



## ВЛИЯНИЕ АГРОТЕХНИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ НА РОСТ И СОСТОЯНИЕ КОРНЕВОЙ СИСТЕМЫ 1-ЛЕТНИХ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ В ЛЕСНЫХ ПИТОМНИКАХ В УСЛОВИЯХ ПЕСТИЦИДНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Елена М. Андреева<sup>1</sup>✉, e\_m\_andreeva@mail.ru, 0000-0003-2651-2541

Светлана К. Стеценко<sup>1</sup>, stets\_s@mail.ru, 0000-0002-4885-3817

Геннадий Г. Терехов<sup>1</sup>, terekhov\_g\_g@mail.ru, 0000-0002-2312-9224

Дмитрий Г. Басистов<sup>2</sup>, bassvd777@mail.ru

<sup>1</sup>ФГБУН Ботанический сад УрО РАН, ул. Билимбаевская, 32а, г. Екатеринбург, 620134, Россия

<sup>2</sup>ФГКОУ ВО УрЮИ МВД России, ул. Корепина, 66, г. Екатеринбург, 620057, Россия

Показатели роста и микоризации корневой системы однолетних сеянцев сосны рассмотрены при их выращивании в лесном питомнике после проведения разных агротехнических мероприятий: посев сосны после сидерального и черного паров, внесение лесной подстилки в почву. Показано, что в условиях бедных почв (низкого обеспечения питательными элементами) лучшие показатели роста и развития корневой системы наблюдались у сеянцев, выращенных после черного пара и черного пара с внесением лесной подстилки. Сеянцы, выращенные во всех вариантах после черного пара, имели лучшие показатели роста, чем сеянцы, выращенные после сидерального пара. Сделано заключение о том, что проведение биоремедиационных мероприятий с целью снижения пестицидного загрязнения с использованием лесной подстилки рекомендуется проводить на участках, прошедших парование почвы без применения сидератов. Данный прием может позволить не только увеличить линейные размеры сеянцев сосны, но и улучшить качество почвы.


**Ключевые слова:** сосна обыкновенная, сеянцы, питомник, черный пар, сидеральный пар, микориза


**Конфликт интересов:** авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.


**Для цитирования:** Андреева Е. М. Влияние агротехнических мероприятий на рост и состояние корневой системы 1-летних сеянцев сосны в лесных питомниках в условиях пестицидного загрязнения / Е. М. Андреева, С. К. Стеценко, Г. Г. Терехов, Д. Г. Басистов // Лесотехнический журнал. – 2022. – Т. 12. – № 3 (47). – С. 16–25. – Библиогр.: с. 23–25 (16 назв.). – DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2022.3/2.

**Поступила:** 12.07.2022 **Принята к публикации:** 15.09.2022 **Опубликована онлайн:** 01.10.2022

## THE AGROTECHNICAL MEASURES INFLUENCE TO THE GROWTH AND STATE OF THE 1-YEAR-OLD PINE SEEDLINGS ROOT SYSTEM IN FOREST NURSERY BY SOIL CONTAMINATION WITH PESTICIDES

Elena M. Andreeva<sup>1</sup>✉, e\_m\_andreeva@mail.ru, 0000-0003-2651-2541

Svetlana K. Stetsenko<sup>1</sup>, stets\_s@mail.ru, 0000-0002-4885-3817

Gennadii G. Terekhov<sup>1</sup>, terekhov\_g\_g@mail.ru, 0000-0002-2312-9224

Dmitry G. Basistov<sup>2</sup>, bassvd777@mail.ru

<sup>1</sup>Botanical Garden Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Bilimbaevskaya str., 32a, Ekaterinburg city, 620134, Russian Federation

<sup>2</sup>Ural Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Korepina str., 66, Ekaterinburg city, 620057, Russian Federation

### Abstract

The growth and mycorrhization of the 1-year-old pine seedlings root system were considered when they were grown in a forest nursery after carrying out various agrotechnical measures: sowing pine after green manure and bare fallow, and also introducing forest litter into the soil. The best growth and the root system development were observed in seedlings grown after bare fallow and bare fallow with the introduction of forest litter in conditions of poor soils (low supply of nutrients). Seedlings grown in all variants after bare fallow had the best growth rates than seedlings grown after green manure. Concluded it is recommended to carry out the bioremediation to reduce soil contamination by pesticides using forest litter in fields without the use of green manure. This method can allow not only to increase the linear sizes of pine seedlings, but also to improve the soil quality.

