DOI 10.21178/2079–6080.2019.1.40
УДК 630*232.49

Рост культур сосны в условиях рекультивированных песчаных карьеров

© Ю.И. Данилов, А.П. Смирнов, С.В. Навалихин, А.А. Фетисова,
В.А. Петров

Scots pine forest plantations growth in the conditions of sand pits recultivation

Yu.I. Danilov, A.P. Smirnov, S.V. Navalikhin, A.A. Fetisova, V.A. Petrov (Saint-Petersburg state forest technical University)

The research provides basic parameters of creating Scots Pine forest plantations on various elements of the mesorelief such as hill tops, slopes and tops of overburden banks, slight slopes (3–6°) of various exposures, depressions in the relief and the bottom of sand pits. It gives main taxation characteristics of 20–35 year old forest plantations. Study results show correlation between the growth of forest plantations and their positioning in the mesorelief and the characteristics of young sandy soil. It showed increased survival capacity of forest plantation on the poorest growing conditions. Weakly growing pine cultures are confined to habitats with a low content of organic matter in sandy soils (> 0.2 – 0.4%). The pine growth rate has a strong correlation with the nitrogen content in the soil, the sum of exchange bases, the fertility index. These indicators have small values, traces – with poor growth of cultures and just small values – with good growth of cultures. The attrition of cultures has more expression in highly productive forest plantations. The site index is to a certain extent related to the mesorelief of the area. Cultures of the highest site indexes classes (I-II) grow on the tops of overburden banks and hills, as well as in mixed plantings with yellow acacia. The forest plantations located at the bottoms of sand-pits and decreases in a relief are characterized by slow growth. Generally, it was shown that the growth of pine on young sandy soils is limited by extremely small values of indicators of soil fertility (the content of organic matter, nitrogen, and physical clay). The best growth is observed on the tops of the hills and overburden banks, the average is on the slight slopes of different exposures, the worst is at the bottom of sand-pits.

Key words: Scots Pine forest plantations, recultivation of sand-pits, mesorelief, characteristics of young soils

Рост культур сосны в условиях рекультивированных песчаных карьеров

Ю.И. Данилов А.П. Смирнов, С.В. Навалихин, А.А. Фетисова, В.А. Петров

Приведены основные параметры создания лесных культур сосны обыкновенной на различных элементах мезорельефа: вершины холмов, склоны и вершины вскрышных валов, пологие (3–6°) склоны различной экспозиции, понижения в рельефе и днища карьеров. Даны основные таксационные характеристики 20–35-летних культур. Рассмотрена связь роста культур с положением их в мезорельефе и характеристиками молодых песчаных почв. Установлена повышенная сохранность культур в самых бедных условиях местопроизрастания. Слаборастущие деревья приурочены к местообитаниям с низким содержанием органического вещества в песчаных грунтах ($>0,2–0,4\%$). Интенсивность роста сосны тесно связана с содержанием азота в почве, суммой обменных оснований, индексом плодородия. Эти показатели имеют малые величины, следы — при плохом росте насаждений и просто малые величины — при хорошем росте. Отпад стволов больше выражен в высокопродуктивных древостоях. Класс бонитета в определенной степени связан с мезорельефом площади. Деревья высших классов бонитета (I–II) произрастают на вершинах вскрышных валов и песчаных холмов, а также в смешанных насаждениях с акацией желтой. А для днищ карьеров и понижений рельефа характерно замедленное развитие. В целом показано, что прирост сосны на молодых песчаных почвах лимитируется крайне малыми значениями показателей почвенного плодородия (содержание органического вещества, азота, физической глины). Наилучшая продуктивность наблюдается на вершинах холмов и вскрышных валов, средняя — на пологих склонах разной экспозиции, наихудший — на днищах карьеров.

Ключевые слова: культуры сосны, рекультивация песчаных карьеров, мезорельеф, характеристики молодых почв

Данилов Юрий Иванович — канд. с.-х. наук, заведующий кафедрой почвоведения и лесных культур

E-mail: leskultur@mail.ru

Смирнов Александр Петрович — д-р с.-х. наук, профессор кафедры лесоводства

E-mail: frontera12@gmail.com

Навалихин Сергей Викторович — канд. с.-х. наук, доцент кафедры почвоведения и лесных культур

E-mail: 6423487@mail.ru

Фетисова Анна Александровна — канд. биол. наук, доцент кафедры почвоведения и лесных культур

E-mail: feti-anna@mail.ru

Петров Валентин Анатольевич — аспирант кафедры почвоведения и лесных культур

E-mail: 3523552@mail.ru

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова»

194021, Санкт-Петербург, Институтский пер., 5

Тел.: (812) 670–93–17

Email: leskultur@mail.ru

Введение

Ежегодно в нашей стране на поверхность извлекается около 10 млрд м³ горных пород [5]. По приблизительным оценкам, на долю горнодобывающей промышленности приходится около 70% всех отходов, аккумулирующихся на поверхности Земли. При существующих способах переработки нередко до 30%, а иногда и до 90% добываемого сырья попадает в отходы, формируемые в виде отвалов вблизи места их добычи и переработки. По данным Е.В. Абакумова и Э.И. Гагариной [5], только на территории Ленинградской области в отвалах находится примерно $3 \cdot 10^8$ м³ техногенных грунтов горной промышленности.

Заращение карьеров происходит под функциональным контролем зрелых экосистем, окружающих техногенные ландшафты. Наиболее интенсивное восстановление экосистем наблюдается на тех участках отвалов, которые находятся ближе к источникам обсеменения. Однако это происходит не всегда. По нашим исследованиям, на территории Полянского участкового лесничества Ленинградской области древостой, окружающие карьеры, представлены в основном низкостелыми молодняками, источники обсеменения вырублены или встречаются редко, поэтому процесс естественного заращения затягивается на долгие годы.

