

Key words: Udmurt Republic, spruce stands, drought, European spruce bark beetle, sanitary state.

For citation: Agafonova T. N., Iteshina N. M., Zalesov S. V. State of spruce stands in the Udmurt Republic under the changing climate. *The Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy*. 2025; 2 (82): 36-42. (In Russ.). https://doi.org/10.48012/1817-5457_2025_2_36-42.

Authors:

T. N. Agafonova¹, Master's student;

N. M. Iteshina², Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor,
<https://orcid.org/0000-0002-2003-2005>;

S. V. Zalesov³✉, Doctor of Agricultural Sciences, Professor,
<https://orcid.org/0000-0003-3779-410x>

^{1,3}Ural State Forestry Engineering University, 37 Sibirskiy trakt St., Yekaterinburg, Russia, 620100

²Udmurt State Agricultural University, 16 Kirova St., Izhevsk, Russia, 426033

³zalesovsv@m.usfeu.ru

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare that they have no conflict of interests.

Статья поступила в редакцию 25.11.2024; одобрена после рецензирования 27.03.2025;
принята к публикации 29.05.2025.

The article was submitted 25.11.2024; approved after reviewing 27.03.2025; accepted for publication 29.05.2025.

Научная статья

УДК 630*181.3

DOI 10.48012/1817-5457_2025_2_42-50

ВЛИЯНИЕ МИКОРИЗНЫХ АССОЦИАЦИЙ ГРИБОВ РОДА *SUILLUS* НА АДАПТИВНЫЕ СВОЙСТВА *PINUS SYLVESTRIS* L. И СУПРЕССИВНЫЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ ОТНОСИТЕЛЬНО *HETEROBASIDION ANNOSUM* (FR.) BREF.

Арнаут Юлия Ивановна

Воронежский государственный лесотехнический университет, Воронеж, Россия
iuarnaut@yandex.ru

Аннотация. Исследования влияния микоризы на супрессивность почвы к корневой губке особенно актуальны в контексте устойчивого ведения лесного хозяйства и защиты лесов. Цель исследования – оценка влияния микоризных ассоциаций грибов рода *Suillus* с деревьями *Pinus sylvestris* L. на супрессивные свойства почвы по отношению к *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. на пробном участке на территории Питомнического комплекса Воронежской области в 2024 г. Объектами исследования выбраны 3-летние сеянцы сосны, мицелии грибов *Suillus bovinus* и *Suillus luteus* в субстрате и образцы почвы микоризосферы исследуемых сеянцев сосны, отобранные с глубины 0–20 см. Определение супрессивности почвы производилось методом Е. Ю. Троповой и А. А. Кириченко. Установлено, что внесение микоризных препаратов *Suillus bovinus* + *Suillus luteus* и *Suillus luteus* способствует повышению супрессивности почвы соответственно на 18,4 и 12,5 %. Интродукция *Suillus bovinus* является неэффективной. Положительное влияние внесения рассмотренных микоризных препаратов на питание сеянцев сосны обусловлено ростом численности микробного сообщества. В образцах с микоризой *Suillus bovinus*, *Suillus bovinus* + *Suillus luteus* и *Suillus luteus* отмечен рост олигоаэрофилов по сравнению с контрольным образцом на 42, 33 и 49 %, диазотрофов – на 85, 81 и 87 %, иммобилизаторов азота – на 34, 42 и 37 %, аммонификаторов – на 23, 34 и 23 %, актиномицетов – на 80, 80 и 66 % соответственно. Внесение микоризных препаратов *Suillus bovinus* + *Suillus luteus* и *Suillus luteus* оказало положительное влияние и на морфометрические показатели сеянцев сосны: увеличило высоту сеянцев на 13 и 18 %, длину хвои – на 27 и 20 % соответственно.

Ключевые слова: микориза, супрессивность почвы, корневая губка, сосна обыкновенная, козляк, масленок обыкновенный.

Для цитирования: Арнаут Ю. И. Влияние микоризных ассоциаций грибов рода *Suillus* на адаптивные свойства *Pinus sylvestris* L. и супрессивные свойства почвы относительно *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 2 (82). С. 42-50. https://doi.org/10.48012/1817-5457_2025_2_42-50.

Актуальность. Исследования влияния микоризы на супрессивность почвы к корневой губке приобретают особую значимость в контексте устойчивого ведения лесного хозяйства и защиты лесов, так как могут существенно сократить необходимость использования химических пестицидов, помочь лучше понимать механизмы функционирования естественных экосистем и разрабатывать стратегии для их сохранения и восстановления. Повышение супрессивности почвы к корневой губке способствует снижению экономических убытков, связанных с повреждением и гибелью деревьев в лесных насаждениях.

Подробное изучение влияния микоризы на супрессивность почвы может способствовать созданию технологий для интродукции микоризных грибов в агроэкосистемы и лесные посадки, помочь в исследованиях синергического эффекта различных типов микоризы и их взаимодействия с другими микроорганизмами в почве и в целом открыть широкие перспективы для развития устойчивого лесного хозяйства, а также для сохранения биоразнообразия и улучшения экологических показателей экосистем.

