

УДК 630*182:630*233:622.362.3.012.3(470.1-924.82)

ФОРМИРОВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА НА КАРЬЕРАХ ПОСЛЕ ПРОВЕДЕНИЯ ЛЕСНОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ В СРЕДНЕЙ ТАЙГЕ РЕСПУБЛИКИ КОМИ¹

© 2020 г. И. А. Лиханова^{а, *}, Е. Г. Кузнецова^а, А. Б. Новаковский^а

^аИнститут биологии Коми НЦ УрО РАН, ул. Коммунистическая, 28, Сыктывкар, 167982 Россия

*E-mail: likhanova@ib.komisc.ru

Поступила в редакцию 24.08.2018 г.

После доработки 21.02.2019 г.

Принята к публикации 06.06.2020 г.

Изучены особенности формирования растительности после проведения лесной рекультивации по традиционной технологии (посадка лесных культур без улучшения техногенного субстрата) на отработанных карьерах строительных материалов в подзоне средней тайги северо-востока европейской части России. Установлено, что лесорекультивационные работы позволяют сократить период формирования древесного яруса за счет минимизации длительного этапа внедрения древесных растений. Уже на 13-й год управляемой сукцессии на территории карьеров высота культур сосны составляет около 3 м, сомкнутость крон 0.2–0.3, густота 2.3–2.9. Субстратные условия влияют на рост и сохранность сосны, а также строение и структуру напочвенного покрова. На супесчаных карьерах биометрические параметры сосны выше, чем на песчаном и суглинистом. Травостой из лугово-сорных и луговых видов, характерных для техногенных местообитаний таежной зоны, хорошо развит на суглинистом карьере, на песчаном и супесчаных – разрежен. Моховой ярус развит на легких по своему гранулометрическому составу субстратах. За первые 13 лет управляемой сукцессии отмечены: становление вертикальной структуры растительных сообществ; внедрение лесных видов в напочвенный покров, в том числе доминантов травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового ярусов коренных сосняков; увеличение видового богатства сообществ; возрастание их проективного покрытия; нивелирование различий во флористическом составе; формирование слабозрелых почв.

Ключевые слова: таежная зона, карьеры, лесная рекультивация, восстановление экосистем, растительность, почва, сукцессия.

DOI: 10.31857/S0024114820050095

На Севере в связи с активизацией в последние годы промышленного освоения природных ресурсов неуклонно увеличивается площадь нарушенных земель. Процесс естественного восстановления растительности и почв на посттехногенных территориях растягивается на продолжительный период (Железнова и др., 2005; Абакумов, Гагарина, 2006; Коронатова, Миляева, 2011). Необходимость ускорения формирования лесных экосистем на нарушенных землях объясняет растущий интерес к лесной рекультивации как в России (Хватов, 1973; Баранник, 1988; Шугалей, Чупрова, 2012), так и за рубежом (Showalter et al., 2010; Zipper et al., 2011; Pinno, Hawkes, 2015; Macdonald et al., 2015). Эффективность лесорекультивационных работ может быть оценена по интенсивности процесса восстановления лесной экосистемы, своему строению и выполняемым функциям сходной с зо-

нальным типом (Macdonald et al., 2015, *Формирование ...*, 2015).

Для территории Европейского Севера публикаций по систематическому изучению формирования лесных экосистем после лесорекультивационных мероприятий немного. Исследованиями в основном охвачены северо-запад таежной зоны России (Капелькина, 1993; Казаков, Вишняков, 2006; Гаврилова, 2010; Федорев и др., 2011) и подзона крайнесеверной тайги северо-востока европейской части страны (Лиханова и др., 2006; *Формирование ...*, 2015). Традиционно лесорекультивационные работы заключаются в посадке 1–3-летних сеянцев древесных культур без использования дополнительных агроприемов (Капелькина, 1993; Гаврилова, 2010; *Формирование ...*, 2015). Формирование напочвенного покрова и почв тесно связано с возрастом и состоянием лесных культур (Казаков, Вишняков, 2006; Лиханова и др., 2006; Гаврилова, 2010; Федорев и др., 2011; *Формирование ...*, 2015).

¹ Работа выполнена в рамках Госзадания Института биологии Коми НЦ УрО РАН на 2018–2021 гг.

Таблица 1. Характеристика посадок сосны на территории карьеров

Карьер	Год и сезон посадки	Площадь, га	Густота, тыс. шт. га ⁻¹	Ширина междурядий, м	Шаг посадки, м	Посадочный материал
1	2000, осень	4.9	4.4	3	0.75	ОКС
2	1999, весна	5.4	4.0	5	0.5	ОКС
3	1997, осень	3.1	3.3	5	1.0	ЗКС
4	2001, весна	5.0	5.0	2.5	0.8	ОКС

Примечание. ОКС – сеянцы сосны с открытой корневой системой, ЗКС – сеянцы сосны с закрытой корневой системой.

В подзоне средней тайги восстановление экосистем после рекультивационных мероприятий исследовано слабо, что и определило цель работы.

Цель исследований заключалась в изучении процесса формирования растительного покрова на начальном этапе сукцессии после проведения лесной рекультивации по традиционной технологии на карьерах по добыче строительных материалов, одном из наиболее распространенных типов посттехногенных территорий в подзоне средней тайги Республики Коми.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Исследования проводили на территории карьеров, расположенных в 3–4 км к западу от г. Сыктывкара. Климат района исследований умеренно-континентальный, характеризуется длительной холодной зимой с устойчивым снежным покровом и коротким прохладным летом. Среднегодовая температура воздуха 0.4°C, сумма осадков 560 мм. Территория представляет собой холмисто-увалистую равнину с преобладанием абсолютных отметок 140–160 см. Согласно геоботаническому районированию район исследований относится к Сысольскому сосновому округу подзоны средней тайги (Производительные ..., 1954). Характерными для рассматриваемой территории являются сосняки бруснично-зеленомошные. В естественных условиях древесный ярус образует *Pinus sylvestris* L. высотой около 20 м. Подлесок редкий, в хорошо развитом травяно-кустарничковом ярусе (общее проективное покрытие (ОПП) до 80%) доминирует *Vaccinium vitis-idaea* L., моховой ярус (ОПП) – 60%) состоит из *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. и *Hylocomium splendens* (Hedw.) Vnuch et al. Под сосняками бруснично-зеленомошными в автоморфных условиях формируются подзолы иллювиально-железистые на песках и супесях, с разной глубины подстилаемых суглинками.

