

УДК 631.8

DOI: 10.37482/0536-1036-2020-2-35-50

ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ПЕРИОДИЧЕСКОГО ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ НА СТРУКТУРУ ДРЕВОСТОЯ И НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕТАЕЖНЫХ СОСНЯКОВ БРУСНИЧНЫХ (РЕСПУБЛИКА КАРЕЛИЯ)

Н.В. Геникова, канд. биол. наук, ст. научн. сотр.; ResearcherID: M-2052-2013,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6475-8396>

В.А. Харитонов, научн сотр.; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0703-3473>

А.М. Крышень, д-р биол. наук, директор, ст. науч. сотр.;

ResearcherID: E-1898-2012, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1964-2073>

Институт леса Карельского научного центра РАН, ул. Пушкинская, д. 11, г. Петрозаводск, Респ. Карелия, Россия, 185910; e-mail: genikova@krc.karelia.ru, haritonov@krc.karelia.ru, kryshen@krc.karelia.ru

В статье приведены результаты изучения влияния последствия периодического внесения азотных (N) и комплексных (NPK) удобрений на структуру древесного яруса и напочвенного покрова. Объектами исследования послужили культуры сосны на бедных песчаных почвах в условиях сосняков брусничных (Карельский таежный район, средняя тайга). На момент обследования возраст культур составлял 53 года, последнее внесение удобрений было 30 лет назад. На каждой пробной площади проводилось геоботаническое описание, определялись таксационные характеристики древостоя, картировались растительные микрогруппировки. Внесение комплексного удобрения привело к увеличению средних значений диаметра и высоты культур сосны при более интенсивном изреживании древостоя по сравнению с контролем и вариантом опыта с внесением азотного удобрения. По общему количеству видов напочвенного покрова варианты опыта и контроль не различаются между собой. В то же время отмечены достоверные отличия в соотношении проективных покрытий мхов и лишайников. На всех участках с внесением удобрений обилие мхов более чем в 2 раза выше, чем лишайников, в то время как на контроле покрытие мхов практически не отличается от такового у лишайников, а местами даже ниже. Вероятно, это связано с реакцией зеленых мхов на повышенное содержание углерода и азота в верхних горизонтах почвы. Из таксационных характеристик древостоя только средний диаметр достоверно и однозначно связан со структурой напочвенного покрова: при большем значении среднего диаметра отмечается и большее проективное покрытие зеленых мхов. В целом четырехкратное (с периодом 5 лет) внесение минеральных удобрений в культурах сосны на песчаных почвах проявляется в структуре древесного яруса и напочвенного покрова даже через 30 лет после последнего внесения. На опытных участках увеличенное содержание азота и углерода наблюдается только в подстилке и подподстилочном горизонте почвы. Это объясняется тем, что азот в незначительных количествах закрепляется в фитоценозе и возвращается с опадом только в самые верхние почвенные горизонты, влияя на структуру мохово-лишайникового яруса и приводя к преобладанию зеленых мхов (*Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*) над кустистыми лишайниками рода *Cladonia* в напочвенном покрове.

Для цитирования: Геникова Н.В., Харитонов В.А., Крышень А.М. Влияние длительного периодического внесения удобрений на структуру древостоя и напочвенного покрова в условиях среднетаежных сосняков брусничных (Республика Карелия) // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 2. С. 35–50. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-2-35-50

Финансирование: Из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт леса КарНЦ РАН).

Ключевые слова: минеральные удобрения, культуры сосны, напочвенный покров, видовой состав, песчаные почвы, Республика Карелия.

Введение

Повышение продуктивности лесов является одной из важнейших задач интенсификации лесного хозяйства [10]. Среди мероприятий, направленных на увеличение прироста древесины, приоритетное место длительное время отводилось внесению минеральных удобрений [16, 20, 21]. В научной литературе достаточно широко освещено влияние удобрений на рост основных древесных пород и качество древесины [14, 15, 17, 19, 22, 30, 33 и др.]. При этом минеральные удобрения не всегда оказывают достоверно положительное влияние на увеличение прироста в культурах [12], их применение вызывает вопросы как по силе, так и по характеру изменений в других элементах фитоценоза, в частности в напочвенном покрове [9, 23, 27, 28 и др.].

Исследование закономерностей формирования структуры напочвенного покрова в лесных сообществах имеет давнюю историю. Значительный вклад в решение проблемы внесли Н.В. Дылис [6], В.И. Василевич [3], В.С. Ипатов [7], В.Г. Карпов [8] и др. Ранее отмечалось [11], что в сообществах с упрощенным строением древесного яруса и бедным видовым составом значительно облегчается интерпретация результатов исследований по влиянию факторов (древесный ярус, микрорельеф и т. п.) на процессы формирования напочвенного покрова. Еще более точной интерпретации результатов можно достичь в многолетних экспериментах, где известна история формирования сообщества. Об одном из таких исследований писалось ранее [5]. Было показано, что влияние азотсодержащих удобрений на напочвенный покров проявляется как прямым образом (через увеличение плодородия почвы), так и опосредованно (через изменение характеристик древесного яруса).

Упомянутые выше и множество других публикаций преимущественно посвящены влиянию удобрений на рост деревьев и структуру сообщества непосредственно в годы их использования. Однако практически не изученным остается вопрос последствия удобрений через многие годы – как долго обнаруживается в экосистеме азот и как долго проявляется его действие на различные компоненты лесного сообщества.

Цель исследования – выявление различий в структуре сообществ экспериментальных культур сосны через 30 лет после интенсивного четырехкратного (с периодом 5 лет) внесения минеральных удобрений.

Объекты и методы исследования

Для изучения влияния различных видов минеральных удобрений на рост культур сосны (*Pinus sylvestris* L.) и формирование грибных сообществ под руководством В.И. Шубина в 1962 г. были заложены многолетние опыты на вырубке сосняка брусничного (состав древостоя 10С+Б, IV класс бонитета) в Нелгомозерском лесничестве Спасогубского лесхоза Карельской АССР (Ка-

рельский таежный район, средняя тайга). Почва – поверхностно-подзолистая песчаная на озерно-ледниковых песчаных отложениях. Данный тип почвы характеризуется низкой влагообеспеченностью, бедностью элементами питания, особенно азотом и калием. После рубки древостоя и последовавшего затем пожара сформировалось сообщество вересково-палового типа [13].

Культуры сосны создавались посевом в 1962 г. по полосам, подготовленным якорным покровосдирателем тяжелого типа. Ширина минерализованных полос – 0,8...1,2 м, расстояние между полосами – 1,5...2,2 м. Посев проводился сеялкой от плуга ПКЛ-70. Семена II класса сортности местного сбора высевались непрерывно, без четко выраженных посевных мест. Расход семян – 0,8 кг/га.