**Keywords:** Scotch pine, seedlings, nursery, bare fallow, green manure fallow, mycorrhiza

**Conflict of interest:** the authors declare no conflict of interest.

**For citation:** Andreeva E. M., Stetsenko S. K., Terekhov G. G., Basistov D. G. (2022) The agrotechnical measures influence to the growth and state of the 1-year-old pine seedlings root system in forest nursery by soil contamination with pesticides. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forest Engineering journal], Vol. 12, No. 3 (47), pp. 16-25 (in Russian). DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2022.3/2.

**Received:** 12.07.2022 **Revised:** 02.09.2022 **Accepted:** 15.09.2022 **Published online:** 01.10.2022

### Введение

Технология выращивания посадочного материала хвойных предусматривает проведение ряда агротехнических мероприятий, главной целью которых является получение сеянцев высокого качества. Для этого проводят ряд приемов, способствующих успешному развитию растений, – улучшение водно-физических свойств в пахотном горизонте при обработке почвы с использованием черного и сидерального пара, внесение органических и минеральных удобрений (мелиорантов), предпосевную обработку семян ростостимулирующими препара-

тами и др. Основные лесообразующие хвойные породы таежной зоны имеют на корнях микоризы, главная роль которых заключается в переводе минеральных веществ почвы и разложившихся органических остатков в форму, доступную для использования растениями. Микориза обеспечивает защиту от почвенных патогенов, повышение устойчивости растений к биотическим и абиотическим стрессам, способствует лучшему приживанию сеянцев после их пересадки в лес [1–4]. Заселение корневой системы сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) микоризными грибами начинается уже в первый

год развития сеянцев, а интенсивность этого процесса определяется различными факторами [5–6].

Большинство постоянных лесных питомников Среднего Урала было организовано около 50 лет назад. За последние 30 лет в посевные поля не вносили органических удобрений, а промежуток между выращиванием монопороды – 1-2 года. При посеве семян и выращивании сеянцев постоянно используют химические средства защиты (пестициды), что приводит к загрязнению пахотного слоя почвы разными остаточными количествами этих препаратов. Выход стандартного посадочного материала, прежде всего сосны обыкновенной, в последние годы стал заметно снижаться, ее морфологическое состояние надземной части (тератогенность) вызывает большие опасения за леса будущего [7]. Кроме того, формирование корневой системы будущих деревьев также находится под влиянием метаболических почвенных процессов, обусловленных агротехникой выращивания сеянцев, поэтому изучение развития корневой системы сеянцев сосны обыкновенной в условиях пестицидного загрязнения является актуальной задачей.

Цель настоящей работы – исследование процессов микоризации однолетних сеянцев сосны обыкновенной, выращенных в лесном питомнике в условиях проведения разных агротехнических мероприятий. Для этого были изучены особенности роста и развития, а также особенности микоризообразования корневой системы сеянцев сосны в процессе их роста в вариантах после сидерального и черного паров и внесения лесной подстилки в почву.

### Материалы и методы

Полевые исследования выполнены в лесном питомнике Березовского лесничества, Свердловская область, подзона южнотаёжных лесов Среднего Урала [8], координаты 56° 57,7' с.ш., 60° 46,6' в.д.

Агрохимический и гранулометрический анализ почвы, проведенный по стандартным методикам, показал, что массовая доля фракций песка составила 57 %, фракция глины – 43 %, почва – суглинок средний песчано-пылеватый. Степень обеспеченности почвы основными элементами очень низкая:  $P_2O_5$  – 0,9...1,3 мг/100 г;  $K_2O$  – 6,8...9,8 мг/100 г; общий N – 0,6...1,5 мг/100 г. Анализ поч-

вы на наличие пестицидного загрязнения позволил выявить остаточное содержание глифосата ( $0,34 \pm 0,07$  ppm) – основного гербицида, который в последнее время применяется в лесных питомниках.

Предварительная подготовка к проведению эксперимента заключалась в разделении посевной площади на три участка: две площадки с парованием почвы (на одной – однолетний сидеральный (вика, овес), на другой – однолетний черный пар, а также площадка без парования почвы (контроль).

Исследование однолетних сеянцев проведено в пяти вариантах: 1 – контроль, почва (после выращивания сеянцев) без какого-либо парования; 2 – почва после однолетнего черного пара; 3 – то же + лесная подстилка ( $20 \text{ кг/м}^2$ ); 4 – почва после однолетнего сидерального (вика с овсом) парования; 5 – то же + лесная подстилка ( $20 \text{ кг/м}^2$ ). Посев сосны был выполнен после годичного парования почвы. В качестве органического мелиоранта, активизирующего процессы разложения пестицидного загрязнения, и предположительного источника микоризообразующих грибов была внесена лесная подстилка смешанного породного состава (из-под полога сосны, березы).

