

УДК 634.956,58:631.8

## ПОСЛЕДЕЙСТВИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА СВОЙСТВА ПОЧВ И ПРОДУКТИВНОСТЬ НАСАЖДЕНИЙ В ДОЛГОСРОЧНОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ В СРЕДНЕТАЕЖНОЙ ПОДЗОНЕ КАРЕЛИИ

А. Н. Солодовников, Н. Г. Федорец, А. И. Соколов

*Институт леса Карельского научного центра РАН, Петрозаводск*

Последствие многолетнего внесения различных доз и сочетаний минеральных удобрений (NPK, N) в культурах сосны на песчаных альфегумусовых оподзоленных подбурах изучалось в среднетаежной подзоне Карелии, в районе оз. Риндозеро. Культуры сосны, созданные посевом в 1962 г., удобрялись в 1970, 1975, 1979 и 1985 годах, по схеме: N, NPK и контроль (без удобрения). К моменту проведения исследований на опытных участках сформировались чистые сосновые древостои 53-летнего возраста. Через 30 лет после окончания применения удобрений на каждом опытном участке площадью 0,5 га в 10-кратной повторности отбирали образцы подстилки для определения ее запасов, а также закладывали по три почвенных разреза, из которых по генетическим горизонтам отбирали образцы для химического анализа. В почвах опытных участков наиболее значимые по сравнению с контролем изменения почвенных свойств отмечены в подстилке и подподстилочном элювиальном горизонте. Выявлено значительное увеличение производительности сформировавшихся сосновых древостоев, в наибольшей степени – при внесении комплексных удобрений (NPK). Статистическая обработка данных показала значимое увеличение запаса лесных подстилок при внесении всех сочетаний минеральных удобрений по сравнению с контролем. Увеличились средние величины диаметра и высоты насаждений, а также запас древостоя.

**Ключевые слова:** культуры сосны; последствие; многолетнее применение удобрений; подбуры; лесные подстилки; продуктивность.

**A. N. Solodovnikov, N. G. Fedorets, A. I. Sokolov. MINERAL FERTILIZERS' AFTER-EFFECT ON SOIL PROPERTIES AND STAND PRODUCTIVITY IN A LONG-TERM EXPERIMENT IN KARELIAN MIDDLE TAIGA**

The after-effect of long-term application of various doses and combinations of mineral fertilizers (NPK, N) to pine crops on sandy Al-Fe-humus podzolized podbur soils was studied in the middle taiga of Karelia, near Lake Rindozero. The pine crops established by seeding in 1962 were fertilized in 1970, 1975, 1979 and 1985. The setup was N, NPK, and control (not fertilized). By the time of the survey the sample plots were occupied by 53-year-old pure pine stands. Thirty years after the last treatment, 10 replications of forest floor samples were taken from each 0.5 ha plot to determine the stock, and 3 soil pits were made in each plot to take samples from specific genetic horizons for chemical analysis. In the sample plots, the most significant changes compared to the control were

observed in the forest floor and the underlying eluvial horizon. The productivity of the resultant pine stands was promoted considerably, especially by NPK fertilization. Statistical treatment of the data revealed a significant increase in the forest floor stock upon fertilization in all the treatments as compared to the control. Mean tree diameter and height, as well as the stands' growing stock were enlarged.

**Key words:** pine crops; after-effect; long-term fertilization; podburs; forest floor; productivity.

Изучением влияния минеральных удобрений на рост и развитие хвойных культур в питомниках и на вырубках, а также повышением продуктивности приспевающих насаждений интересовались как отечественные, так и зарубежные исследователи [Wehrman, 1961; Турчин и др., 1964; Макаров, 1966; Schwarz, 1969; Сляднев, 1970; Шумаков, Федорова, 1970; Viro, 1972]. Большое внимание уделялось воздействию на гидротермические, водно-физические и физико-химические свойства лесных почв различных форм, доз и способов внесения удобрений. В Карелии также на протяжении многих лет проводили экспериментальные исследования воздействия минеральных удобрений на продуктивность древесных насаждений и плодородие лесных почв [Левкина, 1964; Куликова, 1977; Федорец, Морозова, 1985; Чернобровкина, 2001]. В настоящее время исследователи продолжают уделять внимание данной проблеме [Nilsson, Allen, 2003; Will et al., 2006; Коновалов, Зарубина, 2011; Lindkvist et al., 2011; Johansson et al., 2013 и другие], но в связи с повышенными требованиями к экологии окружающей среды, дороговизной удобрений и большим объемом уже накопленных знаний акцент проблемы смещается на поиски путей рационального и безопасного в долгосрочной перспективе использования удобрений. Целью настоящих исследований явился анализ результатов многолетних стационарных опытов, отражающих последствие удобрений на качество почвы и продуктивность древесных насаждений.