Опыт с внесением удобрений на пробных площадях (ПП) закладывался в 1969 г. на ровном участке в культурах сосны. Размер ПП составлял 0,05 га (контроль – без удобрения) и 0,25 га (опытные участки – с удобрением). Удобрение вносили в конце мая – начале июня в 1970 (перед первым внесением удобрений были вырублены крупные экземпляры березы), 1975, 1979 и 1985 гг. Схема опыта: N (азот), NPK (азот-фосфор-калий) и контроль (без удобрения). Дозы удобрений: в 1970 г. азот и калий – 60 кг действующего вещества / га, фосфор – 120 кг / га; в 1975 г. – по 60 кг / га каждого из элементов питания; с 1979 г. дозы увеличены в 2 раза, при этом опытные участки были разделены пополам и на них применены две формы азотных удобрений – мочевины и аммиачная селитра гранулированные. На всех участках использовались гранулированные суперфосфат и мочевины, а также хлористый калий. По поверхности почвы удобрения разбрасывались вручную [19].

Описание сообществ в целях изучения последствий удобрения на древостой и напочвенный покров проводилось в 2014 г., через 30 лет после последнего внесения удобрений. Таксация древостоя осуществлялась общепринятыми методами с проведением на ПП сплошного перечета деревьев по диаметрам и измерением высоты по ступеням толщины.

Для описания равномерности распределения деревьев на ПП от каждого дерева измерялось расстояние до 5 ближайших стволов, затем рассчитывался средний показатель для ПП.

Оценивалось проективное покрытие видов сосудистых растений, наземных мхов, лишайников и опада. Для выявления мозаичности напочвенного покрова ПП разделялись на учетные площадки размером 5×5 м, на которых проводилось картирование микрогруппировок напочвенного покрова по преобладанию мхов, лишайников и опада, а также обилия кустарничков. Границы контуров микрогруппировок определялись визуально, размеры микрогруппировок изменялись от 1 до 50 м² (рис. 1). Кроме того, на каждой учетной площадке измерялась толщина лесной подстилки в 5-кратной повторности методом конверта (по углам и в центре).

В масштабах ПП и учетной площадки для выявления связи обилия мхов, лишайников, кустарничков и опада с таксационными характеристиками древостоя осуществлялся корреляционный анализ с использованием непараметрического критерия Спирмена. Чтобы установить различия ПП по характеристикам напочвенного покрова, проводился дисперсионный анализ варьирования проективного покрытия кустарничков, мхов, лишайников и опада по данным учетных площадок с использованием непараметрического критерия Крускала–Уоллиса.

Расположение и картирование микрогруппировок приведено на рис. 1.

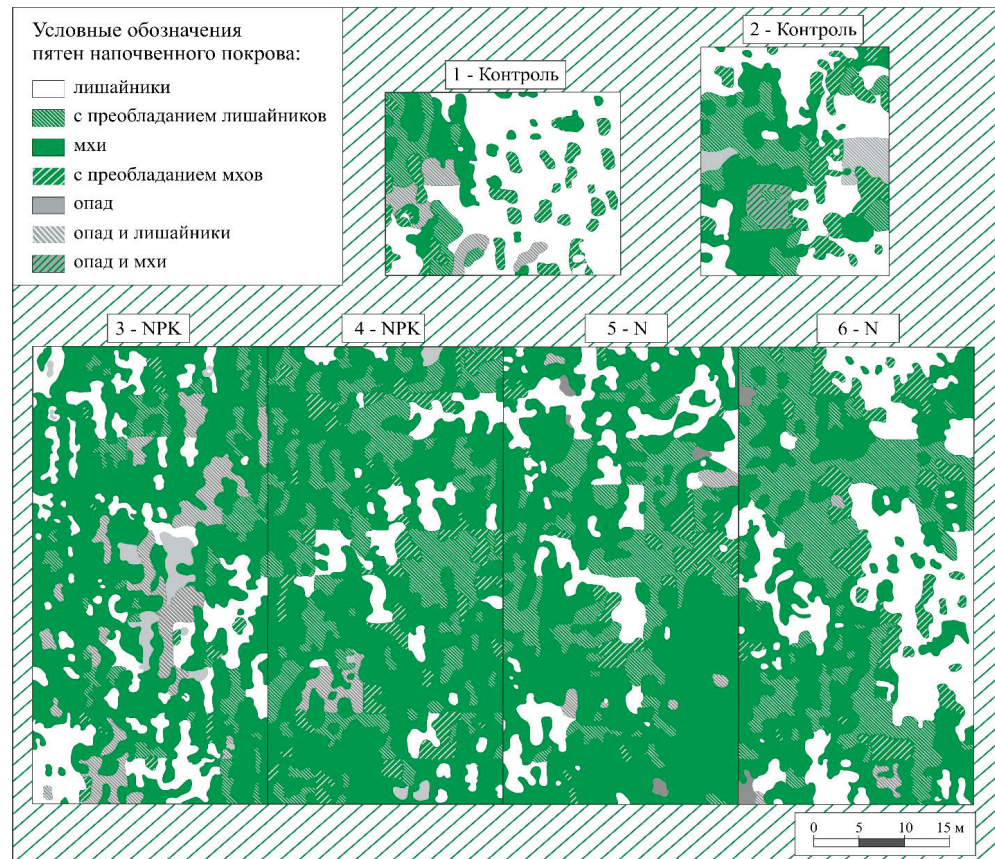


Рис. 1. Схема расположения и картирование микрогруппировок напочвенного покрова на каждой ПП

Fig. 1. Layout of the sample plots and mapping of the ground cover patches

Результаты исследования и их обсуждение

Структура древесного яруса. К 2014 г. на участке сформировалось сосновое насаждение (10С). В подросте единично встречались береза и ель, в подлеске – ива козья. Таксационные характеристики древостоя приведены в табл. 1.

Усыхание деревьев сосны на площадках в разные периоды эксперимента с внесением удобрения и после него не имеет четкой закономерности и вызвано различными причинами. До первого внесения удобрений часть саженцев погибла от поражения фацидиозом (*Phacidium infestans* Karst.), носящего очаговый характер [19]. Впоследствии снижение числа деревьев на единицу площади, возможно, было связано с внесением удобрений: минимальное (в среднем менее 2,5 тыс. шт./га) отмечено на участках с NPK, на контроле – превышало 3,0 тыс. шт./га, в варианте с азотом – более 4,5 тыс. шт./га. Тенденция продолжилась и после прекращения внесения удобрений. На момент учета в 2014 г. наибольшее число сухих стволов наблюдалось в вариантах с полным удобрением, при этом густота их уже была значительно ниже, чем в других вариантах. Полученные данные подтверждают гипотезу об обострении конкуренции среди деревьев при внесении удобрений.