Уход за посевами осуществляли в соответствии с рекомендациями, принятыми в технологиях выращивания посадочного материала в питомнике [9].

После первого вегетационного сезона часть сеянцев была выкопана, у них измерены высота стволика и его диаметр на уровне корневой шейки, длина главного корня. Для изучения процессов микоризации определяли число поглощающих корней, эктомикориз и микоризных окончаний. Выполнен расчет плотности размещения боковых проводящих корней на главном корне, плотности размещения поглощающих корней, эктомикориз и микоризных окончаний на проводящих корнях (число соответствующих структур на 100 мм проводящих корней), а также значение интенсивности микоризации (отношение количества эктомикориз к общему количеству поглощающих корней, микоризованных и немикоризованных) [10].

Для определения массы семянцы высушивали при температуре 105 °С, корень и надземную часть взвешивали раздельно, с точностью до 0,001 г.

Статистическая обработка полученных данных проведена с применением программы Statistica 6.0.

### Результаты и их обсуждение

Изучение плотности почвы после парования показало, что в контроле она составила 0,93, в контроле после черного пара – 0,96, контроле после сидерального пара – 0,91 г/см<sup>3</sup>. После внесения лесной подстилки плотность почвы снизилась: после черного пара – 0,82, после сидерального пара – 0,87 г/см<sup>3</sup>.

Однолетние сеянцы сосны, выращенные после сидерального пара, характеризовались достоверно более низкими значениями диаметра и высоты стволика, но большей длиной корня по сравнению с вариантами контроля и контроля после черного пара (табл. 1., рис. 1-3).

Плотность корней первого и второго порядка была выше в контрольном варианте. В то же время наиболее микоризованными оказались сеянцы, выращенные на черном пара. В этом варианте показатели плотности микориз и микоризных окончаний были наиболее высоки, так же как и показатель интенсивности микоризации. Наименее микоризованной была корневая система сеянцев, выращенных после однолетнего сидерального пара.

Изучение однолетних сеянцев, выращенных на площадках после сидерального пара, позволило установить, что они имеют наименьшую массу корней, стволика и хвои по сравнению с другими вариантами.

Лесная подстилка, внесенная в почву на участке с сидеральным паром, не повлияла на высоту стволика однолетних сеянцев, но отмечалось увеличение его диаметра. В варианте с черным паром отмечено достоверное увеличение высоты стволика при внесении подстилки в размере 20 кг/м<sup>2</sup>.

