: при одинаково

высокой начальной приживаемости через 30 лет у растений на ПП 3 показатели среднего диаметра и высоты были более чем в 2 раза выше по сравнению с показателями культур, высаженных в песчаный грунт (ПП 1 и 2), что свидетельствует об их успешной адаптации к новым условиям произрастания и быстром вступлении в фазу активного роста. Такие искусственные растительные сообщества, развивающиеся на техногенных землях, иногда даже могут превосходить естественные лесные сообщества по таксационным показателям [27, 55, 71]. В нашем случае, культуры сосны, растущие на субстрате с добавлением торфа (ПП 3), в 30-летнем возрасте обладали довольно значительной продуктивностью (II, 5 класс бонитета), что считается высоким показателем и для производственных культур сосны таежной зоны [52, 72–75]. Накопленный к этому возрасту запас сырорастворимой древесины был равен 144 м³/га и в 7–12 раз превосходил запас насаждений на участках, где торф не вносился (ПП 1 и 2). Схожие данные получены при исследовании 36-летних культур сосны, созданных в различных эдафических условиях при рекультивации песчано-гравийного карьера в Ленинградской области [76]. При этом успешный рост насаждений определялся дополнительным содержанием питательных веществ в верхней части вскрышного вала, где содержание органического вещества было в 6 раз более высоким, по сравнению с дном карьера.

Напочвенный покров на участке с внесением торфа (ПП 3) отличался более высоким проективным покрытием и видовым разнообразием, с высокой долей эу-мезотрофов, характерных для более богатых лесных сообществ – сосняков черничных, и в целом восстанавливался интенсивнее, что согласуется с ранее полученными данными [2, 77]. В исследованиях, проведенных в республике Коми, также показано положительная реакция напочвенного покрова на наличие торфа в условиях карьера по добыче песчано-гравийного материала [77]. Кроме того, торф сам является источником диаспор многих видов растений. Окружающее карьер естественное лесное сообщество могло являться источником только небольшого числа аборигенных лесных растений, произрастающих в карьере. Тогда как, на участке с участием торфа были отмечены как лесные (*Aegopodium podagraria*, *Anthriscus sylvestris*, *Cirsium heterophyllum*, *Convallaria majalis*, *Melica nutans*, *Oxalis acetosella*), так и болотные (*Coccyganthe flos-cuculi*, *Filipendula ulmaria*) виды, не отмеченные в окружающих лесных сообществах. Весьма вероятно что зачатки этих растений могли попасть во время создания опытного участка вместе с субстратом, на котором они ранее произрастали, а почвенные условия стали благоприятными для их успешного развития. Активно разрастаясь, растения производят большее количество опада, который, включа-

ясь в круговорот веществ, в свою очередь улучшает свойства почвы и способствует ее дальнейшему развитию [49]. Так, на ПП 3 уже отмечено формирование маломощной задерненной подстилки, тогда как на ПП 1 и 2 происходит процесс формирования только лишайниковой “корочки”.

Одновременно с формированием почв и напочвенного покрова на ПП 3 происходит усложнение вертикальной структуры всего фитоценоза — появляются ярусы подроста и подлеска. Активно формирующийся древесный ярус становится реально действующим эдификатором и формируют внутреннюю среду сообщества [79–81], оказывает решающее влияние на формирование напочвенного покрова и почвы [8, 82, 83] и обеспечивает развитие растительного сообщества по характерному для данной местности “сценарию” с доминированием в напочвенном покрове типичных лесных растений. Следует ожидать, что в дальнейшем такое влияние будет только усиливаться.

Таким образом, полученные результаты наглядно показывают, что в связи с использованием разных способов рекультивации, направленность и скорость восстановления биогеоценозов существенно различались. При одинаковых условиях на начальных стадиях восстановления почвенно-растительного покрова (однородный рельеф, подстилающие породы, одинаковый срок восстановления), добавление торфяного субстрата явилось решающим фактором, определившим дальнейший путь развития биогеоценоза. И хотя применение торфа экономически более затратно, по сравнению с простой посадкой древесных растений [84], его можно рекомендовать в качестве дополнительного субстрата при подготовке поверхности карьеров по добыче ПГМ для их рекультивации в таежной зоне.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Создаваемые лесные культуры *Pinus sylvestris* при рекультивации карьеров по добыче песчано-гравийного материала отличаются довольно высокими показателями сохранности, что позволяет ускорить период формирования древесного яруса на нарушенной лесной территории за счет сокращения длительного этапа естественного освоения древесными растениями свободного минерального субстрата. Однако химические свойства песчаных техногенных грунтов без дополнительного внесения удобрений являются крайне несбалансированными по основным элементам

питания, что приводит к замедлению процессов почвообразования и развитию растительного сообщества в целом. В результате формируются малопродуктивные фитоценозы с низким биоразнообразием.

Внесение органического вещества в виде торфа даже в небольших объемах существенно ускоряет процессы почвообразования и формирования благоприятных для растений почвенных условий. В связи с этим происходит формирование живого напочвенного покрова с высоким проективным покрытием и видовым разнообразием, в том числе с участием растений, типичных для богатых лесных сообществ. Искусственно созданный древостой отличается более высокими показателями роста, которые, в отличие от окружающих сосняков брусничных, более сходны с показателями естественно произрастающих высокопродуктивных сосновых насаждений таежной зоны (сосняков черничных). Внесение торфа привело к более быстрому формированию полноценного высокопродуктивного растительного сообщества в относительно короткие сроки, что представляет уже не только экологическую, но и коммерческую ценность.