Таблица 1

**Таксационная характеристика 53-летних культур сосны
на вересково-паловой вырубке (учет 2014 г.)**

ПП	Вариант опыта	Густота, тыс. шт. / га		Средние		Объем среднего дерева, м ³	Полнота, м ² / га	Запас, м ³ / га
		Живые	Сухие	диаметр, см	высота, м			
1	Контроль	2,76	0,38	9,5	10,6	0,041	19,5	112
2	Контроль	3,56	0,76	8,4	10,3	0,032	19,7	113
	<i>Среднее</i>	3,16	0,57	8,9	10,5	0,036	19,6	113
3	НРК	3,34	0,84	10,7	12,4	0,059	29,8	196
4	НРК	1,98	0,37	11,5	12,8	0,069	20,5	137
	<i>Среднее</i>	2,66	0,64	11,0	12,6	0,063	25,1	167
5	N	2,72	0,72	10,3	11,1	0,050	22,6	135
6	N	4,11	0,74	8,5	10,0	0,032	23,2	130
	<i>Среднее</i>	3,42	0,73	9,2	10,5	0,039	22,9	133

Кроме того, внесение комплексного удобрения повлияло и на распределение деревьев по диаметру. На контрольных участках преобладал тонкомер, почти 75 % всех деревьев относилось к двум нижним ступеням толщины. Улучшение минерального питания с внесением НРК обусловило увеличение прироста культур по диаметру и количества крупных деревьев (рис. 2).

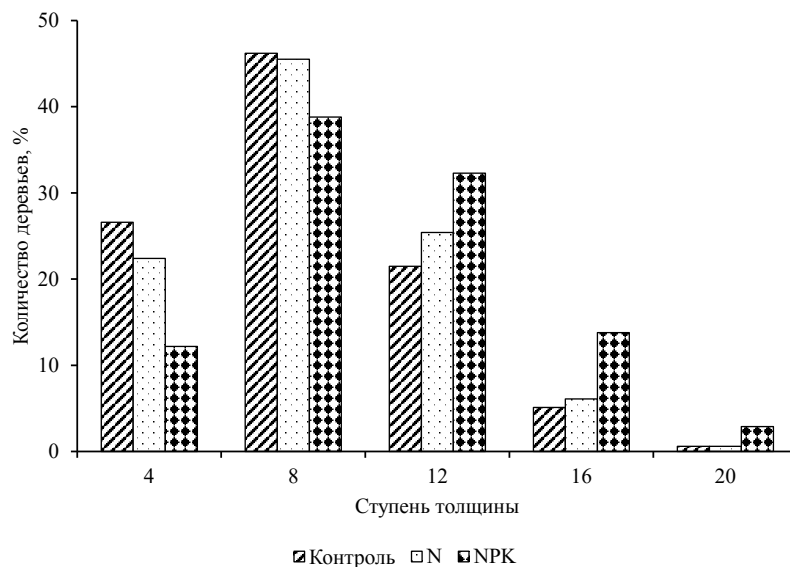


Рис. 2. Влияние удобрений на распределение по ступеням толщины 53-летних культур сосны, созданных посевом на песчаных почвах

Fig. 2. The effect of fertilizers on the diameter distribution of 53-year-old pine plantations planted by seedling-down on sandy soils

Таким образом, даже при меньшей густоте в варианте с НРК абсолютная полнота была максимальной и превосходила контроль на 28 %. По объему среднего дерева превышение составляло 75 %, по запасу древесины – 48 %. Внесение азота способствовало увеличению прироста древесины незначительно [15].

Внесение только азотных удобрений вызвало неоднозначную реакцию деревьев и сообщества в целом. В одном случае (ПП 5) все показатели сходны с таковыми на ПП с комплексным удобрением. При этом на ПП 6 средние показатели роста деревьев сосны сходны с контролем, а древостой в целом (полнота и запас) – с участками при внесении NPK и густоте, существенно превышающей этот показатель для остальных площадок. Очевидно, что в данном случае густота древостоя определила низкие средние показатели роста деревьев, но на вопрос, что стало причиной сохранения большого числа деревьев на ПП 5, к сожалению, нет прямого ответа. За более чем 50-летний период развития на лесное сообщество воздействовало множество факторов. Необходимо учитывать, что 40–60 лет – это период, когда в чистых сосняках часто наблюдается интенсивное самоизреживание древостоя. Кроме того, может иметь значение и то, что на бедных песчаных почвах чистый азот без фосфора и калия не эффективен [1]. Все это в комплексе с другими факторами могло определить продолжительность процесса самоизреживания древостоя или растянуть его во времени, поэтому необходимо выполнить повторный учет через 5–10 лет.

Независимость процесса изреживания (интенсивности отпада) древостоя от внесения удобрения в исследованный период подтверждается данными о распределении деревьев на ПП. Для этого были измерены расстояния от каждого дерева до 5 ближайших стволов (табл. 2).

Таблица 2

Среднее расстояние до 5 ближайших деревьев

Показатель	1 (контроль)	2 (контроль)	3 (NPK)	4 (NPK)	5 (N)	6 (N)
Среднее расстояние и ошибка среднего	1,83±0,03	1,62±0,02	1,62±0,01	2,11±0,03	1,65±0,02	1,48±0,01
Различия	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>b</i>	<i>d</i>

Примечание. Латинские буквы (*a* – *d*) показывают достоверные ($p < 0,05$) различия между ПП при варьировании среднего расстояния между деревьями, одинаковые – означают, что различий по этому признаку нет.

Для одного контрольного участка (ПП 1) и одного варианта опыта с комплексным удобрением (ПП 4) средние значения расстояний между деревьями были выше, чем среднее по всем пробным площадям – 1,7 м. Эти ПП имели небольшую густоту насаждений. Один вариант с азотным удобрением (ПП 6) характеризуется крайне высокой густотой насаждения (см. табл. 1) и, закономерно, самыми низкими значениями среднего расстояния между стволами. Проведенный дисперсионный анализ варьирования значений расстояния между стволами показал, что ПП статистически различаются по этому признаку.

Приведенное на рис. 3 соотношение деревьев, расположенных на определенном расстоянии друг от друга (с интервалом 1 м), показывает, что на всех ПП преимущественное расстояние до 5 ближайших деревьев составляет 1...2 м. На участках 1 (контроль), 4 (NPK) и 5 (N) шире диапазон варьирования расстояний между деревьями и нет абсолютного преобладания малых (менее 1 м) расстояний. При этом среднее расстояние между деревьями (табл. 2) согласуется с данными по густоте древостоя (см. табл. 1) и практически не связано с

распределением расстояний между деревьями (рис. 3), что свидетельствует о сложном характере конкурентных отношений, определяемых не только расстоянием между особями.

