УДК 582.4:581.43:502.5(476.5)

## Разнообразие и распределение тонких корней *Picea abies* (L.) Karst. по почвенному профилю в природных и антропогенных экосистемах Белорусского Поозерья

### П.Ю. Колмаков, А.С. Кисова

Учреждение образования «Витебский государственный университет имени П.М. Машерова»

В статье дан анализ распределения тонких корней Picea abies (L.) Karst. по почвенному профилю в природных и антропогенных экосистемах Белорусского Поозерья.

Цель исследования — изучить морфологические и биометрические особенности микоризных окончаний Picea abies в различных горизонтах почвенного профиля в зависимости от экологических условий.

**Материал и методы.** Материалом являлись микоризные корневые окончания Picea abies. Методы: закладка пробных площадей и экспериментальные исследования.

**Результаты и их обсуждение.** В фоновой зоне самое большое разнообразие морфотипов корневых окончаний выявлено в почвенном горизонте  $A_1$ , а наибольшая средняя биомасса тонких корней сосредоточена в  $A_0$  горизонте. Средняя биомасса тонких корней по почвенному профилю равна 2,09 г. Среднее значение длины простых микориз из группы simple -3,15 мм.

В импактной зоне морфологическое разнообразие корневых окончаний сосредоточено в горизонте  $A_1$ , поскольку горизонт  $A_0$  деградирован. Наибольшая биомасса тонких корней локализована в горизонте  $A_1$ . Средняя биомасса тонких корней с микоризными корневыми окончаниями равна 1,06 г по всему почвенному профилю. Среднее значение длины простых микориз из группы simple — 2,87 мм.

**Заключение.** Экспериментально доказан факт различия в биометрических и морфологических параметрах корневых микоризных окончаний Picea abies в различных экологических условиях. Вся функционально значимая корневая система Picea abies сосредоточена  $A_0$  и  $A_1$  почвенных горизонтах. В импактной зоне вся функциональная часть корневой системы Picea abies локализована в более глубоких почвенных горизонтах, что делает корневую систему Ели обыкновенной менее восприимчивой к резким изменениям абиотических факторов окружающей среды.

Ключевые слова: Ель обыкновенная, почвенный профиль, Белорусское Поозерье.

# Diversity and Distribution of *Picea abies* (L.) Karst. Thin Roots over Soil Profile in Nature and Anthropogenic Ecosystems of Belarusian Lake District (Poozeriye)

#### P.Yu. Kolmakov, A.S. Kisova

Educational Establishment «Vitebsk State P.M. Masherov University»

An analysis of the distribution of Picea abies (L.) Karst thin roots according to soil profile in nature and anthropogenic ecosystems of Belarusian Lake District (Poozeriye) is presented in the article.

The purpose of the research is to study morphological and biometric features of Picea abies mycoris endings in different horizons of soil profile depending on ecological conditions.

**Material and methods.** Picea abies root endings were the research material. The research methods were loading sample areas and laboratory experimental studies.

Findings and their discussion. In the background zone the greatest morphotype diversity of root endings was found out in the soil horizon  $A_1$ , while largest average biomass of thin roots was concentrated in  $A_0$  horizon. Average biomass of thin roots according to soil profile is 2,09 g. The average value of length of simple mycoris from the group of simple 3,15 mm.

In the impact zone the morphological diversity of root endings is concentrated in  $A_1$  horizon since  $A_0$  horizon is degraded. The largest thin root biomass is concentrated in  $A_1$  horizon. Average biomass of thin roots with mycoris root endings is 1,06 g over the whole soil profile. Average parameter of the length of simple mycoris is 2,87 mm.

**Conclusion.** The fact of the differences in biometric and morphological parameters of Picea abies root mycoris endings in different ecological conditions is experimentally proven. The whole functionally significant Picea abies root system is concentrated

in  $A_0$  u  $A_1$  soil horizons. In the impact zone the whole functional part of Picea abies root system is concentrated in deeper soil horizons, which makes Picea abies root system less vulnerable to sharp changes of abiotic environmental factors.

Key words: Picea abies, soil profile, Belarusian Lake District (Poozeriye).

**В** настоящее время изучение микориз направлено на выявление различных морфотипов корневых микоризных окончаний, их анатомического строения и установление видовой принадлежности грибного компонента с использованием молекулярных методов исследований.

Наибольший практический интерес для народного хозяйства имеют научные работы, касающиеся экологических аспектов. Важно не только то, «как это устроено», но и «как это работает» и «для чего это нужно».

Некоторые ученые рассматривают грибной компонент как инфекцию [1], другие — как взаимовыгодный симбиоз гриба с высшим растением [2].

**Материал и методы.** Материал исследования — микоризные корневые окончания Ели обыкновенной *Picea abies* (L.) Karst. (семейство *Pinaceae* Lindl.). Это важная лесообразующая порода бореальной зоны. В наших исследованиях является модельным видом. Подобный выбор объекта исследования не случаен. Это связано с исключительной хозяйственной важностью данной породы. На территории Беларуси *Picea abies* является зональной лесной культурой, ареал которой претерпевает значительные трансформации, связанные с изменениями экологических условий крупных территориальных единиц на земном шаре.

Методы: закладка пробных площадей и экспериментальные исследования.