Объектами изучения послужили четыре карьера (табл. 1). Технический этап рекультивации карьеров, проведенный в 1996–1999 гг., включал планировку поверхности. Через 1–2 года в ходе биологического этапа была произведена посадка 2-летних сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*), выращенных в Сыктывдинском и Сы-

сольском питомниках (табл. 1). На карьерах 1, 2, 4 в качестве посадочного материала использованы сеянцы с открытой корневой системой, на карьере 3 – с закрытой. Дополнение культур на карьере 1 проведено один раз, на карьерах 2 и 4 – три (каждый раз – по 1 тыс. шт. га⁻¹).

Карьер 1 характеризуется песчаным составом субстрата (содержание фракции физической глины (частиц <0.01 мм) около 6%), 2, 3 – супесчаным (15%), 4 – суглинистым (30%). Наиболее дренированным является карьер 1. На карьерах 2 и 3 в пониженных элементах рельефа имеются участки с повышенным и застойным увлажнением, которые составляют примерно 10 и 30% от площади карьеров, соответственно. Субстраты карьеров – карбонатные (вскипают от HCl).

Методологической основой исследования является системный подход, в соответствии с которым в комплексе изучалась динамика взаимосвязанных и взаимообусловленных компонентов лесной экосистемы: древесного яруса, напочвенного покрова и почвы.

Исследования проводились на 5- и 13-й годы после биологического этапа рекультивации. На каждом карьере проведено по 10 геоботанических описаний на площадках размером 100 м² (Методы ..., 2002). Для каждого из отмеченных видов определяли встречаемость (отношение числа площадок, где зарегистрирован вид, к общему их числу). Видовое богатство в каждом карьере выявляли путем составления общего списка видов, отмеченных в геоботанических описаниях. Изучение посадок сосны вели по методике исследования лесных культур (Огиевский, Хиров, 1964). На площадках выполняли сплошной пересчет и обмер деревьев. Измеряли высоту сосен, прирост по высоте, диаметр ствола, длину и ширину кроны. Полученные данные использовали для построения вариационных рядов, вычисления средних арифметических значений, средних квадратных отклонений и других статистических параметров. Кластерный анализ для оценки сходства видового состава сообществ проводили на основе коэффициента Жаккара, методом межгрупповых средних. Построение графиков проводили в программе ExStatR (Новаковский, 2016).

Таблица 2. Сохранность и таксационные показатели культур сосны на 5- и 13-й годы управляемой сукцессии

Карьер	Сохранность, %	Густота, тыс. шт. га ⁻¹	Высота, м	Диаметр, см	Ширина кроны, м	Длина кроны, м	Запас, м ³ га ⁻¹	Класс бонитета
5-й год управляемой сукцессии								
1	76	3.3	0.45 ± 0.04	—	0.40 ± 0.04	0.34 ± 0.04	—	V
2	80	3.2	0.58 ± 0.04	—	0.49 ± 0.06	0.47 ± 0.05	—	IV
3	84	2.8	0.63 ± 0.06	—	0.52 ± 0.06	0.51 ± 0.06	—	IV
4	65	3.3	0.44 ± 0.06	—	0.39 ± 0.04	0.32 ± 0.04	—	V
13-й год управляемой сукцессии								
1	67	2.9	2.7 ± 0.2	3.2 ± 0.2	1.3 ± 0.1	2.4 ± 0.2	7.9	IV
2	72	2.9	3.0 ± 0.1	3.5 ± 0.2	1.4 ± 0.1	2.6 ± 0.2	8.7	IV
3	76	2.5	3.2 ± 0.1	3.9 ± 0.2	1.5 ± 0.1	2.7 ± 0.2	9.3	IV
4	46	2.3	2.9 ± 0.2	3.3 ± 0.2	1.4 ± 0.1	2.5 ± 0.2	6.3	IV

Примечание. Приведены средние арифметические значения и доверительные интервалы при $p = 0.05$; “—” — не измеряли.

Для оценки различий между высотами сосны в разных карьерах использовали однофакторный дисперсионный анализ, с последующим попарным сравнением (Post-hoc анализ) методом Tukey HSD. Вычисления проводили в R версии 3.2.2.

На наиболее типичных участках карьеров были заложены опорные почвенные разрезы. Отбор образцов проводили по горизонтам. Содержание органического углерода ($C_{орг}$) определяли методом Тюрина с титриметрическим окончанием, гидролизуемого азота ($N_{гидр}$) — методом Тюрина—Кононовой, подвижных форм соединений калия — методом Кирсанова, гранулометрический анализ — методом Качинского (Теория ..., 2006).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе исследований установлено, что за период с 5- по 13-й год управляемой сукцессии высота культур сосны возросла от 0.4–0.6 до 2.7–3.2 м, сомкнутость крон — до 0.2–0.3. Густота посадки снизилась от 2.8–3.3 до 2.3–2.9 тыс. шт. га⁻¹ (табл. 2). Сохранность культур достаточно высокая на карьерах песчаного и супесчаного состава, на суглинистом отмечена гибель примерно половины высаженных растений. Бонитет насаждений по Л.Ф. Ипатову (1974) характеризовался IV–V классом на 5-й год управляемой сукцессии и IV классом — на 13-й (табл. 2), что свидетельствует о темпах роста сосны в соответствии с природно-климатическими условиями района исследований.