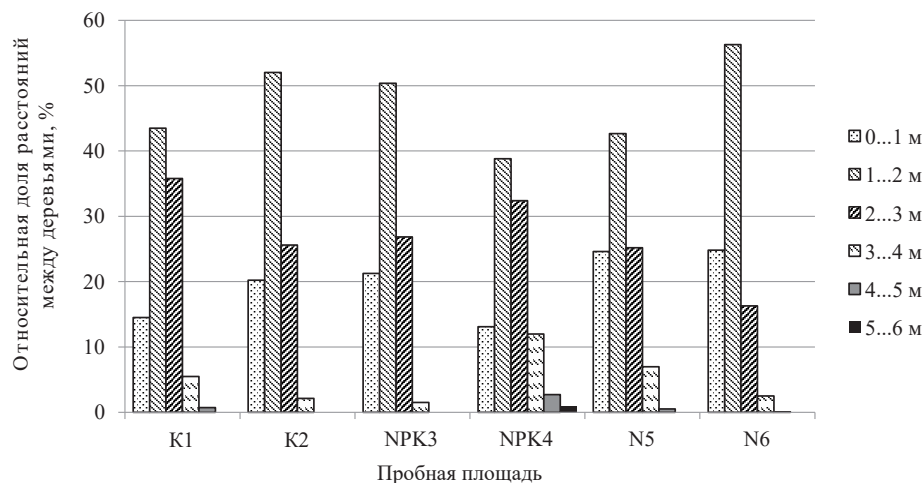


Рис. 3. Соотношение средних расстояний между стволами, %

Fig. 3. The ratio of average distances between the trees, %

Структура напочвенного покрова. Напочвенный покров исследованных опытных участков крайне беден, всего отмечено 6 видов травяно-кустарничкового яруса и по 4 вида мхов и лишайников (табл. 3).

Таблица 3

Видовой состав и проективное покрытие видов напочвенного покрова на ПП

Показатель	1 (контроль)	2 (контроль)	3 (NPK)	4 (NPK)	5 (N)	6 (N)
Общее проективное покрытие, %	95	90	90	90	90	90
Травяно-кустарничковый ярус, %	15	25	10	15	15	15
Мохово-лишайниковый ярус, %	95	90	90	90	90	90
Опад, %	10	20	15	15	15	15
<i>Травяно-кустарничковый ярус</i>						
Вереск обыкновенный (<i>Calluna vulgaris</i> (L.) Hull)	5	5	2	5	5	7
Водяника черная (<i>Empetrum nigrum</i> L. s. l.)	+	+	0	0	+	+
Багульник обыкновенный (<i>Ledum palustre</i> L.)	0	0	0	0	+	0
Черника обыкновенная (<i>Vaccinium myrtillus</i> L.)	+	5	+	+	2	1
Голубика обыкновенная (<i>Vaccinium uliginosum</i> L.)	0	0	0	0	0	+
Брусника обыкновенная (<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.)	10	15	8	10	5	7

Окончание табл. 3

Показатель	1 (контроль)	2 (контроль)	3 (NPK)	4 (NPK)	5 (N)	6 (N)
<i>Мохово-лишайниковый ярус</i>						
Цетрария исландская (<i>Cetraria islandica</i> (L.) Ach.)	+	+	+	+	+	5
Кладония лесная (<i>Cladonia arbuscula</i> (Wallr.) Flot.)	20	15	2	3	5	10
Кладония оленья (<i>Cladonia rangiferina</i> (L.) F. H. Wigg.)	40	25	10	10	10	15
Кладония звездчатая (<i>Cladonia stellaris</i> (Opiz) Pouz. et Vezda)	+	+	+	2	1	+
Дикранум многоножко- вый (<i>Dicranum polysetum</i> Sw.)	+	5	3	5	3	5
Дикранум метловидный (<i>Dicranum scorarium</i> Hedw.)	0	0	2	5	2	+
Плеурозиум Шребера (<i>Pleurozium schreberi</i> (Brid.) Mitt.)	35	45	75	70	70	55
Политрихум можжевель- никовый (<i>Polytrichum</i> <i>juniperinum</i> Hedw.)	+	0	0	0	0	+

Примечания: Знаком «+» отмечено проективное покрытие менее 1 %.

При обследовании ПП перед началом эксперимента с внесением удобрений (1970 г.) при возрасте культур сосны 8 лет в напочвенном покрове вследствие огневой обработки вырубки за год до создания лесных культур преобладали вереск (30 %) и политриховые мхи (50 %), реже встречались брусника, багульник, вороника и голубика [19]. Через 39 лет на всех ПП площадях увеличилось покрытие брусники (15...25 %) и снизилось покрытие вереска (10...25 %). Проективное покрытие кустистых лишайников (40...60 %) достигло и даже слегка превысило обилие политриховых мхов (30...50 %) [4]. Через 54 года после создания культур на всех ПП уже доминируют брусника (в среднем 10 %) и плеурозиум Шребера (в среднем 60 %), покрытие вереска составляет в среднем 5 %, политриховые мхи практически отсутствуют, что характерно для типичных сосняков брусничных.

В относительно более богатых условиях местообитаний на песчаных почвах в таежной зоне через 5–20 лет после внесения минеральных удобрений в напочвенном покрове увеличивается обилие злаков и, как следствие, уменьшается покрытие лесных кустарничков рода *Vaccinium* и зеленых мхов [2, 17, 25, 28, 32]. В описываемом нами эксперименте таких изменений в напочвенном покрове не наблюдается. Возможно, это связано с тем, что через 30 лет после последнего внесения удобрений превышение содержания углерода и азота примерно на 30...70 % по сравнению с контролем отмечается только в лесной подстилке и подподстилочном элювиальном горизонте удобренных участков.

Содержание указанных минеральных элементов в нижележащих почвенных горизонтах на опытных ПП не отличалось от контрольных [15].

Отсутствуют заметные различия по общему количеству видов и проективному покрытию опада и ярусов растительного покрова в целом. Различия есть только в соотношении проективных покрытий мхов и лишайников (рис. 4).