Супрессивные свойства почв определяются их способностью подавлять развитие и распространение патогена и включают в себя множество факторов, в том числе [13]: биологическую активность почв [3, 16, 19]; состав органического вещества [12]; pH почвы; наличие эктомикоризы и арбускулярной микоризы [10].

Симбиотические взаимоотношения между растениями, грибами и микроорганизмами, такие как микориза и ризобияльные взаимодействия, особенно важны, так как способствуют улучшению усвоения питательных веществ и повышению устойчивости растений к стрессам. Микроорганизмы играют особую роль в формировании и поддержании агрохимических показателей почвы, оказывая значительное влияние на ее плодородие и здоровье. Их деятельность напрямую связана с процессами минерализации органического вещества, фиксацией азота, трансформацией питательных элементов и подавлением фитопатогенов. Микробное сообщество также влияет на ее способность подавлять развитие фитопатогенов.

В поисках оптимальных методов борьбы с корневой гнилью, в том числе за счет интенсификации роста численности почвенных микроорганизмов, целесообразно подробнее изучить микоризные ассоциации с видами грибов-эктомикоризообразователей: *Suillus*, *Pisolithus*, *Lactarius*, а также образующими арбускулярную микоризу родов *Glomus* и *Gigaspora*. К наиболее популярным микоризным препаратам на российском рынке относятся препараты на основе штаммов *Glomus*, вместе с тем, в связи с их высокой стоимостью, сложной технологией культивирования и значительно большей нормой внесения препарата целесообразно рассматривать для повышения адаптивных свойств сеянцев сосны обыкновенной более специализированные для нее виды микоризообразующих грибов.

В рамках настоящего исследования опыт проводился на 3-летних сеянцах сосны обыкновенной в связи с тем, что *Pinus sylvestris* L. является одной из основных лесобразующих пород на территории Воронежской области, эффективна в образовании микориз с большим количеством видов грибов в насаждениях [15]. Для молодых сосновых лесов наиболее распространенными видами являются несколько видов маслят, среди которых: козляк (*Suillus bovinus*), масленок обыкновенный или желтый (*Suillus luteus*) и масленок желто-бурый (*Suillus variegatus*), предпочитающие кислые песчаные и супесчаные почвы [9].

Цель исследования – изучение влияния микоризных ассоциаций, образованных грибами рода *Suillus*, с деревьями *Pinus sylvestris* L. на подавляющие свойства почвы по отношению к *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.

Материал и методы. В ходе настоящего исследования, которое проводилось с апреля по октябрь 2024 г. на территории Питомнического комплекса Воронежской области, сеянцы *Pinus sylvestris* L. обрабатывались микоризными препаратами в апреле и августе, а замеры и лабораторные исследования проводились в конце сентября. Объектами настоящего исследования являлись:

- мицелии видов *Suillus bovinus* и *Suillus luteus* на субстрате;
- 3-летние сеянцы сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.): возраст сеянцев обусловлен

необходимостью выкапывать корневую систему исследуемых образцов без обрывов, а также более интенсивной скоростью микоризообразования на раннем этапе жизненного цикла сосны;

- патогенный гриб *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref – возбудитель корневой гнили;

- образцы почвы микоризосферы исследуемых семян сосны, отобранные с глубины 0–20 см на пробном участке на территории Питомнического комплекса Воронежской области.

Агрохимические показатели были измерены по стандартным методикам: pH солевой – по ГОСТ 26483-85 [4], общий азот – согласно п. 7.1 ГОСТ Р 58596-2019 [6], подвижные соединения фосфора (P_2O_5) и подвижные соединения калия (K_2O) – согласно ГОСТ 26204-91 по методу Чирикова в модификации ЦИ-НАО [5]. Микробиологические исследования проводились по методам, приведенным в монографии Д. Г. Звягинцева [8]. Количественный учет почвенных микроорганизмов, относящихся к разным таксономическим, физиологическим и эколого-трофическим группам, проводили методом высева суспензий из ризосферы различной степени разведения на электролитные питательные среды. Численность бактерий, использующих минеральные формы азота, учитывали на крахмало-аммиачном агаре (КАА), аммонификаторов – на мясопептонном агаре (МПА), олигоаэрофилов – на среде Эшби, микроскопические грибы – на среде Чапека [18]. Определение супрессивности почвы производилось методом Е. Ю. Троповой и А. А. Кириченко [17]. Статистическую обработку полученных экспериментальных данных осуществляли с помощью определения средней арифметической (M) и ошибки репрезентативности (m) с использованием программного обеспечения Microsoft Excel 2010. Результаты считали статистически значимыми при $p \leq 0,05$.

Результаты и обсуждение. Результаты проведенного исследования наглядно демонстрируют положительное влияние микоризы на увеличение численности полезных микроорганизмов, что в свою очередь улучшает процессы разложения органических веществ, фиксации азота и мобилизации питательных элементов. Такое взаимодействие создает благоприятные условия для роста и развития растений, способствуя оздоровлению и восстановлению почвенных экосистем.

Внесение микоризных препаратов в ризосферу сосны способствовало увеличению численности следующих микроорганизмов в почве.