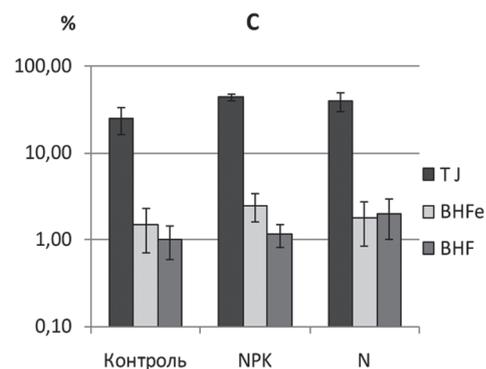
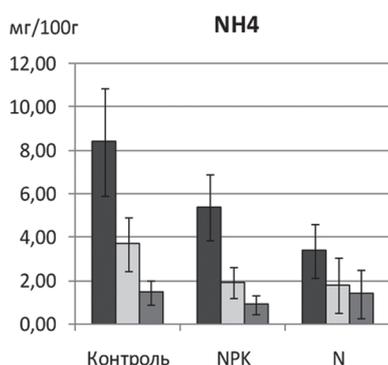
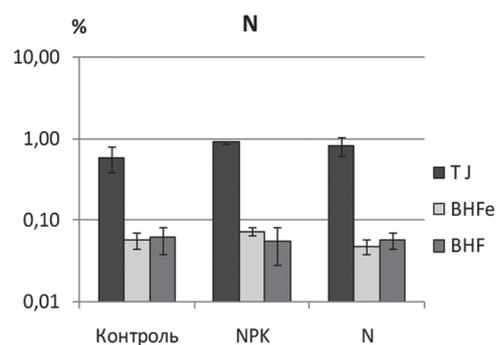
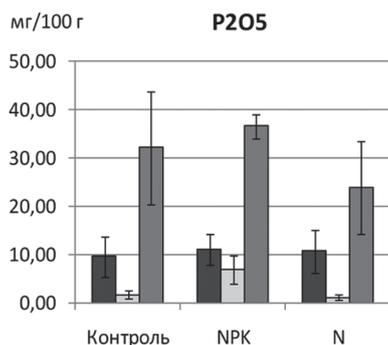
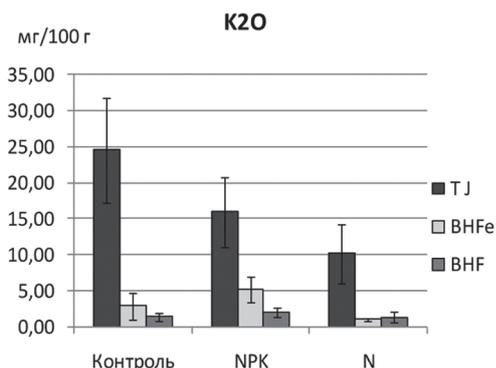
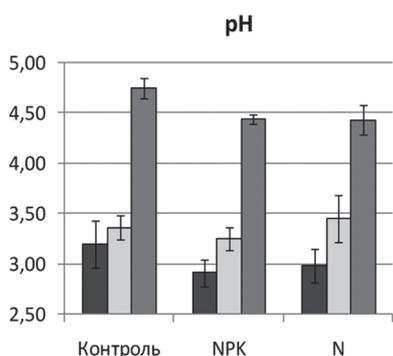
## Объекты и методика