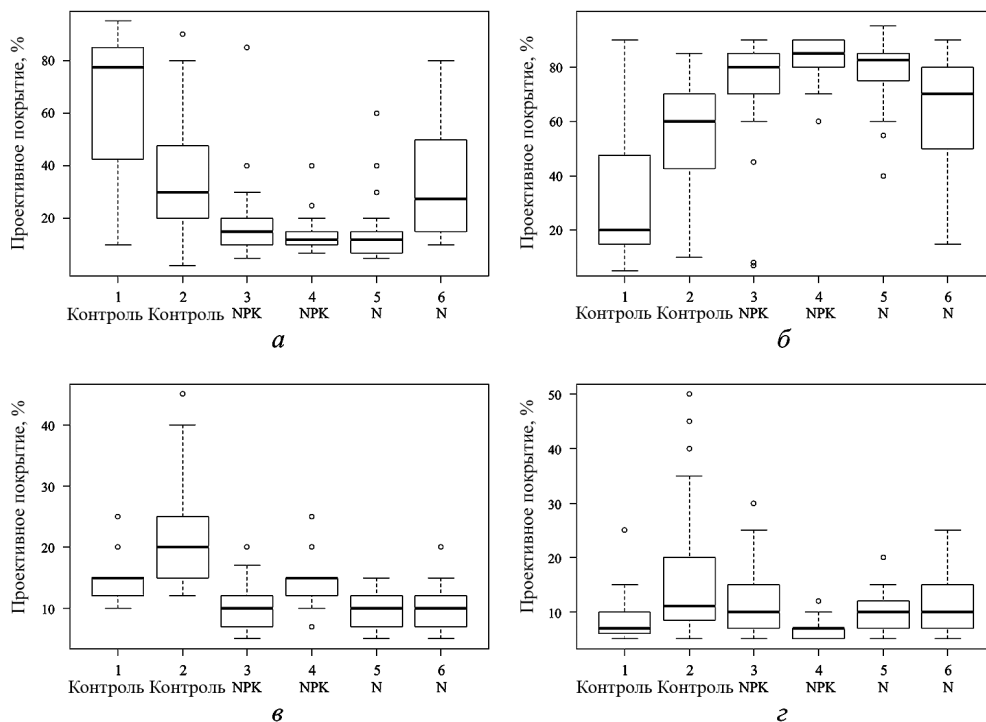


Рис. 4. Варьирование значений проективного покрытия кустистых лишайников (а), зеленых мхов (б), лесных кустарничков (в) и опада (г) по данным с учетных площадок 25 м²
 Fig. 4. Variation in the values of the projective cover of fruticose lichens (а), true mosses (б), forest dwarf shrubs (в), and litter fall (г), based on the data of the registration sites of 25 м²

На всех опытных участках (3–6) обилие мхов в 2 раза и более превышает проективное покрытие лишайников в отличие от контрольных (1, 2), где покрытие мхов не намного выше лишайников (ПП 2) или лишайники преобладают в напочвенном покрове (ПП 1). Наиболее заметны эти различия на участках с внесением комплексного минерального удобрения и в одном повторе с азотным удобрением (ПП 3–5), где проективное покрытие мхов в 5 раз выше, чем у лишайников (75...80 и 13...16 % соответственно). Возможно, это связано с тем, что именно в верхних горизонтах (в лесной подстилке и подподстилочном элювиальном горизонте) отмечено повышенное содержание углерода и азота [15]. Основная масса корней сосудистых растений расположена в более глубоких слоях и заметно не реагирует на различия в содержании азота и углерода у поверхности почвы, что нельзя сказать о мхах и лишайниках, непосредственно соприкасающихся с измененными горизонтами. Наземные мхи по сравнению с сосудистыми растениями чувствительнее к содержанию азота [26, 31]. Интересно, что в работах по изучению влияния разных доз азотных удобрений на напочвенный покров [18, 24 и др.] показана статистически значимая отрицательная реакция мхов и кустистых лишайников даже на однократное внесе-

ние удобрений в дозе больше 100 кг / га по действующему веществу в течение вегетационного периода [29]. При дозах внесенного удобрения менее 100 кг/га обилие мхов (проективное покрытие и фитомасса) снижается, но в меньшей степени, однако уже через год начинается восстановление обилия мхов [9]. Возможно, внесением удобрений, а не только влиянием пожара, объясняется отсутствие зеленых мхов в предыдущих описаниях [4, 19]. За 30 лет концентрация внесенных минеральных элементов снизилась до уровней, обеспечивающих конкурентное преимущество зеленых мхов над лишайниками, а их преобладание на опытных пробных площадях можно считать последствием внесения азотных удобрений. Необходимо отметить, что на момент обследования ПП в 2014 г. повышенное содержание общего азота в подстилке и сразу под ней поддерживалось, вероятно, за счет азота, зафиксированного в надземной фитомассе деревьев и возвращающегося в почву с опадом.

Кластерный анализ данных по проективному покрытию видов напочвенного покрова на основе коэффициента Сьеренсена (метод Варда) подтвердил разделение ПП на две группы (рис. 5).

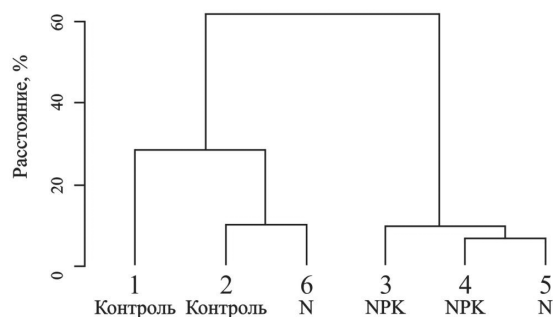


Рис. 5. Дендрограмма сходства напочвенного покрова пробных участков по коэффициенту Сьеренсена

Fig. 5. Similarity dendrogram of sample plots ground cover according to Sørensen-Dice coefficient

И если при сопоставлении комплексного удобрения (NPK) и контроля достаточно четко видны расхождения в структуре напочвенного покрова, то в случае с чистым азотом закономерности нет. В первую группу (контроль и один вариант с азотом) вошли пробные площади с высоким проективным покрытием кустистых лишайников в напочвенном покрове, во вторую группу (NPK и одна пробная площадь с азотом) – с высоким обилием зеленых мхов. Возвращаясь к влиянию удобрений на древостой, отмечаем, что на участках с применением удобрений выявлены наибольшие значения абсолютной и относительной полноты древостоя по сравнению с контролем. При этом коэффициент корреляции значений абсолютной полноты с проективным покрытием наземных лишайников на пробных участках отрицательный ($r = -0,77$), с обилием мхов – положительный ($r = 0,60$). Эти значения корреляции статистически не значимы, так как в анализе участвовало всего 6 пробных участков – (для $n = 6$ при $p \leq 0,05$ критическое значение коэффициента $r = 0,85$). Но в данном случае важны не значения, а знак коэффициента корреляции.

Нами предпринята попытка оценить влияние древостоя на напочвенный покров с помощью корреляционного анализа на учетных площадках размером 5×5 м². Определялись связи таксационных показателей древостоя (сумма площадей поперечных сечений, количество и средний диаметр деревьев) со средним проективным покрытием зеленых мхов, кустистых лишайников, кустарничков, опада и толщиной лесной подстилки (табл. 4).

Таблица 4

Влияние древостоя на показатели структуры напочвенного покрова

Показатель	Площадь поперечного сечения	Количество деревьев	Средний диаметр деревьев
Проективное покрытие, %: зеленых мхов*	0,06 (p = 0,36)	-0,18 (p = 0,00)	0,37 (p = 0,00)
лишайников	-0,14 (p = 0,03)	0,09 (p = 0,17)	-0,32 (p = 0,00)
кустарничков	-0,16 (p = 0,01)	-0,24 (p = 0,00)	0,14 (p = 0,04)
опада	0,23 (p = 0,00)	0,31 (p = 0,00)	-0,13 (p = 0,04)
Толщина лесной подстилки, см	0,37 (p = 0,00)	0,27 (p = 0,00)	0,11 (p = 0,07)

Примечание: В скобках после коэффициента корреляции указан уровень значимости (p); жирным шрифтом выделены значения коэффициента корреляции при уровне значимости меньше 0,05.