В свою очередь, сформировавшийся древесный ярус, изменяя световой режим, качество и количество растительного опада, определяет структуру живого напочвенного покрова. Постепенно вытесняются “случайные” виды, что способствует формированию живого напочвенного покрова характерного для лесных сообществ. В дальнейшем, развитый живой напочвенный покров (при большой доле злаков) и высокопродуктивный древостой, вместе активно поставляющие органическое вещество, приводят к усилению процессов почвообразования (гумусообразования и гумусонакопления) и способствуют ускоренному развитию почвы.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследования выполнены в рамках государственного задания ФИЦ “Карельский научный центр РАН” (Институт леса КарНЦ РАН).

Выражаем благодарность сотрудникам Института леса КарНЦ РАН: В.В. Тимофеевой — за помощь в определении видов сосудистых растений, М.А. Фадеевой — лишайников; сотруднику Института биологии КарНЦ РАН М.А. Бойчук — за помощь в определении видов мхов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федорец Н.Г., Шильцова Г.В., Германова Н.И., Антипина Г.С., Крышень А.М., Соколов А.И. 1998. Начальные этапы почвообразования на отвалах железорудного месторождения в северотаежной подзоне Карелии. — Почвоведение. 2: 133–139.

2. Федорец Н.Г., Соколов А.И., Крышень А.М., Медведева М.В., Костина Е.Э. 2011. Формирование лесных сообществ на техногенных землях северо-запада таежной зоны России. Петрозаводск. 130 с.
3. Начальные стадии формирования биогеоценозов на техногенных землях Европейского Севера. 1999. Петрозаводск. 74 с.
4. Сумина О.И. 2013. Формирование растительности на техногенных местообитаниях Крайнего Севера России. СПб. 340 с.
5. Chen H.Y.H., Biswas S.R., Sobey T.M., Brassard B.W., Bartels S.F. 2018. Reclamation strategies for mined forest soils and overstorey drive understorey vegetation. — *J. Applied Ecology*. 55(2): 926–936. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13018>
6. Миронова С.И. 2000. Техногенные сукцессионные системы растительности Якутии (на примере Западной и Южной Якутии). Новосибирск. 152 с.
7. Экологические основы восстановления экосистем на Севере. 2006. Екатеринбург. 80 с.
8. Абакумов Е.В. 2008. Накопление и трансформация органического вещества на разновозрастных отвалах песчаного карьера. — *Почвоведение*. 8: 955–963.
9. Мананов Ю.А. 2009. Парциальные флоры техногенных экотопов Кузбасса. — *Вестник Оренбургского государственного университета*. 9 (103): 104–109.
10. Капитонова О.А., Селиванов А.Е., Капитонов В.И. 2017. Структура растительных сообществ начальных стадий сукцессий на антропогенных песчаных обнажениях лесотундры и северной тайги Западной Сибири. — *Сибирский экологический журнал*. 24(6): 731–745. <https://doi.org/10.15372/sej20170606>
11. Дружинина О.А., Мяло Е.Г. 1990. Охрана растительного покрова Севера: проблемы и перспективы. М. 176 с.
12. Капелькина Л.П. 1993. Экологические аспекты оптимизации техногенных ландшафтов. СПб. 192 с.
13. Капелькина Л.П. 2014. Трансформация тундровых экосистем на нефтепромыслах Севера России. — *Теоретическая и прикладная экология*. 1: 49–52.
14. Zipper C., Burger J., Skousen J., Angel P., Barton C., Davis V., Franklin J. 2011. Restoring forests and associated ecosystem services on Appalachian coal surface mines. — *Environmental Management*. 47: 751–765. <https://doi.org/10.1007/s00267-011-9670-z>
15. Macdonald S.E., Landhäusser S.M., Skousen J., Franklin J., Frouz J., Hall S., Jacobs D.F., Quideau S. 2015. Forest restoration following surface mining disturbance: challenges and solutions. — *New Forests*. 46(5): 703–732. <https://doi.org/10.1007/s11056-015-9506-4>
16. Pinno B.D., Hawkes V.C. 2015. Temporal trends of ecosystem development on different site types in reclaimed boreal forests. — *Forests*. 6(6): 2109–2124. <https://doi.org/10.3390/F6062109>
17. Баталов А.А., Мартынов Н.А., Кулагин А.Ю., Горюхин О.Б. 1989. Лесовосстановление на промышленных отвалах Предуралья и Южного Урала. Уфа. 140 с.
18. Экологические основы и опыт биологической рекультивации нарушенных промышленностью земель. 2011. Екатеринбург. 267 с.
19. Мананов Ю.А., Стельникова Т.О., Куприянов А.Н. 2011. Формирование растительного покрова в техногенных ландшафтах Кузбасса. Новосибирск. 167 с.
20. Сумина О.И. 2012. Поливариантная модель первичной сукцессии растительности на экотопически гетерогенной территории (на примере карьеров лесотундры). — *Успехи современного естествознания*. 11(1): 112–116.
21. Лиханова И.А., Шушпанникова Г.С., Железнова Г.В., Пыстина Т.Н. 2020. Синтаксономия растительности карьеров на месте сведенных сосняков лишайниковых и зеленомошных (среднетаежная подзона европейского северо-востока России). — *Растительность России*. 39: 3–25. <https://doi.org/10.31111/vegus/2020.39.3>
22. Нуреева Т.В., Куклина Н.А., Чефранова М.Н., Мухортов Д.И. 2016. Особенности роста и формирования культур сосны обыкновенной при рекультивации карьеров. — *Вестник Поволжского государственного технологического университета*. 1(29): 57–68.
23. Трещевская Э.И., Панков Я.В., Трещевская С.В., Тихонова Е.Н. 2017. Культуры сосны обыкновенной на деградированных техногенно нарушенных землях ЦЧР. Воронеж. 133 с.
24. Лиханова И.А., Кузнецова Е.Г., Новаковский А.Б. 2020. Формирование растительного покрова на карьерах после проведения лесной рекультивации в средней тайге Республики Коми. — *Лесоведение*. 5: 424–432. <https://doi.org/10.31857/S0024114820050095>
25. Халилова С.Р., Касимов А.К. 2007. Некоторые результаты исследования восстановления и улучшения нарушенных земель методом лесной рекультивации. — *Вестник КрасГАУ*. 4: 49–51.
26. Назаренко Е.Б., Гамсахурдия О.В. 2013. Биологическая рекультивация техногенных ландшафтов. — *Вестник МГУЛ – Лесной вестник*. 4 (96): 183–187.

