

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ИЗМЕНЕНИЯ КОРНЕВОЙ СИСТЕМЫ ХВОЙНЫХ ПОРОД ПОД ДЕЙСТВИЕМ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ИЗ ВТОРИЧНЫХ РЕСУРСОВ

Живитченко Д.И. , аспирант ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Россия, Воронеж

Брындина Л.В., д.с.х.н., доцент, профессор кафедры безопасности жизнедеятельности и правовых отношений ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Россия, Воронеж

Корчагина А.Ю., к.т.н., старший преподаватель кафедры химии биотехнологии ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Россия, Воронеж

Аннотация. Актуальность исследования обусловлена необходимостью решения двух взаимосвязанных задач: утилизации промышленных отходов и повышения плодородия почв лесных питомников. Целью работы стало изучение влияния органоминерального удобрения на основе осадков сточных вод (ОСВ) и лузги подсолнечника на морфобиометрические параметры сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). В модельном эксперименте оценивалось влияние соотношения компонентов (1:1-4:1) и дозы внесения (10-50 %) в торфяной субстрат на развитие надземной и подземной частей растений. Установлено, что чистый ОСВ угнетает рост корневой системы (снижение массы на 42,3 %), тогда как избыток лузги ограничивает поступление азота и фосфора. Оптимальный синергетический эффект достигнут при соотношении ОСВ: лузга 1:1, где лигноцеллюлозная матрица лузги иммобилизует потенциально токсичные элементы ОСВ, одновременно улучшая водно-воздушный режим субстрата. При дозе внесения 20 % зафиксированы максимальные показатели: прирост длины корня составил

+40 %, биомассы корневой системы – +15 %, коэффициент корневой системы достиг оптимального значения 1,62. Повышение дозы до 40–50 % вызывало осмотический стресс и снижение ростовых параметров на 10–12 %. Полученные результаты подтверждают перспективность использования композиции ОСВ и лузги подсолнечника (1:1) в дозе 20 % для интенсификации выращивания посадочного материала хвойных пород, обеспечивая одновременно утилизацию отходов, детоксикацию субстрата и формирование физиологически устойчивых сеянцев с высоким потенциалом приживаемости при лесовосстановлении.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, органоминеральное удобрение, осадки сточных вод, лузга подсолнечника, морфометрические показатели, корневая система, лесные питомники.

PHYSIOLOGICAL MECHANISMS OF CHANGES IN THE ROOT SYSTEMS OF MILITARY SPECIES UNDER THE INFLUENCE OF ORGANOMINERAL COMPLEXES FROM SECONDARY RESOURCES

Zhivitchenko D.I., Postgraduate Student, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Bryndina L.V., Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Life Safety and Legal Relations, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Korchagina A.Yu., PhD, Senior Lecturer at the Department of Chemistry and Biotechnology, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Abstract. The relevance of the study is due to the need to solve two interrelated tasks: industrial waste disposal and increasing soil fertility in forest nurseries. The aim of the work was to study the effect of an organomineral fertilizer based on sewage sludge and sunflower husk on the morphobiometric parameters of seedlings of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). The effect of the component ratio (1:1-4) was evaluated in the model experiment.:1) and the application dose (10-50 %) to the peat substrate for the development of the aboveground and underground parts of plants. It has been established that pure OSV inhibits the growth of the root system (reducing the mass by 42.3 %), while an excess of husks limits the supply of nitrogen and phosphorus. The optimal synergistic effect was achieved at a ratio of OSV:husks

of 1:1, where the lignocellulose matrix of the husks immobilizes the potentially toxic elements of OSV, while simultaneously improving the water and air regime of the substrate. At a dose of 20 %, the maximum values were recorded: the root length increased by +40 %, the root system biomass increased by +15 %, and the root system coefficient reached an optimal value of 1.62. Increasing the dose to 40-50 % caused osmotic stress and a 10-12 % decrease in growth parameters. The obtained results confirm the prospects of using a composition of OSV and sunflower husks (1:1) at a dose of 20 % for intensifying the cultivation of coniferous planting material, while simultaneously ensuring the disposal of waste, detoxification of the substrate, and the formation of physiologically stable seedlings with a high potential for survival in reforestation.

Keywords: Scots pine, organic-mineral fertilizer, sewage sludge, sunflower husks, morphometric indicators, root system, and forest nurseries.