Исследования проводились в фоновой и импактной зонах.

Импактная зона – пробная площадка, расположенная в городских условиях с сильной антропогенной нагрузкой.

Фоновая зона — пробная площадка, расположенная вдали от промышленных предприятий со слабо выраженной антропогенной нагрузкой.

На пробных площадях проводили отбор почвенных проб с помощью стального цилиндра диаметром 5 см и длиной 30 см. Точки отбора проб были приурочены к отдельным консорциям Ели обыкновенной, согласно методике концентрической схемы пробоотбора [3–6], с расстоянием от 10 до 100 см от ствола в проекции кроны.

Характеристика пробных площадей, на которых проводился отбор почвенных проб, отражена в табл. 1.

Таблица 1

Nº п/п	Гео	графическое г	оложение		•	Возраст	Количество	
	с.ш.	в.д.	Ближайший населенный пункт	Местообитание	Вид	лет	выборок	
1.	54°52' 54"	30°22' 28"	д. Щитовка (Сенненский район, Витебская область)	Ельник разнотравно- мшистый	Picea abies	40	25	
2.	55°10' 42"	30°13' 28"	г. Витебск (центр города)	Еловые насаждения разнотравно-мшистые	Picea abies	40	25	

Город Витебск – крупный промышленный центр на северо-востоке Беларуси. Нет возможности точно определить вклады каждого из источников в общее загрязнение атмосферы и нельзя исключить антропогенные воздействия — рекреационные нагрузки. Сильно нарушена структура почвенного профиля со слабо развитым, а зачастую и полностью отсутствующим горизонтом  $A_0$  (ферментативный горизонт). Весь почвенный профиль слишком уплотнен, что свидетельствует о значительной рекреационной нагрузке.

Пробная площадь (ПП2) расположена в центре города Витебска и соответствует импактной зоне. Данная пробная площадь находится в районе активного прессинга хозяйственной деятельности человека.

Состав древостоя: Picea abies (L.) Karst.: 10E. Эдификатор: Picea abies (L.) Karst. Подлесок: Sorbus aucuparia L. Напочвенный покров: Chelidonium majus L., Taraxacum officinale Wigg., Moehringia trinervia (L.) Clairv., Agrostis tenuis Sibth., Urtica dioica L., Scorzoneroides automnalis (L.) Moench, Viola riviniana Reichenb., Festuca ovina L., Veronica officinalis L., Tussilago farfara L., Plantago major L., Plantago lanceolata L., Pilosella officinarum Vaill., Ajuga reptans L., Pleurosium schreberi (Brid.) Mitt., Mnium sp.

Отбор почвенных проб проводили и на территории Лучосской озерно-ледниковой низины.

Лучосская озерно-ледниковая низина расположена в юго-восточной части Белорусского Поозерья, размещается между Витебской и Оршанской возвышенностями в пределах среднего и верхнего течения Лучосы и ее притоков — Оболянки, Суходровки, Серокоротнянки. Район вытянут треугольником на северо-востоке от южных границ Белорусского Поозерья до долины Западной Двины [7].

Пробная площадь (ПП1) расположена в экологически чистом районе, вдали от промышленных объектов (примерно в 40 км) и агроценозов (примерно в 5 км) в пределах Лучосской озерно-ледниковой низины и соответствует фоновой зоне.

Состав древостоя: 7E2C1Б. Эдификатор: *Picea abies* (L.) Karst. Естественное возобновление под пологом: *Picea abies* (L.) Karst., *Populus tremula* L. Подлесок: *Sorbus aucuparia* L., *Frangula alnus* Mill. Живой напочвенный покров: *Vaccinium myrtillus* L., *Melampyrum sylvaticum* L., *Convallaria majalis* L., *Calluna vulgaris* L., *Dryopteris filix—mas* (L.) Schott., *Oxalis acetosella* L., *Moehringia trinervia* (L.) Clairv., *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, *Vaccinium vitis—idaea* L., *Festuca ovina* L., *Fragaria vesca* L., *Viola riviniana* Reichenb., *Pleurosium schreberi* (Brid.) Mitt., *Dicranum rugosum* Brid., *Hylocomium splendens* (Hedw.) Briol. eur.

Получение фактических данных для изучения строения эктэндомикоризы заключалось в выкопке, т.е. извлечении из почвы образцов — фрагментов корневых систем, корневых мочек с представленными на них корнями последних порядков ветвления. Образцы извлекались из почвенных навесок проб так, что невозможно было строго установить их принадлежность к той или иной особи растений [8; 9]. Получаемые этим путем характеристики микориз относятся или могут быть усреднены на уровень сообщества в целом. Такой способ извлечения проб обоснован при изучении микоризообразования у взрослых растений [10].

Отбор образцов корневых систем проводили в течение вегетационного периода 2016 года. Образцы фиксировали в 4% формалине и в 70% спирте. Изучение морфологического строения корневых окончаний осуществляли в лабораторных условиях с использованием микроскопа МБС-10.

**Результаты и их обсуждение.** Всего было отобрано 50 образцов корневых окончаний *Picea abies*. По 25 образцов из каждой пробной площади (ПП1 и ПП2). Отобрано именно одинаковое количество образцов из каждой пробной площади для того, чтобы наиболее корректно был выполнен статистический анализ и корректно были сделаны соответствующие выводы. Общие результаты отбора проб приведены в табл. 2.