27. Данилов Ю.И., Петров В.А., Навалихин С.В. 2013. Влияние внесения торфа на рост культур сосны при рекультивации песчаных карьеров. – Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 4: 168–174.
28. Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2020 г. 2021. Петрозаводск. 277 с.
29. Гаврилова О.И. 2010. Восстановление растительного покрова песчано-гравийных карьеров лесокультурными методами. – В сб.: Труды лесоинженерного факультета Петрозаводского гос. университета. Петрозаводск. 8: 21–25.
<https://doi.org/10.15393/j2.art.2010.1739>
30. Сунгурова Н.Р., Сунгуров Р.В., Страздаускас С.Е. 2014. Культуры сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.) на рекультивируемых землях. – Вестник КрасГАУ. 11: 170–173.
31. Классификация земель, нарушенных при добыче строительных материалов в Карелии. 1980. Т. 3. Петрозаводск. 124 с.
32. Кузьмин И.А., Стрелкова А.А. Лесовосстановление и формирование почвенного профиля на техногенных землях. – В сб.: Вопросы лесовосстановления и ледозащиты в Карелии. Петрозаводск. 1983. С. 71–78.
33. Разработка методов лесомелиорации техногенных пустошей Европейского Севера. 1993. Петрозаводск. 294 с.
34. Chokkalingam U.S., Sabogal C., Almeida E., Carandang A. P., Gumartini T., de Jong W., Brienza S.Jr., Lopez A.M., Mur-niati, Nawir A.A., Wibowo R.L., Toma T., Wollenberg E., Zaizhi Z. 2005. Local Participation, Livelihood Needs, and Institutional Arrangements: Three Keys to Sustainable Rehabilitation of Degraded Tropical Forest Lands. – In: Forest Restoration in Landscapes: Beyond Planting Trees. New York. P. 405–414.
https://doi.org/10.1007/0-387-29112-1_58
35. Атлас Республики Карелия. 2021. Петрозаводск. 48 с.
36. Раменская М.Л. 1983. Анализ флоры Мурманской области и Карелии. Л. 203 с.
37. Крышень А.М. 2006. Растительные сообщества вырубков Карелии. М. 262 с.
38. Кравченко А.В. 2007. Конспект флоры Карелии. Петрозаводск. 403 с.
39. Плантариум: открытый онлайн атлас-определитель растений и лишайников России и сопредельных стран. 2007–2021. <http://www.plantarium.ru>
40. Ellenberg H. 1974. Zeigerwerte der Gefässpflanzen Mitteleuropas. Göttingen. 97 s.
41. Ellenberg H. 1996. Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. In ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. Stuttgart. 1095 s.
42. Landolt E. 1977. Ökologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora. – In: Veroff. Geobot. Inst. Zurich, ETH: Н. 64: 1–208.
43. Цыганов Д.Н. 1983. Фитоиндикация экологических режимов в подзоне хвойно-широколиственных лесов. М. 196 с.
44. Теория и практика химического анализа почв. 2006. М. 400 с.
45. Классификация и диагностика почв России. 2004. Смоленск. 342 с.
46. Полевой определитель почв России. 2008. М. 150 с.
47. Разнообразие почв и биоразнообразие в лесных экосистемах средней тайги. 2006. М. 287 с.
48. Лиханова И.А., Ковалева В.А. 2018. Одновременный посев луговых злаков и посадка древесных растений в ходе лесной рекультивации нарушенных земель в северной тайге республики Коми. – Лесоведение. 6: 444–453.
<https://doi.org/10.1134/S0024114818060050>
49. Лиханова И.А., Кузнецова Е.Г., Лаптева Е.М., Денева С.В., Макеев Б.А. 2021. Почвообразование на карьерах после проведения лесной рекультивации в среднетаежной подзоне на европейском северо-востоке России. – Почвоведение. 4: 502–520.
<https://doi.org/10.31857/S0032180X21040109>
50. Абакумов Е.В., Газарина, Э.И. 2003. Начальные стадии почвовосстановления на отвалах отсева дробления гранитов. – Вестник СПбГУ. Сер. 3. 3 (19): 87–95. <https://elibrary.ru/item.asp?id=21099993>
51. Крышень А.М., Генникова Н.В., Гнатюк Е.П., Преснухин Ю.В., Ткаченко Ю.Н. 2018. Ряды восстановления сосняков Восточной Фенноскандии на песчаных автоморфных почвах. – Бот. журн. 103(1): 5–35.
<https://doi.org/10.1134/S0006813618010015>
52. Соколов А.И. 2016. Повышение ресурсного потенциала таежных лесов лесокультурным методом. Петрозаводск. 178 с.
53. Сеннов С.Н. 1984. Уход за лесом. Экологические основы. М. 128 с.
54. Grubb P.J. 1986. Problems posed by sparse and patchily distributed species in species-rich plant communities. – In: Community Ecology. New York. P. 207–225.
55. Коронатова Н.Г. 2003. Особенности и условия восстановления почвенно-растительного покрова на карьерах Западной Сибири. – Вестник Томского гос. ун-та. 7: 135–141.