Введение. Почвенное плодородие лесных питомников оказывает существенное влияние на рост и развитие сеянцев хвойных пород. Разработка системы мер по интенсификации выращивания посадочного материала хвойных пород с применением органических удобрений является важным звеном в повышении плодородия почв лесных питомников [3]. Ряд учёных на протяжении последних десятилетий отмечает целесообразность применения органических удобрений на основе коры, торфа, опилок, полимерных структурообразователей почвы, лесного опада и др. [1]. Большой интерес представляет использование для этих целей осадков сточных вод (ОСВ) и лузги подсолнечника [2, 4, 5]. Объёмы этих отходов постоянно растут и создание на их основе органоминеральных комплексов позволило бы решить проблемы по утилизации промышленных отходов и повышении почвенного плодородия. В связи с этим целью исследования было изучить влияние органоминеральных удобрений из вторичных ресурсов на корневую систему сеянцев сосны обыкновенной.

Материалы и методы исследования. Выращивание растений проводили в контейнерах, заполненных торфом. В качестве исследуемых компонентов в торф вносили ОСВ и измельчённую лузгу подсолнечника в различных соотношениях. Физико-химический состав компонентов удобрения представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-химический состав компонентов удобрения

Показатель	Лузга подсолнечника	ОСВ	ОСВ+лузга (1:1)	ГОСТ 59748- 2021
Влажность, %	12	85	45-50	70
Органическое вещество, %	84	50,5	90,6	30
Азот общий, %	0,9	0,13	1,09	0,6
Фосфор общий, %	3,6	0,14	0,65	0,7
Калий, %	4,5	-	0,5	0,1

Перед внесением смесь ОСВ и лузги (фракция 0,1–0,3 см) высушивали в термостате BINDER RI 53 Solid.Line при температуре 65 ± 5 °C до влажности 45–50 %, затем вносили в торф. Полученный субстрат засевали семенами сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и оценивали морфологические параметры растений. Контрольную группу составляли растения, выращенные в торфе.

Результаты исследования и их обсуждение. Рациональное использование органических отходов в лесном хозяйстве требует не только их утилизации, но и создания композиций, способных нивелировать потенциальные риски отдельных компонентов. Осадок сточных вод (ОСВ) как источник легкоусвояемых форм азота, фосфора и микроэлементов обладает высоким удобрительным потенциалом, однако его применение ограничено содержанием тяжёлых металлов. Лузга подсолнечника, напротив, характеризуется высокой сорбционной ёмкостью и способна снизить биодоступность тяжёлых металлов ОСВ для растений. Комбинация этих компонентов в определённых соотношениях может создать буферную систему: лузга будет сорбировать токсичные элементы из ОСВ, одновременно улучшая водно-воздушный режим субстрата за счёт формирования агрегатной структуры, а ОСВ обеспечит питательную основу для роста растений.

Результаты эксперимента с варьированием соотношений компонентов в питательной смеси представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Влияние соотношения ОСВ: лузга на морфометрические показатели сосны обыкновенной (через 14 дней после посадки)

Показатели	Торф (контроль)	ОСВ	лузга	ОСВ:лузга						
				1:1	1:2	1:3	1:4	2:1	3:1	4:1
Масса стебля, г	0,31±0,01	0,28±0,01	0,36±0,01	0,45±0,01	0,40±0,01	0,40±0,01	0,37±0,01	0,34±0,01	0,29±0,01	0,25±0,01
Масса корня, г	0,26±0,01	0,15±0,01	0,26±0,01	0,54±0,01	0,40±0,01	0,35±0,01	0,35±0,01	0,36±0,01	0,24±0,01	0,20±0,01
Длина стебля, см	5,0±0,2	4,5±0,1	6,9±0,2	8,0±0,2	7,3±0,2	7,4±0,2	7,6±0,2	7,8±0,2	4,8±0,2	4,5±0,2

Длина корня, см	7,0± 0,2	5,4± 0,2	6,0± 0,2	13,0±0, 4	11,4±0, 3	10,0±0, 3	9,8± 0,3	11,6±0, 3	6,8± 0,3	6,0± 0,3
Коэффицие нт корневой системы	1,40	1,20	0,86	1,62	1,56	1,35	1,28	1,48	1,40	1,34