Morphology mycorrhizal system ramification presence-type

Таблица 2

Пробная	Номер	Morphology mycorrhizal system ramification presence-type							
площадь	образца	simple	мопороdial- pinnate	мопороdial- pyramidal	dichotomous	irregularly- pinnate	corraloid		
ПП 1	1-05-10-2014	Х	×	X		×	х		
ПП 2	2-20-10-2014	х	х	Х		Х	Х		
ПП 1	3-29-09-2014	х	х	X		Х			
ПП 1	4-28-09-2014	х	х	Х					
ПП 1	5-07-15-2014	х	Х	Х					
ПП 1	6-15-09-2014	х		Х	,				
ПП 2	8-05-10-2016	х	х	Х					
ПП 2	9-04-10-2016	х		Х					
ПП 1	10-29-09-2014	х		Х					
ПП 2	11-07-10-2016	х		Х					
ПП 2	12-24-09-2014	Х	X	X		Х			
ПП 1	13-21-09-2014	Х	Х	Х					
ПП 1	14-11-10-2014	х	X	Х					
ПП 1	15-13-06-2016	х	х	X		X			
ПП 1	16-15-06-2016	X	x	Х		X			
ПП 1	17-28-09-2014	X	х	Х					
ПП 1	18-28-06-2016	Х	X	Х		X			
ПП 1	19-28-06-2016	х	х	X		X			
ПП 1	20-29-06-2016	x	х	Х					
ПП 1	21-30-06-2016	x	х	Х					
ПП 1	22-01-07-2016	х	х	Х		X			
ПП 1	23-04-07-2016	х		Х	Х				
ПП 1	24-05-07-2016	X	х	Х					
ПП 1	25-06-07-2016	х	x	Х		X			
ПП 1	26-07-07-2016	X	x	X		X			
ПП 1	27-08-07-2016	X	x	X					
NN 1	28-11-07-2016	х	x	Х		X			
ПП 1	29-12-07-2016	x	x	Х					
ПП 1	30-13-07-2016	Х	х			X	х		
ПП 1	31-14-07-2016	Х	x	Х		X			
ПП 2	32-04-08-2016	Х	X	Х		X			
ПП 2	33-08-08-2016	Х		X					
ПП 2	34-15-08-2016	Х		Х					
ПП 2	35-16-08-2016	Х							
ПП 2	36-19-08-2016	Х		Х					

0		-
Окончание	mana	_

						Onon ia	HUC IIIUUJI. Z
ПП 2	37-22-08-2016	х		Х			
ПП 2	38-23-08-2016	х		Х			
ПП 2	39-29-08-2016	х					
ПП 2	40-30-08-2016	х	Х	Х			
ПП 2	41-01-09-2016	х	Х	Х			
ПП 2	42-10-10-2016	х	Х	Х			
ПП 2	43-11-10-2016	Х		Х			
ПП 2	44-11-10-2016	х		X			
ПП 2	45-12-10-2016	Х	Х	Х			
ПП 2	46-13-10-2016	х		X			
ПП 2	47-17-10-2016	Х		Х			
ПП 2	48-18-10-2016	X		X			
ПП 2	49-19-10-2016	X					
ПП 2	50-20-10-2016	X	X	X			
ПП 2	51-21-10-2016	X	X	X			
Общее							
количе-	50	50	32	46	1	15	3
СТВО		(25/ <i>25</i> )	(22/10)	(24/22)	(1/0)	(12/3)	(2/3)
(ПП1/ <i>ПП2</i> )							

**Примечания:** 1 данные, относящиеся к пробной площадке № 1 (ПП1 — фоновая зона), отмечены прямым шрифтом; 2 данные, относящиеся к пробной площадке № 2 (ПП2 — импактная зона), отмечены курсивом.

Распределение морфотипов по почвенным горизонтам в почвенных пробах представлено в табл. 3.

Таблица 3 Распределение морфотипов по почвенным горизонтам в почвенных пробах

Пробная	Номер образца	Почвенные горизонты					
площадь	помер образца	$A_0$	$A_1$	A <sub>2</sub> B			
ПП 2	8-05-10-2016		1, 2, 3				
ПП 2	9-04-10-2016		1, 3				
ПП 2	11-07-10-2016		1, 3				
ПП 1	19-28-06-2016	1, 2	1, 2, 3, 5	1, 2			
ПП 1	20-29-06-2016	1, 2	1, 2, 3				
ПП 1	21-30-06-2016	1	1, 2, 3				
ПП 1	22-01-07-2016	1, 3	1, 2, 3, 5				
ПП 1	23-04-07-2016	1	1, 3, 4				
ПП 1	24-05-07-2016	1, 2, 3	1, 2, 3				
ПП 1	25-06-07-2016	1, 2	1, 2, 3, 5				
ПП 1	26-07-07-2016	1	1, 2, 3, 5				
пп 1	27-08-07-2016	1	1, 2, 3				
ПП 1	28-11-07-2016	1, 2, 3	1, 2, 3, 5				
ПП 1	29-12-07-2016	1, 2, 3	1, 2				
ПП 1	30-13-07-2016	1, 2, 5, 6	1, 2				
ПП 1	31-14-07-2016	1, 2	1, 3, 5				
ПП 2	32-04-08-2016		1, 2, 3, 5				
ПП 2	33-08-08-2016		1, 3				
ПП 2	34-15-08-2016		1, 3				
ПП 2	35-16-08-2016		1				
ПП 2	36-19-08-2016		1, 3				
ПП 2	37-22-08-2016		1, 3				
ПП 2	38-23-08-2016		1, 3				
ПП 2	39-29-08-2016		1				
ПП 2	40-30-08-2016		1, 2, 3				
ПП 2	41-01-09-2016		1, 2, 3				
ПП 2	42-10-10-2016		1, 2, 3				
ПП 2	43-11-10-2016		1, 3				
ПП 2	44-11-10-2016		1, 3				
				_			