56. Воронина Л.А. 2004. Рост культур сосны на техногенных ландшафтах Южного Кузбасса. — В сб.: Восстановление нарушенных ландшафтов. Барнаул. С. 264–269.
57. Юрьева А.Л. 2005. Особенности строения корневых систем лесных культур сосны как фактор экологической устойчивости. — Resources and Technology. 6: 82–86.
<https://doi.org/10.15393/j2.art.2005.1904>
58. Капелькина Л.П. 2013. Анализ опыта лесной рекультивации нарушенных земель. — В сб.: Лесовосстановление в Поволжье: состояние и пути совершенствования. Йошкар-Ола. С. 62–68.
59. Журбенко П.М., Навалихин С.В., Терехина О.В. 2014. Продуктивность живого напочвенного покрова на отработанных песчаных карьерах Ленинградской области. — В кн.: Современные проблемы и перспективы рационального лесопользования в условиях рынка. Сыктывкар. С. 87–91.
60. Данилов Ю.И., Смирнов А.П., Петров В.А. 2017. Рост культур сосны при рекультивации песчаных карьеров Карельского перешейка. — Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 219: 6–17.
<https://doi.org/10.21266/2079-4304.2017.219.6-17>
61. Васильевская В.Д., Григорьев В.Я. 2002. Биологические показатели деградации и самовосстановления почвенно-растительного покрова тундр. — Сибирский экологический журнал. IX(3): 355–370.
62. Магомедова М.А., Морозова Л.М. 1997. Оценка перспектив естественного восстановления растительности на техногенно-нарушенных территориях полуострова Ямал. — В сб.: Освоение севера и проблемы рекультивации. Сыктывкар. С. 108–114.
63. Сумина О.И. 1997. К анализу разнообразия растительности карьеров (на примере карьеров севера Западной Сибири). — В сб.: Освоение севера и проблемы рекультивации. Сыктывкар. С. 76–87.
64. Indorante S.J., Jansen I.J., Boast C.W. 1981. Surface mining and reclamation: Initial changes in soil character. — J. Soil Water Conserv. 36 (3): 347–351.
65. Федорец Н.Г., Бахмет О.Н. 2003. Экологические особенности трансформации соединений углерода и азота в лесных почвах. Петрозаводск. 240 с.
66. Касимов А.К., Галако В.А., Итешина Н.М., Халилова С.Р. 2010. Лесовосстановление отработанных песчано-гравийных месторождений Прикамья. — Известия Самарского научного центра РАН. Т. 12. 1(3): 880–884.
http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2010/2010_1_880_884.pdf
67. Коронатова Н.Г., Миронычева-Токарева Н.П. 2012. Восстановление растительного покрова на рекультивированном песчаном карьере в северной тайге. — В сб.: Интерэкспо Гео-Сибирь. 2(3): 28–33.
68. Данилов Ю.И., Смирнов А.П., Навалихин С.В., Фетисова А.А., Петров В.А. 2019. Рост культур сосны в условиях рекультивированных песчаных карьеров. — Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 1: 40–53.
<https://doi.org/10.21178/2079-6080.2019.1.40>
69. Патова Е.Н., Кулюгина Е.Е., Денева С.В. 2016. Процессы естественного восстановления почв и растительного покрова на отработанном угольном карьере (большеземельская тундра). — Экология. 3: 173–179.
<https://doi.org/10.7868/S0367059716020116>
70. Наквасина Е.Н. 2009. Агрохимические свойства почв. Архангельск. 101 с.
71. Седых В.Н. 2016. Техногенные леса на нарушенных землях Западной Сибири. — Сибирский лесной журн. 2: 43–50.
<https://doi.org/10.15372/SJFS20160204>
72. Бабич Н.А., Мерзленко М.Д., Евдокимов И.В. 2004. Фитомасса культур сосны и ели в европейской части России. Архангельск. 112 с.
73. Гаврилова О.И., Пак К.А., Морозова И.В., Юрьева А.Л. 2017. Формирование искусственных сосновых древостоев в условиях карельской таежной зоны. — Лесн. журн. 4: 23–33.
<http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/b55/gavrilova.pdf>
74. Тюкавина О.Н., Клевцов Д.Н., Болотов И.Н., Филиппов Б.Ю., Адаи Д.М. 2018. Биологическая продуктивность культур сосны обыкновенной северотаежного лесного района. — Известия ВУЗов. Лесн. Журн. 6 (366): 101–108. http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/b75/101_108.pdf
75. Солдатова Д.Н., Ильинцев А.С. 2020. Рост и продуктивность лесных культур сосны С.В. Алексеева на Европейском Севере России. — Изв. ВУЗов. Лесн. журн. 1: 99–112.
http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/a30/99_112.pdf
76. Данилов Ю.И., Навалихин С.В., Петров В.А. 2018. Рост и продуктивность культур сосны при рекультивации песчаных карьеров. — В сб.: Леса России: политика, промышленность, наука, образование. СПб. Т. 1. С. 92–94.
77. Костина Е.Э., Крышень А.М., Геникова Н.В. 2021. Анализ видового состава сосудистых растений на отвалах и карьерах на территории республики Карелия. — Бот. журн. 106(12): 3–22.
<https://doi.org/10.31857/S000681362112005X>
78. Лиханова И.А., Железнова Г.В. 2012. Восстановление растительности на карьерах строительных материалов окрестностей г. Сыктывкар при проведении лесной рекультивации. — Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 14(1): 1485–1488.