Для изучения роста и развития культур сосны (*Pinus sylvestris* L.) в среднетаежной подзоне под воздействием различных доз и сочетаний минеральных удобрений были заложены многолетние опыты в районе оз. Риндозеро в Кондопожском районе Карелии. Исследования проходили на песчаных альфегумусовых оподзоленных подбурях на озерно-ледниковых песчаных отложениях на месте сосняков брусничных (табл. 1) с составом древостоя 10С+Б, IV класса бонитета. После рубки древостоя и пожара здесь сформировался вересково-паловый тип вырубки. В напочвенном покрове доминировал вереск обыкновенный (*Calluna vulgaris*). Мохово-лишайниковый покров при пожаре сгорел, и «минерализованные» участки зарастали политриховыми мхами (*Polytrichum juniperinum* Hedw., *Polytrichum piliferum* Hedw.). Из лиственных встречались семенная и порослевая береза (*Betula pendula* Roth.) и осина (*Populus tremula*), которые впоследствии были вырублены [Шубин, 1977].

Культуры сосны созданы посевом в 1962 г. по полосам, подготовленным якорным покровосдирателем тяжелого типа. Ширина полос 0,8–1,2 м, расстояние между полосами 1,5–2,2 м. Посев произведен сеялкой от плуга ПКЛ-70. Используются семена II класса сортности местного сбора. Расход семян 0,8 кг/га. В 1970 г. перед внесением удобрений были вырублены крупные экземпляры березы.

Таблица 1. Агрохимические показатели альфегумусового подбуря оподзоленного песчаного после рубки сосняка брусничного до внесения минеральных удобрений (1961 г.)

Горизонт	Глубина взятия образца, см	C	N	рН сол.	ГК	S	V, %	NH <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
		%			мг-экв. · 100 г <sup>-1</sup>			мг · 100 г <sup>-1</sup>		
TJ	0–1	17,3	0,79	3,2	50,0	13,0	26,6	10,0	20,5	63,6
ВНFe	1–6 (9)	1,02	0,03	3,8	2,6	1,3	33,3	1,0	0,60	1,2
ВНF	9–17	0,36	0,01	4,8	2,4	1,1	31,4	2,0	17,6	0,5
BC	17–20	0,48	0,02	4,9	1,8	0,5	21,7	1,2	16,4	0,5
C	54–60	0,23	0,01	4,9	0,9	1,9	67,8	0,5	17,1	2,5



Агрохимические показатели в горизонтах почв через 30 лет после многолетнего внесения минеральных удобрений

Удобрение вносили в конце мая – начале июня в 1970, 1975, 1979 и 1985 гг. Схема опыта: N, NPK и контроль (без удобрения). Дозы удобрений: в 1970 г. азота и калия – 60, фосфора – 120 кг/га действующего вещества; в 1975 г. по 60 кг/га каждого из элементов питания; с 1979 г. дозы увеличены вдвое, при этом опытные делянки были разделены пополам и на них применены две формы азотных удобрений – мочевина и аммиачная селитра гранулированные. На всех участках использовали гранулированные суперфосфат и мочевины, а также хлористый калий. Удобрения разбрасывали вручную по поверхности почвы [Шубин и др., 1991].

Последствие удобрений на таксационные показатели сформировавшихся сосняков

и свойства почв изучали через 30 лет после последнего внесения удобрений, в 2014 году. На каждом опытном участке площадью 0,5 га в 10-кратной повторности отбирали образцы подстилки для определения ее запасов, а также закладывали по три почвенных разреза, из которых по генетическим горизонтам отбирали образцы для химического анализа. В почве определены pH солевой вытяжки потенциометрически, содержание гумуса по Тюрину, общего азота по Кьельдалю, доступных соединений фосфора колориметрически и калия на пламенном фотометре в вытяжке 0,2N HCl [Агрохимические методы..., 1975]. Результаты обработаны статистически при помощи пакетов программ Microsoft Excel и Statistica. Проведены расчеты среднеарифметических

Таблица 2. Запас подстилок через 30 лет после многолетнего внесения минеральных удобрений, т/га

Вариант опыта	Среднее	Станд. отклон.	Макс.	Мин.	Значимость (р) сравнения с контролем
Контроль	16,53	6,17	26,36	4,52	-
НРК	20,01	5,78	34,70	11,05	0,08
N	20,88	5,81	32,43	10,20	0,03

Таблица 3. Таксационная характеристика культур сосны в различных вариантах опыта

Вариант опыта	Густота стояния, тыс. шт./га	Диаметр, см	Высота, м	Полнота, м <sup>2</sup>	Запас древесно-стоя, м <sup>3</sup> /га	Класс бонитета
Контроль	3,16	8,3	8,9	19,6	113	IV.4
НРК	2,66	10,4	11	20,5	167	III.6
N	3,42	8,7	9,2	22,9	133	IV.4

Примечание. Различия достоверны на уровне значимости < 0,001.

