

СТАТЬЯ

УДК 630.181:630*17:674.032.475.5
DOI 10.17513/use.38414

**ИССЛЕДОВАНИЕ КОРНЕВОЙ СИСТЕМЫ
ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР ЕЛИ ЕВРОПЕЙСКОЙ
В СЛОЖНЫХ СУБОРЯХ НА ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ**

Прутской А.В.

*ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет»,
Брянск, e-mail: prutskoj@yandex.ru*

Выращивание ценных и высокопродуктивных насаждений обеспечивает лесовосстановление. Главной породой является сосна обыкновенная, но в настоящее время она заменяется другими породами, среди которых продолжает оставаться ель европейская. Цель исследования – изучить распределение корневой системы ели европейской в лесных культурах по горизонтам почвы и оценить соотношение надземной и подземной фитомассы в первое десятилетие развития лесных культур. Объектом исследований стали корневые системы семилетних лесных культур ели европейской, произрастающих в сложных субориях. В ходе исследований отмечен замедленный рост в высоту культур ели, особенно созданных посадкой в дно борозд. Для исследований корневой системы ели было отобрано 15 моделей (из характерной части насаждения, отражающей способ и шаг посадки), также были измерены высоты надземных частей ели и взвешена фитомасса надземной и подземной части ели. В ходе исследований установлено, что в первые десятилетия у ели европейской в лесных культурах на подзолистых почвах активно развивается корневая система, которая осваивает гумусовый горизонт почвы, наполняя его активными мелкими (всасывающими) корешками. В первое десятилетие роста еловых насаждений превышение веса надземной части модельных деревьев ели над весом подземной части у большинства моделей составляет 4 и более раз. Это свидетельствует об интенсивном росте надземной части модельных деревьев ели в первое десятилетие.

Ключевые слова: корневая система, ель европейская, лесные культуры, почва, исследование

**STUDY OF THE ROOT SYSTEM OF FOREST CROPS
OF EUROPEAN SPRUCE IN COMPLEX SUBORS ON PODZOLIC SOIL**

Prutskoy A.V.

*Bryansk State Engineering-Technological University, Bryansk,
e-mail: prutskoj@yandex.ru*

Reforestation ensures the cultivation of valuable and highly productive plantations. The main breed is ordinary pine, but at present it is being replaced by other breeds, among which European spruce continues to remain. The purpose of the study is to study the distribution of the European spruce root system in forest crops by soil horizons and to assess the ratio of aboveground and underground phytomass in the first decade of development of forest crops. The object of research was the root systems of seven-year-old forest crops of European spruce growing in complex suboras. In the course of research, there was a slowed growth in the height of spruce crops, especially those created by planting furrows in the bottom. For studies of the spruce root system, 15 models were selected (from the characteristic part of the plantation, reflecting the method and step of planting), the heights of the above-ground parts of the spruce were also measured, and the phytomass of the above-ground and underground parts of the spruce was weighed. In the course of research, it was established that in the first decades, European spruce in forest crops on podzolic soils actively develops the root system, which develops the humus horizon of the soil, filling it with active small (suction) roots. In the first decade of spruce plantation growth, the excess weight of the aboveground part of the model spruce trees over the weight of the underground part, in most models, is 4 or more times. Which indicates the intensive growth of the aboveground part of the model spruce trees in the first decade.

Keywords: root system, European spruce, forest crops, soil, research

Введение

Одной из проблем лесокультурного производства является выращивание ценных и высокопродуктивных насаждений с использованием передовых достижений селекции и семеноводства хвойных пород [1]. Еловые насаждения неоднократно служили объектом исследований специалистов разных научных направлений [2–4]. При этом до сих пор остаются слабоизученными вопросы устойчивости еловых лесов в ус-

ловиях изменяющегося климата и антропогенной нагрузки [5–7]. Кроме того, из-за поверхностной корневой системы ель подвержена ветровалу и выпадению из насаждения в засушливые сезоны и годы [8]. Поэтому, в связи с возрастающим неблагоприятным влиянием на еловые насаждения ряда факторов, проблема изучения их, получения новой информации в отношении строения и функционирования корневых систем деревьев приобрела особую актуальность [9].