Использование данных с нескольких учетных площадок повышает достоверность полученных коэффициентов, позволяет учесть варьирование таксационных показателей и неравномерность расположения деревьев на ПП.

На исследованных ПП выявлено статистически значимое увеличение толщины лесных подстилок при внесении минеральных удобрений по сравнению с контрольным вариантом. Эту связь можно считать опосредованной через древостой, так как средняя толщина лесной подстилки положительно коррелирует с такими характеристиками древостоя, как площадь поперечного сечения и количество деревьев.

Результаты корреляционного анализа (табл. 4) показывают, что проективное покрытие зеленых мхов слабо связано с количеством деревьев на учетных площадках ($r = -0,18$) и никак не связано с площадью поперечных сечений всех деревьев на площадке. Более важным фактором, влияющим на обилие мхов, является средний диаметр деревьев ($r = 0,37$). Даже на ПП 4, которая характеризуется наименьшей густотой древостоя и низкими (наравне с контрольными площадями) показателями относительной и абсолютной полноты, но наибольшим значением среднего диаметра деревьев среди всех ПП, обилие мхов наибольшее. Эти данные согласуются с результатами кластерного анализа (рис. 5), где ПП 4 входит в одну группу с ПП 3 и 5, а объединяет их большое обилие зеленых мхов, низкое проективное покрытие лишайников и высокие значения среднего диаметра деревьев. Высокое отрицательное значение коэффициента корреляции ($r = -0,86$; $p = 0,00$) обилия зеленых мхов и наземных лишайников объясняется пространственным исключением, мхи при этом получают конкурентные преимущества в более богатых условиях. Кроме того, проективное покрытие опада отрицательно связано с диаметром деревьев на учетной площадке ($r = -0,29$; $p = 0,04$) и положительно с количеством деревьев ($r = 0,31$; $p = 0,00$). В свою очередь опад отрицательно влияет на проективное покрытие мхов ($r = -0,33$; $p = 0,00$) и никак не связан с обилием наземных лишайников ($r = 0,01$; $p = 0,9$), т. е. на учетных площадках с большой густотой древостоя и / или низкими значениями диаметра деревьев наблюдается относительно высокое проективное покрытие опада и, следовательно, низкое покрытие зеле-

ных мхов. Однако данные связи, учитывая низкие и средние по силе значения корреляции таксационных характеристик древостоя, проективного покрытия опада и мхов, только частично объясняют варьирование мхов на обследованных ПП.

Также стоит отметить широкий диапазон варьирования проективного покрытия мхов и лишайников на ПП 1, 2 (контроль) и 6 (вариант с азотным удобрением), что указывает на большую мозаичность напочвенного покрова. Это иллюстрирует схема картирования растительных микрогруппировок (см. рис. 1).

Заключение

Четырехкратное (с периодом в 5 лет) внесение минеральных удобрений в культурах сосны на песчаных почвах проявляется в структуре древесного яруса и напочвенного покрова даже через 30 лет после последнего внесения. На опытных участках увеличенное содержание азота и углерода обеспечивается более интенсивным опадом и закрепляется в подстилке и подподстилочном горизонте почвы. При этом различия в концентрации питательных веществ не затрагивают более глубокие слои, где расположена основная масса корней сосудистых растений, и, видимо, поэтому не сказываются на их покрытии. В то же время мхи и лишайники достоверно реагируют на различия в структуре древесного яруса удобренных и контрольных участков. Не исключено, что это влияние опосредовано – через изменения в лесной подстилке. В целом в вариантах опыта с внесением азотных и комплексных удобрений по сравнению с контрольными участками древесный ярус, накопив азот и другие элементы минерального питания, вызвал через опад повышенное содержание азота и углерода в верхних горизонтах почвы и определил заметное преобладание зеленых мхов (*Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*) над кустистыми лишайниками рода *Cladonia*.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Антропогенные леса Восточной Фенноскандии: целевое назначение, динамика и ресурсный потенциал: отчет о НИР / ВНИИЦентр; рук. А.И. Соколов. № ГР 01201353234; инв. № 02201352213. Петрозаводск, 2015. 147 с. [*Anthropogenic Forests of Eastern Fennoscandia: Purpose, Dynamics and Resource Potential*. Research Report. Guided by A.I. Sokolov. Petrozavodsk, 2015. 147 p.].
2. Беляева Н.В., Грязькин А.В., Ковалев Н.В., Фетисова А.А., Казу И.А. Сравнительная оценка структуры живого напочвенного покрова после рубок ухода и комплексного ухода за лесом в сосняках брусничных // Вестн. МГУЛ – Лесн. вестн. 2012. № 6. С. 193–199. [Beliaeva N.V., Gryazkin A.V., Kovalev N.V., Fetisova A.A., Kasi I.A. The Comparative Estimation of Natural Solid Cover after Improvement Cutting and Complex Care in Cowberry Pine Forest. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2012, no. 6, pp. 193–199].
3. Василевич В.И. Очерки теоретической фитоценологии. Л.: Наука, 1983. 247 с. [Vasilevich V.I. *Essays in Theoretical Phytocenology*. Leningrad, Nauka Publ., 1983. 247 p.].
4. Гаврилова О.И., Кущенко И.Т. Влияние минеральных удобрений на рост культур сосны обыкновенной на песчаных почвах южной Карелии // Изв. вузов. Лесн. журн. 2003. № 6. С. 7–15. [Gavrilova O.I., Kishchenko I.T. Influence of Mineral Fertilizers on Scots Pine Growth on South Karelia Sand Soils. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal],

2003, no. 6, pp. 7–15]. URL: <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/39c/39c4fd9e098303207e6431b88d82373b.pdf>

5. Генникова Н.В., Харитонов В.А. Последствие многолетнего внесения минеральных удобрений на видовой состав и структуру напочвенного покрова в культурах сосны на песчаных почвах // Изв. вузов. Лесн. журн. 2018. № 1. С. 18–28. [Genikova N.V., Kharitonov V.A. The Aftereffects of Long-Term Mineral Fertilization on the Species Composition and the Ground Cover Structure of Pine Crops on Sandy Soils. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2018, no. 1, pp. 18–28]. DOI: [10.17238/issn0536-1036.2018.1.18](https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2018.1.18). URL: http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/97d/18_28.pdf

6. Дылис Н.В. Основы биогеоценологии. М.: Изд-во МГУ, 1978. 152 с. [Dylis N.V. *The Basics of Biogeocenology*. Moscow, MGU Publ., 1978. 152 p.]

7. Ипатов В.С. Некоторые вопросы теории организации растительного покрова // Ботан. журн. 1970. Т. 55, № 2. С. 184–195. [Ipatov V.S. Certain Problems Pertaining to the Theory of Organization in the Vegetational Cover. *Botanicheskii Zhurnal*, 1970, vol. 55, no. 2, pp. 184–195].