Эксперимент показал, что морфометрические показатели сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) существенно зависят от состава субстрата: соотношения ОСВ и лузги подсолнечника. При использовании чистого ОСВ наблюдалось значительное угнетение роста по сравнению с контрольным вариантом на торфе: масса стебля снизилась на 9,7 %, его длина – на 10 %, а наиболее выраженное негативное влияние проявилось на корневой системе— масса корня уменьшилась на 42,3 %, длина корня – на 22,8 %. Это указывает на резкое нарушение морфологического баланса с угнетением подземных органов. Выращивание на чистой лузге подсолнечника обеспечивало относительно активный рост надземной части (длина стебля превысила контрольное значение на 27,5 %), но сопровождалось ограничением развития корней. Что свидетельствует о дефиците доступных элементов минерального питания. Наиболее благоприятные условия сформировались при совместном использовании ОСВ и лузги в соотношении 1:1. В этом варианте зафиксированы максимальные значения большинства морфометрических показателей – масса стебля увеличилась на 31,1 %, масса корня – на 51,8 %, длина стебля возросла на 37,5 %, а длина корня – почти в 2 раза. Коэффициент корневой системы составил 1,62, что близко к оптимальному значению для сосны с закрытой корневой системой (1,5-2). При повышении доли лузги до соотношений 1:2–1:4 отмечалась тенденция к увеличению длины стебля при одновременном снижении массы и длины корневой системы. При преобладании ОСВ в смеси (соотношения 2:1–4:1) наблюдалось постепенное угнетение роста как надземных, так и подземных органов.

Таким образом, соотношение ОСВ и лузги подсолнечника 1:1 обеспечивает наиболее сбалансированный морфогенез сеянцев сосны обыкновенной, сочетая достаточное поступление питательных элементов с улучшением физических свойств субстрата и снижением токсического воздействия ОСВ.

Эффективность органоминеральных удобрений в питательных субстратах определяется не только их химическим составом, но и концентрацией внесения, поскольку доза непосредственно влияет на осмотический потенциал среды,

биодоступность макро- и микроэлементов, а также на физико-химические свойства субстрата. Для оценки дозозависимого воздействия удобрения из ОСВ и лузги подсолнечника был проведён модельный эксперимент по выращиванию семян *Pinus sylvestris* L.

Анализ морфобиометрических параметров выявил зависимость ростовых показателей от концентрации удобрения в субстрате (рисунок 1). Максимальные значения длины побега и корня, а также диаметра стебля зафиксированы при внесении удобрения в диапазоне 20-30 % относительно объёма субстрата. При этом прирост корневой биомассы составил +15 %, а увеличение длины корня – +40 % по сравнению с контролем.

При концентрациях 40-50 % наблюдалось достоверное снижение всех параметров: длина побега уменьшилась на 10–12 % относительно оптимума. Такая динамика свидетельствует о проявлении осмотического стресса и нарушении ионного гомеостаза при избыточном содержании растворимых солей в субстрате, что согласуется с данными о токсическом действии высоких доз органических удобрений [2].

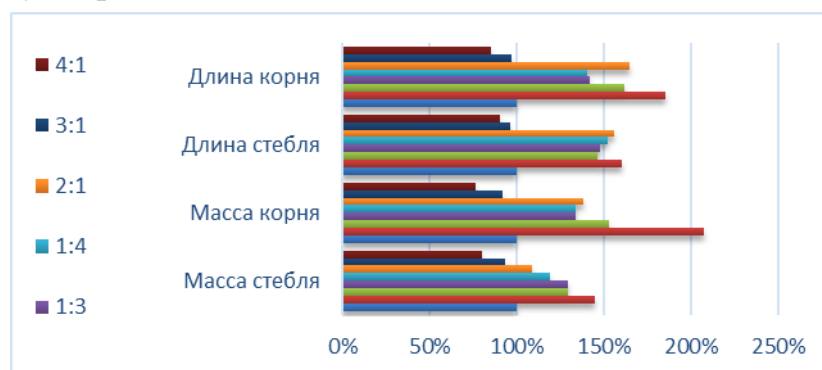


Рисунок 1– Влияние дозы удобрения из ОСВ и лузги (1:1) на морфометрические показатели сосны обыкновенной

Оптимум дозы 20 % обеспечил не только количественное увеличение биомассы, но и качественную трансформацию корневой системы: сформировалась более разветвлённая структура с увеличенным числом 2-3-го порядка корней (рисунок 2).