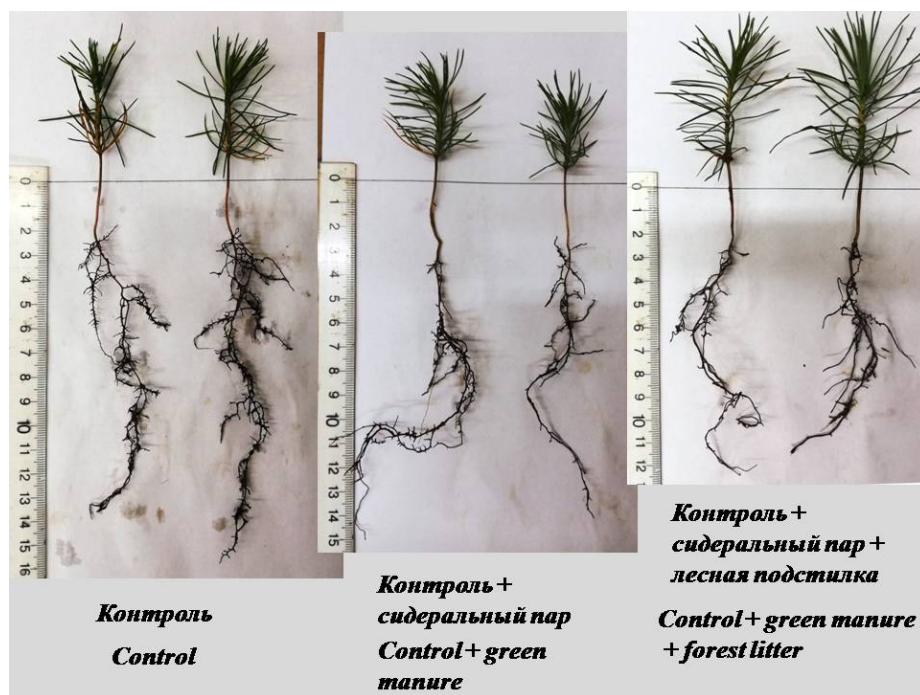


Рис. 2. 1-летние сеянцы сосны обыкновенной, выращенные после сидерального пара

Figure 2. 1-year-old Scots pine seedlings grown with green manure fallow

Источник: собственные фотографии авторов

Source: Author's photos

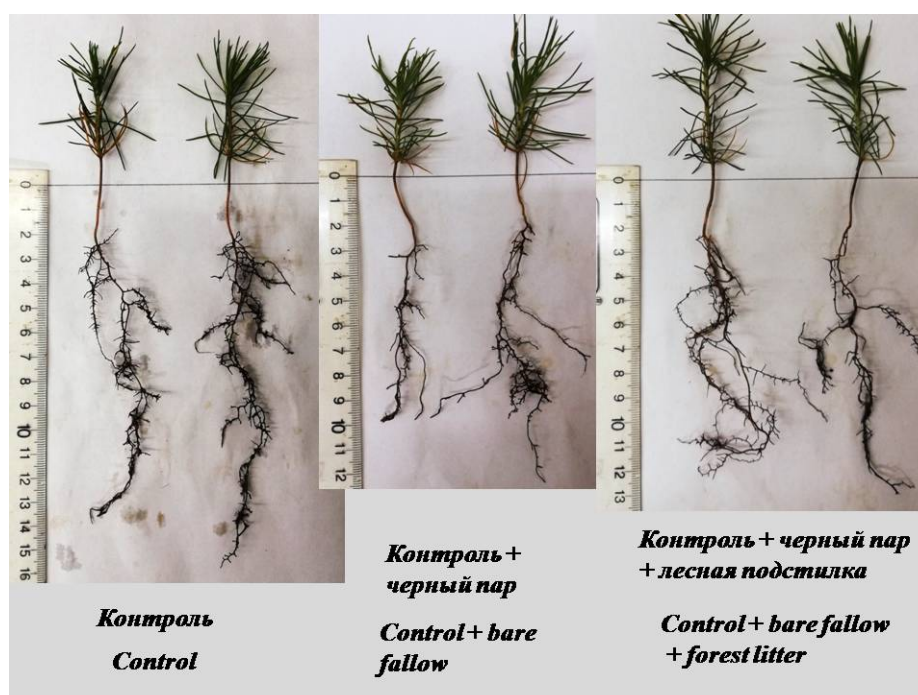


Рис. 2. 1-летние сеянцы сосны обыкновенной, выращенные после черного пара

Figure 2. 1-year-old Scots pine seedlings grown with bare fallow

Источник: собственные фотографии авторов

Source: Author's photos

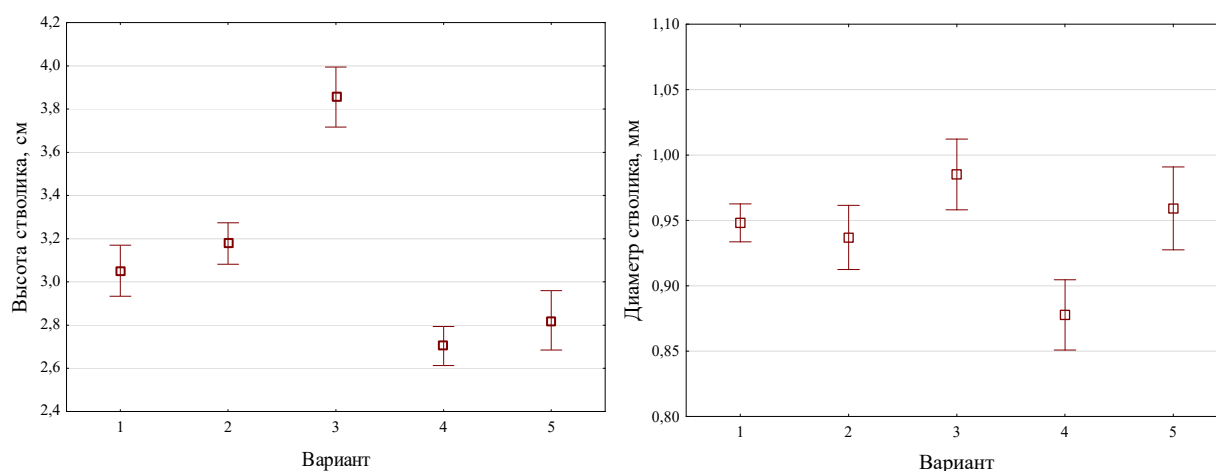


Рис. 3. Диаметр и высота стволика 1-летних сеянцев сосны обыкновенной в разных вариантах опыта:

1 – контроль; 2 – контроль после черного пара; 3 – черный пар + подстилка; 4 – контроль после сидерального пара; 5 – сидеральный пар + подстилка. Данные представлены в виде среднего арифметического со стандартной ошибкой