8. Карпов В.Г. Экспериментальная фитоценология темнохвойной тайги. Л.: Наука, 1969. 336 с. [Karpov V.G. *Experimental Phytocenology of Dark Coniferous Taiga*. Leningrad, Nauka Publ., 1969. 336 p.]

9. Ковалева Н.М., Собачкин Р.С. Влияние азотного удобрения на формирование нижних ярусов в сосняках Красноярской лесостепи // Лесоведение. 2016. № 1. С. 25–33. [Kovaleva N.M., Sobachkin R.S. The Effect of Nitrogen Fertilizer on the Development of Lower Stories of Pine Forests in Krasnoyarsk. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2016, no. 1, pp. 25–33].

10. Концепция интенсивного использования и воспроизводства лесов. СПб.: СПбНИИЛХ, 2015. 16 с. [*The Concept of Intensive Use and Regeneration of Forests*. Saint Petersburg, SPbNIIILH Publ., 2015. 16 p.]

11. Крышень А.М. К методике изучения фитогенных полей деревьев // Ботан. журн. 1998. Т. 83, № 10. С. 133–142. [Kryshen A.M. On the Methods of Tree Phytogenic Fields Study. *Botanicheskii Zhurnal*, 1998, vol. 83, no. 10, pp. 133–142].

12. Кузьмин И.А. Применение удобрений и гербицидов в культурах сосны на супесчаных почвах // Повышение эффективности лесовосстановительных мероприятий на Севере. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1977. С. 88–92. [Kuz'min I.A. Application of Fertilizers and Herbicides in Pine Plantations on Sandy Loam Soils. *Improving the Efficiency of Reforestation in the North*. Petrozavodsk, Karel'skiy filial AN SSSR Publ., 1977, pp. 88–92].

13. Ронконен Н.И. Вырубки и естественное лесовозобновление на них // Лесовосстановление в Карельской АССР и Мурманской области. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1975. С. 36–65. [Ronkonen N.I. Fellings and Their Natural Reforestation. *Reforestation in the Karelian ASSR and Murmansk Region*. Petrozavodsk, Karel'skiy filial AN SSSR Publ., 1975, pp. 36–65].

14. Соколов А.И., Пеккоев А.Н., Неронова Я.А., Харитонов В.А. Влияние удобрений на рост *Pinus sylvestris* (Pinaceae) на гарях // Растительные ресурсы. 2018. Т. 54, № 2. С. 235–245. [Sokolov A.I., Pekkoev A.N., Neronova Ya.A., Kharitonov V.A. Fertilization Effects on *Pinus Sylvestris* (Pinaceae) Growth on the Burnt Areas. *Rastitelnye Resursy*, 2018, vol. 54, no. 2, pp. 235–245].

15. Солодовников А.Н., Федорец Н.Г., Соколов А.И. Последствие минеральных удобрений на свойства почв и продуктивность насаждений в долгосрочном эксперименте в среднетаежной подзоне Карелии // Тр. КарНЦ РАН. 2017. № 5. С. 45–51. [Solodovnikov A.N., Fedorets N.G., Sokolov A.I. Mineral Fertilizers' After-Effect on Soil Properties and Stand Productivity in a Long-Term Experiment in Karelian Middle Taiga. *Trudy KarNC RAN* [Transactions of Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences], 2017, no. 5, pp. 45–51]. DOI: [10.17076/eb490](https://doi.org/10.17076/eb490)

16. Степаненко И.И. Повышение продуктивности сосновых насаждений в результате внесения минеральных удобрений // Изв. вузов. Лесн. журн. 2005. № 4. С. 61–69. [Stepanenko I.I. Increasing Productivity of Pine Stands by Mineral Fertilizers Application. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2005, no. 4, pp. 61–69]. URL: <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/dd5/dd587c7ae966221659e1543c8dee6188.pdf>
17. Степаненко И.И. Изменения в живом напочвенном покрове в опытах с минеральными удобрениями в разных типах леса // Вестн. МГУЛ – Лесн. вестн. 2006. № 6. С. 4–12. [Stepanenko I.I. The Changes on Plant Community for Experiments with Mineral Fertilizers in Pine Stands of Different Forest Types. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2006, no. 6, pp. 4–12].
18. Шапченкова О.А., Ковалева Н.М., Иванов В.В., Собачкин Р.С., Собачкин Д.С., Петренко А.Е. Влияние азотных удобрений на свойства подстилки и живой напочвенный покров в сосновых насаждениях Красноярской лесостепи // Лесоведение. 2015. № 1. С. 44–51. [Shapchenkova O.A., Kovaleva N.M., Ivanov V.V., Sobachkin R.S., Sobachkin D.S., Petrenko A.E. Effect of Nitrogen Fertilizers on the Ground Cover and the Properties of a Forest Floor in Pine Stands in Krasnoyarsk Forest-Steppe. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2015, no. 1, pp. 44–51].
19. Шубин В.И., Гелес И.С., Крутов В.И., Морозова Р.М., Соколов А.И. Повышение производительности культур сосны и ели на вырубках. Петрозаводск: Карел. НЦ АН СССР, 1991. 172 с. [Shubin V.I., Geles I.S., Krutov V.I., Morozova R.M., Sokolov A.I. *Productivity Improvement of Pine and Spruce Plantations in Fellings*. Petrozavodsk, Karelskiy nauchnyy tsentr AN SSSR Publ., 1991. 172 p.].
20. Шумаков В.С. Достижения и проблемы применения минеральных удобрений в лесном хозяйстве СССР // Агрохимия. 1972. № 7. С. 145–153. [Shumakov V.S. Achievements and Problems of Mineral Fertilizers Application in Forestry of the USSR. *Agrokhimia*, 1972, no. 7, pp. 145–153].
21. Шутов И.В., Маслаков Е.Л., Маркова И.А., Полянский Е.В., Бельков В.П., Гладков Е.Г., Головчанский И.Н., Рябинин Б.Н., Морозов В.А., Шиманский П.С. Лесные плантации (Ускоренное выращивание ели и сосны). М.: Лесн. пром-сть, 1984. 248 с. [Shutov I.V., Maslakov E.L., Markova I.A., Polyanskiy E.V., Bel'kov V.P., Gladkov E.G., Golovchanskiy I.N., Ryabinin B.N., Morozov V.A., Shimanskiy P.S. *Forest Plantations (Fast Growing of Spruce and Pine)*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1984. 248 p.].
22. Bergh J., Nilsson U., Allen H. L., Johansson U., Fahlvik N. Long-Term Responses of Scots Pine and Norway Spruce Stands in Sweden to Repeated Fertilization and Thinning. *Forest Ecology and Management*, 2014, vol. 320, pp. 118–128. DOI: [10.1016 / j. foreco. 2014.02.016](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.02.016)
23. Boonstra R., Krebs C.J., Cowcill K. Responses of Key Understorey Plants in the Boreal Forests of Western North America to Natural versus Anthropogenic Nitrogen Levels. *Forest Ecology and Management*, 2017, vol. 401, pp. 45–54. DOI: [10.1016 / j. foreco. 2017.06.065](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.06.065)
24. Kellner O., Märshagen M. Effects of Irrigation and Fertilization on the Ground Vegetation in a 130-Year-Old Stand of Scots Pine. *Canadian Journal of Forest Research*, 1991, vol. 21(5), pp. 733–738. DOI: [10.1139 / x91-104](https://doi.org/10.1139/x91-104)
25. Kellner O., Redbo-Torstensson P. Effects of Elevated Nitrogen Deposition on the Field-Layer Vegetation in Coniferous Forests. *Ecological Bulletins*, 1995, no. 44, pp. 227–237.
26. Mäkipää R. Sensitivity of Forest-Floor Mosses in Boreal Forests to Nitrogen and Sulphur Deposition. *Water, Air, and Soil Pollution*, 1995, vol. 85, iss. 3, pp. 1239–1244. DOI: [10.1007 / BF00477151](https://doi.org/10.1007/BF00477151)
27. Mälikönen E., Aro-Heinilä V., Kellomäki S. Lannoituksen ja kastelun vaikutus männikön pintakasvillisuuteen [Effect of Fertilization and Irrigation on the Ground Vegetation of a Scots Pine Stand]. *Silva Fennica*, 1982, vol. 16, iss. 1, pp. 27–42. DOI: [10.14214 / sf. a15072](https://doi.org/10.14214/sf.a15072)