79. Лебедева В.Х., Тиходеева М.Ю., Ипатов В.С. 2006. Оценка влияния деревьев на виды травяно-кустарничкового и мохового ярусов в сосняке чернично-зеленомошном. — Бот. журн. 91(2): 176–192.
80. Журавлева Е.Н., Ипатов В.С., Лебедева В.Х., Тиходеева М.Ю. 2012. Изменение растительности на лугах под влиянием сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). — Вестник Санкт-Петербургского государственного университета. Сер. 3. Биология. 2: 3–12.
<https://biocomm.spbu.ru/article/view/3842/3439>
81. Горелов А.М. 2012. Роль фитогенного поля в формировании пространственных структур древесного растения. — Modern Phytomorphology. 1: 137–141.
<https://www.phytomorphology.com/articles/the-role-of-phytogenous-field-in-the-formation-of-woody-plants-space-structure.pdf>
82. Костина Е.Э. 2012. Особенности формирования лесных сообществ в песчано-гравийных карьерах Карелии. — Известия Самарского научного центра РАН. 14(1): 1284–1287.
83. Уфимцев В.И., Стрельникова Т.О., Куприянов О.А. 2018. Структура живого напочвенного покрова в сосняках на участках рекультивации Кузбасса. — Вестник Томского государственного университета. Сер. Биология. 44: 36–58.
<https://doi.org/10.17223/19988591/44/3>
84. Чернявский Е.А. 2013. Инженерные изыскания, разработка и рекультивация карьеров песка в западной Сибири (на примере термокарстового газоконденсатного месторождения). — Экология урбанизированных территорий. 2: 91–96.

Development of Vegetation Cover of the Forest Restoration Sites (Case Study of a Sand and Gravel Pit in Karelia)

E. E. Kostina^a, *, G. V. Akhmetova^a, A. N. Pekkoiev^a, V. A. Kharitonov^a, A. M. Kryshen^a

^a Forest Research Institute of Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia

*e-mail: kostina@krc.karelia.ru

Abstract—The state of biogeocoenoses was studied 30 years after artificial reforestation of sand and gravel pit with Scots pine (*Pinus sylvestris*). Pine seedlings were planted whether in unimproved sand and gravel substrate (first two plots), or in substrate improved with peat or peat mixture (third plot). On the unimproved substrate, the regenerated vegetation is represented by lichen pine forest of the fifth quality class, with poorly developed living ground cover dominated by lichens *Cladonia* spp. and *Stereocaulon tomentosum*. By the time of the study, on the first two plots, the site soils were at the initial development stage - gray-humus psammozems (arenosols). Thus, reclamation, if narrowed to the practice of tree (pines) planting only, does not promote accelerated formation of a fully-fledged biogeocoenosis. On the third plot, introduction of organic matter in the form of peat substrate resulted in the development of a more productive biocoenosis (the forest quality increased by three classes). The high species diversity of the vegetation cover and the formation of more complex soils — gray-humus replantozems were observed. Under equal initial conditions, the improvement of substrate with peat was a key factor, which determined further development of biogeocoenosis. Peat increases fertility of the initial mineral substrate, improving its chemical and physical properties, and also, it is a source of diaspores of many native forest and swamp plant species. After 30 years, the actively forming forest environment itself influences the further development of living ground cover and soil formation processes by changing the light conditions and the nature of plant litter.

Keywords: sand and gravel pit, reclamation, *Pinus sylvestris* L., biodiversity, revegetation, soil formation

ACKNOWLEDGMENTS

The research was funded by the federal budget within the framework of the State research assignment to the KarRC RAS (Forest Research Institute of the KarRC RAS).

The authors would like to express their gratitude to the staff of the Forest Research Institute of the KarRC RAS: V.V. Timofeeva for her assistance in identification of vascular plants, M.A. Fadeeva — of lichens, and an employee of the Institute of Biology of the KarRC RAS M.A. Boichuk — for her help in identifying moss species.

REFERENCES

1. Fedorets N.G., Shiltsova G.V., Germanova N.I., Antipina G.S., Kryshen A.M., Sokolov A.I. 1998. Initial stages of soil formation on the tailings of an iron-ore deposit in the subzone of northern taiga in Karelia. — Pochvovedenie. 2: 133–139. (In Russian)