Олигоаэрофилы представляют собой группу микроорганизмов, участвующих в фиксации азота и завершающих стадии минерализации органических соединений в почве. Их численность существенно возрастает в период интенсивного распада растительных остатков на конечных этапах разложения [7]. Рост численности этой группы микроорганизмов в образце с *Suillus bovinus* на 42 % по сравнению с контрольным образцом, с *Suillus bovinus* + *Suillus luteus* – на 33 %, *Suillus luteus* – на 49 % свидетельствует об истощении легкодоступных источников питательных веществ и стабилизации почвенного субстрата в связи с завершением процессов разложения органических веществ в почве и переходом к финальным стадиям минерализации (табл. 1).

Диазотрофы способны фиксировать молекулярный азот, синтезировать витамины и гормоны роста [11]. При внесении микоризных препаратов отмечен рост численности диазотрофов с *Suillus bovinus* на 85 % по сравнению с контрольным образцом, с *Suillus bovinus* + *Suillus luteus* – на 81 %, *Suillus luteus* – на 87 %, что объясняет их эффективность в стимуляции роста семян.

О интенсивности процессов минерализации можно судить по численности иммобилизаторов азота, которые преобразуют минеральные формы азота в биологически закрепленные соединения, такие как аминокислоты и биологические макромолекулы. Увеличение численности этих микроорганизмов в образце с *Suillus bovinus* на 34 % по сравнению с контрольным образцом, с *Suillus bovinus* + *Suillus luteus* – на 42 %, и с *Suillus luteus* – на 37 % указывает на ускоренную аккумуляцию азота в микробной биомассе и метаболитах, образуемых почвенными микроорганизмами. (табл. 1). В результате данного процесса использование азота растениями становится затруднительным.

Аммонификаторы азота в свою очередь разлагают белковые вещества и сложные полипептиды до простых форм азота, доступных растениям и другим организмам. Данные микроорганизмы, продуцирующие комплекс протеолитических ферментов, известных как экзопроотеазы, повсеместно встречаются на корнях растений и в их ризосфере [1]. Рост численности аммонификаторов азота в образце с *Suillus bovinus* на 23 % по сравнению с контрольным образцом, с *Suillus bovinus* + *Suillus luteus* – на 34 %, *Suillus luteus* – на 23 % свидетельствует об увеличении количества до-

ступного азота для растений, что улучшает их питание и способствует понижению их восприимчивости к заболеваниям и другим стрессовым факторам.

сообщества почвы под влиянием внесения микоризных ассоциаций способствуют повышению доступности таких питательных веществ, как азот, фосфор и калий.

Таблица 1 – Влияние микоризных ассоциаций *Pinus sylvestris* L. с грибами видов *Suillus luteus* и *Suillus bovinus*, а также их сочетанием на состав микробного сообщества

Наименование опытной группы	Актиномицеты, млн КОЕ/г а. с. п.	Аммонификаторы азота, млн КОЕ/г а.с.п.	Иммобилизаторы азота, млн КОЕ/г а.с.п.	Олигоаэрофилы, млн КОЕ/г а. с. п.	Диазотрофы, млн КОЕ/г а. с. п.
Контроль (без микоризообразователей)	0,19±0,18	3,92±0,41	3,52±0,57	3,43±0,70	0,19±0,30
<i>Suillus bovinus</i>	0,97±0,18	5,10±0,41	5,28±0,57	5,89±0,70	1,32±0,30
<i>Suillus bovinus</i> + <i>Suillus luteus</i>	0,91±0,18	5,92±0,41	6,09±0,57	5,09±0,70	1,00±0,30
<i>Suillus luteus</i>	0,56±0,18	5,12±0,41	5,67±0,57	6,69±0,70	1,58±0,30

Почвенная микрофлора активно участвует в синтезе гумуса в почве. Одновременно с процессами синтеза гумуса, актиномицеты и бактерии интенсивно вовлекаются в его разложение. Эти микроорганизмы способны утилизировать разнообразные углеводы, включая целлюлозу, хитин, ксиланы, пектиновые вещества и кератин. Кроме того, они обладают способностью разрушать длинные цепи жирных кислот и углеводов. Актиномицеты доминируют на поздних этапах микробной сукцессии, когда создаются условия для использования труднодоступных субстратов.

Рост численности актиномицетов на 80 % по сравнению с контрольным образцом был отмечен в образцах с *Suillus bovinus* и с *Suillus bovinus* + *Suillus luteus*, а с *Suillus luteus* – на 66 %. Эта группа микроорганизмов преобразует сложные органические молекулы, такие как целлюлоза, лигнин и хитин, вырабатывая определенные ферменты, что также положительно влияет на морфометрические показатели семян. Кроме того, многие штаммы актиномицетов производят антибиотические вещества, то есть увеличение их численности способствует формированию защитного барьера против фитопатогенных микроорганизмов и, следовательно, повышает устойчивость семян к различным заболеваниям.

Кроме того, установлено положительное влияние микоризы на химический состав почвы. Полученные данные подтверждают, что микоризные грибы повышают доступность микроэлементов для растений, что может быть использовано для разработки экологически безопасных методов повышения плодородия и устойчивости почвенных экосистем. Положительные изменения в составе микробного

Азот является неотъемлемой частью аминокислот, составляющих белки, а также входит в структуру нуклеотидов ДНК и РНК, участвует в формировании хлорофилла, активизирует работу ферментов, включается в состав фосфолипидов, гормонов и витаминов [14].