Процессу формирования молодых почв в техногенных ландшафтах посвящено довольно много исследований: Трофимов и др., 1979; Бурыкин, Засорина, 1989; Гагарина и др., 1989; Баева, Гагарина, 1992; Федорец и др., 1995; Андроханов, Овсянникова, 2000; Абакумов, 2001; Абакумов, Гагарина, 2002, 2003, 2006; Голеусов, 2004 и др. [31, 8, 9, 7, 32, 6, 1, 2, 3, 11]. Обычно исследователи выделяют три фазы начального почвообразования: абиогенное преобразование твердой фазы грунта, педогенное изменение минеральной части и биогенно-аккумулятивные процессы. В первые годы педогенные изменения минералогического состава и микростроения грунтовых смесей выражены слабо, но постепенно с раз-

витием биогенно-аккумулятивных реакций они начинают превалировать над абиогенным ходом изменения минеральной части грунта. Выветривание минералов и перемещение продуктов их разрушения по профилю, образование новых соединений происходят в молодой почве под воздействием фактора гумусообразования. Гумус почв является функциональным звеном, обеспечивающим взаимодействие почвы и растительного покрова в рамках [25, 13]. Только после образования сомкнутого растительного сообщества происходит увеличение массы поступающих в грунт растительных остатков и начинается активный кислотный гидролиз минералов и выделение элювиальных микрогоризонтов [10].

На нарушенных землях Северо-Запада сосна *Pinus sylvestris* L. почти не имеет альтернативы в качестве основного вида для восстановления нарушенных земель. Она широко применяется в посадках лесных культур на отвалах разработки фосфоритов [19], песчано-гравийных карьеров [15, 16, 4, 28], карьеров по добыче бокситов. Сосна преобладает наравне с облепихой при создании культур на техногенных землях железорудных карьеров Курской магнитной аномалии [23, 21, 30] и сланцевых — в Эстонии. В зависимости от состава грунта она формирует здесь насаждения II-III классов бонитета [14] и занимает около 85% от общей площади, пройденной лесной рекультивацией.

Сразу после завершения горнотехнического этапа биогенные факторы в формировании молодых почв носят аккумулятивный (накопление углерода, азота и других биогенных элементов) и трансформативный (структурообразование, выветривание) характер [24, 32, 6, 27]. Посттехногенный ландшафт на первых этапах развития представляет собой своеобразный биологический вакуум, в котором одновременно с восстановлением биотического компонента начинается и процесс восстановления почвы [32, 6]. Сначала на техногенном субстрате поселяются микроорганизмы, которые обеспечивают разложение ком-

понентов почвообразующей породы, высвобождение зольных элементов, вовлечение азота и углерода в органическое вещество и создание агрегатной структуры [18, 20, 32]. Показано, что слизи бактерий способствуют формированию водопрочной структуры в молодых почвах [6, 17], доказана особая роль грибов в преобразовании органики молодых почв, которые своими разнообразными ферментами активизируют ряд биохимических превращений углерода и за счет развитого мицелия производят разложение растительных и биологических остатков. Восстановление почвы приводит к увеличению почвенной фауны. По данным Л.С. Шугалей (1997) [34], через 5 лет после посадки культур сосны в образовавшейся подстилке произошло резкое увеличение активности дождевых червей и микроартропод. Показано также, что изменение почвенной фауны в молодых экосистемах связано с характером сукцессии растительности (Koehler, 2000; Topp et al., 2001; Honberg, 2003; Dunger, 2004) [35, 36, 37, 38]. Этими же авторами было установлено, что развитие почвенной фауны и микробиоты на начальных стадиях сукцессии тесно связано с количеством и качеством опада, участвующего в почвообразовании.

Отмечено, что в культурах сосны под кронами концентрируется кислый опад, процессы разложения подстилки замедлены, образуется гумус, обогащенный фульвокислотами [34, 32]. В целом установлено, что гумусообразование в молодых почвах рекультивированных объектов, осуществляется по механизмам, во многом сходными с таковыми на зональных почвах [22, 12, 5].

Объекты и методы исследования

Исследуемые в нашей работе участки культур находятся на территории Полянского участкового лесничества в юго-западной части Карельского перешейка. В геоморфологическом плане этот район относится к террасированной равнине, юго-западному равнинно-холмистому подрайону [26]. Поверхность

сложена рыхлыми ледниковыми и водно-ледниковыми наносами, в основании которых лежат осадочные пласты палеозоя и кембрия. На возвышенных элементах рельефа под сосновыми лесами развиты поверхностно-подзолистые песчаные почвы, ниже они сменяются торфяно-подзолистыми почвами и болотами.

На территории Карельского перешейка сосредоточены большие залежи валунно-песчано-гравийных материалов, которые активно разрабатываются с 50-х годов по настоящее время. Площади карьеров разные, чаще всего представлены небольшими участками, но могут достигать и до 30 га. Глубина карьеров колеблется от 1 до 20 метров. Они многочисленны и оказывают отрицательное влияние на окружающие лесные массивы. Рощинское лесничество (ранее Рощинский лесхоз) имеет большой опыт рекультивации песчаных карьеров. Проведено лесовосстановление на большой площади нарушенных земель, однако не везде посадки сохранились и характеризуются успешным ростом. Часть насаждений находится в угнетенном состоянии и распадается. В этой связи нами была предпринята попытка определить основные причины, снижающие рост деревьев на рекультивированных песчано-гравийных карьерах.