значений почвенных параметров, пределы их колебания, среднеквадратичное отклонение. С помощью критерия Стьюдента определена существенность различий между определенными параметрами почв на контроле и удобренных участках.

### Результаты и обсуждение

Внесение минеральных азотных удобрений существенно отразилось на свойствах почв. Усилились процессы разложения лесных подстилок, повысилось содержание общих форм азота, а также стало более узким отношение C : N. Увеличились запасы подвижных азотсодержащих соединений и уменьшилось количество негидролизующего азота в верхнем 50-см слое почв. Влияние азотных удобрений на азотный фонд почв прослеживается в течение двух лет. Отмечено снижение обменной кислотности в верхних горизонтах почв. Значительных изменений в содержании подвижных соединений фосфора и калия не наблюдалось [Федорец, 1983]. Было отмечено, что внесение азотных удобрений способствует повышению фотосинтетической деятельности хвои, улучшает ассимиляционный аппарат сосны и способствует более интенсивному росту [Новицкая и др., 1974].

К моменту проведения исследований на опытном участке сформировались чистые сосновые древостои 53-летнего возраста, так как в стадии молодняка были вырублены все лиственные. Сосновые насаждения, сформировавшиеся на изучаемых участках за период исследования, оказывают существенное влияние на свойства почвы, что делает невозможным оценку действия удобрений по исходным почвенным показателям. В связи с этим сравнение уровня кислотности, содержания элементов минерального питания и гумуса проводили

между почвами удобренных участков и контрольного (неудобренного) варианта. Спустя 30 лет после последнего внесения удобрений установлено значимое снижение (8,9 %) обменной кислотности лесных подстилок в варианте с НРК. В иллювиальном горизонте наблюдается значимое снижение (около 6,5 %) рН солевого в обоих вариантах опыта (рис.).

Отмечается обеднение подстилки и минерального подподстилочного горизонта ВНFe аммонийным азотом в опытах с внесением НРК (на 36 и 48 % соответственно) и N (на 60 и 51 % соответственно) по сравнению с контролем, вероятно, в связи с активным использованием древесностоем и растениями напочвенного покрова в процессе роста. Интересно отметить более высокие (в 4 раза) по сравнению с контролем показатели содержания подвижных соединений фосфора в горизонте ВНFe на варианте с применением комплексного удобрения (НРК).

Как и в случае с аммонийным азотом, на удобренных участках наблюдается значимое снижение (НРК на 35 %, N на 58 %) содержания подвижного калия в подстилках по сравнению с контролем. Однако в минеральном горизонте ВНFe ситуация меняется: в варианте с НРК наблюдается повышенное на 77 % содержание калия, тогда как в варианте с N калия на 65 % меньше, чем в контрольном варианте.

Согласно исследованиям, проведенным в Финляндии, обеспеченность фосфором саженцев сосны обыкновенной может быть улучшена на протяжении более 30 лет с однократным внесением фосфорного удобрения, в то время как обеспечение калием потребует двукратного внесения калийных удобрений в течение периода ротации древостоя [Silfverberg, Moilanen, 2008].

По сравнению с контролем в вариантах с применением удобрений в подстилках

значимо выше содержание углерода (NPK на 78 %, N на 58 %) и общего азота (NPK на 54 %, N на 41 %), при этом также четко прослеживается обогащение подподстилочного горизонта как углеродом (на 67 %), так и общим азотом (на 27 %) в варианте с NPK. В иллювиальном горизонте можно отметить почти двукратный прирост общего углерода в варианте N по сравнению с контролем, при значимости  $p = 0,066$ . Шведские исследователи выявили накопление общего азота в лесной подстилке и углерода в минеральном подподстилочном горизонте при удобрении культур сосны обыкновенной высокими дозами мочевины [Nohrstedt et al., 1998].