Наибольший рост численности аммонификаторов азота в образце с *Suillus bovinus* + *Suillus luteus* коррелирует с результатами химического анализа почв, массовая доля азота аммония в указанном образце возросла в 2 раза.

Фосфор также необходим для образования нуклеиновых кислот, нуклеопротеинов, фосфопротеинов, сахарофосфатов и фитина, способствует оптимизации углеводного обмена, повышению устойчивости к низким температурам. Интенсификация поглощения соединений фосфора растениями на 10 % при внесении *Suillus bovinus* + *Suillus luteus* коррелирует с интенсификацией роста семян указанной группы.

Калий активно участвует в процессах фотосинтеза, ускоряет транспорт углеводов из листьев к другим частям растения, поддерживает синтез крахмала, целлюлозы и пектинов [2]. Согласно результатам химического анализа образцов почв, массовая доля подвижных соединений калия в образце с *Suillus bovinus* превысила контрольную на 18 %, что должно положительно влиять на рост и развитие семян, регуляции водного баланса, повысить устойчивость растений к стрессовым условиям.

Отсутствие заметного влияния микоризы на pH почвы может быть связано с несколькими факторами. Микоризные грибы сами по себе не обладают способностью напрямую

изменять pH почвы, так как они не выделяют кислоты или основания в значительных количествах. В основном pH почвы определяется ее минералогическим составом, наличием органических веществ и климатическими условиями. Микориза может косвенно влиять на pH через изменение микробиологического состава почвы и процессы разложения органических веществ, но эти эффекты обычно незначительны и не приводят к заметным изменениям pH (табл. 2).

фических групп микроорганизмов в агроценозе сосны обыкновенной создает условия для подавления или сдерживания развития возбудителей почвенных заболеваний, что в конечном счете способствует повышению супрессивности почвы (табл. 3).

Кроме того, отмечена эффективность микориз *Suillus bovinus* + *Suillus luteus* и *Suillus luteus* по положительному влиянию на морфометрические показатели сеянцев *Pinus sylvestris* L.

Таблица 2 – Влияние микоризных ассоциаций *Pinus sylvestris* L. с грибами видов *Suillus luteus* и *Suillus bovinus*, а также их комбинацией на основные агрохимические показатели почвы

Наименование опытной группы	pH почвы	Массовая доля соединения фосфора, млн ⁻¹ (мг/кг)	Массовая доля подвижных соединений калия, млн ⁻¹ (мг/кг)	Массовая доля азота аммония, млн ⁻¹ (мг/кг)	Массовая доля азота нитрата, млн ⁻¹ (мг/кг)
Контроль	4,81±0,08	102±10	120±10	4,0±0,5	0,7±0,2
<i>Suillus bovinus</i>	4,76±0,08	103±10	147±12	4,3±0,5	0,7±0,2
<i>Suillus bovinus</i> + <i>Suillus luteus</i>	4,77±0,08	95±9	106±9	8,0±1,0	1,0±0,3
<i>Suillus luteus</i>	4,87±0,08	99±10	119±10	3,5±0,4	0,8±0,4

Обогащение микоризосферы микроорганизмами-антагонистами препятствует инфицированию растений различными патогенами. Установлено, что изменения в структуре микробного сообщества и питательном режиме привели к повышению супрессивности по отношению к *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref на 18,4 % в образце с комбинацией *Suillus bovinus* + *Suillus luteus* и на 12,5 % в образце с *Suillus luteus*. Таким образом, согласно шкале оценки здоровья почвы с супрессивностью > 49 % можно отнести к здоровым [20]. Результаты исследований указывают на корреляцию между повышением супрессивности почвы на опытных участках и ростом численности олигоаэрофилов, актиномицетов, а также диазотрофов.

Следовательно, можно сделать вывод, что комплексное взаимодействие данных тро-

Колонизируя область ризосферы сеянцев *Pinus sylvestris* L. (рис. 1), микоризы *Suillus bovinus* + *Suillus luteus* и *Suillus luteus* положительно влияют на морфометрические показатели сеянцев.

Так, высота сеянцев, обработанных указанными микоризами, превышала контрольные значения на 13 % и 18 % соответственно. Длина хвои увеличилась на 27 % и 20 % по сравнению с контрольными образцами. Данный эффект обусловлен повышением доступности минеральных элементов для сосны, что усиливает процессы фотосинтеза и роста. Продолжительность периода наблюдений и небольшой возраст сеянцев (три года) ограничивают возможность выявления значительного влияния микоризы на усиление ветвления, развитие более густой кроны и увеличение диаметра стволиков.

Таблица 3 – Супрессивность и средние морфометрические показатели *Pinus sylvestris* L.