1, 2, 3

Окончание табл. 3

ПП 2

45-12-10-2016

ПП 2	46-13-10-2016	1, 3
ПП 2	47-17-10-2016	1, 3
ПП 2	48-18-10-2016	1, 3
ПП 2	49-19-10-2016	1
ПП 2	50-20-10-2016	1, 2, 3
ПП 2	51-21-10-2016	1, 2, 3

**Примечания:** 1 данные, относящиеся к пробной площадке № 1 (ПП1 — фоновая зона), отмечены прямым шрифтом; 2 данные, относящиеся к пробной площадке № 2 (ПП2 — импактная зона), отмечены курсивом; 3 морфотипы корневых окончаний отмечены следующими цифрами: simple — 1; monopodial-pinnate — 2; monopodial-pyramidal — 3; dichotomous — 4; irregularly pinnate — 5; coralloid — 6.

В фоновой зоне (ПП1) нами была измерена длина 44 образцов корневых окончаний из группы simple. Длина простых микориз приведена в табл. 4. Были получены различные варианты. Разница между наибольшим и наименьшим значениями варианта равна 2,47 мм.

Таблица 4

Длина простых микориз, отобранных в фоновой зоне

	Плица		Длина		
Номер образца	Длина	Номер образца			
42.24.00.44	корневого окончания	45 42 40 46(4)	корневого окончания		
12-24-09-14	98,4 mm	45-12-10-16(1)	3,51 mm		
30-13-07-16	111,8 мм	45-12-10-16(2)	3,66 мм		
26-07-07-16(1)	3,75 мм	40-38-08-16(1)	2,88 мм		
26-07-07-16(2)	3,86 мм	40-38-08-16(2)	3,85 mm		
26-07-07-16(3)	3,57 mm	14-11-10-14	1,91 mm		
18-28-06-16(1)	3,06 мм	24-05-07-16(1)	2,8 мм		
18-28-06-16(2)	2,95 мм	24-05-07-16(2)	4,23 mm		
3-29-09-14(1)	1,92 мм	24-05-07-16(3)	4,35 mm		
3-29-09-14(2)	2,02 мм	31-14-07-16	2,25 мм		
20-29-06-16(1)	2,38 мм	15-13-06-16(1)	2,77 mm		
20-29-06-16(2)	2,42 MM	15-13-06-16(2)	2,71 mm		
7-16-09-14	3,53 mm	15-13-06-16(3)	3,27 mm		
22-01-07-16	3,95 мм	29-12-07-16(1)	3,28 мм		
32-04-08-16(1)	3,58 мм	29-12-07-16(2)	3,35 мм		
32-04-08-16(2)	2,39 мм	21-30-06-16(1)	3,75 мм		
4-28-09-14(1)	2,16 mm	21-30-06-16(2)	3,19 мм		
4-28-09-14(2)	2,19 мм	22-01-07-16	2,9 мм		
50-20-10-16	3,77 MM	42-10-10-16	2,02 мм		
16-15-06-16(1)	3,3 MM	40-30-08-16(1)	4,38 mm		
16-15-06-16(2)	3,10 mm	40-30-08-16(2)	3,94 мм		
16-15-06-16(3)	3,17 mm	41-01-09-16(1)	3,31 mm		
22-01-07-16	2,02 мм	41-01-09-16(2)	3,34 мм		
min auguouss		1 01			
min значение		1,91 mm			
тах значение	4,38 mm				
Среднее значение		3,16 mm			

Значения величин измеренных нами образцов не отличаются особой вариативностью. Для образования 2–3 классов размеры их должны быть примерно 1,235 мм. В результате нами было выделено 3 класса: 1,235–2,470 мм; 2,471–3,705 мм; 3,706–4,935 мм.

На правильное построение шкалы для классов следует обращать особое внимание. Во-первых, необходимо чтобы величина классового промежутка была всегда одной и той же. Во-вторых, границы классов должны быть намечены таким образом, чтобы одна и та же цифра не повторялась в двух классах. Например, если первый класс заканчивается величиной 2,470 мм, то следующий класс должен начинаться со следующей по порядку цифры — 2,471 мм.

Если же один класс будет охватывать значения варианта от 1,235—2,470 мм включительно, а другой — от 2,470—3,705 мм, то будет возникать сомнение, к какому классу отнести образец с величиной 2,470 мм. Если же один класс будет охватывать значения варианта от 1,235—2,470 мм включительно, а следующий класс — от 2,471—3,705 мм, то разноска варианта по намеченным классам не будет вызывать затруднений.