Определение запасов лесной подстилки на опытных участках показало, что во всех вариантах опыта с применением удобрений они значительно выше (<20 %), чем в контроле (табл. 2). По-видимому, это связано в первую очередь с увеличением вегетативной массы сосны и растений напочвенного покрова, соответственно и опада, в процессе интенсивного роста древесных растений при обогащении почвы элементами минерального питания, и прежде всего азотом. Поскольку соединения азота находятся в первом минимуме в лесных почвах Карелии, именно внесение азотных удобрений наиболее благоприятно отражается на росте и развитии сосновых древостоев [Федорец, Бахмет, 2003].

Наибольшее по сравнению с контролем превышение средних величин высоты, диаметра ствола и полноты было выявлено в варианте с NPK. Также в вариантах опыта, где использовалось полное удобрение, был наиболее высоким запас древостоя, несмотря на меньшую густоту стояния по сравнению с контролем (табл. 3). В варианте с N увеличены по сравнению с контролем диаметр ствола, полнота и запас древостоя, но различие не так очевидно.

Сосняки брусничные, которые были вырублены перед проведением опыта с удобрениями, произрастали по IV.2 классу бонитета. Сформировавшиеся сосновые насаждения в варианте с NPK имеют бонитет III.6, тогда как в вариантах с N и в контроле бонитет (IV.4) близок к исходному.

## Выводы

Проведенное исследование агрохимических свойств песчаных альфегумусовых оподзоленных подбуров позволило выявить особенности последствия многолетнего внесения различных видов минеральных удобрений в почвы сосновых насаждений через 30 лет после

последнего внесения. Почвы сосновых биогеоценозов, несмотря на их песчаный гранулометрический состав и вероятность потерь элементов питания из внесенных минеральных удобрений с внутриводосточным стоком, претерпевают в основном положительные изменения от воздействия удобрений.

Наибольшие по сравнению с контролем изменения отмечены в подстилке и подподстилочном иллювиальном горизонте. В подстилке значимо увеличилось содержание углерода и азота в варианте как с N, так и с NPK, тогда как содержание калия, напротив, уменьшилось. В иллювиальном горизонте наблюдается значимо увеличенное содержание C, N,  $P_2O_5$ ,  $K_2O$ , но только в почвах варианта с NPK. В иллювиальном горизонте отмечен двукратный прирост общего углерода в варианте с N.

Применение удобрений привело к увеличению кислотности в подстилке (NPK) и иллювиальном горизонте (N, NPK), способствовало 20-процентному увеличению запаса лесных подстилок в обоих вариантах опыта по сравнению с контролем, а также положительно сказалось на продуктивности сосновых насаждений. В вариантах с NPK и с N по сравнению с контролем увеличились средние величины диаметра (на 25 и 5 % соответственно) и высоты (на 24 и 3 %) насаждений, а также запас древостоя (на 48 и 18 %).

*Представленный материал был получен при выполнении государственных заданий Института леса КарНЦ РАН (темы №№ 0220-2014-0006; 0220-2014-0002).*

## Литература

- Агрохимические методы исследования почв / Под ред. А. В. Соколова. М.: Наука, 1975. 656 с.
- Коновалов В. Н., Зарубина Л. В. Эколого-физиологические особенности хвойных на удобренных почвах. Архангельск: С(А)ФУ, 2011. 308 с.
- Куликова В. К. Изменение агрохимических свойств почв при внесении минеральных удобрений // Повышение эффективности лесовосстановительных мероприятий на Севере. Петрозаводск: КФ АН СССР, 1977. С. 24–41.
- Левкина Т. И. К вопросу об отношении сеянцев древесных пород к реакции среды и известкованию почв лесных питомников // Возобновление леса на вырубках и выращивание сеянцев в питомниках. Петрозаводск: Карельск. кн. изд-во, 1964. С. 203–212.
- Макаров Б. Н. Воздушный режим дерново-подзолистой почвы // Почвоведение. 1966. № 11. С. 98–107.
- Новицкая Ю. Е., Чикина П. Ф., Царегородцева С. О. Влияние азотных удобрений на физиологическое состояние сосны // Сосновые леса Карелии

и повышение их продуктивности. Петрозаводск: КФ АН СССР, 1974. 256 с.