Наименование опытной группы	Супрессивность почвы, %	Средняя высота сеянцев, см	Длина хвои, см	Относительное содержание воды в хвое, %
Контроль	81,6±4,59	39,66±1,85	6,41±0,73	61±0,63
<i>Suillus bovinus</i>	81,8±4,59	40,00±1,85	5,61±0,73	58±0,63
<i>Suillus bovinus</i> + <i>Suillus luteus</i>	100±4,59	46,00±1,85	8,75±0,73	59±0,63
<i>Suillus luteus</i>	94,1±4,59	48,14±1,85	8,07±0,73	59±0,63

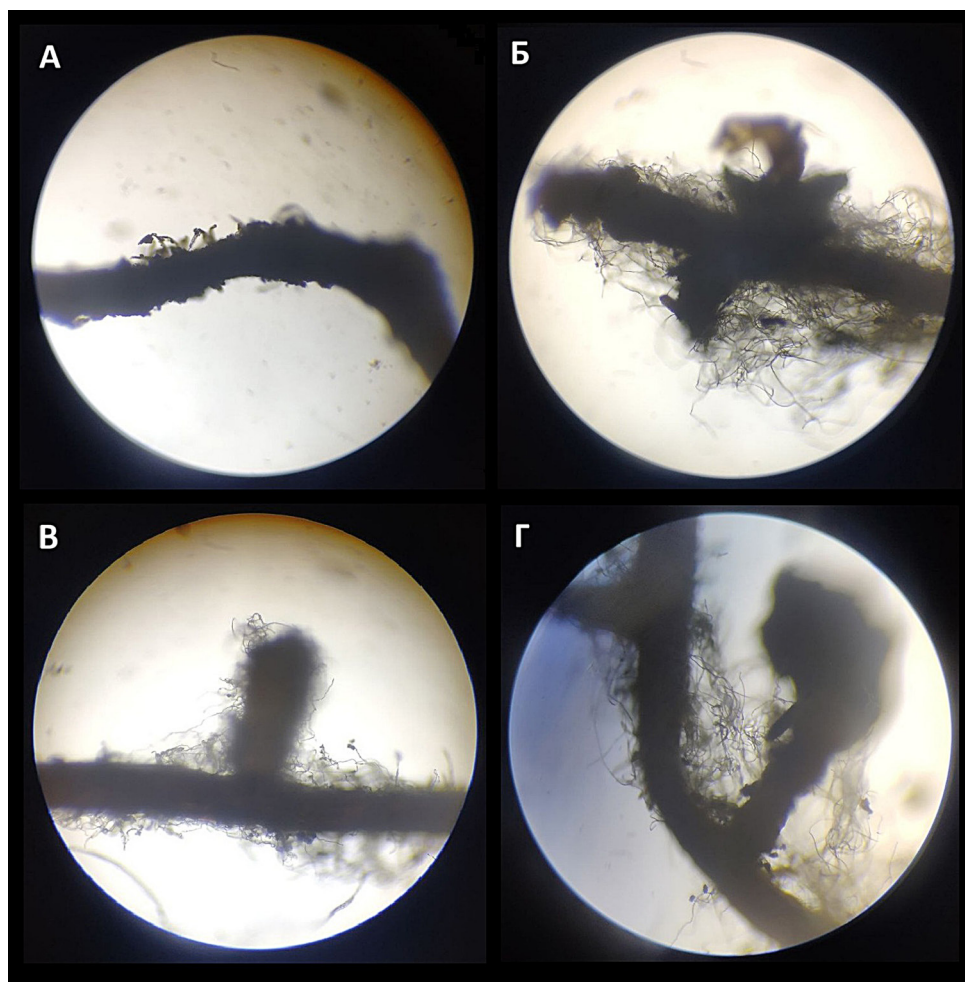


Рисунок 1 – Корневая система сеянцев *Pinus sylvestris* L. с развитой микорризой:
А – контроль, Б – *Suillus bovinus*, В – *Suillus bovinus* + *Suillus luteus* и Г – *Suillus luteus*

Эти морфологические изменения требуют большего времени для проявления, поскольку они связаны с долгосрочными процессами роста и развития растений. В условиях краткосрочных наблюдений сложно зафиксировать существенные различия в этих показателях, особенно у молодых сеянцев, чей рост и структура еще находятся на начальных стадиях формирования.

Важно отметить, что незначительное снижение относительного содержания воды в хвое, вероятно, связано с увеличением общей площади хвои, что приводит к усилению транспирационных процессов. Другими лимитирующими факторами могут являться и климатические условия в период наблюдений: осадки, температура и влажность воздуха, а также стадия развития сеянцев, при которой они уже обладают достаточно развитой корневой системой, способной эффективно усваивать влагу из почвы.

Заключение:

1. Внесение микорризных препаратов *Suillus bovinus* + *Suillus luteus* и *Suillus luteus* повы-

сило супрессивность почвы соответственно на 18,4 % и 12,5 %. То есть ее можно отнести к здоровой. Интродукция *Suillus bovinus* является неэффективной.

2. Рост численности микроорганизмов при внесении микорризных препаратов оказал влияние на интенсификацию процессов преобразования питательных элементов в почве. Так, в образце с *Suillus bovinus* + *Suillus luteus* массовая доля азота аммония возросла в 2 раза, а интенсификация поглощения соединений фосфора составила 10 %. Массовая доля подвижных соединений калия в образце с *Suillus bovinus* превысила контрольную на 18 %.