Высота тринадцатилетних посадок сосны на исследованных карьерах статистически значимо различается ($F = 7.7$; $p = 0.0006$). Максимальное значение параметра отмечено у культур на супесчаном карьере 3 (рис. 1, табл. 2). Результаты попарного сравнения высоты сосны показали, что на карьере 3 она значимо выше, чем на песчаном и суглинистом (табл. 3). Наиболее низкие темпы

роста деревьев наблюдались на песчаном карьере 1. Здесь высота культур была значимо ниже, чем на супесчаных карьерах.

Динамика асимметрии рядов распределения деревьев по высоте подтверждает более быстрые темпы роста культур на супесчаных карьерах, чем на песчаном и суглинистом (табл. 4). В пятилетних культурах сосны преобладали деревья, высота которых была меньше высоты среднего дерева (асимметрии положительные). В тринадцатилетних культурах на супесчаных субстратах уже начинают преобладать деревья, высота которых больше высоты среднего дерева (асимметрии отрицательные), тогда как на песчаном и суглинистом положительные значения асимметрии рядов сохраняются. С увеличением возраста посадок

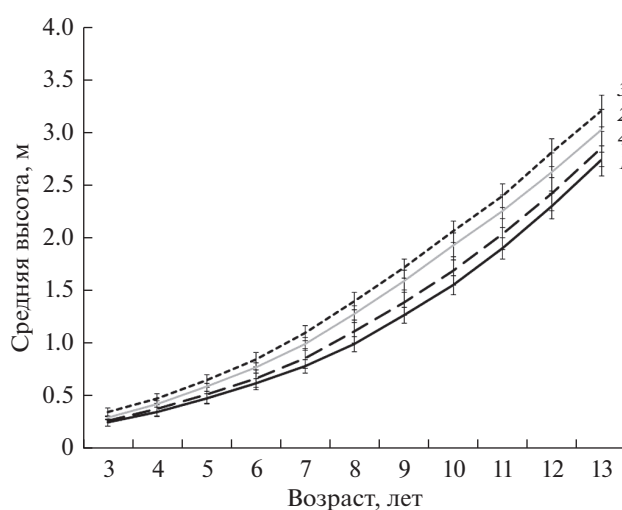


Рис. 1. Рост культур сосны в высоту на карьерах (автоморфные экотопы). 1–4 — карьеры. Планками погрешности показаны границы доверительного интервала при $p = 0.95$.

уменьшается изменчивость деревьев по высоте. Значения среднеквадратичного отклонения свидетельствуют о росте степени рассеяния рядов распределения за период наблюдений, при этом отрицательные значения эксцессов свидетельствуют об их растянутости.

В период наблюдений проективное покрытие (ПП) травяного яруса на песчаном и супесчаных карьерах возросло от 5–20 до 30–50%. На суглинистом карьере вследствие большего количества питательных элементов ПП составляло около 90% и на 5-, и на 13-й годы сукцессии. На всех карьерах в годы наблюдений среди видов с высокой встречаемостью (более 61%) отмечены: *Tussilago farfara* L., *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop, *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, *Agrostis tenuis* Sibth., *Amoria repens* (L.) C.Presl., *Hieracium umbellatum* L., *Equisetum arvense* L., *Taraxacum officinale* Wigg. На суглинистом карьере число постоянных видов дополняют *Poa pratensis* L., *Leucanthemum vulgare* Lam., *Deschampsia cespitosa* (L.) Beauv., *Vicia cracca* L., *Prunella vulgaris* L., *Elytrigia repens* (L.) Nevski, *Trifolium medium* L. Четко выраженных доминантов в травостое карьеров не отмечено, виды высокого постоянства, как правило, имеют максимальное обилие среди видов яруса. Моховой покров на песчаном и супесчаном карьерах в первом пятилетии сукцессии лишь начинает формироваться, в начале второго десятилетия его ПП достигает 50%. Формируют ярус *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid., *Polytrichum juniperinum* Hedw., *P. piliferum* Hedw. На суглинистом карьере моховой покров (ПП около 10%) из *Brachythecium salebrosum* (Web. et Mohr) S.G. заглушается травостоем. Отмеченные в напочвенном покрове виды сосудистых растений активно участвуют в зарастании техногенных местообитаний таежной зоны европейского северо-востока (Мартыненко 1994, 1996; Копцева, Абакумов, 2013). Доминанты мохового яруса также типичны для антропогенно нарушенных территорий (Железнова, Шубина, 2005).

За период наблюдений видовое разнообразие сосудистых растений на карьерах увеличивается от 104 до 172 видов, мохообразных – от 9 до 36 видов. Возрастает доля видов лесной эколого-ценотической группы (табл. 5). Внедряются *Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth, *Rubus saxatilis* L., *Avenella flexuosa* (L.) Drey., *Carex globularis* L., *Pyrola rotundifolia* L., *Pyrola media* Sw., *Oxalis acetosella* L., *Orthilia secunda* (L.) House и др. Отмечены доминанты напочвенного покрова сосновых лесов, уничтоженных во время антропогенного воздействия, – лесные кустарнички (*Vaccinium vitis-idaea*, *V. myrtillus* L.) и мхи (*Pleurozium schreberi*, *Hylacomium splendens*) (Производительные ..., 1954; Мартыненко, 1990). Процент участия видов сорной и сорно-луговой группы в видовом составе снижается.

Таблица 3. Результаты попарного сравнения высоты культур сосны на карьерах (Post-нос анализ)

		Карьер		
		2	3	4
Карьер	1	0.014*	0.000*	0.498
	2		0.475	0.489
	3			0.027*

Примечание. Приведены уровни значимости. * Значимые различия на уровне $p < 0.05$.