Сосновые насаждения на опытных участках создавались ручной посадкой 2-летних сеянцев под лопату, со смешением сосны с акацией желтой и механизированной посадкой 2-летних сеянцев сосны с березой карельской. Культуры создавались на различных элементах мезорельефа, таких как: вершины холмов, склоны и вершины вскрышных валов, пологие (3–6°) склоны различной экспозиции, понижения в рельефе, днища карьеров. Первоначальная густота культур варьировала в пределах 6,6–9,5 тыс. экз./га. Таксация древостоев культур проводилась по общепринятым методикам. На пробных площадях проводился сплошной пересчет деревьев по двухсантиметровым ступеням толщины, с измерением высот и дальнейшим определением всех таксационных показателей. При этом, в

целях более объективной оценки роста культур, бонитеты на основании варьирования средних высот в бонитировочной шкале были представлены с точностью до одной десятой и обозначались арабскими цифрами: например, вместо II,4 – 2,4 (табл. 1). Низший класс бонитета (Va) представлен как 6-й класс (например, 6,4).

Результаты исследований

Сохранность культур, различается в исследуемых насаждениях от 46% на ПП 1(6) до 99% на ПП 6(4). В пределах отдельных пробных площадей наблюдается вариация значений, особенно на пробах № 1 (49–84%), № 6 (51–99%) и № 8 (52–86%). Наблюдается тенденция повышенной сохранности культур в возрасте 18–35 лет в вариантах с худшими условиями роста и пониженным классом бонитета: на ПП 8(2) она составляет 86% при классе бонитета 4,6; на ПП 6(4) – соответственно 99 и 4,1; на ПП 3(3) – 87 и 5,9; на ПП 1(7) – 84 и 5,7. Это полностью соответствует выводам С.Н. Сеннова о том, что в культурах с равномерной посадкой и при неудовлетворительных условиях роста наблюдается ослабление дифференциации, конкуренции и естественного отпада, снижение продуктивности [29].

Отпад. Наиболее существенный отпад последних лет (запас сухостойных мелких и средних деревьев) зафиксирован на участке № 1 в высокопродуктивных культурах (класс бонитета 2, запас 215–250 м³/га) в возрасте жердняка (35 лет). Здесь он составляет 4–10% от запаса растущего леса, что указывает на активную дифференциацию древостоев, в которых в этом возрасте наиболее целесообразно проведение интенсивного прореживания [29]. На остальных участках, не достигших возраста жердняка, отпад минимальный (1–3%) и представлен в основном массовым сухостоем отставших в росте самых мелких деревьев. Это характерно для этапа молодняка (чащи). Наименьший отпад

(по количеству усохших стволиков) наблюдается на участках с наихудшим ростом, что соответствует лучшей сохранности здесь живых, но мелких деревьев с ослабленным ростом, о чем уже говорилось выше.

Запасы и приросты древостоев. Абсолютная полнота древостоев культур сосны – 2 классов бонитета в 26–35-летнем возрасте составляет 35–40 м²/га, а на двух ПП – № 3(1) и № 5(2) – доходит даже до 52 м²/га. Соответственно запасы стволовой древесины равны 215–290, а на ПП 3(1) – 319 м³/га. Следовательно, средний общий прирост культур достигает 10 м³/га в год, а средний периодический в последние 5–10 лет мог составить 15–20 м³/га в год. Это очень высокие показатели роста, характерные лишь для высших классов бонитета на самых богатых почвах. В данном случае такой феномен можно объяснить биологическими особенностями сосны, ее неприхотливостью и приспособленностью к минимально необходимым почвенным условиям. С другой стороны, именно эти условия, по-видимому, обеспечили высокую сохранность культур при отсутствии усиленной дифференциации, конкуренции и отпада. Судя по таблицам хода роста и другим справочным материалам, при той же средней высоте густота культур на наших объектах (табл. 1) примерно вдвое выше табличных значений.

Класс бонитета сосновых культур связан с мезорельефом лесокультурной площади. Замедленный рост характерен для днищ карьеров и понижений рельефа (бонитеты сосны здесь V–Va). Культуры высших классов бонитета (I–II) представлены на вершинах вскрышных валов (ПП 5(2)), на вершинах песчаных холмов (ПП 3(1)), при посадке сосны с березой карельской и внесением удобрений (участок 7), на ровных местоположениях. На пологих склонах разной экспозиции энергия роста культур характеризуется средними или пониженными величинами (класс бонитета III–V).

Таблица 1

Таксационная характеристика культур сосны, созданных при рекультивации песчаных карьеров

№ пр. пл.	Возраст, лет	Число стволов, экз./га		Сохранность, %	Средние		Полнота		Запас, м³/га		Класс бонитета
		живых	сухих		Н, м	Д, см	абс., м²/га	отн.	растущих	сухостойных	
1(1)	35	4857	2143	58	11,8	9,8	36,6	1,18	220	25	2,8
1(2)	35	4480	2400	54	12,5	10,1	35,9	1,14	227	23	2,4
1(3)	35	4310	381	52	3,3	2,9	2,8	0,24	8	1	6,8
1(4)	35	4524	1579	54	12,7	10,5	39,2	1,23	251	10	2,3
1(5)	35	4056	2233	49	12,2	10,4	34,4	1,10	214	12	2,6
1(6)	35	3873	952	46	12,3	10,8	35,5	1,13	221	11	2,5
1(7)	35	7039	578	84	5,1	4,9	13,3	0,68	45	1	5,7
2(1)	18	4804	23	65	1,9	3,0	3,4	0,52	7	<1	6,0
2(2)	19	4720	54	64	1,7	2,9	3,1	0,70	5	<1	6,2
2(3)	19	6280	95	71	4,5	4,9	11,8	0,69	38	<1	4,0
3(1)	31	4133	607	62	12,2	12,6	51,5	1,64	319	3	2,0
3(2)	31	4565	182	71	11,5	8,2	24,1	0,78	142	<1	2,6
3(3)	31	5807	170	87	4,3	4,6	9,6	0,59	30	<1	5,9
4(1)	24	6141	1204	69	7,3	9,2	40,8	1,35	144	3	3,3
4(2)	24	5813	115	65	2,3	3,5	5,6	0,73	14	<1	6,5
4(3)	24	5613	1499	63	7,7	8,4	31,1	1,21	138	4	3,0
5(1)	26	5237	592	71	7,3	9,2	34,8	1,39	148	1	3,5
5(2)	26	4739	1261	64	10,5	11,8	51,8	1,74	285	5	1,8
5(3)	26	4619	95	62	2,9	2,8	2,8	0,29	7	<1	6,1
5(4)	26	5319	898	72	7,0	8,7	31,6	1,30	131	1	3,6
6(1)	20	4575	552	51	1,5	2,9	3,0	0,75	5	<1	6,6
6(2)	20	5254	315	53	3,6	4,3	7,6	0,58	23	<1	4,9
6(3)	20	6793	207	76	1,9	3,4	6,2	1,13	13	<1	6,2
6(4)	20	9867	274	99	4,6	4,9	18,6	1,06	61	<1	4,1
7(1)	29	5943	1556	62	12,7	8,7	35,3	1,11	226	9	1,6
7(2)	29	7809	666	82	11,3	9,0	49,7	1,62	289	3	2,2
7(3)	29	5001	1209	52	12,3	10,8	45,8	1,46	286	6	1,7
8(1)	20	6035	561	72	6,0	6,7	21,3	0,96	80	1	3,0
8(2)	20	7200	200	86	4,1	4,1	9,5	0,62	29	<1	4,6