3. Внесение микорризных препаратов *Suillus bovinus* + *Suillus luteus* и *Suillus luteus* оказало положительное влияние на морфометрические показатели: увеличило высоту сеянцев на 13 % и 18 % и длину хвои на 27 % и 20 % соответственно.

Эффективность рассмотренных микорризных препаратов обусловлена изменением численности микробного сообщества, улучшени-

ем питания растений, конкуренцией микоризных грибов с патогенами за пространство и питательные вещества, а также физическим препятствием, затрудняющим проникновение корневых инфекций.

Список источников

1. Абащева М. А., Акатова Е. В. Микроорганизмы цикла азота в торфе болота Кочаки-2 Тульской области // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. 2023. № 1. С. 46-57.
2. Агрохимия: учеб. / под ред. Б. А. Ягодина, Ю. П. Жукова, В. И. Кобзаренко. Москва: Колос, 2002. 584 с.
3. Глинушкин А. П., Соколов М. С., Торопова Е. Ю. Фитосанитарные и гигиенические требования к здоровой почве: моногр. Москва: Агрорус, 2016. 288 с.
4. ГОСТ 26483-85. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО. Москва: Изд-во стандартов, 1985. 6 с.
5. ГОСТ 26204-91. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Чирикова в модификации ЦИНАО. Москва: Изд-во стандартов, 1992. 8 с.
6. ГОСТ Р 58596-2019. Почвы. Методы определения общего азота. Москва: Стандартинформ, 2019. 11 с.
7. Емцев В. Т., Мишустин Е. Н. Микробиология: учеб. Москва: Юрайт, 2025. 428 с.
8. Звягинцев Д. Г. Взаимодействие микроорганизмов с твердыми поверхностями. Москва: МГУ, 1973. 176 с.
9. Ивойлов А. В. Свинаячьи грибы, или маслята [Электронный ресурс] // Наука и жизнь. 2024. № 11. URL: <https://www.nkj.ru/archive/articles/41718/>, свободный (дата обращения: 27.02.2025).
10. Камельчук Я. С. Микоризные грибы: современные представления значимости их в минеральном питании растений и как натуральных биоудобрений // Вестник Полесского государственного университета. Серия природоведческих наук. 2020. № 1. С. 24-40.
11. Карашаева А. С. Ассоциативные диазотрофы и их взаимодействие с растениями // Молодой ученый. 2016. № 6 (110). С. 350-353.
12. Органическое удобрение - эффективный фактор оздоровления почвы и индуктор ее супрессивности / М. С. Соколов [и др.] // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32, № 1. С. 4-12.
13. Отчет по теме 0598-2015-0010 на 2016 год. Методическое обоснование количественных показателей оценки здоровья почв агроценозов. Большие Вяземы: Всероссийский НИИ фитопатологии ФАНО РФ, 2016. 19 с.
14. Петюренко М. Ю. Влияние интродукции в почву бактерий рода *Pseudomonas*, способных фиксировать азот, на продуктивность сахарной

свеклы: дис. ... канд. с.х наук: 06.01.01: Рамонь, 2017. 144 с.

15. Разгулин С. М. Микоризные комплексы и их роль в экологии бореальных лесов (обзор) // Известия РАН. Серия биологическая. 2022. № 6. С. 668-677.
16. Соколов М. С., Глинушкин А. П., Спиридонов Ю. Я. Концептуальное обоснование и актуальность исследований по программе «Радикальное улучшение качества и оздоровления почв России» // Современные проблемы гербологии и оздоровления почв: материалы Междунар. науч.-практ. конф. Российской академии наук. 2016. С. 304-315.
17. Способ определения супрессивности почвы: пат. 2568913 Российская Федерация. № 2014126924/15 / Торопова Е. Ю., Кириченко А. А.; заявл. 07.01.2014; опубликовано 11.20.2015; 5 с.
18. Теппер Е. З., Шильникова В. К., Переверзева Г. И. Практикум по микробиологии: учеб. пособие / под ред. В. К. Шильниковой. Москва: Дрофа, 2004. 256 с.
19. Торопова Е. Ю., Соколов М. С., Глинушкин А. П. Индукция супрессивности почвы – важнейший фактор лимитирования вредоносности корневых инфекций // Агрохимия. 2016. № 8. С. 44-55.
20. Фактологические критерии оценки здоровья сибирских почв / Е. Ю. Торопова [и др.] // Агрохимия. 2020. № 5. С. 3-11.