Таблица 4. Описательная статистика рядов распределения деревьев по высоте

Возраст культур, лет	Карьер	<i>M</i>	<i>mM</i>	σ	<i>Cv</i>	<i>A</i>	<i>E</i>
5	1	0.45	0.02	0.18	39.9	0.30	-0.31
	2	0.58	0.02	0.22	37.1	0.19	-0.57
	3	0.63	0.03	0.23	35.8	0.50	-0.32
	4	0.44	0.03	0.22	49.7	0.21	-0.75
13	1	2.7	0.10	0.98	35.8	0.24	-0.82
	2	3.0	0.07	0.63	20.8	-0.13	-0.70
	3	3.2	0.07	0.64	20.1	-0.17	-0.19
	4	2.8	0.08	0.63	22.7	0.11	-0.51

Примечание. *M* – средняя высота, м; *mM* – стандартная ошибка, см; σ – среднеквадратичное отклонение от средней высоты, см; *Cv* – коэффициент вариации, %; *A* – асимметрия; *E* – эксцесс.

На 5-й год управляемой сукцессии максимальное сходство по видовому составу растительности отмечено между супесчаными карьерами 2 и 3 (K_j-50), что обусловлено сходными как субстратными, так и экотопическими условиями (рис. 2). Только на этих карьерах отмечена значительная доля болотных и прибрежноводных растений из-за наличия гидроморфных и полугидроморфных экотопов. Сходство между песчаным и супесчаными карьерами 1 и 4 низкое (K_j-30). На 13-й год растительный покров становится более близким по видовому составу как между супесчаными карьерами (K_j-55), так и песчаным и суглинистым (K_j-41). Число общих видов увеличивается и между описанными парами карьеров (K_j-40). Увеличение в ходе сукцессии коэффициента общности Жаккара было отмечено Г.В. Железновой с соавт. (2005), изучавших зарастание техногенных площадок в крайнесеверной тайге.

В первые пять лет сукцессии не было выявлено заметных изменений морфологического строения минерального материала днища карьеров. На суглинистом субстрате карьера 4 отмечалось прокрашивание в темно-серые тона верхнего слабого слоя грунта за счет накопления органического вещества. В слое 0–20 см содержание орга-

Таблица 5. Соотношение эколого-ценологических групп сосудистых растений на карьерах, % от общего числа видов

Группа растений	Карьер									
	5-й год управляемой сукцессии					13-й год управляемой сукцессии				
	1	2	3	4	всего	1	2	3	4	всего
Лесная	31	14	19	8	14	34	23	29	22	27
Опушечно-лесная	—	—	—	2	1	3	3	4	4	3
Луговая	15	9	17	17	15	21	17	17	24	22
Опушечно-луговая	—	—	—	2	1	1	3	3	3	2
Сорно-луговая	27	25	19	45	28	26	20	16	22	16
Болотно-луговая	—	5	5	—	4	—	5	6	2	4
Болотная + прибрежноводная	—	33	29	2	20	7	23	20	6	16
Сорная	23	12	10	23	15	7	3	3	15	9
Другие	4	2	2	2	1	1	2	2	1	1
Общее число видов	26	57	63	60	104	76	95	117	95	172

Примечание. “—” — не отмечена.

нического углерода не превышало на песках и супесях 0.2%, гидролизуемого азота — 2.2 мг 100 г⁻¹, подвижного калия — 6.4 мг 100 г⁻¹; на суглинках 0.6%, 4.2 мг 100 г⁻¹ и 11.1 мг 100 г⁻¹ соответственно. Во втором десятилетии в почвенном профиле морфологически наблюдалось обособление верхнего гумусово-слаборазвитого горизонта мощностью от 1 см (на песках и супесях) до 3 см (на суглинках). Содержание органического углерода в этом горизонте достигало на песках и супесях 1.6%, гидролизуемого азота — 5.5 мг 100 г⁻¹ и подвижного калия — 14.2 мг 100 г⁻¹; на суглинках 2.2%, 7.8 мг 100 г⁻¹ и 18.0 мг 100 г⁻¹ соответственно. Глубже минеральный субстрат преобразован слабо. По данным Е.М. Копцевой и Е.В. Абакумова (2013), также не отмечено формирования нижележащих горизонтов в первые два десятиле-

тия восстановительного процесса на карьерах в условиях таежной зоны. Формирующиеся почвы можно отнести к отделу слаборазвитых (Классификация ..., 2004). На песчаном и супесчаных карьерах — это псаммоземы гумусовые; на суглинках — пелоземы гумусовые.

Известно, что сосна — пионерный вид, крайне неприхотливый к субстратным условиям, но имеющий слабые позиции в конкурентных взаимоотношениях с другими древесными породами. Благодаря широкой экологической амплитуде может произрастать в самых разнообразных лесорастительных условиях (Производительные ..., 1954; Торлопова, Ильчуков, 2007), поэтому часто используется в целях рекультивации. По данным А.Я. Орлова, С.П. Кошелькова (1971), бонитет сосновых насаждений на суглинках выше, чем на супесях, а на супесях выше, чем на песках.

На исследованных нами карьерах к началу второго десятилетия управляемой сукцессии за счет лесорекультивационных мероприятий сформировался древесный ярус из культур сосны удовлетворительного состояния. Более быстрое формирование древостоя происходило на супесчаных субстратах. Применение в качестве посадочного материала семян с закрытой корневой системой дополнительно стимулировало процесс лесовосстановления.