Характеристика почвенного покрова на участках культур. На каждой пробной площади закладывались почвенные разрезы и прикопки с описанием морфологических характеристик почв. На участках с хорошим ростом сосны, как правило, в живом напочвенном покрове присутствовали зеленые

мхи, толокнянка, лапчатка, брусника, грушанка, черника, щучка дернистая, вейник, ландыш. В лесной подстилке мощностью до 4 см выделяли подгоризонты L, F. На ПП 3(2) подстилка имела мощность до 6 см (L, F, H). Это соответствует литературным данным для 30-летних молодых почв на от-

валах песчаных карьеров, зарастающих сосной [5].

Ниже располагался гумусовый горизонт А (мощностью 2–5 см) или переходный АЕ (А1А2) большей мощности. На участках с более низкими классами бонитета разнотравье имело меньшее разнообразие, больше представлено кустарничками (вереск, черника). Лесная подстилка была представлена лишь подгоризонтом L, ниже располагался переходный АЕ, переходящий в ВС. На днищах карьеров с плохим ростом сосны в напочвенном покрове преобладали лишайники, часто имевшие не сплошное покрытие. Прimitивные почвы здесь характеризовались мозаичной и маломощной подстилкой (L), слаборазвитым переходным горизонтом АЕ (2–3 см), переходящим в ВС.

Горизонты А, АЕ, ЕВ на всех объектах имели песчаный механический состав, включения корней сосны, а также мелкой гальки и гравия. На днищах карьеров на глубине 40–50 см иногда присутствовал оглеенный песок, что свидетельствует о капиллярном подъеме влаги из близко расположенного уровня грунтовых вод.

Из двух корнеобитаемых минеральных горизонтов – А (АЕ) и В (ЕВ, Вн, ВС) отбирались образцы на анализ, как правило, до глу-

бины 35–40 см. Поскольку переход между горизонтами А и В всегда был постепенным, а результаты анализов – близкими для обоих горизонтов, показатели усреднялись.

По общепринятым методикам в образцах были определены следующие показатели: насыпная плотность (в расчете на сухое вещество), гранулометрический состав (в том числе содержание частиц менее 0,01 мм или “физической глины”), содержание органического вещества. Кроме того, по рекомендации О.Г. Чертова [33], был определен “индекс плодородия”: корень квадратный из произведения содержания органического вещества на содержание “физической глины” – как фактор, во многом определяющий плодородие песчаных почв.

Связь класса бонитета сосновых культур с характеристиками песчаных почв. С увеличением насыпной плотности песчаных образцов продуктивность сосны уменьшается (табл. 2, рис. 1). Наибольшие значения плотности характерны для самых низких по рельефу участков (днища карьера), здесь же наблюдается и пониженный рост сосновых культур. По-видимому, ухудшение роста в определенной мере связано с затруднением освоения плотных песчаных горизонтов корнями сосны.

Таблица 2

Физико-химические показатели корнеобитаемых горизонтов
молодых песчаных почв

№ пр. пл.	Индекс горизонта	Плотность насыпная, на сухое вещество, г/см ³	Органическое вещество, %	Содержание физ. глины, %	Индекс плодородия песчаных почв	Класс бонитета сосны
1(1)	АЕ, ЕВ	1,30	3,60	1,3	2,16	2,8
1(2)	АЕ, В	1,32	3,67	2,3	2,93	2,4
1(3)	АЕ, ВС	1,55	0,55	0,5	0,53	6,8 (Va,8)
1(5)	АЕ, В	1,49	2,45	2,2	2,31	2,6
1(6)	АЕ, В	1,48	2,00	1,7	1,91	2,5
1(7)	АЕ, В	1,55	0,65	0,6	0,77	5,7
2(1)	АЕ, В	1,52	0,97	0,6	0,80	6,0 (Va,0)