References

1. Abashheva M. A., Akatova E. V. Mikroorganizmy` cikla azota v torfe bolota Kochaki-2 Tul'skoj oblasti // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvenny'e nauki. 2023. № 1. S. 46-57.
2. Agroximiya: ucheb. / pod red. B. A. Yagodina, Yu. P. Zhukova, V. I. Kobzarenko. Moskva: Kolos, 2002. 584 s.
3. Glinushkin A. P. Sokolov M. S., Toropova E. Yu. Fitosanitarnye i gigienicheskie trebovaniya k zdorovoj pochve: monogr. Moskva: Agrorus, 2016. 288 s.
4. GOST 26483-85. Pochvy`. Prigotovlenie solevoy vytyazhki i opredelenie ee pH po metodu CINAО. Moskva: Izd-vo standartov, 1985. 6 s.
5. GOST 26204-91. Pochvy`. Opredelenie podvizhny`x soedinenij fosfora i kaliya po metodu Chirikova v modifikacii CINAО. Moskva: Izd-vo standartov, 1992. 8 s.
6. GOST R 58596-2019. Pochvy`. Metody` opredeleniya obshhego azota. Moskva: Standartinform, 2019. 11 s.
7. Emcev V. T., Mishustin E. N. Mikrobiologiya: ucheb. Moskva: Yurajt, 2025. 428 s.
8. Zvyagincev D. G. Vzaimodejstvie mikroorganizmov s tverdy`mi poverxnostyami. Moskva: MGU, 1973. 176 s.
9. Ivojlov A. V. Svinyach`i griby`, ili maslyata [E`lektronny`j resurs] // Nauka i zhizn'. 2024. № 11. URL: <https://www.nkj.ru/archive/articles/41718/>, svobodny`j (data obrashheniya: 27.02.2025).
10. Kamel`chuk Ya. S. Mikorizny`egriby`: sovremennyye predstavleniya znachimosti ix v mineral`nom pitanii rastenij i kak natural`ny`x bioudobrenij // Vestnik

Polesskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya prirodoovedcheskix nauk. 2020. № 1. С. 24-40.

11. Karashaeva A. S. Associativny'e diazotrofy` i ix vzaimodejstvie s rasteniyami // Molodoj ucheny`j. 2016. № 6 (110). S. 350-353.

12. Organicheskoe udobrenie - e`ffektivny`j faktor ozdorovleniya pochvy` i induktor ee supressivnosti / M. S. Sokolov [i dr.] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2018. T. 32, № 1. С. 4-12.

13. Otchet po teme 0598-2015-0010 na 2016 god. Metodicheskoe obosnovanie kolichestvenny`x pokazatelej ocenki zdorov`ya pochv agrocenozov. Bol`shie Vyazemy`: Vserossijskij NII fitopatologii FANO RF, 2016. 19 s.

14. Petyurenko M. Yu. Vliyanie introdukcii v pochvu bakterij roda Pseudomonas, sposobny`x fiksirovat` azot, na produktivnost` saxarnoj svekly`: dis. ... kand. s.x nauk: 06.01.01: Ramon`, 2017. 144 s.

15. Razgulin S. M. Mikorizny'e komplekсы` i ix rol` v e`kologii boreal'ny`x lesov (obzor) // Izvestiya RAN. Seriya biologicheskaya. 2022. № 6. S. 668-677.

16. Sokolov M. S., Glinushkin A. P., Spiridonov Yu. Ya. Konceptual'noe obosnovanie i aktual'nost` issledovanij po programme «Radikal'noe uluchshenie kachestva i ozdorovleniya pochv Rossii» // Sovremennye problemy` gerbologii i ozdorovleniya pochv: materialy` Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. RAN. 2016. S. 304-315.

17. Sposob opredeleniya supressivnosti pochvy`: pat. 2568913 Rossijskaya Federaciya. № 2014126924/15 / Toropova E. Yu., Kirichenko A. A.; zayavl. 07.01.2014; opublikovano 11.20.2015; 5 s.

18. Tepper E. Z., Shil`nikova V. K., Pereverzeva G. I. Praktikum po mikrobiologii: ucheb. posobie / pod red. V. K. Shil`nikovoj. Moskva: Drofa, 2004. 256 s.

19. Toropova E. Yu., Sokolov M. S., Glinushkin A. P. Indukciya supressivnosti pochvy` – vazhnejshij faktor limitirovaniya vredonosnosti korney`x infekcij // Agroximiya. 2016. № 8. С. 44-55.

20. Faktologicheskie kriterii ocenki zdorov`ya sibirskix pochv / E. Yu. Toropova [i dr.] // Agroximiya. 2020. № 5. S. 3-11.

Сведения об авторе:

Ю. И. Арнаут, аспирант, <https://orcid.org/0000-0002-2303-4524>

Воронежский государственный лесотехнический университет, ул. Тимирязева, 8, Воронеж, Россия, 394087

iuarnaut@yandex.ru

Original article

IMPACT OF MYCORRHIZAL SYMBIOSIS WITH *SUILLUS* SPECIES ON THE ADAPTIVE PROPERTIES OF *PINUS SYLVESTRIS* L. AND ON THE SUPPRESSIVE PROPERTIES OF SOIL AGAINST *HETEROBASIDION ANNOSUM* (FR.) BREF.