Сляднев А. П. Влияние аммиачной и калийной селитры на рост сосны // Изв. высш. учебн. завед. Лесной журнал. 1970. № 3. С. 17–22.

Турчин Ф. К., Корицкая И. А., Жидких Г. Г. Превращение азотных удобрений в почве и их использование растениями // Докл. советских почвоведов к VIII Международному конгрессу почвоведов. Плодородие и мелиорация почв. М., 1964. Вып. I. С. 121–132.

Федорец Н. Г. Влияние азотных удобрений на химические свойства почв сосновых лесов // Влияние хозяйственных мероприятий на лесные почвы Карелии. Петрозаводск: КФ АН СССР, 1983. С. 77–88.

Федорец Н. Г., Бахмет О. Н. Экологические особенности трансформации соединений углерода и азота в лесных почвах / Ред. С. А. Шоба. Петрозаводск: Карельский науч. центр РАН, 2003. 240 с.

Федорец Н. Г., Морозова Р. М. Биологический круговорот азота в сосновых биогеоценозах флювиогляциальных равнин // Исследование почв лесных ландшафтов Карелии. Петрозаводск: КФ АН СССР, 1985. С. 146–156.

Чернобровкина Н. П. Экофизиологическая характеристика использования азота сосной обыкновенной. СПб.: Наука, 2001. С. 95–120.

Шубин В. И. Влияние удобрений на рост культур сосны на песчаных почвах // Повышение эффективности лесовосстановительных мероприятий на севере. Петрозаводск: КФ АН СССР, 1977. 184 с.

Шубин В. И., Гелес И. С., Крутов В. И. и др. Повышение производительности культур сосны и ели на вырубках / Ред. Н. И. Казимиров. Петрозаводск: Карел. науч. центр АН СССР, 1991. 176 с.

Шумаков Э. И., Федорова Е. Л. Применение минеральных удобрений в лесу. М.: Лесн. пром., 1970. 89 с.

Johansson K., Ring E., Högbon L. Effects of pre-harvest fertilization and subsequent soil scarification on the growth of planted *Pinus sylvestris* seedlings and ground vegetation after clear-felling // *Silva Fennica* 2013. Vol. 47, no. 4. doi: 10.14214/sf.1016

Lindkvist A., Kardel O., Nordlund C. Intensive forestry as progress or decay? An analysis of the debate about forest fertilization in Sweden, 1960–2010 // *Forests*. 2011. Vol. 2. P. 112–146.

Nilsson U., Allen L. Short- and long-term effects of site preparation, fertilization and vegetation control on growth and stand development of planted loblolly pine // *Forest Ecology and Management*. 2003. Vol. 175. P. 367–377.

Nohrstedt H.-Ö., Börjesson G. Respiration in a forest soil 27 years after fertilization with different doses of urea // *Silva Fennica*. 1998. No. 32 (4). P. 383–388.

Schwarz G. Kulturdüngungsversuche und ihre Ergebnisse // *Allgemeine Forstzeitschrift*, 1969. Vol. 80, no. 9. P. 212–215.

Silfverberg K., Moilanen M. Long-term nutrient status of PK fertilized Scots pine stands on drained peatlands in North-Central Finland // *Suo. Helsinki*. 2008. Vol. 59 (3). P. 71–88.

Viro P. J. Die Walddüngung auf finnischen Mineralboden // *Folia Forest*. 1972. Vol. 138 (19). P. 138–199.

Wehrman J. Mineralstoffernahrung der Kiefer auf Heideboden // *Allgemeine Forstzeitschrift*. 1961. Vol. 16. P. 50.

Will R. E., Markewitz D., Hendrick R. L. et al. Nitrogen and phosphorus dynamics for 13-year-old loblolly pine stands, receiving complete competition control and annual N fertilizer // *Forest Ecology and Management*. 2006. Vol. 227. P. 155–168.

Поступила в редакцию 09.09.2016

## References

*Agrokhimicheskie metody issledovaniya pochv* [Agrochemical methods of soil research]. Ed. A. V. Sokolov. Moscow: Nauka, 1975. 656 p.