№ пр. пл.	Индекс горизонта	Плотность насыпная, на сухое вещество, г/см ³	Органическое вещество, %	Содержание физ. глины, %	Индекс плодородия песчаных почв	Класс бонитета сосны
2(2)	AE, B	1,65	0,24	0,3	0,28	6,2 (Va,2)
2(3)	AE, B	1,22	3,30	2,1	2,72	4,0
3(1)	A, EB	0,96	7,07	3,3	4,94	2,0
3(2)	A, EB	1,28	2,10	1,7	2,00	2,6
3(3)	AE, EB	1,49	0,64	0,3	0,44	5,9
4(1)	A, EB	1,26	3,18	1,6	2,50	3,3
4(2)	AE, EB	1,54	0,74	0,8	0,90	6,5 (Va,5)
4(3)	A, EB	1,19	3,65	1,3	1,99	3,0
5(2)	A, EB	1,33	1,91	0,6	1,12	1,8
6(1)	AE, EB	1,57	0,75	0,6	0,67	6,6 (Va,6)
6(2)	EB, B	1,61	0,91	0,9	0,88	4,9
7(1)	A, EB	1,37	2,38	1,4	1,80	1,6
7(2)	A, EB	1,44	1,44	0,9	1,16	2,2
7(3)	AE, EB	1,28	2,47	3,1	2,77	1,7
8(1)	AE, EB	1,44	1,59	0,9	0,91	3,0
8(2)	AE, EB	1,56	0,70	0,9	0,62	4,6

Рис. 1. Связь насыпной плотности песчаной почвы с классом бонитета сосны ($y = -6,28 + 7,165x$; $R = 0,673$; $R^2 = 0,453$)

Имеется заметная связь роста сосны с содержанием физической глины в корнеобитаемых горизонтах почвы (рис. 2). При этом продуктивность сосны в диапазоне II-IV классов

бонитета характеризуется довольно широким спектром содержания физической глины (1–3%), а рост по V-Va классам бонитета – весьма узким (0,2–0,8%).

Рис. 2. Связь содержания физической глины с классом бонитета сосны ($y = 5,71 - 1,42x$; $R = 0,675$; $R^2 = 0,456$)

Те же тенденции характерны для связи продуктивности и содержания органического вещества в корнеобитаемых горизонтах песков (рис. 3). При относительно широком

диапазоне количества органики в почве хорошо растущих культур (1,5–4%), плохо растущие приурочены к почвам, где это содержание составляет лишь 0,2–0,4%.

Рис. 3. Связь содержания органического вещества песчаной почвы с классом бонитета сосны ($y = 5,32 - 0,73x$; $R = 0,643$; $R^2 = 0,413$)

Соответственно индекс плодородия имеет те же тенденции: широкий спектр баллов у

хорошо растущей сосны и узкий — у культур низших классов бонитета (рис. 4).

Рис. 4. Связь продуктивности культур сосны с индексом плодородия песчаных почв
($y = 5,63 - 1,10x$; $R = 0,670$; $R^2 = 0,449$)

Выводы

1. 20–35-летние культуры сосны, созданные на месте бывших песчаных карьеров (Карельский перешеек Ленинградской области), имеют различную продуктивность. Класс бонитета сосны варьирует от I до Va, запас одновозрастных культур — от 5–7 до 285 м³/га и более.

2. Наилучший рост сосны наблюдается на вершинах холмов и вскрышных валов, сред-

ний — на пологих склонах разной экспозиции, наихудший — на днищах карьеров.

3. Имеется заметная (средняя) корреляция между продуктивностью культур сосны и такими характеристиками корнеобитаемых горизонтов молодых песчаных почв, как насыпная плотность, содержание органического вещества и физической глины (частиц менее 0,01 мм).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абакумов, Е.В. Молодые почвы отвалов вскрышных пород Кингисеппского месторождения фосфоритов / Е.В. Абакумов // Матер. по изуч. русских почв. Вып. 2 (29). СПб., 2001. — С. 56–59.
2. Абакумов, Е.В. Гумусообразование в карбонатных почвах карьерно-отвальных комплексов Северо-Запада Русской равнины / Е.В. Абакумов, Э.И. Гагарина // Вестн. СПб. ун-та. — 2002. — Сер. 3. — Вып. 1. — № 3. — С. 67–75.
3. Абакумов, Е.В. Начальные стадии почвовосстановления на отвалах отсева дробления гранитов в районе горнодобывающего комплекса пос. Кузнечное (Ленинградская область) / Е.В. Абакумов, Э.И. Гагарина // Вестн. СПб. ун-та. — 2003. — Сер. 3. — Вып. 3. — № 19. — С. 87–95.
4. Абакумов, Е.В. Восстановление почв и рекультивация земель в районе Кингисеппского месторождения фосфоритов / Е.В. Абакумов, Э.И. Гагарина, О.В. Лисицина // Почвоведение. — 2005. — № 6. — С. 731–740.
5. Абакумов, Е.В. Почвообразование в посттехногенных экосистемах карьеров на Северо-Западе Русской равнины / Е.В. Абакумов, Э.И. Гагарина. — СПб.: СПбГУ, 2006. — 208 с.