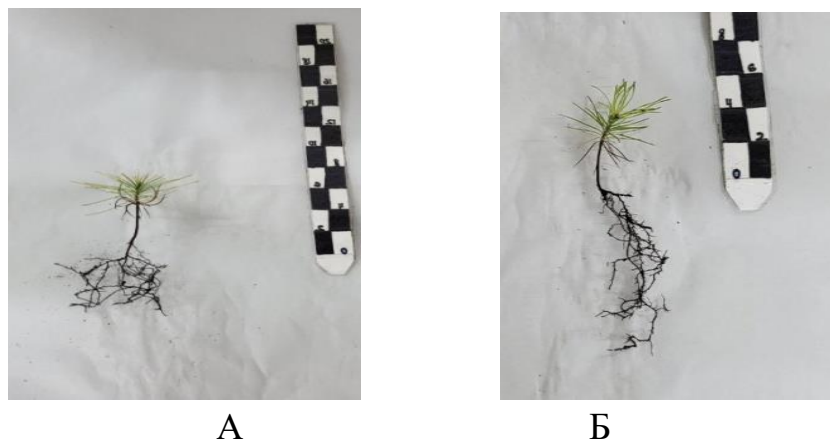


Рисунок 2 – Морфометрические показатели сосны обыкновенной:

А – контроль (почва); Б – почва с внесением 20 % удобрения

Таким образом, установлено, что эффективность удобрения на основе ОСВ и лузги подсолнечника имеет выраженный дозозависимый характер с чётким оптимумом в диапазоне 20-30 %. Концентрация 20 % при соотношении компонентов 1:1 обеспечивает максимальную стимуляцию как надземной, так и подземной фитомассы *Pinus sylvestris* L., формируя предпосылки для повышения приживаемости сеянцев при лесовосстановлении на деградированных почвах.

Заключение

Полученные результаты подтверждают перспективность использования данной композиции при разработке органоминеральных удобрений для выращивания лесных культур на примере сосны обыкновенной.

Установлено качественное преобразование корневой системы сеянцев сосны обыкновенной, которое проявляется в формировании более мощной и разветвленной структуры. При этом отмечается сбалансированное развитие как стержневого корня, так и боковых ответвлений. Органоминеральное удобрение оказывает целенаправленное положительное влияние на физиологию корневой системы, оптимизируя все ключевые процессы её развития и функционирования.

Список литературы

1. Брындина, Л. В. Биодобрения на основе осадков сточных вод как катализаторы трансформационных процессов почвы / Л. В. Брындина, А. Д. Платонов, О. В. Бакланова // Экология и промышленность России. – 2019. – Т. 23, № 1. – С. 42-45. – DOI 10.18412/1816-0395-2019-1-42-45.

2. Васильева, А.В. Современные способы переработки осадков сточных вод и перспективы их использования в России/А.В. Васильева, М.Д. Харламова//Журнал Sciences of Europe. – 2016. –№9-1(9). – С.27-34.
3. Малышев В.В. Повышение продуктивности лесных культур сосны обыкновенной в Воронежской области//Актуальные проблемы лесного комплекса. — 2003.—№7. – С. 41-43.
4. Манжина, С.А. Российские и зарубежные практики обращения с осадком сточных вод / С.А. Манжина//Экология и водное хозяйство. – 2023.—Т.5.-№1.—С.15-31.—DOI10.31774/2658-7890-2023-5-1-15-31.
5. Хусид, С. Подсолнечная лузга как источник получения функциональных кормовых добавок/С. Хусид, А. Гнеуш, Е. Нестеренко//Ветеринария сельскохозяйственных животных. – 2015.—№9.—С.57-64.

References

1. Bryndina, L. V. Biofertilizers based on sewage sludge as catalysts for soil transformation processes / L. V. Bryndina, A.D. Platonov, O. V. Baklanova // Ecology and industry of Russia. – 2019. – Vol. 23, No. 1. – pp. 42-45. – DOI 10.18412/1816-0395-2019-1-42-45.
2. Vasilyeva, A.V. Modern methods of wastewater sludge processing and prospects for their use in Russia/A.V. Vasilyeva, M.D. Kharlamova//Sciences of Europe Journal. – 2016. –№9-1(9). – Pp.27-34.
3. Malyshev V.V. Increasing the productivity of forest pine crops in the Voronezh region//Actual problems of the forest complex. - 2003.—No. 7. – pp. 41-43.
4. Manzhina, S.A. Russian and foreign practices of wastewater sludge management/S.A. Manzhina//Ecology and Water management. – 2023.—Vol.5.-No.1.—pp.15-31.—DOI10.31774/2658-7890-2023-5-1-15-31.
5. Khusid, S. Sunflower husk as a source of functional feed additives. Khusid, A. Gneush, E. Nesterenko//Veterinary medicine of farm animals. – 2015.—No. 9.—pp.57-64.