Таблица 1

Таксационная характеристика исследуемых еловых культур
в условиях сложных суборей (C_{2-3}) УОЛ БГИТУ

Состав насаждения	Способ обработки почвы	Способ посадки	Размещение посадочных мест	Возраст, лет	ТЛУ	Вид посадочного материала	Число стволов на 1 га, шт.	Средние		Класс бонитета	Р относительная	М, м ³ /га
								Н, м	Д, см			
10Е ед.Б, Ос	Бороздами ПКЛ-70	Вручную	3,5×0,6	7	C_2	CH_2	3967	0,8	2,3	II	–	0,4

Источник: составлено автором на основе полученных данных в ходе исследования.

Цель исследования – изучить распределение корневой системы ели европейской в лесных культурах по горизонтам почвы и оценить соотношение надземной и подземной фитомассы в первое десятилетие развития лесных культур.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования стали корневые системы модельных деревьев семи летних лесных культур ели европейской, произрастающие в сложных суборях C_{2-3} учебно-опытного лесхоза БГИТУ, на супесчаной подзолистой почве, таксационная характеристика которых приведена в табл. 1.

В ходе научных исследований автором была заложена пробная площадь (1 га) по общепринятой методике (ОСТ 56-69-83) [10]. На пробной площади производилась оценка общего состояния лесных культур, отмечалось следующее: развитие деревьев главной породы, имеются ли второстепенные породы, возобновившиеся естественным путем; нет ли угнетения одних пород другими, описывался живой напочвенный покров; проводился сплошной пересчет деревьев. Измерялся диаметр на высоте груди (с точностью до 0,1 см) либо диаметр корневой шейки (если дерево не достигло высоты 1,3 м), высота дерева. Для описания почвенно-грунтовых условий закладывались почвенные разрезы с описанием почвы по общепринятой схеме по горизонтам. Для характеристики живого напочвенного покрова были заложены учетные площадки по определению видового состава травянистой растительности. Размер площадки 1,0×1,0 м.

Исследования корневых систем проводились по методике М.И. Калинина, П.К. Красильникова [11; 12, с. 33], а классификация

корневых систем – по П.К. Красильникову [13]. Раскопка корневых систем начиналась с горизонтальных корней, с постепенным обнажением корней по периферии. Все корни распределялись на группы: горизонтальные поверхностные; горизонтальные глубинные; якорные; стержневые.

В зависимости от толщины корни подразделялись на тонкие ($d < 2$ мм), полускелетные ($d = 2,1–4,0$ мм) и скелетные ($d > 4,0$ мм). Для горизонтальной корневой системы измерялись следующие показатели: длина корня первого и второго порядка; расстояние до ответвлений второго порядка; длина якорных корней и глубина их проникновения; диаметр корней в месте их прикрепления [14].

Статистическая обработка полевого материала производилась на персональном компьютере для выявления исследуемых показателей. Для этой цели использовались штатные пакеты программы «EXE» и программное обеспечение сотрудников университета.

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе исследования автором отмечен замедленный рост в высоту культур ели, особенно созданных посадкой в дно борозд, и это будет наблюдаться до тех пор, пока корневая система ели не выйдет за пределы борозды шириной 70 см и не достигнет плодородной почвы сдвоенных пластов. Это произойдет примерно через 5–10 лет после посадки культур. Посаженные в дно борозды плуга ПКЛ-70, культуры ели оказываются в условиях недостатка азота, калия, фосфора и временного переувлажнения, что также отмечалось исследованиями А.Р. Родина [15, с. 23].