Figure 3. Root collar diameter (mm) and stem height (cm) of the 1-year-old pine seedlings root system and soil density in different variants of the experiment: 1 – control; 2 – control after bare fallow; 3 – bare fallow with the forest litter; 4 – control after green manure; 5 – green manure with the forest litter. The data are presented as the arithmetic mean with the standard error

Источник: собственные вычисления авторов

Source: Author's calculations

В варианте с сидеральным паром плотность поглощающих корней, плотность микориз и микоризных окончаний снижалась при добавлении подстилки. В варианте с черным паром плотность поглощающих корней не различалась между контролем и участками с внесением подстилки, но процесс заселения этих корней микоризными грибами был более медленным, чем на сидеральном паре. В вариантах с применением черного пара плотность микориз и микоризных окончаний на участках с внесением подстилки была в разы меньше, чем в контроле. Однако здесь отмечается большое количество поглощающих корней, которые потенциально могут быть заселены микоризными грибами, как в варианте с дополнительным внесением подстилки 20 кг/м<sup>2</sup>.

В вариантах с добавлением лесной подстилки в почву было отмечено увеличение массы семян (табл. 2): после сидерального пара у семян увеличивалась преимущественно надземная масса, а после черного пара – масса всех частей семян. Сеянцы во всех вариантах имели отношение надземной/подземной масс, оптимальное для хвойных пород [11].

Снижение интенсивности микоризации корневой системы однолетних сеянцев в вариантах, где в почву была внесена лесная подстилка, вероятнее всего, связано с изменением питательного режима почвы при внесении лесного субстрата, особенно в начальный период их роста [12].

Таблица 2

Показатели роста и микоризации корневых систем однолетних сеянцев сосны и плотность почвы в разных вариантах опыта

Table 1

Indicators of growth and mycorrhization of root systems of annual pine seedlings and soil density in different variants of the experiment

Показатели Parameters	Контроль Control	Контроль после черного пара Control after bare fallow	Черный пар + подстилка Bare fallow with the forest litter	Контроль после сидерального пара Control after green manure	Сидеральный пар + подстилка Green manure with the forest litter
Длина корня, см Root length, cm	12,8±0,41	12,1±0,50	12,6±0,37	14,9±0,47	12,0±0,44
Плотность размещения, шт./ 100 мм: Placement density, pcs/ 100 mm					
корней 1 порядка roots of the 1st order	24,1±1,27	22,7±1,26	20,5±0,77	19,6±1,18	17,4±0,89
корней 2 порядка roots of the 2 st order	58,0±2,21	49,6±2,19	48,3±2,51	50,7±2,59	37,9±1,89
поглощающих корней absorbent roots	40,3±2,31	28,7±2,07	38,0±2,68	35,8±2,51	29,0±2,02
эктомикориз ectomycorrhiza	17,7±2,35	20,8±2,33	10,2±1,88	14,9±2,05	8,9±0,99
микоризных окончаний mycorrhizal endings	38,2±5,74	49,5±7,23	22,8±5,00	34,6±5,24	18,2±2,23
Интенсивность микоризации Mycorrhization intensity	0,31	0,42	0,21	0,29	0,23

Примечание. Данные представлены в виде среднего арифметического со стандартной ошибкой.

Note. The data are presented as the arithmetic mean with the standard error.

Источник: собственные вычисления авторов

Source: Author's calculations

Ранее было установлено, что процессы микоризации корневой системы семян сосны могут определяться оптимизацией применения азотных удобрений, которая позволит усилить эктомикоризную колонизацию питомников местными видами грибов и улучшить рост семян сосны обыкновенной в питомниках [13]. Показано, что при внесении лесной подстилки в слабо обеспеченную пи-

тательными элементами почву наблюдается интенсивное обогащение ее подвижными формами азота, особенно нитратами, которые образуются в результате лизиса грибного мицелия подстилки. В результате этого улучшаются показатели роста и массы семян, но снижается интенсивность микоризации корней [5].

Таблица 2

Масса (г) отдельных фракций однолетних семян сосны в разных вариантах опыта

Table 2

Mass (g) by the 1-year-old pine seedlings' fractions in different variants of the experiment

Варианты Variants	Масса Weight				Отношение масс надземной/подземной Dry weight of shoots and needles/ dry weight of roots
	корень root	ствол stem	хвоя needles	надземная shoots and needles	
Контроль Control	0,037	0,017	0,059	0,076	2,05
Контроль после сидерального пара Control after green manure	0,029	0,014	0,043	0,057	1,97
Сидеральный пар + лесная подстилка Green manure with the forest litter	0,027	0,016	0,056	0,072	2,67
Контроль после черного пара Control after bare fallow	0,030	0,019	0,059	0,078	2,60
Черный пар + лесная подстилка Bare fallow with the forest litter	0,035	0,025	0,064	0,089	2,54