Отпад и более низкие темпы роста деревьев на песчаном карьере были обусловлены, по-видимому, низкой влагообеспеченностью и контрастностью температурного режима субстрата, на суглинистом карьере — конкуренцией с хорошо развитым травостоем. Полученные данные согласуются с результатами авторов, изучавших процессы искусственного (Гаврилова, 2010; Федорев и др., 2011) и естественного (Ильчуков, 2003) воз-

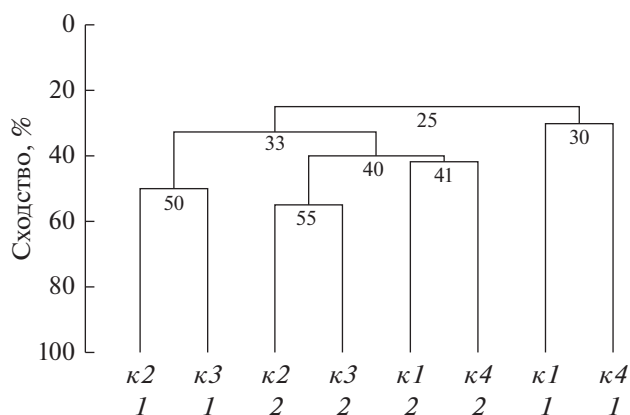


Рис. 2. Дендрограмма сходства видового состава растительности на карьерах. к1–к4 — карьеры; 1 — первое десятилетие сукцессии, 2 — второе десятилетие.

обновления леса на нарушенных землях таежной зоны. Гибель древесных пород на территории карьеров (Гаврилова, 2010), трелевочных волоков и погрузочных площадок вырубок (Ильчуков, 2003), характеризующихся песчаным и песчано-гравийным субстратами, исследователи связывали с их неблагоприятным гидротермическим режимом. В более благоприятных условиях минерального питания и увлажнения гибель деревьев была обусловлена сильной конкуренцией со стороны быстро формирующегося напочвенного покрова и поросли лиственных пород (Ильчуков, 2003; Федорец и др., 2011).

Следует отметить, что средообразующее воздействие сосны в первые годы сукцессии было незначительным. Вместе с тем, на песчано-супесчаных карьерах сосна способствовала в определенной степени формированию напочвенного покрова, скрепляя субстрат разветвленной корневой системой (Орлов, Кошельков, 1971). В свою очередь, травянистые растения и мхи, улучшая условия экотопа, стимулировали развитие древостоя (Лиханова, Ковалева, 2018). На суглинках развитый травостой подавлял еще не вышедшие из-под его полога культуры сосны.

В дальнейшем на 13-й год наблюдений, хотя в напочвенном покрове и преобладали лугово-сорные и луговые виды, что можно объяснить все еще невысокой сомкнутостью крон сосны, значительно возрастает доля участия в видовом составе представителей лесной эколого-ценотической группы.

В соответствии с формированием растительности происходило преобразование субстрата карьеров. Интенсивность первичного почвообразования в значительной мере определяли особенности развития напочвенного покрова как основного, на данном этапе, поставщика отмершей органической массы (Абакумов, Гагарина, 2006). Накопление органического вещества и элементов-биогенов в гумусово-аккумулятивном горизонте происходило активнее на суглинистом карьере с хорошо развитым травостоем, поскольку на песчаном и супесчаном субстратах напочвенный покров был разрежен.

Под воздействием развития древостоя и напочвенного покрова, формирования почвы происходит смягчение условий техногенных местообитаний и удаление их от исходных крайних, что приводит к нивелированию различий в видовом составе фитоценозов, соответствующему гипотезе схождения сукцессии (Разумовский, 2011).

Проводимые нами параллельно исследования процессов самозарастания нарушенных территорий в подзоне средней тайги показали, что восстановление лесных экосистем зонального типа замедлено и его скорость обусловлена прежде всего гранулометрическим составом субстрата.

На суглинках формирование лесных сообществ с доминированием мелколиственных пород деревьев происходит в третьем десятилетии сукцессии и идет через этап лугового сообщества. На песчаных и супесчаных карьерах происходит восстановление сосняков, при этом этапность слабо выражена из-за ограниченности числа видов, способных произрастать на бедных сухих субстратах. В третьем-четвертом десятилетии сукцессии численность сосны на супесчаных карьерах составляла около 3 тыс. шт. га⁻¹, на песчаных — менее 2 тыс. шт. га⁻¹. Высота яруса — 3–4 м (Лиханова и др., 2014; Формирование ..., 2015). Почвы участков самозарастания характеризуются более слабым развитием биогенно-аккумулятивных процессов в одном и том же временном отрезке их формирования по сравнению с почвами рекультивированных площадей. Таким образом, результаты наших исследований подтверждают необходимость этапа лесной рекультивации, ускоряющего процесс восстановления нарушенных земель.

Заключение. В условиях среднетаежной подзоны тайги европейского северо-востока России проведение лесной рекультивации по традиционной технологии (посадка лесных культур без улучшения техногенного субстрата) позволяет сократить процесс формирования древесного яруса за счет минимизации длительного этапа внедрения древесных растений. В начале второго десятилетия управляемой сукцессии происходит внедрение основных ценозообразователей травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового ярусов, характерных для сосняков зеленомошных, в два раза возрастает доля лесных видов в видовом составе. Сформированы слаборазвитые почвы, в верхнем слое которых происходит накопление органического материала и элементов-биогенов.

За первые 13 лет управляемой сукцессии выявлены следующие основные черты формирования растительного покрова: становление вертикальной структуры сообществ; внедрение лесных видов в напочвенный покров; увеличение видового богатства сообществ; возрастание их проективного покрытия; нивелирование различий во флористическом составе.

* * *

Авторы выражают благодарность О.А. Останиной, В.А. Ковалевой, Д.С. Терентьеву — за помощь при проведении полевых работ, Г.В. Железновой — за определение мохообразных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Абакумов Е.В., Гагарина Э.И. Почвообразование в пост-техногенных экосистемах карьеров на Северо-Западе Русской равнины. СПб.: Изд-во С.-Петербургского университета, 2006. 208 с.