Таблица 2

Распределение массовой доли корней (в гр. и %) модельных деревьев ели по горизонтам подзолистой почвы

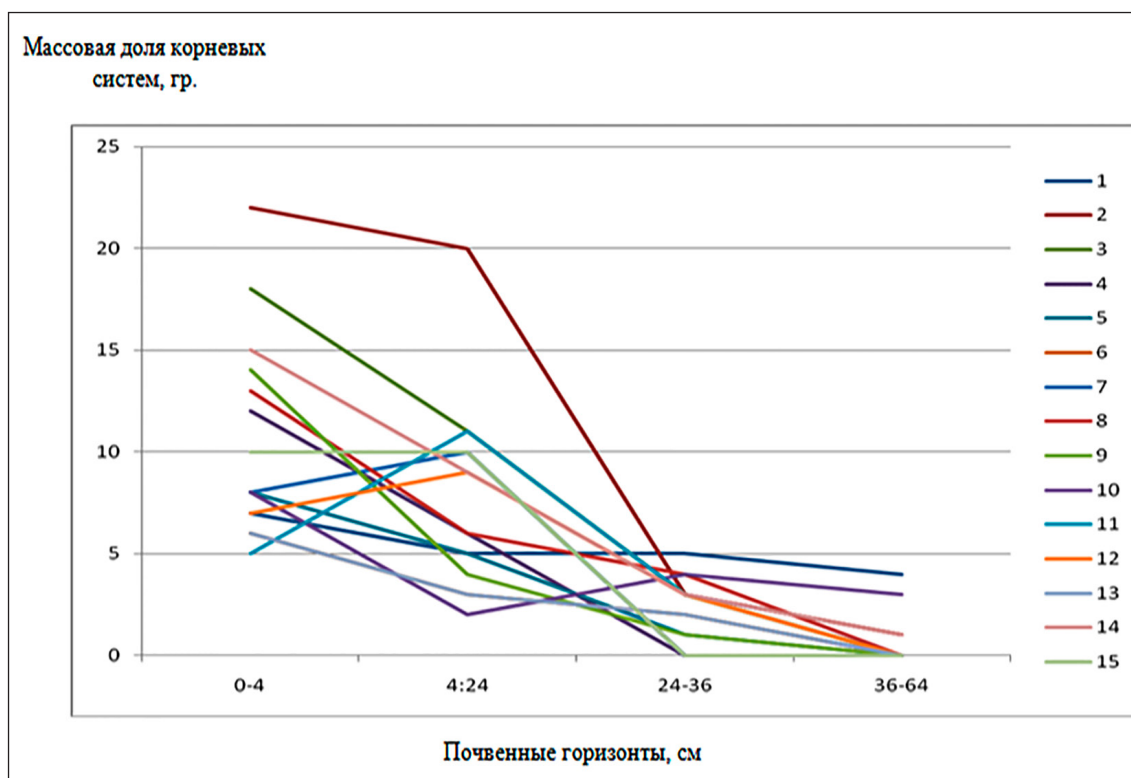
№ модели	Горизонты почвы, см								Всего по горизонтам	
	0–4 (A ₀)	%	4–24 (A ₁)	%	24–36 (A ₂)	%	36–64 (A ₂ B)	%	Итого	%
1	7	33,4	5	23,8	5	23,8	4	19,1	21	100
2	22	46,8	20	42,7	3	6,5	1	2,1	47	100
3	18	56,3	11	34,4	3	9,3	0	–	32	100
4	12	66,7	6	33,3	0	–	0	–	18	100
5	8	57,2	5	35,7	1	7,1	0	–	14	100
6	6	54,5	3	27,3	2	18,2	0	–	11	100
7	8	44,4	10	55,6	0	–	0	–	18	100
8	13	56,5	6	26,1	4	17,4	0	–	23	100
9	14	73,4	4	21,3	1	5,3	0	–	19	100
10	8	47,1	2	11,8	4	23,5	3	17,6	17	100
11	5	26,3	11	57,9	3	15,8	0	–	19	100
12	7	36,8	9	47,4	3	15,8	0	–	19	100
13	6	54,5	3	27,3	2	18,2	0	–	11	100
14	15	53,6	9	32,1	3	10,7	1	3,6	28	100
15	10	50,0	10	50,0	0	–	0	–	20	100

Источник: составлено автором на основе полученных данных в ходе исследования.