6. Андроханов, В.А. Техноземы: свойства, режимы, функционирование / В.А. Андроханов, С.В. Овсянникова, В.М. Курачев. – Новосибирск, 2000. – 200 с.
7. Баева, Р.И. Нарушение природных экосистем в районе добычи фосфоритов / Р.И. Баева, Э.И. Гагарина // Почвоведение. – 1992. – № 5. – С. 86–102.
8. Бурыкин, А.Н. Процессы минерализации и гумификации растительных остатков в молодых почвах техногенных экосистем / А.Н. Бурыкин, Э.В. Засорина // Почвоведение. – 1989. – № 2. – С. 61–69.
9. Гагарина, Э.И. Микроморфологические признаки загрязнения почв и первичного почвообразования на отвалах вскрышных пород / Э.И. Гагарина, Р.И. Баева, Л.Л. Дворникова // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева РАСХН. – Вып. 51. – 1989. – С. 21–22.
10. Гельцер, Ю.Г. Некоторые свойства почв при возобновлении леса на нарушенных территориях Подмосковья / Ю.Г. Гельцер, А.А. Боров, В.Ю. Гельцер // Почвоведение. – 1989. – № 5. – С. 59–64.
11. Голеусов, П.В. Эколого-генетические аспекты воспроизводства почв в техногенных ландшафтах / П.В. Голеусов // Почвы – национальное достояние России: Матер. IV Съезда Докучаев., общ-ва почвоведов. – Новосибирск, 2004. Кн. 2. – С. 54–56.
12. Двуреченский, В.Г. О составе гумуса почв техногенных экосистем горно-таежного района Кузбасса / В.Г. Двуреченский, Ф.А. Фаткулин, В.А. Андроханов // Почвы – национальное достояние России: Матер. IV Съезда Докучаев., общ-ва почвоведов. – Новосибирск, 2004. Кн. 2. – С. 550–552.
13. Ермаков, Е.И. Развитие представлений о влиянии гуминовых веществ на метаболизм и продуктивность растений / Е.И. Ермаков, А.И. Попов // Вестн. Россельхозакадемии. – 2003. – № 2. – С. 16–20.
14. Каар, Э.В. Лесная рекультивация разровненных сланцевых карьеров Эстонии / Э.В. Каар // Разработка комплекса технологий рекультивации техногенно нарушенных земель: Материалы международной молодежной конференции 4–6 июля 2012 г. / под ред. проф. М.В. Драпалюка; доц. В.И. Михина; М-во образования и науки РФ, ФГБОУ ВПО «ВГЛТА». – Воронеж, 2012. – С. 96–99.
15. Капелькина, Л.П. Некоторые проблемы лесной рекультивации нарушенных земель Ленинградской области / Л.П. Капелькина // Технология создания и экологические аспекты выращивания высокопродуктивных лесных культур: Сб. тр. ЛенНИИЛХ. – 1992. – С. 54–58.
16. Капелькина, Л.П. Нормативные основы рекультивации нарушенных земель / Л.П. Капелькина // Современные проблемы оптимизации зональных и нарушенных земель: материалы международной молодежной конференции, посвященной 40-летию Воронежской школы рекультиваторщиков, 21–24 октября 2009 г. / под ред. проф. Я.В. Панкова; Федеральное агентство по образованию, ГОУ ВПО «ВГЛТА». – Воронеж, 2009. – С. 50–54.
17. Клевенская, И.Л. Эволюция микробоценозов и их функции / И.Л. Клевенская // Экология и рекультивация техногенных ландшафтов. Новосибирск, 1992. – С. 149–199.
18. Клевенская, И.Л. Сукцессии и функционирование микробоценозов в молодых почвах техногенных экосистем Кузбасса / И.Л. Клевенская, С.С. Трофимов, С.А. Таранов, Е.Р. Кандрашин // Микробоценозы почв при антропогенном воздействии. Новосибирск, 1985. – С. 149–199.
19. Коротаев, А.А. Формирование корневых систем в культурах сосны обыкновенной на отвалах промышленных отходов / А.А. Коротаев, Ю.Е. Самков // Технология создания и экологические аспекты выращивания высокопродуктивных лесных культур: Сб. тр. – ЛенНИИЛХ, Л., 1992. – С. 58–63.
20. Лукина, Н.Н. Ферментативная активность рекультивируемых отвалов в Подмосковном бассейне / Н.Н. Лукина // Вестн. Моск. ун-та. – 1991. – Сер. 17. – № 1. – С. 63–66.
21. Малинина, Т.А. Динамика и оценка состояния культур сосны обыкновенной на рекультивированных землях (в условиях гидроотвала Березовый лог КМА): автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Малинина Татьяна Анатольевна. – Воронеж, 2011. – 18 с.

22. Махонина, Г.И. Экологические аспекты почвообразования в техногенных экосистемах Урала / Г.И. Махонина. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2003. – 356 с.
23. Панков, Я.В. Рекультивация ландшафтов: учебник / Я.В. Панков; М-во образования и науки РФ, ГОУ ВПО «ВГЛТА». – Воронеж, 2010. – 164 с.
24. Петров, Ю.М. Направленность ЭПП при сельскохозяйственной рекультивации гравийных карьеров / Ю.М. Петров, В.А. Василяскене, Р.И. Шлейнис // Почвоведение. – 1994. – № 1. – С. 140–144.
25. Пономарева, В.В. Гумус и почвообразование: методы и результаты изучения / В.В. Пономарева. – Л.: Наука, 1980. – 222 с.
26. Почвы Ленинградской области / Под ред. канд. с.-х. наук В.К. Пестрякова. – Л.: Лениздат, 1973. – 344 с.
27. Рейнтам, Л.Ю. Гумусное состояние первичных почв под лесом на карьерных отвалах сланцевой промышленности / Л.Ю. Рейнтам // Почвоведение. – 2001. – № 10. – С. 1207–1216.
28. Данилов, Ю.И. Рост культур сосны при рекультивации песчаных карьеров Карельского перешейка / Ю.И. Данилов, А.П. Смирнов, В.А. Петров // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2017. – Вып. 219. – С. 6–17.
29. Сеннов, С.Н. Уход за лесом. Экологические основы / С.Н. Сеннов. – М.: Лесная промышленность, 1984. – 128 с.
30. Трещевская, Э.И. Повышение плодородия субстратов в промышленных отвалах Курской магнитной аномалии: монография / Э.И. Трещевская, Я.В. Панков, И.В. Трещевский. – Воронеж: ВГЛТА, 2011. – 187 с.
31. Трофимов, С.С. Системный подход к изучению процессов почвообразования в техногенных ландшафтах / С.С. Трофимов, А.А. Титлянова, И.А. Клевенская // Почвообразование в техногенных ландшафтах. Новосибирск: Наука, 1979. – С. 3–9.
32. Федорец, Н.Г. Естественное зарастание и начальные этапы почвообразования на техногенных землях / Н.Г. Федорец, Г.С. Антипина // Экология и география почв Карелии. Петрозаводск, 1995. – С. 35–36.
33. Чертов, О.Г. Определение типов гумуса лесных почв: Методические указания / О.Г. Чертов – Л.: ЛенНИИЛХ, 1974. – 16 с.
34. Шугалей, Л.С. Первичное почвообразование на отвалах вскрышных пород под культурой сосны / Л.С. Шугалей // Почвоведение. – 1997. – № 2. – С. 247–253.
35. Dunger, W. Changes in collembolan species composition in Eastern German mine sites over fifty years of primary succession / W. Dunger // Pedobiologia. – 2004. – Vol. 48. – pp. 503–517.
36. Honberg, K. Soil nematode fauna of afforested mine sites: genera distribution, trophic structure and functional guilds / K. Honberg // Appl. Soil Ecol. – 2003. – Vol. 22. – pp. 113–126.
37. Koehler, H. Natural regeneration and succession / H. Koehler // Geoderma. – 2001. – no. 100. – pp. 1–24.
38. Topp, W. Soil fauna of reclaimed lignite open-cast mine of the Rhineland: improvement of soil quality by surface pattern / W. Topp, M. Simon, G. Koutz // Ecolog. Engineer. – 2001. – Vol. 17. – pp. 307–322.