Данные по распределению размеров образцов корневых окончаний по классам представлены в табл. 5.

Таблица 5

Распределение размеров образцов корневых окончаний по классам

Классы, мм	Частоты
1,235–2,470	12
2,471–3,705	22
3,706–4,935	10
i=1,235 mm	n=44

Примечания: 1 і – величина классового промежутка; 2 п – число образцов.

Характер изменчивости: количественный. Тип изменчивости: непрерывный. Разница между наибольшим и наименьшим значениями вариантов: 4,38–1,91=2,47 мм. Среднее значение длины корневого окончания из группы simple равно 3,160 мм. Длина корневых окончаний большинства образцов варьирует в пределах 2,471–3,705 мм.

В импактной зоне (ПП2) нами была измерена длина 50 образцов корневых окончаний из группы simple. Длина простых микориз приведена в табл. 6.

Таблица 6

Длина простых микориз, отобранных в импактной зоне

длина простых микориз, отооранных в импактной зоне									
Номер образца	Длина корневого	Номер образца	Длина корневого						
помер образца	окончания	помер образца	окончания						
3-29-09-2014	0,60 mm	26-07-07-2016(2)	0,99 mm						
4-28-09-2014	1,06 mm	26-07-07-2016(3)	1,40 mm						
5-07-15-2014(1)	0,42 мм	30-13-07-2016(1)	1,54 mm						
5-07-05-14(2)	0,46 мм	30-13-07-2016(2)	1,29 мм						
8-05-10-2016(1)	1,53 мм	30-13-07-2016(3)	1,70 mm						
8-05-10-2016(2)	1,38 мм	30-13-07-2016(4)	1,50 mm						
8-05-10-2016(3)	1,44 mm	30-13-07-2016(5)	1,18 mm						
8-05-10-2016(4)	1,41 mm	32-04-08-2016(1)	1,78 mm						
9-04-10-2016(1)	1,30 mm	32-04-08-2016(2)	1,65 mm						
9-04-10-2016(2)	1,32 mm	34-15-08-2016(1)	0,57 mm						
10-29-09-2014(1)	0,70 mm	34-15-08-2016(2)	0,62 mm						
10-29-09-2014(2)	0,67 mm	38-23-08-2016(1)	0,67 mm						
12-24-09-2014	0,39 mm	38-23-08-2016(2)	0,69 мм						
16-15-06-2016(1)	2,57 мм	43-11-10-2016	0,27 mm						
16-15-06-2016(2)	2,37 mm	45-12-10-2016(1)	1,57 mm						
18-28-06-2016(1)	2,22 mm	45-12-10-2016(2)	1,31 mm						
18-28-06-2016(2)	2,26 мм	46-13-10-2016(1)	0,51 mm						
18-28-06-2016(3)	2,07 mm	46-13-10-2016(2)	0,56 мм						
18-28-06-2016(4)	1,97 мм	46-13-10-2016(3)	0,49 mm						
18-28-06-2016(5)	1,79 мм	47-17-10-2016(1)	0,73 mm						
18-28-06-2016(6)	2,87 мм	47-17-10-2016(2)	0,82 mm						
20-29-06-2016(1)	1,74 мм	48-18-10-2016 (1)	0,32 mm						
20-29-06-2016(2)	1,84 mm	48-18-10-2016(2)	0,25 mm						
20-29-06-2016(3)	1,72 мм	50-20-10-2016(1)	0,93 мм						
26-07-07-2016(1)	1,95 мм	50-20-10-2016(2)	0,89 мм						
min значение		0,27 mm							
тып значение		0,27 MM 2,87 MM							
Среднее значение		1,228 mm							
среднее значение		1,220 191191							

Были получены различные варианты. Разница между наибольшим и наименьшим значениями вариантов равна 2,6 мм. Чтобы иметь примерно 8–9 классов, их длины должны быть примерно 0,325 мм. В таком случае можно наметить следующие классы: 0,250–0,575 мм; 0,576–0,901 мм; 0,902–1,227 мм; 1,228–1,553 мм; 1,554–1,879 мм; 1,880–2,205 мм; 2,206–2,531 мм; 2,532–2,857 мм; 2,858–3,183 мм.

На правильное построение шкалы для классов следует обращать особое внимание. Во-первых, необходимо чтобы величина классового промежутка была всегда одной и той же. Во-вторых, границы классов должны быть

намечены таким образом, чтобы одна и та же цифра не повторялась в двух классах. Например, если первый класс заканчивается величиной 0,575 мм, то следующий класс должен начинаться со следующей по порядку цифры – 0,576 мм.

Если же один класс будет охватывать значения варианта от 0,250–0,575 мм включительно, а другой – от 0,575–0,901 мм, то будет возникать сомнение, к какому классу отнести образец с величиной 0,575 мм. Если же один класс будет охватывать значения варианта от 0,250–0,575 мм включительно, а следующий класс – от 0,576–0,901 мм, то разноска варианта по намеченным классам не будет вызывать затруднений.