Yulia I. Arnaut

Morozov VSUFT, Voronezh, Russia

iuarnaut@yandex.ru

Abstract. Studies of the influence of mycorrhiza on the suppressive properties of soil against root fungus are especially relevant in the context of sustainable forestry and forest protection. The aim of the study was to assess the influence of mycorrhizal associations of fungi of the genus *Suillus* with trees *Pinus sylvestris* L. on the suppressive properties of soil against *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. in a test plot in the Seedling Nursery Complex of the Voronezh Region in 2024. The objects of the study were 3-year-old pine seedlings, mycelia of *Suillus bovinus* and *Suillus luteus* fungi in the substrate and soil samples of the mycorrhizosphere of the studied pine seedlings, taken from a depth of 0-20 cm. Soil suppressiveness was determined by using the method of Tropova E. Yu. and Kirichenko A. A. Based on the data obtained, it has been established that the introduction of mycorrhizal preparations *Suillus bovinus* + *Suillus luteus* and *Suillus luteus* contributes to an increase in soil suppressivity by 18.4 % and 12.5 %, respectively. The introduction of *Suillus bovinus* is ineffective. The positive effect of the introduction of the considered mycorrhizal preparations on pine seedlings nutrition is due to the increase in the number of microbial communities. The samples with mycorrhiza *Suillus bovinus*, *Suillus bovinus* + *Suillus luteus* and *Suillus luteus* had an increase in oligoazophiles compared to the control sample by 42 %, 33 % and 49 %, respectively, diazotrophs - by 85 %, 81 % and 87 %, nitrogen immobilizers - by 34 %, 42 % and 37 %, ammonifiers - by 23 %, 34 % and 23 %, actinomycetes by 80 %, 80 % and 66 %. The introduction of mycorrhizal preparations *Suillus bovinus* + *Suillus luteus* and *Suillus luteus* had a positive effect on the morphometric parameters of pine seedlings: it increased the height of seedlings by 13 % and 18 %, respectively, and the length of needles by 27 % and 20 %, respectively.

Key words: mycorrhiza, soil suppressiveness, root fungus, Scots pine, *Suillus bovinus*, *Suillus luteus*

For citation: Arnaut Yu. I. Impact of mycorrhizal symbiosis with *Suillus* species on the adaptive properties of *Pinus sylvestris* L. and on the suppressive properties of soil against *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. The Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy. 2025; 2 (82): 42-50. (In Russ.). https://doi.org/10.48012/1817-5457_2025_2_42-50.

Author:

Yu. I. Arnaut, Postgraduate student, <https://orcid.org/0000-0002-2303-4524>

Morozov VSUFT, 8 Timiryazeva St., Voronezh, Russia, 394087

iuarnaut@yandex.ru

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the author declares that there is no conflict of interests.

Статья поступила в редакцию 11.03.2025; одобрена после рецензирования 17.04.2025; принята к публикации 29.05.2025.

The article was submitted 11.03.2025; approved after reviewing 17.04.2025; accepted for publication 29.05.2025.

Научная статья

УДК 630*524.3(470.54-25)

DOI 10.48012/1817-5457_2025_2_50-56

ФРАКЦИОННАЯ СТРУКТУРА ФИТОМАССЫ ДЕРЕВЬЕВ В НАСАЖДЕНИЯХ ПАРКА ИМ. ВЛАДИСЛАВА АГАФОНОВА Г. ЕКАТЕРИНБУРГА

**Аткина Людмила Ивановна, Жукова Мария Васильевна, Морозов Андрей Михайлович[✉],
Суслов Александр Владимирович, Суслова Наталья Геннадьевна**

ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», Екатеринбург, Россия
morozovam@m.usfeu.ru

Аннотация. Парки являются неотъемлемой частью системы зеленых насаждений г. Екатеринбурга, выполняя рекреационную функцию для жителей его районов. Часто парки создавались на месте естественных насаждений в процессе развития городской среды, при этом местные виды дополнялись декоративными интродуцентами. В парках города наиболее экологически активными являются сосновые насаждения, которые в год выделяют кислорода в среднем до 30 т/га, что гораздо выше, чем лиственные. В настоящей работе в качестве критерия экологической значимости рассматривается фитомасса. Цель работы – анализ структуры фитомассы хвойных и лиственных деревьев в парке им. В. Агафонова г. Екатеринбурга. При расчете использованы два подхода определения фитомассы деревьев. В первом применены установленные в таксации аллометрические зависимости. По второй методике определялась только фитомасса ствола на основе показателя объема и усредненных значений плотности древесины. В результате исследований сделан вывод, что в общей надземной фитомассе всего изученного насаждения сосна обыкновенная имеет наибольшее долевое участие (84 %), и масса ассимиляционного аппарата и фитомасса ствола значительно превышают значения остальных древесных видов, в том числе интродуцированных. Показатели массы ствола, определенные различными методами, примерно одинаковы. Соответственно ее можно устанавливать на основе показателя объема и усредненных значений плотности древесины, а массу кроны – по аллометрическим функциям, что значительно упрощает исследования. В условиях г. Екатеринбурга сосна обыкновенная будет являться одним из наиболее продуктивных древесных видов, который необходимо использовать в системе зеленых насаждений.

Ключевые слова: городские парки, система зеленых насаждений, методы определения фитомассы.

Для цитирования: Фракционная структура фитомассы деревьев в насаждениях парка им. Владислава Агафонова г. Екатеринбурга / Л. И. Аткина, М. В. Жукова, А. М. Морозов [и др.] // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 2 (82). С. 50-56. https://doi.org/10.48012/1817-5457_2025_2_50-56.

Актуальность. В настоящее время наиболее распространенный показатель озелененности города рассчитывается исходя из площадных показателей. При этом многие исследова-

тели дают себе отчет в том, что такой подход не достаточен для составления общей картины по обеспечению зелеными насаждениями жителей города. В последние годы определяется