REFERENCES

1. Abakumov E.V. Molodye pochvy otvalov vskryshnykh porod Kingiseppskogo mestorozhdeniya fosforitov. *Materialy po izuch. russkikh pochv.* vol. 2 (29). St. Petersburg, 2001, pp. 56–59. (In Russian)
2. Abakumov E.V., Gagarina E.I. Gumusobrazovanie v karbonatnykh pochvakh kar'erno-otval'nykh kompleksov Severo-Zapada Russkoi ravniny. *Vestn. S.-Peterb. un-ta.* 2002, ser. 3. vol. 1, no. 3, pp. 67–75. (In Russian)

3. Abakumov E.V., Gagarina E.I. Nachal'nye stadii pochvosostanovleniya na otvalakh otseva drobleniya granitov v raione gornodobyvayushchego kompleksa pos. Kuznechnoe (Leningradskaya oblast'). *Vestn. S.-Peterb. un-ta*. 2003, ser. 3, vol. 3, no. 19, pp. 87–95. (In Russian)
4. Abakumov E.V., Gagarina E.I., Lisitsina O.V. Vosstanovlenie pochv i rekul'tivatsiya zemel' v raione Kingiseppskogo mestorozhdeniya fosforitov. *Pochvovedenie*. 2005, no. 6, pp. 731–740. (In Russian)
5. Abakumov E.V., Gagarina E.I. Pochvoobrazovanie v posttekhnozhennykh ekosistemakh kar'erov na Severo-Zapade Russkoi ravniny. St. Petersburg: SPbGU, 2006, 208 p. (In Russian)
6. Androkhonov V.A., Ovsyannikova S.V., Kurachev V.M. Tekhnosemy: svoystva, rezhimy, funktsionirovanie. Novosibirsk, 2000, 200 p. (In Russian)
7. Baeva R.I., Gagarina E.I. Narushenie prirodnykh ekosistem v raione dobychi fosforitov. *Pochvovedenie*. 1992, no. 5, pp. 86–102. (In Russian)
8. Burykin A.N., Zazorina E.V. Protsessy mineralizatsii i gumifikatsii rastitel'nykh ostatkov v molodykh pochvakh tekhnogennykh ekosistem. *Pochvovedenie*. 1989, no. 2, pp. 61–69. (In Russian)
9. Gagarina E.I., Baeva R.I., Dvornikova L.L. Mikromorfologicheskie priznaki zagryazneniya pochv i pervichnogo pochvoobrazovaniya na otvalakh vskryshnykh porod. *Byul. Pochv.in-ta im. V.V. Dokuchaeva RASKhN*. vol. 51, Moscow, 1989, pp. 21–22. (In Russian)
10. Gel'tser YU.G., Borov A.A., Gel'tser V. YU. Nekotorye svoystva pochv pri vozobnovlenii lesa na narushennykh territoriyakh Podmoskov'ya. *Pochvovedenie*. 1989, no. 5, pp. 59–64. (In Russian)
11. Goleusov P.V. Ekologo-geneticheskie aspekty vosproizvodstva pochv v tekhnogennykh landshaftakh. *Pochvy – natsional'noe dostoyanie Rossii: Proceedings of the 4rd Congress Dokuchaev, obshch-va pochvovedov*. Novosibirsk, 2004., vol. 2, pp. 54–56. (In Russian)
12. Dvurechenskii V.G. O sostave gumusa pochv tekhnogennykh ekosistem gorno-taezhnogo raiona Kuzbassa. *Pochvy – natsional'noe dostoyanie Rossii: Proceedings of the 4rd Congress Dokuchaev, obshch-va pochvovedov*. Novosibirsk, 2004, vol. 2, pp. 550–552 (In-Russian)
13. Ermakov E.I., Popov A.I. Razvitie predstavlenij o vliyaniy guminovykh veshchestv na metabolizm i produktivnost' rastenij. *Vestn. Rossel'khozakademii*. 2003, no. 2. pp. 16–20. (In Russian)
14. Kaar E.V. Lesnaya rekul'tivatsiya razrovnennykh slantsevykh kar'erov Estonii. *Razrabotka kompleksa tekhnologii rekul'tivatsii tekhnogenno narushennykh zemel': Proceedings of the molodezhnoi conference 4–6 iyulya 2012 g. pod red. prof. M.V. Drapalyuka; dots. V.I. Mikhina*. Voronezh, 2012, pp. 96–99. (In Russian)
15. Kapel'kina L.P. Nekotorye problemy lesnoi rekul'tivatsii narushennykh zemel' Leningradskoi oblasti. *Tekhnologiya sozdaniya i ekologicheskie aspekty vyrashchivaniya vysokoproduktivnykh lesnykh kul'tur: Sb. tr. LenNIILKh*, Leningrad, 1992, pp. 54–58. (In Russian)
16. Kapel'kina L.P. Normativnye osnovy rekul'tivatsii narushennykh zemel'. *Sovremennye problemy optimizatsii zonal'nykh i narushennykh zemel': Proceedings of the molodezhnoi Conference, posvyashchennoi 40-letiyu Voronezhskoi shkoly rekul'tivatorshchikov*, 21–24 oktyabrya 2009 g. pod red. prof. Ya.V. Pankova. Voronezh, 2009, pp. 50–54. (In Russian)
17. Klevenskaya I.L. Evolyutsiya mikrobotsenozov i ikh funktsii. *Ekologiya i rekul'tivatsiya tekhnogennykh landshaftov*. Novosibirsk, 1992, pp. 149–199. (In Russian)
18. Klevenskaya I.L. Trofimov S.S., Taranov S.A., Kandrashin E.R. Suktsessii i funktsionirovanie mikrobotsenozov v molodykh pochvakh tekhnogennykh ekosistem. *Mikrobotsenozy pochv pri antropogennom vozdeistvii*. Novosibirsk, 1985, pp. 149–199. (In Russian)
19. Korotaev A.A., Samkov Yu.E. Formirovaniye kornevykh sistem v kul'turakh sosny obyknovЕННОй na otvalakh promyshlennykh otkhodov. *Tekhnologiya sozdaniya i ekologicheskie aspekty vyrashchivaniya vysokoproduktivnykh lesnykh kul'tur: Sb. tr. LenNIILKh*, Leningrad, 1992, pp. 58–63. (In Russian)