Источник: собственные вычисления авторов

Source: Author's calculations

В целом, основываясь на полученных результатах, можно предположить, что не все агротехнические мероприятия, использованные в целях активизации процессов самоочищения почвы от пестицидного загрязнения и изученные в данной работе, целесообразно применять при выращивании сосны в условиях низкого обеспечения питательными элементами. Хорошие результаты по ростовым показателям и формированию корневой системы были получены при включении в агротехнику выращивания посадочного материала черного пара и внесении лесной подстилки. Посев сосны

после сидерального пара привел к получению семян с наименьшими ростовыми морфометрическими показателями. Полученные результаты согласуются с ранее полученными сведениями по использованию данного технологического приема. Возможность включения сидерального пара в технологию выращивания семян в питомниках по-разному рассматривается исследователями. Часть из них рекомендует его при трехпольном севообороте посевных отделений небольших питомников в лесной зоне [14], другие придерживаются мнения, что сосну необходимо сеять только по чистому

(черному) пару [9], что может снижать и инфекционный фон питомника. Также было высказано мнение, что посев сосны нежелателен на следующий год после запахивания сидератов, т. к. в разложении органики в почве участвуют микроорганизмы, вызывающие полегание сеянцев [15]. Некоторыми исследователями было показано, что включение в севооборот сидерального пара только в комплексе с применением органических и минеральных удобрений позволяет получать хорошие результаты при выращивании посадочного материала [16].

### Заключение

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют, что в условиях питомников с мало-

обеспеченными питательными элементами почвами целесообразно проводить посев сосны после черного пара. Проведение биоремедиационных мероприятий с целью снижения пестицидного загрязнения с использованием лесной подстилки рекомендуется проводить на участках, прошедших парование почвы без применения сидератов. Данный прием позволит не только увеличить линейные размеры сеянцев сосны, но и улучшить качество почвы.

Работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБУН Ботанический сад УрО РАН.

### Список литературы

1. Domínguez-Núñez J. A., Berrocal-Lobo M., Albanesi A. S. Ectomycorrhizal Fungi: Role as Biofertilizers in Forestry. *Soil Biology*. 2019; 55: 67-82. URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-18933-4\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-18933-4_4)
2. Menkis A., Vasiliauskas R., Taylor A. F., Stenlid J., Finlay R. Fungal communities in mycorrhizal roots of conifer seedlings in forest nurseries under different cultivation systems, assessed by morphotyping, direct sequencing and mycelial isolation. *Mycorrhiza*. 2005;16: 33–41. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00572-005-0011-z>
3. Ortega U., Duñabeitia M., Menendez S., Gonzalez-Murua C., Majada J. Effectiveness of mycorrhizal inoculation in the nursery on growth and water relations of *Pinus radiata* in different water regimes. *Tree Physiology*. 2004; 24 (1): 65–73. URL: <https://doi.org/10.1093/treephys/24.1.65>.
4. Wang Y.-H., Dai Y., Kong W.-L., Wu X.-Q. Improvement of Sphaeropsis Shoot Blight Disease Resistance by Applying the Ectomycorrhizal Fungus *Hymenochaete* sp. R1 and Mycorrhizal Helper Bacterium *Bacillus pumilus* HR10 to *Pinus thunbergii* // *Phytopathology*. 2022. V. 112. № 6: PHYTO09210392R. DOI:10.1094/PHYTO-09-21-0392-R.
5. Шубин В. И. Микотрофность древесных пород. Значение при разведении леса в таежной зоне. Ленинград : Наука, 1973. 264 с. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20915089&>.
6. Брындина Л. В., Арнаут Ю. И., Алыкова О. И. Микоризообразующие грибы в формировании биогеоценозов: аналитический обзор. *Лесотехнический журнал*. 2022;1: 4–20. DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.1/1>.
7. Фрейберг И. А., Стеценко С. К. Влияние пестицидов на морфологию ствола сосны обыкновенной на Среднем Урале. *Лесоведение*. 2017; 1: 39-44. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28147874>.
8. Колесников Б. П., Зубарева Р. С., Смолоногов Е. П. Лесорастительные условия и типы леса Свердловской области: Практическое руководство. Свердловск : УНЦ АН СССР, 1973. 176 с. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26177083>.
9. Новосельцева А. И., Смирнов Н. А. Справочник по лесным питомникам. Москва : Лесн. пром-сть, 1983. 280 с.
10. Andreeva E. M., Stetsenko S. K., Hurshkainen T. V., Terekhov G. G., Kutchin A. V. The mycorrhization of the root system of Scots pine with different granulometric composition of the soil under the influence of bio-stimulants in the Middle Urals. *AIP Conference Proceedings* 2390, 030003 (2022). URL: <https://doi.org/10.1063/5.0069142>.
11. Родин А. Р., Родин С. А., Калашникова Е. А., Васильев С. Б. Лесные культуры. Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020. 210 с. ISBN: 978573852651.