2. Fedorets N.G., Sokolov A.I., Kryshen A.M., Medvedeva M.V., Kostina E.E. 2011. [Formation of forest communities on technogenic lands of the north-west of the taiga zone of Russia]. Petrozavodsk. 130 p. (In Russian)
3. [The initial stages of the biogeocenoses formation on technogenic lands of the European North]. 1999. Petrozavodsk. 74 p. (In Russian)
4. Sumina O.I. 2013 [Vegetation formation in technogenic habitats of the Far North of Russia]. SPb. 340 p. (In Russian)
5. Chen H.Y.H., Biswas S.R., Sobej T.M., Brassard B.W., Bartels S.F. 2018. Reclamation strategies for mined forest soils and overstorey drive understorey vegetation. — *J. Applied Ecology*. 55(2): 926–936. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13018>
6. Mironova S.I. 2000. [The succession of vegetation in the man-made landscapes of Yakutia]. Novosibirsk. 152 p. (In Russian)
7. [Ecological foundations of ecosystem restoration in the North]. 2006. Ekaterinburg. 80 p. (In Russian)
8. Abakumov E.V. 2008. Accumulation and transformation of organic matter in different ages dumps from sand quarries. — *Eurasian Soil Science*. 8: 844–851.
9. Manakov Yu.A. 2009. Partial floras of industrial ecotopes of Kuzbass. — *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*. 9 (103): 104–109. (In Russian)
10. Kapitonova O.A., Selivanov A.E., Kapitonov V.I. 2017. Structure of plant communities in the early succession stages on anthropogenic sandy outcrops of the Forest-Tundra and Northern Taiga of Western Siberia. — *Contemporary Problems of Ecology*. 10(6): 651–663. <https://doi.org/10.1134/S199542551706006>
11. Druzhinina O.A., Myalo E.G. 1990. [Protection of the vegetation cover of the North: problems and prospects]. Moscow. 176 p.
12. Kapelkina L.P. 1993. [Ecological aspects of optimization of technogenic landscapes]. SPb. 192 p. (In Russian)
13. Kapelkina L.P. 2014. Transformation of tundra ecosystems in oil development industrials of the North of Russia. — *Theoretical and applied ecology*. 1: 49–52. (In Russian)
14. Zipper C., Burger J., Skousen J., Angel P., Barton C., Davis V., Franklin J. 2011. Restoring forests and associated ecosystem services on Appalachian coal surface mines. — *Environmental Management*. 47: 751–765. <https://doi.org/10.1007/s00267-011-9670-z>
15. Macdonald S.E., Landhäusser S.M., Skousen J., Franklin J., Frouz J., Hall S., Jacobs D.F., Quideau S. 2015. Forest restoration following surface mining disturbance: challenges and solutions. — *New Forests*. 46(5): 703–732. <https://doi.org/10.1007/s11056-015-9506-4>
16. Pinno B.D., Hawkes V.C. 2015. Temporal trends of ecosystem development on different site types in reclaimed boreal forests. — *Forests*. 6(6): 2109–2124. <https://doi.org/10.3390/F6062109>
17. Batalov A.A., Martyanov N.A., Kulagin A.Yu., Goryukhin O.B. 1989. [Reforestation on industrial dumps of the Urals and the Southern Urals]. Ufa. 140 p. (In Russian)
18. [Ecological foundations and experience of biological reclamation of lands disturbed by industry]. 2011. Ekaterinburg. 267 p. (In Russian)
19. Manakov Yu.A., Srelnikova T.O., Kupriyanov A.N. 2011. [Formation of vegetation cover in technogenic landscapes of Kuzbass]. Novosibirsk. 167 p. (In Russian)
20. Sumina O.I. 2012. Multivariate models of primary vegetation succession ecotopic on heterogeneous territories (illustrated career forest-tundra). — *Successes of Modern Natural Sciences*. 11(1): 112–116. (In Russian)
21. Likhanova I.A., Shushpannikova G.S., Zheleznova G.V., Pystina T.N. 2020. Syntaxonomy of plant communities at the quarries after the cuttings of lichen and green moss pine forests (Middle Taiga subzone of the European North-east of Russia). — *Vegetation of Russia*. 39: 3–25. <https://doi.org/10.31111/vegrus/2020.39.3> (In Russian)
22. Nureeva T.V., Kuklina N.A., Chefranova M.N., Mukhortov D.I. 2016. Patterns of growth and formation of Scots pine species for the purpose of quarry recultivation. — *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta*. 1(29): 57–68. (In Russian)
23. Treshchevskaya E.I., Pankov Ya.V., Treshchevskaya S.V., Tikhonova E.N. 2017. [Planting of Scots pine on degraded technogenically disturbed lands of the Central Black Earth Region]. Voronezh. 133 p. (In Russian)
24. Likhanova I.A., Kuznetsova E.G., Novakovskiy A.B. 2020. [Vegetative cover forming on quarries after forest recultivation being performed in middle taiga subzone of North-East of the European Russia]. — *Lesovedenie*. 5: 424–432. <https://doi.org/10.31857/S0024114820050095> (In Russian)
25. Khalilova S.R., Kasimov A.K. 2007. [Some results of the study of restoration and improvement of disturbed lands by the method of forest reclamation]. — *Vestnik KrasGAU*. 4: 49–51. (In Russian)
26. Nazarenko E.B., Gamsakhurdiya O.V. 2013. [Biological recultivation of technogenic landscapes]. — *Vestnik MGUL – Lesnoj vestnik*. 4 (96): 183–187. (In Russian)