- Баранник Л.П.* Биоэкологические принципы лесной рекультивации. Новосибирск: Наука, 1988. 88 с.
- Гаврилова О.И.* Восстановление растительного покрова песчано-гравийных карьеров лесокультурными методами // Труды лесоинженерного факультета ПетрГУ. 2010. Т. 8. С. 21–25.
- Железнова Г.В., Шубина Т.П.* Видовой состав мхов техногенно нарушенных ландшафтов Республики Коми // Ботанический журн. 2005. Т. 90. № 2. С. 215–221.
- Железнова Г.В., Кузнецова Е.Г., Евдокимова Т.В., Турубанова Л.П.* Мониторинг формирования растительного покрова на техногенно-нарушенных территориях Усинского нефтяного месторождения // Экология. 2005. № 4. С. 269–274.
- Ильчуков С.В.* Динамика структуры лесного покрова на сплошных вырубках (подзона средней тайги, Республика Коми). Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2003. 120 с.
- Ипатов Л.Ф.* Строение и рост культур сосны на Европейском Севере. Архангельск: Северо-Западное книж. издательство, 1974. 107 с.
- Казаков Л.А., Вишняков Г.В.* Облесение песков в Заполярье // Лесн. хоз-во. 2006. № 4. С. 31–32.
- Капелькина Л.П.* Экологические аспекты оптимизации техногенных ландшафтов. СПб: Наука ПРОПО, 1993. 192 с.
- Классификация и диагностика почв России / Под ред. Добровольского Г.В. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
- Копцева Е.М., Абакумов Е.В.* Первичные сукцессии растительности и почв на карьерах в подзоне северной тайги (на территории Ухтинского и Сосногорского районов Республики Коми) // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 3. Биология. 2013. № 1. С. 28–44.
- Коронатова Н.Г., Миляева Е.В.* Сукцессия фитоценозов при зарастании выработанных карьеров в подзоне северной тайги // Сибирский экологический журн. 2011. № 5. С. 697–705.
- Лиханова И.А., Ковалева В.А.* Одновременный посев луговых злаков и посадка древесных растений в ходе лесной рекультивации нарушенных земель в северной тайге Республики Коми // Лесоведение. 2018. № 6. С. 444–453.
- Лиханова И.А., Холопов Ю.В., Лантвева Е.М.* Формирование лесных экосистем в ходе самовосстановительной сукцессии на техногенных субстратах средней тайги северо-востока Европейской части России // Матер. Всерос. научн. конф. “Лесные биогеоценозы бореальной зоны: география, структура, функции, динамика”. (Красноярск, 16–19 сентября 2014 г.) Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. С. 341–343.
- Лиханова И.А., Арчегова И.Б., Хабибуллина Ф.М.* Восстановление лесных экосистем на техногенно-нарушенных территориях Севера. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2006. 104 с.
- Мартыненко В.А.* Флористический состав хвойных лесов Коми АССР. Серия препринтов “Научные доклады”. Сыктывкар: Изд-во Коми НЦ УрО РАН, 1990. Вып. 246. 20 с.
- Мартыненко В.А.* Синантропная флора подзоны средней тайги европейского Северо-Востока // Ботанический журн. 1994. Т. 79. № 8. С. 77–81.
- Мартыненко В.А.* Растительный покров техногенных экотопов г. Сыктывкар и его окрестностей // Биологическое разнообразие антропогенно трансформированных ландшафтов европейского Северо-Востока. Тр. Коми НЦ УрО РАН. 1996. № 149. С. 7–13.
- Методы изучения лесных сообществ / Под ред. Ярмишко В.Т., Лянгузовой И.В. СПб.: НИИХимии СПбГУ, 2002. 240 с.
- Новаковский А.Б.* Взаимодействие Excel и статистического пакета R для обработки данных в экологии // Вестник Института биологии Коми НЦ УрО РАН. 2016. № 3. С. 26–33.
- Огиевский В.В., Хиров А.А.* Обследование и исследование лесных культур. М.: Лесная пром-ть, 1964. 48 с.
- Орлов А.Я., Кошельков С.П.* Почвенная экология сосны. М.: Наука, 1971. 324 с.
- Производительные силы Коми АССР. Т. III. Ч. 1. Растительный мир. М.-Л.: Изд-во Академии наук СССР, 1954. 377 с.
- Разумовский С.М.* Труды по экологии и биогеографии. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2011. 722 с.
- Теория и практика химического анализа почв / Под ред. Воробьевой Л.А. М.: ГЕОС, 2006. 400 с.
- Торлопова Н.В., Ильчуков С.В.* Сосновые леса европейского Северо-Востока: структура, состояние, флористический комплекс. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2007. 191 с.
- Федорец Н.Г., Соколов А.И., Крышень А.М., Медведева М.В., Костина Е.Э.* Формирование лесных сообществ на техногенных землях севера-запада таежной зоны России. Петрозаводск: Изд-во Карельского НЦ РАН, 2011. 130 с.
- Формирование лесных экосистем на посттехногенных территориях в таежной зоне / Под ред. Арчеговой И.Б. Сыктывкар: Изд-во Коми НЦ УРО РАН, 2015. 140 с.
- Хватов Ю.А.* Облесение земель, нарушенных при разработке месторождений полезных ископаемых. М.: ЦБНТИлесхоз, 1973. 56 с.
- Шугалай Л.С., Чупрова В.В.* Почвообразование в техногенных ландшафтах лесостепи Назаровской котловины Средней Сибири // Почвоведение. 2012. № 3. С. 287–298.
- Macdonald S.E., Landha S.M., Skousen J., Franklin J., Frouz J., Hall S., Jacobs D.F., Sylvie Q.* Forest restoration following surface mining disturbance: challenges and solutions // New Forests. 2015. V. 46. P. 703–732.
- Pinno B.D., Hawkes V.C.* Temporal trends of ecosystem development on different site types in reclaimed boreal forests // Forests. 2015. V. 6. P. 2109–2124.
- Showalter J., Burger J., Zipper C.* Hardwood seedling growth on different mine spoil types without and with topsoil amendment // J. Environmental Quality. 2010. V. 39. P. 483–491.
- Zipper C., Burger J., Skousen J., Angel P., Barton C., Davis V., Franklin J.* Restoring forests and associated ecosystem services on Appalachian coal surface mines // Environmental Management. 2011. V. 47. P. 751–765.