Для исследований корневой системы ели было отобрано 15 моделей (из характерной части насаждения, отражающей способ и шаг посадки), также были измерены высоты надземных частей ели и взвешена фитомасса надземной и подземной части ели. В результате исследования корневых систем было проанализировано распределение корней по почвенным горизонтам, выявленным в результате почвенных раскопок (табл. 2).

В ходе раскопок корневых систем ели установлена высокая пластичность в распределении тонких корней ($d < 2$ мм) и полускелетных корней ($d = 2,1–4,0$ мм), которые в большей степени расположены в горизонте почвы 0–4 см и 4–24 см. Наименьшее количество их отмечено у моделей ели № 13, 12, 11, 6, 1. Наибольшее количество – у моделей ели № 3, 2. Это объясняется различными факторами, среди которых можно выделить своевременность проведения агротехнического ухода, погодные условия, качество посадочного материала и его адаптационные свойства, наличие питательных веществ в гумусовом горизонте и др. Тонкие корни ели, в горизонте почвы 0–4 см, сильно переплетены с дерниной. Полускелетные корни ели в переувлажненных местах гори-

зонта 4–24 и 24–36 см срослись, что дополнительно должно обеспечить устойчивость растущих моделей ели к ветровым нагрузкам. Скелетные корни моделей ели ($d > 4,0$ мм) сосредоточены в горизонте почвы 24–36 см, особенно это выражено у модели ели № 1, 10. В аллювиальном горизонте почвы, 36–64 см, наибольшее проникновение скелетных корней у моделей ели № 1, 10, что связано с наличием кротовин (до 10 % по профилю разреза почвы), где накапливается биогенный материал, привнесенный с расположенных выше горизонтов почвы. По кротовинам скелетные корни ели проникают в более глубокие горизонты почвы, что дополнительно повышает ветроустойчивость моделей ели на данном типе почвы. Такая пластичность корневой системы позволяет ели получать влагу в засушливые периоды времени. Автором исследований установлена усредненная объемная масса почвы для горизонта 4–24 см – $0,5–1$ г/см³, 24–36 см – $1,1–1,2$ г/см³, 36–64 см – $1,4–1,5$ г/см³, а для роста корней ели оптимально $1,2–1,4$ г/см³. На рисунке, для наглядности, приведены графики распределения массовой доли корней по горизонтам почвы соответствующих модельных деревьев.



Распределение массовой доли корней по горизонтам почвы модельных деревьев ели европейской
 Источник: составлено автором по результатам данного исследования

Таблица 3

Статистический показатель коэффициента корреляции по распределению
 массовой доли корней и горизонтам почвы исследуемых моделей

№ модели	Коэффициент корреляции, r	Основная ошибка определения, $\pm m_r$	Критерий достоверности, t_r	Величина преобразованного коэффициента корреляции, z	Критерий достоверности преобразованного коэффициента корреляции, t_z
1	-0,923	0,271	3,40	-1,611	1,61
2	-0,933	0,255	3,66	-1,680	1,68
3	-0,985	0,121	8,14	-2,451	2,45
4	-0,944	0,234	4,04	-1,772	1,77
5	-0,978	0,148	6,60	-2,245	2,24
6	-0,981	0,137	7,18	-2,328	2,33
7	-0,834	0,390	2,14	-1,203	1,20
8	-0,973	0,163	5,98	-2,149	2,15
9	-0,908	0,296	3,07	-1,517	1,52
10	-0,638	0,544	1,17	-0,755	0,76
11	-0,639	0,544	1,18	-0,757	0,76
12	-0,865	0,355	2,43	-1,312	1,31
13	-0,981	0,137	7,18	-2,328	2,33
14	-0,980	0,141	6,93	-2,292	2,29
15	-0,894	0,316	2,83	-1,444	1,44

Источник: составлено автором на основе полученных данных в ходе исследования.