Характер изменчивости: количественный. Тип изменчивости: непрерывный. Разница при наибольшем и наименьшем значениях вариантов: 2,87—0,27=2,6 мм.

Данные по распределению размеров образцов корневых окончаний по классам представлены в табл. 7.

Таблица 7

Распределение размеров образцов корневых окончаний по классам

таниродинение размерев ворие	io and principal and an analysis and an analys
Классы, мм	Частоты
0,250-0,575	11
0,576-0,901	8
0,902-1,227	4
1,228-1,553	11
1,554–1,879	8
1,880–2,205	3
2,206–2,531	3
2,532–2,857	1
2,858-3,183	1
i=0.325 mm	n=50

Примечания: 1 і – величина классового промежутка; 2 п – число образцов.

Среднее значение длины корневого окончания из группы simple равно 1,228 мм. Длина корневых окончаний большинства образцов варьирует в пределах 0,250–0,575 мм и 1,228–1,553 мм.

Значения биомассы почвенных проб с учетом почвенных горизонтов представлены в табл. 8.

Таблица 8 **Биомасса корневых окончаний в почвенном профиле в фоновой зоне** 

		Биома	сса проб	бы	Биомасса пробы			Σы	
Номер образца	Почвен	ные гор	изонты	Общая	Номер образца	Почвен	ные гор	изонты	Общая
почвенной пробы	A <sub>0</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub> B	биомасса	почвенной пробы	A <sub>0</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub> B	биомасса
	Λ0	A <sub>1</sub>		ВГ		Λ0	<b>7</b> 1	A <sub>2</sub> D	ВГ
82-29-06-2017	0,56	0,62	0,2	1,38	104-05-07-2017	1,06	0,24	0	1,3
83-29-06-2017	5,54	1,85	0	7,39	105-05-07-2017	0,76	0,49	0,05	1,3
84-29-06-2017	1,94	0,86	1,5	4,3	106-05-07-2017	0,05	1,04	0,22	1,31
85-30-06-2017	1,35	0,09	0	1,44	107-05-07-2017	0,32	0,17	0,24	0,73
86-30-06-2017	2,01	0,57	0,43	3,01	108-05-07-2017	0,4	0,74	0,57	1,71
87-30-06-2017	0,59	0,55	0,67	1,81	109-05-07-2017	0,48	0,16	0,3	0,94
88-30-06-2017	1,01	0,68	1,46	3,15	110-05-07-2017	0,64	1,32	0,19	2,15
89-30-06-2017	0,58	0,66	0,13	1,37	111-05-07-2017	0,25	0,1	0,17	0,52
90-04-07-2017	1,04	1,25	0,31	2,6	112-06-07-2017	0,72	1,78	0,92	3,42
91-04-07-2017	1,93	1,22	0,43	3,58	113-06-07-2017	0,67	0,7	0,37	1,74
92-04-07-2017	1,06	0,98	0,35	2,39	114-06-07-2017	0,79	0,31	0,28	1,38
93-04-07-2017	1,65	0,32	0,03	2	115-06-07-2017	0,83	1,92	0	2,75
94-04-07-2017	0,89	0,6	0,29	1,78	116-06-07-2017	0,78	0,59	0,26	1,64
95-04-07-2017	2,25	1,47	0,88	4,6	117-07-07-2017	0,2	0,35	0,52	1,07
96-04-07-2017	0,99	1,29	0,15	2,43	118-07-07-2017	0,28	1,07	0	1,35
97-04-07-2017	1,18	1,57	0,19	2,94	119-07-07-2017	0,22	0,48	0,24	0,94
98-04-07-2017	1,7	0,86	0,31	2,87	120-07-07-2017	0,67	0,34	0,13	1,11
99-04-07-2017	1,44	1,71	0,09	3,24	121-07-07-2017	0,97	0,97	0,33	2,27
100-05-07-2017	3	0,7	0,27	3,97	122-07-07-2017	0,94	0,12	0,11	1,17
101-05-07-2017	0,46	0,65	0,16	1,27	123-07-07-2017	0,8	0,09	0,25	1,14
102-05-07-2017	0,3	0,18	0,08	0,56	124-07-07-2017	0,33	0,41	0,34	1,08
103-05-07-2017	0,58	0,11	0	0,69	Среднее значение	1,03	0,75	0,31	2,09

Средняя биомасса в почвенном профиле выборки равна 2,09 грамма. Наибольшее среднее значение биомассы наблюдается в  $A_0$  почвенном горизонте, наименьшее – в  $A_2$ В горизонте, всего 0,31 г. Большое количе-

ство микоризных окончаний тонких корней в  $A_0$  в значительной степени подвержено резким колебаниям абиотических факторов: температуры и влажности. Резкие колебания таких значений ведут к сезонной гибели значительного количества микоризных окончаний, что негативно сказывается на минеральном питании древесных растений. Здесь нужно отметить, что грибной компонент присутствует по всему почвенному профилю, во всех почвенных горизонтах и соответственно представлен большим разнообразием экологических групп.

Значения биомассы почвенных проб с учетом почвенных горизонтов приведены в табл. 9.