Vegetative Cover Forming in Quarries after Forest Recultivation Being Performed in Middle Taiga Subzone of the North-East of the European Russia

I. A. Likhanova^{1,*}, Ye. G. Kuznetsova¹, and A. B. Novakovskiy¹

¹*Institute of Biology, Komi Scientific Centre, Ural Branch of the RAS, Kommunisticheskaya st. 28, Syktyvkar, 167982 Russia*

*E-mail: likhanova@ib.komisc.ru

The paper presents the study of the vegetative cover formation specifics after the forest recultivation has been carried out using the traditional technology (planting the forest culture without any improvement of the technogenic substrate) on the exhausted quarries of construction materials, situated within the middle taiga subzone of the North-East of the European Russia. It was found that the forest recultivation helps to decrease the time of forest stands succession due to minimizing the lengthy period of trees initial introduction. On 13th year of the managed succession, the average height of pine trees was found to be 3 m, canopy density was 0.2–0.3, while the crown density was 2.3–2.9. Substrate conditions affect the growth and overall preservation of the spruce, as well as the structure and texture of the ground vegetation. On sandy loam quarries the pines biometric characteristics are better than on sandy or loamy. Grass communities are comprised of meadow and ruderal species, typical for the technogenic ecotopes of taiga zone. They are well-developed on loamy substrates but get scattered on sandy loam and sand substrates. Moss layer is well-developed on substrates with coarser textures. After the first 13 years of the managed succession the following features were observed: formation of the vertical structure of the vegetative communities, introduction of the forest species into the ground vegetation, including the dominant species of the grass, shrub and moss layers of the natural pine forests, increases species diversity, increase in their projective cover, balancing of the communities' floristic structure, primitive soils formation.

Keywords: taiga, quarries, forest recultivation, ecosystems regeneration, vegetation, soil, succession.

Acknowledgements: This study was held within the framework of the State Contract of the Institute of Biology KSC UB RAS for 2018-2021.

REFERENCES

- Abakumov E.V., Gagarina E.I., *Pochvoobrazovanie v postekhnogennykh ekosistemakh kar'erov na severo-zapade Russkoi ravniny* (Pedogenesis in post-technogenic ecosystems of quarries in north-west of East-European Plain), Saint-Petersburg: Izd-vo SPbGU, 2006, 208 p.
- Barannik L.P., *Biologicheskie printsipy lesnoi rekul'tivatsii* (Biological principles of forest remediation), Novosibirsk: Nauka, 1988, 89 p.
- Fedorov N.G., Sokolov A.I., Kryshen' A.M., Medvedeva M.V., Kostina E.E., *Formirovaniye lesnykh soobshchestv na tekhnogennykh zemlyakh severa-zapada taezhnoi zony Rossii* (Development of forest communities on technogenic lands in northwestern Russian taiga), Petrozavodsk: Izd-vo KarNTs RAN, 2011, 130 p.
- Formirovaniye lesnykh ekosistem na posttekhnogennykh territoriyakh v taezhnoi zone* (The formation of forest ecosystems in post-technogenic territories in the taiga zone), Syktyvkar: Izd-vo Komi NTs URO RAN, 2015, 140 p.
- Gavrilova O.I., *Vosstanovleniye rastitel'nogo pokrova peschano-graviinykh kar'erov lesokul'turnymi metodami* (Restoration of vegetation cover in sand and gravel quarries by artificial reforestation methods), *Trudy lesoinzhenernogo fakul'teta PetrGU*, 2010, Vol. 8, pp. 21–25.
- Il'chukov S.V., *Dinamika struktury lesnogo pokrova na sploshnykh vyrubkakh (podzona srednei taigi, Respublika Komi)* (Dynamics of forest cover structure in clear-cuttings (middle taiga subzone of the Komi Republic)), Ekaterinburg: Izd-vo UrO RAN, 2003, 120 p.
- Ipatov L.F., *Stroeniye i rost kul'tur sosny na Evropeiskom Severe* (The structure and growth of pine crops in the European North), Arkhangel'sk: Severo-Zapadnoye knizh. izdatel'stvo, 1974, 107 p.
- Kapel'kina L.P., *Ekologicheskie aspekty optimizatsii tekhnogennykh landshaftov* (Ecological aspects of optimization of technogenic landscapes), Saint-Petersburg: PROPO, 1993, 191 p.
- Kazakov L.A., Vishnyakov G.V., *Obleseniye peskov v Zapol'yar'e* (Afforestation of sands in the High Arctic), *Lesnoe khozyaistvo*, 2006, No. 4, pp. 31–32.
- Khvatov Y.A., *Obleseniye zemel', narushennykh pri razrabotke mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh* (Afforestation of land disturbed during the development of mineral deposits), Moscow: TsBNTIleskhoz, 1973, 56 p.
- Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* (Classification and recognition of soils in Russia), Smolensk: Oikumena, 2004, 342 p.
- Koptseva E.M., Abakumov E.V., *Pervichnyye suksessii rastitel'nosti i pochv na kar'erakh v podzone severnoi taigi (na territorii Ukhtinskogo i Sosnogorskogo raionov Respubliki Komi)* (Primary succession of vegetation and soils in quarries within northern taiga subzone (on the territory of the Ukhtinskiy and Sosnogorskiy districts of Komi Republic)), *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Seriya 3. Biologiya*, 2013, No. 1, pp. 28–44.
- Koronatova N.G., Milyaeva E.V., *Plant community succession in post-mined quarries in the northern-taiga zone of West Siberia*, *Contemporary Problems of Ecology*, 2011, Vol. 4, No. 5, pp. 513–518.
- Likhanova I.A., Arhegova I.B., Khabibullina F.M., *Vosstanovleniye lesnykh ekosistem na antropogenno narushennykh territoriyakh podzony krainesevernoi taigi Evropeiskogo Severo-Vostoka Rossii* (Recovery of forest ecosystems on lands