Таблица 4

Основные показатели фитомассы исследуемых моделей

№ модели	Вес надземной части, кг	Вес подземной части, кг	Превышение веса надземной части над весом подземной части	Диаметр в месте прикрепления надземной части, см	Высота надземной части, см	Длина основных развитых скелетных корней, см
1	0,610	0,150	4,1	2	81	46; 34; 52
2	1,610	0,290	5,6	4	98	71; 77; 50; 41
3	0,710	0,190	3,7	2	80	97; 53; 30; 84
4	0,450	0,100	4,5	2	82	60; 30
5	0,490	0,110	4,5	1,7	80	74; 42
6	0,420	0,150	2,8	3	100	87; 61
7	0,500	0,100	5,0	2,2	83	89; 46; 38
8	0,310	0,090	3,4	1,7	60	50; 47
9	0,310	0,120	2,6	2,5	67	108; 52; 20
10	0,310	0,090	3,4	2,2	65	62; 52; 45
11	0,320	0,080	4,0	2,5	73	55; 20; 25; 33
12	0,390	0,060	6,5	1,5	69	49; 57
13	0,500	0,090	5,6	2	79	70; 81; 30
14	0,340	0,050	6,8	1,7	65	68; 31
15	0,310	0,100	3,1	2	63	43; 30; 30

Источник: составлено автором на основе полученных данных в ходе исследования.

Анализируя данный рисунок, можно сделать вывод, что основная масса корней исследуемых моделей располагается в гумусовом горизонте, что объясняется его наибольшим плодородием, а также соответствует биологическим особенностям ели европейской, имеющей поверхностную корневую систему.

Статистический показатель коэффициента корреляции по распределению массовой доли корней и горизонтам почвы исследуемых моделей представлен в табл. 3.

Согласно статистической обработке величина коэффициента корреляции приближается к единице, что свидетельствует о наличии высокой зависимости массовой доли корней от почвенного горизонта и подтверждает сделанные нами исследования.

Основные показатели исследуемых моделей по фитомассе показаны в табл. 4.

Согласно данным табл. 4 превышение веса надземной части модельных деревьев над весом подземной части, у большинства моделей составляет 4 и более раз. Высота надземной части моделей ели превышает длину основных развитых скелетных корней в 1,1–1,3 раза. Это свидетельствует об интенсивном росте надземной части модельных деревьев ели в первое десятилетие.

Заключение

В ходе проведенного исследования установлено, что в первое десятилетие у ели европейской в лесных культурах, на подзолистых почвах УОЛ БГИТУ, активно развивается корневая система, которая осваивает гумусовый горизонт почвы, наполняя его активными мелкими (всасывающими) корешками.

Превышение веса надземной части деревьев ели над весом подземной части у большинства моделей составляет 4 и более раз. Это свидетельствует об интенсивном росте надземной части модельных деревьев ели в первое десятилетие.

Список литературы

1. Раевский Б.В., Игнатенко Р.В., Новиченок Е.В., Проклюк В.М., Куклина К.К. Современное состояние селекции и семеноводства хвойных пород // Известия вузов. Лесной журнал. 2022. № 6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennoe-sostoyanie-selektcii-i-semenovodstva-hvoynyh-porod> (дата обращения: 11.06.2025). DOI: 10.37482/0536-1036-2022-6-9-37.

2. Белова А.И., Хамитов Р.С., Хамитова С.М., Полякова Е.С. Рост лесных культур ели европейской, созданных сеянцами с закрытой корневой системой // Хвойные бореальной зоны. 2022. № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rost-lesnyh-kultur-eli-evropeyskoy-sozdannyh-seyantsami-s-zakrytoy-kornevoy-sistemoj> (дата обращения: 11.06.2025). DOI: 10.53374/1993-0135-2022-2-109-113.