12. Aucina A., Rudawska M., Leski T. et al. Growth and mycorrhizal community structure of *Pinus sylvestris* seedlings following the addition of forest litter algis. *Applied and environmental microbiology*. 2007; 73 (15): 4867–4873. URL: <https://journals.asm.org/doi/10.1128/AEM.00584-07>.
13. Rudawska M., Leski T., Gornowicz R. Mycorrhizal status of *Pinus sylvestris* L. nursery stock in Poland as influenced by nitrogen fertilization. *Dendrobiology*. 2001; 46: 49-58.
14. Бабич Н. А. Лесные культуры : учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет, 2010. 166 с. ISBN: 978-5-261-00497-4. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19514771>.
15. Гвоздев В. К., Якимов Н. И., Поплавская Л. Ф., Сероглазова Л. М., Крук Н. К. Интенсивная технология выращивания сеянцев хвойных пород в лесных питомниках. Труды Белорусского государственного технологического университета. Серия 1. Лесное хозяйство. 1999; 7: 64-69. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41759682>.
16. Бобринев В. П., Пак Л. Н. Эффективный севооборот в лесных питомниках Восточного Забайкалья. *Агрохимия*. 2016; 4: 55–60. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26017797>.

### References

1. Domínguez-Núñez J. A., Berrocal-Lobo M., Albanesi A. S. Ectomycorrhizal Fungi: Role as Biofertilizers in Forestry. *Soil Biology*. 2019; 55: 67-82. URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-18933-4\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-18933-4_4)
2. Menkis A., Vasiliauskas R., Taylor A. F., Stenlid J., Finlay R. Fungal communities in mycorrhizal roots of conifer seedlings in forest nurseries under different cultivation systems, assessed by morphotyping, direct sequencing and mycelial isolation. *Mycorrhiza*. 2005;16: 33–41. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00572-005-0011-z>
3. Ortega U., Duñabeitia M., Menendez S., Gonzalez-Murua C., Majada J. Effectiveness of mycorrhizal inoculation in the nursery on growth and water relations of *Pinus radiata* in different water regimes. *Tree Physiology*. 2004; 24 (1): 65–73. URL: <https://doi.org/10.1093/treephys/24.1.65>.
4. Wang Y.-H., Dai Y., Kong W.-L., Wu X.-Q. Improvement of Sphaeropsis Shoot Blight Disease Resistance by Applying the Ectomycorrhizal Fungus *Hymenochaete* sp. R1 and Mycorrhizal Helper Bacterium *Bacillus pumilus* HR10 to *Pinus thunbergii* // *Phytopathology*. 2022. V. 112. № 6: PHYTO09210392R. DOI:10.1094/PHYTO-09-21-0392-R.
5. Shubin V. I. Mikotrofnost' drevesnyh porod. Znachenie pri razvedenii lesa v taezhnoy zone. Leningrad : Nauka, 1973; 264. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20915089&>.
6. Bryndina L. V., Arrnaut Y. I., Alykova O. I. (2022) Mycorrhizal fungi in the formation of biogeocenoses: analytical review. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forest Engineering journal]. 2022; 12 (1): 4-20 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.1/1>.
7. Freiberg I. A., Stetsenko S. K. Vliyanie pesticidov na morfologiyu stvola sosny obyknovnoy na Srednem Urale [Pesticide effect on the scots pine trunk morphology in Central Urals]. *Lesovedenie*. 2017; 1: 39-44. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28147874>.
8. Kolesnikov B. P., Zubareva R. S., Smolonogov E. P. Forest-growing conditions and types of forest in the Sverdlovsk region: a practical guide. Sverdlovsk, USC USSR Academy of Sciences, 1973, 176 p. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26177083>.
9. Novosel'ceva A. I., Smirnov N. A. Spravochnik po lesnym pitomnikam [A forest nurseries guide]. Moscow: Lesn. prom-st', 1983. 280 s (In Russ.).
10. Andreeva E. M., Stetsenko S. K., Hurshkainen T. V., Terekhov G. G., Kutchin A. V. The mycorrhization of the root system of Scots pine with different granulometric composition of the soil under the influence of bio-stimulants in the Middle Urals AIP Conference Proceedings 2390, 030003 (2022). URL: <https://doi.org/10.1063/5.0069142>.
11. Rodin A. R., Rodin S. A., Kalashnikova E. A., Vasiliev S. B. *Lesnyye kul'tury*. Moscow: MSTU named after N.E. Bauman, 2020; 210 p. (In Russ.). ISBN: 978573852651.