- disturbed by human in the extreme north taiga of North-eastern Europe), Yekaterinburg: Izd-vo UrO RAN, 2006, 103 p.
- Likhanova I.A., Kholopov Y.V., Lapteva E.M., Formirovanie lesnykh ekosistem v khode samovosstanovitel'noi suksessii na tekhnogennykh substratakh srednei taigi severo-vostoka Evropeiskoi chasti Rossii (The formation of forest ecosystems during self-healing succession on technogenic substrates of the middle taiga of the northeast of the European part of Russia), *Vseross. nauchn. konf. "Lesnye biogeotsenozy boreal'noi zony: geografiya, struktura, funktsii, dinamika"* (All-Russian Scientific Conference "Forest biogeocenoses of the boreal zone: geography, structure, functions, dynamics"), Proc. Conf, Novosibirsk, 16–19 September, 2014, Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2014.
- Likhanova I.A., Kovaleva V.A., Odnovremennyyi posev lugovykh zlakov i posadka drevesnykh rastenii v khode lesnoi rekul'tivatsii narushennykh zemel' v severnoi taige Respubliki Komi (Possibilities of simultaneous seeding of meadow grasses and wooden plants for remediation of disturbed lands in north of taiga domain in Komi Republic), *Lesovedenie*, 2018, No. 6, pp. 444–453.
- Macdonald S.E., Landhäusser S.M., Skousen J., Franklin J., Frouz J., Hall S., Jacobs D.F., Quideau S., Forest restoration following surface mining disturbance: challenges and solutions, *New Forests*, 2015, Vol. 46, No. 5, pp. 703–732.
- Martynenko V.A., *Floristicheskii sostav khvoinykh lesov Komi ASSR* (Floristic composition of coniferous forests of the Komi ASSR), Syktyvkar: Izd-vo Komi NTs UrO RAN, 1990, Vol. 246, 20 p.
- Martynenko V.A., Rastitel'nyi pokrov tekhnogennykh ekotopov g. Syktyvkar i ego okrestnostei (Vegetation cover of technogenic ecotopes of the city of Syktyvkar and its suburbs), *Biologicheskoe raznoobrazie antropogenno transformirovannykh landshaftov evropeiskogo Severo-Vostoka. Tr. Komi NTs UrO RAN*, 1996, No. 149, pp. 7–13.
- Martynenko V.A., Sinantropnaya flora podzony srednei taigi evropeiskogo Severo-Vostoka (The synanthropic flora of middle taiga subzone of European North-East), *Botanicheskii zhurnal*, 1994, Vol. 79, No. 8, pp. 77–81.
- Metody izucheniya lesnykh soobshchestv* (Methods of forest communities study), Saint Petersburg: Izd-vo NII Khimii SPbGU, 2002, 240 p.
- Novakovskii A.B., Vzaimodeistvie Excel i statisticheskogo paketa R dlya obrabotki dannykh v ekologii (Interaction between Excel and statistical package R for ecological data analysis), *Vestnik Instituta biologii Komi NTs UrO RAN*, 2016, No. 3, pp. 26–33.
- Ogievskii V.V., Khirov V.V., *Obsledovanie i issledovanie lesnykh kul'tur* (Survey and study of forest plantations), Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1964, 48 p.
- Orlov A.Y., Koshel'kov S.P., *Pochvennaya ekologiya sosny* (Soil ecology of the pine), Moscow: Nauka, 1971, 324 p.
- Pinno B.D., Hawkes V.C., Temporal trends of ecosystem development on different site types in reclaimed boreal forests, *Forests*, 2015, Vol. 6, pp. 2109–2124.
- Proizvoditel'nye sily Komi ASSR. Chast' 1: Rastitel'nyi mir* (Production forces of Komi ASSR. Part 1. Plant world), Moscow–Leningrad: Izd-vo AN SSSR: 1954, Vol. 3, 377 p.
- Razumovskii S.M., *Trudy po ekologii i biogeografii* (Ecological and biogeographical studies), Moscow: KMK, 2011, 722 p.
- Showalter J., Burger J., Zipper C., Hardwood seedling growth on different mine spoil types without and with topsoil amendment, *J. Environmental Quality*, 2010, Vol. 39, pp. 483–491.
- Shugalei L.S., Chuprova V.V., Soil formation in the technogenic forest-steppe landscapes of the Nazarovskaya Depression in western Siberia, *Eurasian soil science*, 2012, Vol. 45, No. 3, pp. 246–256.
- Teoriya i praktika khimicheskogo analiza pochv* (Theory and practice of the chemical analysis of soils), Moscow: GEOS, 2006, 400 p.
- Torlopova N.V., Il'chukov S.V., *Sosnovye lesa evropeiskogo Severo-Vostoka: struktura, sostoyanie, floristicheskii kompleks* (Pine forests in Northeastern Europe: structure, health, and floristic complex), Yekaterinburg: Izd-vo IB Komi NTs UrO RAN, 2007, 191 p.
- Zheleznova G.V., Kuznetsova E.G., Evdokimova T.V., Turubanova L.P., Monitoring of vegetation development in technogenically disturbed areas of the Usinskoe oil field, *Russian Journal of Ecology*, 2005, Vol. 36, No. 4, pp. 243–248.
- Zheleznova G.V., Shubina T.P., Vidovoi sostav mkhov tekhnogenno narushennykh landshaftov Respubliki Komi (The species composition of mosses in the technogenically disturbed areas of the Komi Republic), *Botanicheskii zhurnal*, 2005, Vol. 90, No. 2, pp. 215–221.
- Zipper C.E., Burger J.A., Skousen J.G., Angel P.N., Barton C.D., Davis V., Franklin J.A., Restoring forests and associated ecosystem services on Appalachian coal surface mines, *Environmental Management*, 2011, Vol. 47, No. 5, pp. 751–765.