27. Danilov Yu.I., Petrov V.A., Navalikhin S.V. 2013. [The effect of peat application on the growth of pine crops during the reclamation of sand pits]. – Aktualnye napravleniya nauchnyh issledovanij XXI veka: teoriya i praktika. 4: 168–174. (In Russian)
28. [State report on the state of the environment of the Republic of Karelia in 2020]. 2021. Petrozavodsk. 277 p. (In Russian)
29. Gavrilova O.I. 2010. [Restoration of vegetation cover on sand and gravel quarries by artificial reforestation methods]. – In: Trudy lesoinzhenerenogo fakul'teta Petrozavodskogo gos. universiteta. Petrozavodsk. 8: 21–25. (In Russian) <https://doi.org/10.15393/j2.art.2010.1739>
30. Sungurova N.R., Sungurov R.V., Strazdauskas S.E. 2014. [Cultures of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) on recultivated lands]. – Vestnik KrasGAU. 11: 170–173.
31. [Classification of lands disturbed during the extraction of construction materials in Karelia]. 1980. Tom 3. Petrozavodsk. 124 p. (In Russian)
32. Kuzmin I.A., Strelkova A.A. 1983. [Reforestation and formation of soil profile on technogenic lands]. – In: [Issues of forest restoration and ice guard in Karelia]. Petrozavodsk. P. 71–78. (In Russian)
33. [Development of methods of forest reclamation of technogenic wastelands of the European North]. 1993. Petrozavodsk. 294 p. (In Russian)
34. Chokkalingam U.S., Sabogal C., Almeida E., Carandang A.P., Gumartini T., de Jong W., Brienza S.Jr., Lopez A.M., Mur-niati, Nawir A.A., Wibowo R.L., Toma T., Wollenberg E., Zaizhi Z. 2005. Local Participation, Livelihood Needs, and Institutional Arrangements: Three Keys to Sustainable Rehabilitation of Degraded Tropical Forest Lands. – In: Forest Restoration in Landscapes: Beyond Planting Trees. New York. P. 405–414. https://doi.org/10.1007/0-387-29112-1_58
35. [Atlas of the Republic of Karelia]. 2021. Petrozavodsk. 48 p. (In Russian)
36. Ramenskaya M.L. 1983. Analysis of flora in the Murmansk region and Republic of Karelia. Leningrad. 203 p. (In Russian)
37. Kryshen A.M. 2006. [Plant communities of logging areas in Karelia]. Moscow. 262 p. (In Russian)
38. Kravchenko A.V. 2007. [A compendium of Karelian flora (vascular plants)]. Petrozavodsk. 403 p. (In Russian)
39. Plantarium: open on-line atlas and key to plants and lichens of Russia and neighbouring countries. 2007–2021. <http://www.plantarium.ru/> (In Russian)
40. Ellenberg H. 1974. Zeigerwerte der Gefäßpflanzen Mitteleuropas. Göttingen. 97 p. (In German)
41. Ellenberg H. 1996. Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. In ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. Stuttgart. 1095 p. (In German)
42. Landolt E. 1977. Ökologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora. In: Veroff. Geobot. Inst. Zurich, ETH: H. 64: 1–208. (In German)
43. Tsyganov D.N. 1983. [Phyto-indication of ecological regimes in the subzone of coniferous-deciduous forests]. Moscow. 196 p.
44. [Theory and practice of the chemical analysis of soils]. 2006. Moscow. 400 p. (In Russian)
45. [Classification and diagnostics of soils in Russia]. 2004. Smolensk. 342 p. (In Russian)
46. [Field determinant of soils of Russia]. 2008. Moscow. 150 p. (In Russian)
47. [Soil diversity and biodiversity in the middle taiga ecosystems]. 2006. Moscow. 287 p. (In Russian)
48. Likhanova I.A., Kovaleva V.A. 2018. Possibilities of simultaneous seeding of meadow grasses and wooden plants for re-remediation of disturbed lands in north of taiga domain in Komi Republic. – Lesovedenie. 6: 444–453. <https://doi.org/10.1134/S0024114818060050> (In Russian)
49. Likhanova I.A., Kuznetsova E.G., Lapteva E.M., Deneva S.V., Makeev B.A. 2021. Soil development in the quarries after forest reclamation in the Middle Taiga subzone of the Northeast of European of Russia. – Pochvovedenie. 4: 502–520. <https://doi.org/10.31857/S0032180X21040109> (In Russian)
50. Abakumov E.V., Gagarina E.I. 2003. The initial stages of soil restoration on the grounds of granite-crushing sifting near the mining-exploitation complexes Kuznechnoye (Leningrad region). – Vestnik of Saint Petersburg University. Series 3. Biology. 3: 87–95. <https://elibrary.ru/item.asp?id=21099993> (In Russian)
51. Kryshen A.M., Genikova N.V., Gnatyuk E.P., Presnukhin Yu.V., Tkachenko Yu.N. 2018. Reforestation series of pine forest communities in Eastern Fennoscandia on sandy automorphic soils. – Botanicheskii zhurnal. 103(1): 5–35. <https://doi.org/10.1134/S0006813618010015> (In Russian)
52. Sokolov A.I. 2016. [Increasing the resource potential of taiga forests by the forest-cultural method]. Petrozavodsk. 178 p. (In Russian)
53. Sennov S.N. 1984. [Forest care. Environmental fundamentals]. Moscow. 128 p. (In Russian)
54. Grubb P.J. 1986. Problems posed by sparse and patchily distributed species in species-rich plant communities. In: Community Ecology. New York. P. 207–225.
55. Koronatova N.G. 2003. [Features and conditions of restoration of soil and vegetation cover in the quarries of Western Siberia]. – Vestnik Tomskogo gos. un-ta. 7: 135–141. (In Russian)