Chernobrovkina N. P. Ekofiziologicheskaya kharakteristika ispol'zovaniya azota sosnoi obyknovvennoi [Ecological and physiological characteristics of nitrogen use by common pines]. St. Peterburg: Nauka, 2001. P. 95–120.

Fedorets N. G., Bakhmet O. N. Ekologicheskie osobennosti transformatsii soedinenii ugleroda i azota v lesnykh pochvakh [Ecological characteristics of transformation of carbon and nitrogen compounds in forest soils]. Ed. S. A. Shoba. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2003. 240 p.

Fedorets N. G., Morozova R. M. Biologicheskii krugovorot azota v osnovnykh biogeotsenozakh flyuvioglyatsial'nykh ravnin [Biological nitrogen cycle in pine biogeocenoses of glaciofluvial plains]. Issledovanie pochv lesnykh landshaftov Karelii [Studies of the Forest Landscapes Soils in Karelia]. Petrozavodsk: Kar. fil. AN SSSR, 1985. P. 146–156.

Fedorets N. G. Vliyaniye azotnykh udobrenii na khimicheskie svoystva pochv sosnovykh lesov [Impact of

nitrogen fertilizers on chemical properties of soils in pine forests]. Vliyaniye khozyaistvennykh meropriyatii na lesnye pochvy Karelii [Impact of Economic Activities on Forest Soils in Karelia]. Petrozavodsk: Kar. fil. AN SSSR, 1983. P. 77–88.

Konovalov V. N., Zarubina L. V. Ekologo-fiziologicheskie osobennosti khvoinykh na udobrennykh pochvakh [Ecological and physiological characteristics of the coniferae in fertilized soils]. Arkhangel'sk: S(A)FU, 2011. 308 p.

Kulikova V. K. Izmeneniye agrokhimicheskikh svoistv pochv pri vnesenii mineral'nykh udobrenii [Changes in agrochemical properties of soils induced by mineral fertilizers application]. Povysheniye effektivnosti lesvosstanovitel'nykh meropriyatii na severe [Improving the Performance of Reforestation Activities in the North]. Petrozavodsk: Kar. fil. AN SSSR, 1977. P. 24–41.

Levkina T. I. K voprosu ob otnoshenii seyantsev drevesnykh porod k reaktzii sredy i izvestkovaniyu pochv lesnykh pitomnikov [On woody species seedlings response to environment reaction and soil liming in forest nurseries]. Vozobnovleniye lesa na vyrubkakh

i vyrashchivanie seyantsev v pitomnikakh [Reforestation of Felled Sites and Cultivation of Seedlings in Nurseries]. Petrozavodsk: Kar. kn. izd-vo, 1964. P. 203–212.

Makarov B. N. Vozdushnyi rezhim derno-podzolic-toi pochvy [Air regime of sod-podzolic soil]. *Pochvovedenie [Eurasian Soil Science]*. 1966. No. 11. P. 98–107.

Novitskaya Yu. E., Chikina P. F., Tsaregorodtseva S. O. Vliyanie azotnykh udobrenii na fiziologicheskoe sostoyanie sosny [Nitrogen fertilizers impact on the physiological condition of pines]. *Sosnovye lesa Karelii i povyshenie ikh produktivnosti [Pine Forests in Karelia and Increasing their Productivity]*. Petrozavodsk: Kar. fil. AN SSSR, 1974. 256 p.

Shubin V. I., Geles I. S., Krutov V. I., Morozova R. M., Sokolov A. I. Povyshenie proizvoditel'nosti kul'tur sosny i eli na vyrubkakh [Increasing pine and spruce productivity on felled sites]. Petrozavodsk: Kar. RC of RAS, 1991. 176 p.

Shubin V. I. Vliyanie udobrenii na rost kul'tur sosny na peschanykh pochvakh [Impact of sandy soil fertilization on pine growth]. *Povyshenie effektivnosti lesovosstanovitel'nykh meropriyatii na severe [Improving the Performance of Reforestation Activities in the North]*. Petrozavodsk: Kar. fil. AN SSSR, 1977. 184 p.