12. Aucina A., Rudawska M., Leski T. et al. Growth and mycorrhizal community structure of *Pinus sylvestris* seedlings following the addition of forest litter algis. *Applied and environmental microbiology*. 2007; 73 (15): 4867–4873. URL: <https://journals.asm.org/doi/10.1128/AEM.00584-07>.

13. Rudawska M., Leski T., Gornowicz R. Mycorrhizal status of *Pinus sylvestris* L. nursery stock in Poland as influenced by nitrogen fertilization. *Dendrobiology*. 2001; 46: 49–58.

14. Babich N. A. *Lesnye kul'tury: ucheb. posobie. 2-e izd., pererab. i dop.* Arhangel'sk: Severnyj (Arkticheskij) federal'nyj universitet, 2010; 166. (In Russ.). ISBN: 978-5-261-00497-4. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19514771>.

15. Gvozdev V. K., YAKimov N. I., Poplavskaya L. F., Seroglazova L. M., Kruk N. K. Intensivnaya tekhnologiya vyrashchivaniya seyancev hvojnnyh porod v lesnyh pitomnikah [Intensive technology for growing seedlings of coniferous species in forest nurseries]. *Trudy Belorusskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya 1. Lesnoe hozyajstvo = Proceedings of the Belarusian State Technological University. Series 1. Forestry*. 1999; 7: 64–69. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41759682>.

16. Bobrinev V. P., Pak L. N. Effektivnyj sevooborot v lesnyh pitomnikah Vostochnogo Zabajkal'ya [The effective crop rotation in forest nurseries in Eastern Transbaikalia]. *Agrohimiya = Agrochemistry*. 2016; 4: 55–60 (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26017797>.

### Сведения об авторах

*Андреева Елена Михайловна* – кандидат биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории лесовосстановления, защиты леса и лесопользования, ФГБУН Ботанический сад Уральского отделения РАН, ул. Билимбаевская, 32а, г. Екатеринбург, 620134, Россия; e-mail: [e\\_m\\_andreeva@mail.ru](mailto:e_m_andreeva@mail.ru).

*Стеценко Светлана Карленовна* – кандидат биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории лесовосстановления, защиты леса и лесопользования, ФГБУН Ботанический сад Уральского отделения РАН, ул. Билимбаевская, 32а, г. Екатеринбург, 620134, e-mail: [stets\\_s@mail.ru](mailto:stets_s@mail.ru).

*Терехов Геннадий Григорьевич* – доктор с.-х. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории лесовосстановления, защиты леса и лесопользования, ФГБУН Ботанический сад Уральского отделения РАН, ул. Билимбаевская, 32а, г. Екатеринбург, 620134, e-mail: [terekhov\\_g\\_g@mail.ru](mailto:terekhov_g_g@mail.ru).

*Басистов Дмитрий Георгиевич* – заместитель начальника кафедры физической подготовки, ФГКОУВО УрЮИ МВД России, ул. Корепина, 66, г. Екатеринбург, 620057, e-mail: [bassvd777@mail.ru](mailto:bassvd777@mail.ru).

### Information about the authors

*Elena M. Andreeva* – Cand. Sci. (Biol.), senior researcher, Laboratory of reforestation, forest protect and forest management, Botanical Garden Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Bilimbaevskaya str., 32a, Ekaterinburg, 620134, Russian Federation, e-mail: [e\\_m\\_andreeva@mail.ru](mailto:e_m_andreeva@mail.ru).

*Svetlana K. Stetsenko* – Cand. Sci. (Biol.), senior researcher, Laboratory of reforestation, forest protect and forest management, Botanical Garden Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Bilimbaevskaya str., 32a, Ekaterinburg, 620134, Russian Federation, e-mail: [stets\\_s@mail.ru](mailto:stets_s@mail.ru).

*Gennadii G. Terekhov* – Dr. Sci. (Agric.), leading researcher, Laboratory of reforestation, forest protect and forest management, Botanical Garden Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Bilimbaevskaya str., 32a, Ekaterinburg, 620134, Russian Federation, e-mail: [terekhov\\_g\\_g@mail.ru](mailto:terekhov_g_g@mail.ru).

*Dmitry G. Basistov* – Deputy Head of the Department of physical education Of the Ural Law Institute of Internal Affairs of the Russian Federation, Korepina str., 66, Ekaterinburg, 620057, Russian Federation, e-mail: [bassvd777@mail.ru](mailto:bassvd777@mail.ru).