Таблица 9

Биомасса корневых окончаний в почвенном профиле в импактной зоне

	Биомасса пробы				Биомасса про			<b>бы</b>	
Номер образца	Почв	енные гор	оизонты	Общая	Номер образца	Почв	енные гор	оизонты	Общая
почвенной пробы	۸	^	ΛР	биомасса	почвенной пробы	۸	^	Λ D	биомасса
	$A_0$	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub> B	ВГ		$A_0$	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub> B	ВГ
8-05-10-2016	0	2,15	0	2,15	61-20-06-2017	0	0,94	0,33	1,27
9-04-10-2016	0	1,98	0	1,98	62-20-06-2017	0	0,24	0	0,24
11-07-10-2016	0	2,64	0	2,64	63-20-06-2017	0	0,84	0	0,84
42-10-10-2016	0	2,55	0	2,55	64-21-06-2017	0	0,51	0	0,51
43-11-10-2016	0	1,92	0	1,92	65-21-06-2017	0	0,23	0	0,23
44-11-10-2016	0	0,79	0	0,79	66-21-06-2017	0	0,29	0	0,29
45-12-10-2016	0	4,76	0	4,76	67-21-06-2017	0	0,31	0,03	0,34
46-13-10-2016	0	1,72	0	1,72	68-21-06-2017	0	0,27	0	0,27
47-17-10-2016	0	1,06	0	1,06	69-21-06-2017	0	0,75	0	0,75
48-18-10-2016	0	0,64	0	0,64	70-22-06-2017	0	0,48	0,08	0,56
49-19-10-2016	0	1,05	0	1,05	71-22-06-2017	0	0,39	0	0,39
50-20-10-2016	0	2,16	0	2,16	72-22-06-2017	0	0,25	0	0,25
51-21-10-2016	0	1,09	0	1,09	73-22-06-2017	0	1,73	0	1,73
52-19-06-2017	0	1,64	0	1,64	74-22-06-2017	0	1,47	0	1,47
53-19-06-2017	0	1,1	0	1,1	75-23-06-2017	0	0,1	0	0,1
54-19-06-2017	0	0,92	0,05	0,97	76-23-06-2017	0	0,33	0	0,33
55-19-06-2017	0	0,63	0	0,63	77-23-06-2017	0	1,14	0	1,14
56-19-06-2017	0	0,65	0	0,65	78-23-06-2017	0	0,39	0	0,39
57-19-06-2017	0	1,1	0	1,1	79-23-06-2017	0	0,71	0	0,71
58-20-06-2017	0	1,07	0	1,07	80-23-06-2017	0	0,32	0	0,32
59-20-06-2017	0	0,35	0	0,35	81-23-06-2017	0	0,88	0,3	1,18
60-20-06-2017	0	0,26	0	0,26	Среднее значение	0	1,04	0,79	1,06

Средняя биомасса в почвенном профиле выборки равна 1,06 грамма. Наибольшее среднее значение биомассы наблюдается в  $A_1$  почвенном горизонте, наименьшее — в  $A_0$  горизонте, 0 г. Вся основная биомасса тонких корней с микоризными окончаниями сосредоточена в гумусовом горизонте  $A_1$ . Гумусовый горизонт в меньшей степени подвержен резким воздействиям абиотических факторов. Но экологическая структура грибного компонента не может быть представлена в данном случае большим разнообразием.

Фоновая зона (ПП1). Горизонт  $A_0$  характеризуется небольшим разнообразием морфотипов корневых окончаний. Наибольшее распространение получили группы simple и monopodial-pinnate. Визуально наблюдается значительное количество отмерших корневых окончаний с темным оттенком.

Наибольшее разнообразие морфотипов корневых окончаний наблюдается в горизонте  $A_1$ , где выявлены все встречающиеся у *Picea abies* группы.

Среднее значение длины простых микориз из группы simple равно 3,16 мм. Наибольшее количество просмотренных образцов имело длину в интервале 2,471–3,705 мм (22 образца).

Средняя биомасса тонких корней с микоризными корневыми окончаниями равна 2,09 г по всему почвенному профилю. Наибольшая средняя биомасса сосредоточена в  $A_0$  горизонте (средняя биомасса равна 1,03 г), который подвержен резким колебаниям значений абиотических факторов окружающей среды, что приводит к периодической сезонной гибели значительной части микориз.

*Импактная зона (ПП2).* Горизонт  $A_0$  деградирован и не играет существенной роли в формировании микоризных корневых окончаний. Основное значение в формировании микоризных корневых окончаний играет горизонт  $A_1$ . Нужно отметить, что в данном почвенном горизонте встречается ограниченный набор морфотипов микоризных корневых окончаний: simple, monopodial-pinnate, monopodial-pyramidal.

Среднее значение длины простых микориз из группы simple равно 2,87 мм. Наибольшее количество просмотренных образцов имело длину в интервале 0,250–0,575 мм (11 образцов) и 1,228–1,553 мм (11 образцов).

Средняя биомасса тонких корней с микоризными корневыми окончаниями равна 1,06 г по всему почвенному профилю. Наибольшая средняя биомасса сосредоточена в  $A_1$  горизонте (средняя биомасса равна 1,04 г), который менее

подвержен колебаниям значений абиотических факторов. Функциональная корневая система *Picea abies* в основном локализована в более глубоких почвенных горизонтах, что защищает ее от воздействия резких колебаний абиотических факторов окружающей среды. Наблюдается незначительная сезонная гибель микоризных корневых окончаний.