28. Manninen O., Stark S., Kytöviita M., Lampinen L., Tolvanen A. Understorey Plant and Soil Responses to Disturbance and Increased Nitrogen in Boreal Forests. *Journal of Vegetation Science*, 2009, vol. 20, iss. 2, pp. 311–322. DOI: [10.1111/j.1654-1103.2009.05529.x](https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2009.05529.x)

29. Olsson B.A., Kellner O. Long-Term Effects of Nitrogen Fertilization on Ground Vegetation in Coniferous Forests. *Forest Ecology and Management*, 2006, vol. 237, iss. 1–3, pp. 458–470. DOI: [10.1016/j.foreco.2006.09.068](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.09.068)

30. Rowe E.C., Healey J.R., Edwards-Jones G., Hills J., Howells M., Jones D.L. Fertilizer Application during Primary Succession Changes the Structure of Plant and Herbivore Communities. *Biological Conservation*, 2006, vol. 131, iss. 4, pp. 510–522. DOI: [10.1016/j.biocon.2006.02.023](https://doi.org/10.1016/j.biocon.2006.02.023)

31. Strengbom J., Nordin A. Commercial Forest Fertilization Causes Long-Term Residual Effects in Ground Vegetation of Boreal Forests. *Forest Ecology and Management*, 2008, vol. 256, iss. 12, pp. 2175–2181. DOI: [10.1016/j.foreco.2008.08.009](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.08.009)

32. Strengbom J., Nordin A., Näsholm T., Ericson L. Slow Recovery of Boreal Forest Ecosystem Following Decreased Nitrogen Input. *Functional Ecology*, 2001, vol. 15, iss. 4, pp. 451–457. DOI: [10.1046/j.0269-8463.2001.00538.x](https://doi.org/10.1046/j.0269-8463.2001.00538.x)

33. Sullivan T.P., Sullivan D.S. Old-Growth Characteristics 20 Years after Thinning and Repeated Fertilization of Lodgepole Pine Forest: Tree Growth, Structural Attributes, and Red-Backed Voles. *Forest Ecology and Management*, 2017, vol. 391, pp. 207–220. DOI: [10.1016/j.foreco.2017.02.021](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.02.021)

THE EFFECT OF LONG-TERM PERIODIC FERTILIZATION ON THE STRUCTURE OF THE STAND AND THE GROUND COVER IN THE COWBERRY PINE FORESTS OF MIDDLE TAIGA (REPUBLIC OF KARELIA)

N.V. Genikova, Candidate of Biology, Senior Research Scientist;

ResearcherID: [M-2052-2013](https://orcid.org/0000-0001-6475-8396), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6475-8396>

V.A. Kharitonov, Research Scientist; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0703-3473>

A.M. Kryshen, Doctor of Biology, Director, Senior Research Scientist;

ResearcherID: [E-1898-2012](https://orcid.org/0000-0003-1964-2073), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1964-2073>

Forest Research Institute of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, ul. Pushkinskaya, 11, Petrozavodsk, Republic of Karelia, 185910, Russian Federation; e-mail: genikova@krc.karelia.ru, haritonov@krc.karelia.ru, kryshen@krc.karlia.ru

The results of research on studying the influence of after-effects of periodic nitrogen (N) and complex fertilizer (NPK) treatments on the structure of the tree layer and ground cover are reported. The study objects were pine plantations growing on poor sandy soils in the cowberry pine forests (Karelian taiga district and middle taiga). At the time of survey, the plantations were 53 years old; fertilizers were last applied 30 years ago. A geobotanical relevé was carried out, stand valuation characteristics were determined, and microphytocoenoses were mapped at each sample plot. The NPK fertilization resulted in an increase in the average diameter and height of the pine plantations with more intensive thinning of the stand in comparison to the control and nitrogen fertilizer treatments. The fertilizer and control treatments are the same according to the total number of species in the ground cover. At the same time, significant differences were observed in the ratio of projective covers of mosses and lichens. In all fertilized plots, the abundance of mosses was twice or even more higher than the abundance of lichens, whereas the moss cover at the control site was almost the same as the lichen cover, and locally even lower. This pattern is probably associated with the response of true mosses to elevated carbon and nitrogen content in upper soil horizons. The only stand valuation

characteristic reliably and unambiguously correlating with the ground cover structure is the average diameter: the larger the value of the average diameter, the larger the projective cover of true mosses. Generally speaking, four-time mineral fertilization with 5 year intervals of pine plantations growing on sandy soils continue to exert an effect on the structure of the tree layer and ground cover even 30 years after the last treatment. In the fertilized sample plots, elevated nitrogen and carbon levels are observed only in the forest floor and the soil horizon directly underlying the floor. This is due to the fact that trace amounts of nitrogen are fixed in the phytocenosis and released back with litter fall only into the topmost soil horizons; influencing the structure of the moss-and-lichen layer towards the prevalence of true mosses (*Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*) over fruticose lichens of the genus *Cladonia* in the ground cover.

For citation: Genikova N.V., Kharitonov V.A., Kryshen' A.M. The Effect of Long-Term Periodic Fertilization on the Structure of the Stand and the Ground Cover in the Cowberry Pine Forests of Middle Taiga (Republic of Karelia). *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2020, no. 2, pp. 35–50. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-2-35-50

Funding: The research is federally funded within the framework of the state assignment of the KarRC RAS (Forest Research Institute).

Keywords: mineral fertilizers, pine plantations, ground cover, species composition, sandy soils.

Поступила 01.06.19 / Received on June 1, 2019