20. Lukina N.N. Fermentativnaya aktivnost' rekul'tiviruemykh otvalov v Podmoskovnom bassejne. *Vestn. Mosk. un-ta*. 1991, ser. 17, no. 1, pp. 63–66. (In Russian)
21. Malinina T.A. Dinamika i otsenka sostoyaniya kul'tur sosny obyknovЕННОй na rekul'tivirovannykh zemlyakh (v usloviyakh gidrootvala Berezovyi log KMA): *extended abstract of candidate's thesis*. Malinina Tat'yana Anatol'evna. Voronezh, 2011, 18 p. (In Russian)
22. Makhonina G.I. Ekologicheskie aspekty pochvoobrazovaniya v tekhnogennykh ekosistemakh Urala. Ekaterinburg, 2003, 356 p. (In Russian)
23. Pankov Ya.V. Rekul'tivatsiya landshaftov: uchebnik. Voronezh, 2010, 164 p. (In Russian)
24. Petrov Yu.M., Vasilyaskene V.A., Shlejni R.I. Napravlennost' EHPP pri sel'skokhozyajstvennoj rekul'tivatsii graviynykh kar'erov. *Pochvovedenie*. 1994, no. 1, pp. 140–144. (In Russian)
25. Ponomareva V.V. Gumus i pochvoobrazovanie: metody i rezul'taty izucheniya. Leningrad, 1980, 222 p. (In Russian)
26. Pochvy Leningradskoi oblasti. Red. V.K. Pestryakov. Leningrad, 1973, 344 p. (In Russian)
27. Rejntam L.Yu. Gumusnoe sostoyanie pervichnykh pochv pod lesom na kar'ernykh otvalakh slantsevoj promyshlennosti. *Pochvovedenie*. 2001, no. 10, pp. 1207–1216. (In Russian)
28. Danilov Yu.I., Smirnov A.P., Petrov V.A. Rost kul'tur sosny pri rekul'tivatsii peschanykh kar'erov Karel'skogo pereshejka. *Izvestiya SanktPeterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii*. 2017, vol. 219, pp. 6–17. (In Russian)
29. Sennov S.N. Ukhod za lesom. Ekologicheskie osnovy. Moscow, Lesnaya promyshlennost', 1984, 128 p. (In Russian)
30. Treshchevskaya E.I., Pankov Ya.V., Treshchevskii I.V. Povyshenie plodorodiya substratov v promyshlennykh otvalakh Kurskoi magnitnoi anomalii: *monografiya*. Voronezh, 2011, 187 p. (In Russian)
31. Trofimov S.S., Titlyanova A.A., Klevenskaya I.A. Sistemnyi podkhod k izucheniyu protsessov pochvoobrazovaniya v tekhnogennykh landshaftakh. *Pochvoobrazovanie v tekhnogennykh landshaftakh*. Novosibirsk, 1979, pp. 3–19. (In Russian)
32. Fedorets N.G., Antipina G.S. Estestvennoe zarastanie i nachal'nye etapy pochvoobrazovaniya na tekhnogennykh zemlyakh. *Ekologiya i geografiya pochv Karelii*. Petrozavodsk, 1995, pp. 35–36. (In Russian)
33. Chertov O.G. Opredelenie tipov gumusa lesnykh pochv: *Metodicheskie ukazaniya*. Leningrad, LenNIILKh, 1974, 16 p. (In Russian)
34. Shugalej L.S. Pervichnoe pochvoobrazovanie na otvalakh vskryshnykh porod pod kul'turoj sosny. *Pochvovedenie*. 1997, no. 2, pp. 247–253. (In Russian)
35. Dunger W. Changes in collembolan species composition in Eastern German mine sites over fifty years of primary succession. *Pedobiologia*. 2004, vol. 48, pp. 503–517.
36. Honberg K. Soil nematode fauna of afforested mine sites: genera distribution, trophic structure and functional guilds. *Appl. Soil Ecol.* 2003, vol. 22, pp. 113–126.
38. Topp W. Soil fauna of reclaimed lignite open-cast mine of the Rhineland: improvement of soil quality by surface pattern. *Ecolog. Engineer.* 2001, vol. 17, pp. 307–322.
37. Koehler H. Natural regeneration and succession. *Geoderma*. 2001, no. 100, pp. 1–24.

Статья поступила в редакцию 12.04.2019