3. Мерзленко М.Д., Мельник П.Г., Тишков А.С. Ель европейская как лесообразователь на Смоленско-Московской возвышенности // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2024. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/el-evropeyskaya-kak-lesoobrazovatel-na-smolensko-moskovskoy-vozvyshennosti> (дата обращения: 11.06.2025). DOI: 10.18698/2542-1468-2024-1-5-13.
4. Пеккоев А.Н., Неронова Я.А. Влияние вида посадочного материала и способов обработки почвы на сохранность, рост и структуру древесины 24-летних культур ели // Известия СПбЛТА. 2024. № 247. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-vida-posadochnogo-materiala-i-sposobov-obrabotki-pochvy-na-sohrannost-rost-i-strukturu-drevesiny-24letnih-kultur-eli> (дата обращения: 11.06.2025). DOI: 10.21266/2079-4304.2024.247.42-55.
5. Агафонова Т.Н., Залесов С.В., Итешина Н.М., Семёнова М. Санитарное состояние еловых древостоев по густоте и запасу // Международный научно-исследовательский журнал. 2025. № 3 (153). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sanitarное-sostoyanie-elovyh-drevostoev-po-gustote-i-zapasu> (дата обращения: 11.06.2025). DOI: 10.60797/IRJ.2025.153.67.
6. Белова А.И., Лебедев Е.В., Хамитов Р.С. Влияние метеорологических условий на рост культур ели с закрытой корневой системой // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2023. № 5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-meteorologicheskikh-usloviy-na-rost-kultur-eli-s-zakrytoy-kornevoy-sistemoy> (дата обращения: 11.06.2025). DOI: 10.18698/2542-1468-2023-5-100-108.
7. Фрейберг И.А., Залесов С.В., Терин А.А. Совершенствование технологии восстановления хвойных насаждений // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 5. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=10263> (дата обращения: 11.06.2025).
8. Ананьев В.А., Пеккоев А.Н., Грабовик С.И., Мошников С.А., Медведева М.В., Руоколайнен А.В., Колесникова В.М., Грабеклис В.В. Динамика биоразнообразия на сплошном ветровале в коренных среднетаежных ельниках национального парка «Водлозерский» (Россия) // Nature Conservation Research. Заповедная наука. 2023. № 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/dinamika-bioraznoobraziya-na-sploshnom-ventrovale-v-korenykh-srednetaezhnyh-elnikah-natsionalnogo-parka-vodlozerskiy-rossiya> (дата обращения: 11.06.2025). DOI: 10.24189/ncr.2023.024.
9. Рязанцев П.А., Кабонен А.В. Критерии картирования и оценки корневых систем методом георадиолокации на примере ели европейской // Вестник СПбГУ. Науки о Земле. 2024. № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kriterii-kartirovaniya-i-otsenki-kornevyh-sistem-metodom-georadiolokatsii-na-primere-eli-evropeyskoy> (дата обращения: 11.06.2025). DOI: 10.21638/spbu07.2024.203.
10. ОСТ 56-69-83. Пробные площади лесоустроительные. Метод закладки. М.: ЦБНТИлесхоз, 1984. 18 с.
11. Калинин М.И. Формирование корневой системы деревьев. М.: Лесная промышленность, 1983. 152 с.
12. Красильников П.К. Методика полевого изучения подземных частей растений: (С учетом специфики ресурсовед. исслед.). Л.: Наука: Ленингр. отделение, 1983. 207 с. ISBN В пер. (В пер.).
13. Красильников П.К. Классификация корневых систем деревьев и кустарников // Лесоведение. 1970. № 3. С. 35–45. DOI: 10.1007/lesovedenie.1970.3.35-44.
14. Рожков В.А., Кузнецова И.В., Рахматуллоев Х.Р. Методы изучения корневых систем растений в поле и лаборатории. 2-е изд. М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2008. 51 с.
15. Родин С.А. Эколого-ресурсосберегающие технологии лесовосстановления и моделирование выращивания культур ели на вырубках зоны хвойно-широколиственных лесов: автореф. дис. ... докт. сельхоз. наук. Воронеж, 2004. 46 с.