Shumakov E. I., Fedorova E. L. Primenenie mineral'nykh udobrenii v lesu [Application of mineral fertilizers in forest]. Moscow: Lesn. prom., 1970. 89 p.

Shyadnev A. P. Vliyanie ammiachnoi i kaliinoi selitry na rost sosny [Impact of ammonium nitrate and potassium nitrate on pine growth]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoi zhurnal [Bull. of Higher Ed. Inst. Forestry Journal]*. 1970. No. 3. P. 17–22.

Turchin F. K., Koritskaya I. A., Zhidkikh G. G. Prerashchenie azotnykh udobrenii v pochve i ikh ispol'zovanie rasteniyami [Transformation of nitrogen fertilizers in soil and their use by plants]. Dokl. sovetskikh pochvovedov k VIII Mezhdunarodnomu kongressu pochvovedov. Plodorodie i melioratsiya pochv [VIII International Soil Science Congress, Collection of Papers by Soviet

Soil Scientists. Fertility and Soil Melioration]. Moscow. 1964. Iss. 1. P. 121–132.

Johansson K., Ring E., Hogbom L. Effects of pre-harvest fertilization and subsequent soil scarification on the growth of planted *Pinus sylvestris* seedlings and ground vegetation after clear-felling. *Silva Fennica*. 2013. Vol. 47, no. 4. doi: 10.14214/sf.1016

Lindkvist A., Kardell O., Nordlund C. Intensive forestry as progress or decay? An analysis of the debate about forest fertilization in Sweden, 1960–2010. *Forests*. 2011. Vol. 2. P. 112–146.

Nilsson U., Allen L. Short- and long-term effects of site preparation, fertilization and vegetation control on growth and stand development of planted loblolly pine. *Forest Ecology and Management*. 2003. Vol. 175. P. 367–377.

Nohrstedt H.-Ö., Börjesson G. Respiration in a forest soil 27 years after fertilization with different doses of urea. *Silva Fennica*. 1998. No. 32 (4). P. 383–388.

Schwarz G. Kulturdüngungsversuche und ihre Ergebnisse. *Allgemeine Forstzeitschrift*. 1969. Vol. 80, no. 9. P. 212–215.

Silfverberg K., Moilanen M. Long-term nutrient status of PK fertilized Scots pine stands on drained peatlands in North-Central Finland. *Suo*. Helsinki. Vol. 59 (3). 2008. P. 71–88.

Viro P. J. Die Walddüngung auf finnischen Mineralboden. *Folia Forest*. 1972. Vol. 138 (19). P. 138–199.

Wehrman J. Mineralstoffernahrung der Kiefer auf Heideboden. *Allgemeine Forstzeitschrift*. 1961. Vol. 16. P. 50.

Will R. E., Markewitz D., Hendrick R. L., Meason D. F., Crocker T. R., Borders B. E. Nitrogen and phosphorus dynamics for 13-year-old loblolly pine stands, receiving complete competition control and annual N fertilizer. *Forest Ecology and Management*. 2006. Vol. 227. P. 155–168.

Received September 09, 2016

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

### Солодовников Антон Николаевич

научный сотрудник лаб. лесного почвоведения, к. б. н.  
Институт леса Карельского научного центра РАН  
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,  
Россия, 185910  
эл. почта: solod@krc.karelia.ru

### Федорец Наталия Глебовна

заведующая лаб. лесного почвоведения, д. с.-х. н., проф.  
Институт леса Карельского научного центра РАН  
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,  
Россия, 185910

### Соколов Александр Иванович

заведующий лаб. динамики и продуктивности таежных лесов, д. с.-х. н., доцент  
Институт леса Карельского научного центра РАН  
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,  
Россия, 185910  
эл. почта: sokolov@krc.karelia.ru

## CONTRIBUTORS:

### Solodovnikov, Anton

Forest Research Institute, Karelian Research Centre,  
Russian Academy of Sciences  
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia  
e-mail: solod@krc.karelia.ru

### Fedorets, Nataliya

Forest Research Institute, Karelian Research Centre,  
Russian Academy of Sciences  
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia

### Sokolov, Aleksandr

Forest Research Institute, Karelian Research Centre,  
Russian Academy of Sciences  
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia  
e-mail: sokolov@krc.karelia.ru