56. *Voronina L.A.* 2004. [Growth of pine crops on technogenic landscapes of Southern Kuzbass]. — In: [Restoration of disturbed landscapes] Barnaul. P. 264–269. (In Russian)
57. *Yuryeva A.L.* 2005. Morphological particularities of the root systems of pine cultures as a factor of environmental sustainability. — Resources and technology. 6: 82–86. <https://doi.org/10.15393/j2.art.2005.1904> (In Russian)
58. *Kapelkina L.P.* 2013. [Analysis of the experience of forest reclamation of disturbed lands]. — In: [Forest restoration in Volga region: current state and opportunities for improvement]. Yoshkar-Ola. P. 62–68. (In Russian)
59. *Zpurbenko P.M., Navalikhin S.V., Terekhina O.V.* 2014. Productivity of the living ground cover on the depleted sand pits of the Leningrad region. — In: [Contemporary topics and prospects of the rational forest exploitation in the market economy]. Syktyvkar. P. 87–91. (In Russian)
60. *Danilov Yu.I., Smirnov A.P., Petrov V.A.* 2017. Growth of pine cultures at recultivation of sand quarries Karelian isthmus. — Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoi akademii. 219: 6–17. <https://doi.org/10.21266/2079-4304.2017.219.6-17> (In Russian)
61. *Vasilyevskaya V.D., Grigoryev V.Ya.* 2002. [Biological indicators of degradation and self-healing of tundra soil and vegetation cover]. — Sibirskij ekologicheskij zhurnal. IX(3): 355–370. (In Russian)
62. *Magomedova M.A., Morozova L.M.* 1997. [Assessment of the prospects of natural vegetation restoration in the technogenically disturbed territories of the Yamal Peninsula]. — In: [Development of northern territories and problems of reclamation]. P. 108–114. (In Russian)
63. *Sumina O.I.* 1997. [To the analysis of the vegetation diversity of quarries (example of quarries in the North of Western Siberia)]. — In: [Development of northern territories and problems of reclamation]. Syktyvkar. P. 76–87. (In Russian)
64. *Indorante S.J., Jansen I.J., Boast C.W.* 1981. Surface mining and reclamation: Initial changes in soil character. — J. Soil Water Conserv. 36 (3): 347–351.
65. *Fedorets N.G., Bakhmet O.N.* 2003. [Ecological settings of carbohydrate and nitrogen transformations in forest soils]. Petrozavodsk. 240 p. (In Russian)
66. *Kasimov A.K., Galako V.A., Iteshina N.M., Khalilova S.R.* 2010. Reafforestation of fulfilled sandy gravel deposits in Prikamye. — Izvestia RAS SamSC. 12(1–3): 880–884. http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2010/2010_1_880_884.pdf (In Russian)
67. *Koronatova N.G., Mironycheva-Tokareva N.P.* 2012. Revegetation in the reclaimed sand quarry in the northern taiga. — Interekspo GEO-Siberia. 2(3): 28–33. (In Russian)
68. *Danilov Yu.I., Smirnov A.P., Navalikhin S.V., Fetisova A.A., Petrov V.A.* 2019. [Scots pine forest plantations growth in the conditions of sand pits recultivation]. — Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyajstva. 1: 40–53. <https://doi.org/10.21178/2079-6080.2019.1.40> (In Russian)
69. *Patova E.N., Kulyugina E.E., Deneva S.V.* 2016. Processes of natural soil and vegetation recovery on a worked-out open pit coal mine (Bol'shezemel'skaya tundra). — Russ. J. Ecol. 47: 228–233. <https://doi.org/10.7868/S0367059716020116>
70. *Nakvasina E.N.* 2009. [Agrochemical properties of soils]. Archangelsk. 101 p. (In Russian)
71. *Sedykh V.N.* 2016. Technogenic forests on the disturbed lands of Western Siberia. — Siberian journal of forest science. 2: 43–50. <https://doi.org/10.15372/SJFS20160204> (In Russian)
72. *Babich N.A., Merzlenko M.D., Evdokimov. I.V.* 2004. [Phytomass of pine and spruce crops in the European part of Russia]. Archangelsk. 112 p.
73. *Gavrilova O.I., Pak K.A., Morozova I.V., Yur'eva A.L.* 2017. Formation of artificial pine stands in the Karelian taiga zone. — Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal). 4: 23–33. <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/b55/gavrilova.pdf> (In Russian)
74. *Tyukavina O.N., Klevtsov D.N., Bolotov I.N., Filippov B.Yu., Adai D.M.* 2018. Biological productivity of Scots pine cultures in the northern taiga forest area. — Lesnoy Zhurnal. 6: 101–108. http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/b75/101_108.pdf (In Russian)
75. *Soldatova D.N., Ilintsev A.S.* 2020. Growth and productivity of pine forest crops named after S.V. Alekseev in the European North of Russia. — Lesnoy Zhurnal. 1: 99–112. http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/a30/99_112.pdf (In Russian)
76. *Danilov Yu.I., Navalikhin S.V., Petrov V.A.* 2018. [Growth and productivity of pine crops during reclamation of sand pits]. — In: [Forests of Russia: Politics, industry, science, education]. SPb. T. 1: 92–94. (In Russian)
77. *Kostina E.E., Kryshen A.M., Genikova N.V.* 2021. Analysis of vascular plant species composition of dumps and quarries in the Republic of Karelia. — Botanicheskiy zhurnal. 106(12): 3–22. <https://doi.org/10.31857/S000681362112005X> (In Russian)
78. *Likhanova I.A., Zheleznova G.V.* 2012. [Vegetation restoration at sand pits in the suburbs of Syktyvkar during forest restoration]. — Izvestia RAS SamSC. 14(1): 1485–1488. (In Russian)

79. *Lebedeva V.H., Tikhodeeva M.Yu., Ipatov V.S.* 2006. Estimation of tree layer influence on soil cover plant species in bilberry-moss pine forest – *Botanicheskii zhurnal*. 91(2): 176–192. (In Russian)
80. *Zhuravleva E.N., Ipatov V.S., Lebedeva V.H., Tikhodeeva M.Yu.* 2012. Vegetation changes in meadows under the influence of Scotts pine (*Pinus sylvestris* L.). – *Vestnik of Saint Petersburg University. Series 3. Biology*. 2: 3–12. <https://biocomm.spbu.ru/article/view/3842/3439> (In Russian)
81. *Gorelov A.M.* 2012. The role of phytogenous field in the formation of woody plants space structure. – *Modern Phytomorphology*. 1: 137–141. <https://www.phytomorphology.com/articles/the-role-of-phytogenous-field-in-the-formation-of-woody-plants-space-structure.pdf> (In Russian)
82. *Kostina E.E.* 2012. [Formation patterns of forest communities in sand-gravel quarries in Karelia]. – *Izvestia RAS SamSC*. 14(1): 1284–1287. (In Russian)
83. *Ufimtsev V.I., Strelnikova T.O., Kupriyanov O.A.* 2018. Structure of the living ground cover in pine forests on dumps of Kuzbass. – *Tomsk State University Journal of Biology*. 44: 36–58. <https://doi.org/10.17223/19988591/44/3> (In Russian)
84. *Chernyavskiy E.A.* 2013. [Engineering survey, development and remediation of sand quarries in Western Siberia (by the example of the frost-thaw gas condensate field)]. – *Ecology of urban areas*. 2: 91–96. (In Russian)