**Заключение.** Вся функционально значимая корневая система *Picea abies* сосредоточена в верхнем слое почвы.

Разнообразие морфотипов корневых окончаний тесно связано с видовым составом грибного компонента. Основное видовое разнообразие грибного компонента в корневых окончаниях, а значит и разнообразие экологических групп грибного компонента, сосредоточено в горизонте  $A_1$ . Отсюда не следует, что основная биомасса тонких корней с микоризными окончаниями локализована именно в горизонте  $A_1$ . Вся функциональная часть корневой системы *Picea abies* зависит от разнообразия морфотипов, видового состава грибного компонента микоризных окончаний, а также от биомассы тонких корней в том или ином почвенном горизонте.

Экспериментально доказан факт уменьшения длины простых микоризных окончаний в импактной зоне (ПП2) по сравнению с фоновой (ПП1), что ведет к снижению функциональных возможностей тонких корней *Picea abies*.

Зафиксирован факт уменьшения средней биомассы тонких корней с микоризными окончаниями по всему почвенному профилю в импактной зоне (ПП2) по сравнению с фоновой (ПП1). Это ведет к уменьшению функциональной части корневой системы *Picea abies*. Но в импактной зоне (ПП2) вся функциональная часть корневой системы сосредоточена в более глубоких почвенных горизонтах, что ведет к меньшей сезонной гибели микориз, и это можно считать компенсаторным механизмом в плане сохранения функциональной части корневой системы Ели обыкновенной в нарушенных местах ее существования. Данное явление можно использовать при создании технологий культивирования еловых лесных насаждений на почвах с нарушенным почвенным профилем.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта БРФФИ № Б16-147 «Реакция эктомикориз хвойных на техногенное загрязнение природных экосистем Белорусского Поозерья».

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. Селиванов, И.А. Микосимбиотрофизм как форма консортивных связей в растительном покрове Советского Союза / И.А. Селиванов. М., Наука, 1981. 232 с.
- 2. Смит, С.Э. Микоризный симбиоз / С.Э. Смит, Д.Дж. Рид; пер. с англ. Е.Ю. Ворониной. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2012. 776 с.
- Suvi, T. Ectomycorrhizal fungal diversity of birch in Tagamoisa wooded meadow and the adjacent forest. Master of Science Thesis / T. Suvi. Tartu, 2005. – 46 p.
- 4. Ishida, T.A. Host effects on ectomycorrhizal fungal communities: insight from eight host species in mixed conifer-broadleaft forests / T.A. Ishida, K. Nara, T. Hogetsu // New Phytol. 2007. Vol. 174. P. 430–440.
- 5. Walbert, K. Ectomycorrhiza of *Pinus radiate* (D. Don 1836) in New Zealand an above and belowground assessment / K. Walbert, T.D. Ramsfield, H.J. Ridgway, E.E. Jonaes // Australasian Mycologist. 2010. Vol. 29. P. 7–16.
- Smith, S.E. Roles of arbuscular mycorrhizas in plant nutrition and growth: new paradigms from cellular to ecosystem scales / S.E. Smith, F.A. Smith // Ann. Biol. – 2011. – Vol. 62. – P. 227–250.
- 7. Якушко, О.Ф. Геоморфология: учебник для студентов высш. учеб. заведений по специальностям «География», «Геоэкология» / О.Ф. Якушко, Ю.Н. Емельянов, Д.Л. Иванов. Минск: ИВЦ Минфина, 2011. 320 с.
- 8. Blaschke, H. Einflus von saurer Beregnung und Kalkung auf die Biomasse und Mykorrhizierung der Feinwurzeln von Fichten / H. Blaschke // Forstw. Cbl. 1986. Bd. 105. H. 4. S. 324–329.
- 9. Kocourek, R. Fine root and mycorrhizal biomass in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) Forest stands under different pollution stress / R. Kocourek, A. Bystřičan // Ecological and applied aspects of ecto- and endomycorrhizal associations. 1989. Pt. 1. P. 235–242.
- 10. Веселкин, Д.В. Морфологическая изменчивость и адаптивное значение эктомикориз хвойных (Pinaceae Lindl.): дис. ... д-ра биол. наук / Д.В. Веселкин. Екатеринбург, 2013. 491 с.

#### REFERENCES

- 1. Selivanov I.A. *Mikosimbiotrofizm kak forma consortivnikh sviazei v rastitelnom pokrove Sovetskogo Soyuza* [Mycosymbiotrofism as a Form of Consort Links in the Vegetation Cover of the Soviet Union], Moscow, Nauka, 1981, 232 p.
- 2. Smith S.E., Read D.J. Mikorizni simbioz [Mycoris Symbiosis], Moscow, Tovarishchestvo nauchnykh izdani KMK, 2012, 776 p.
- 3. Suvi, T. Ectomycorrhizal fungal diversity of birch in Tagamoisa wooded meadow and the adjacent forest. Master of Science Thesis / T. Suvi. Tartu, 2005. 46 p.
- 4. Ishida, T.A. Host effects on ectomycorrhizal fungal communities: insight from eight host species in mixed conifer-broadleaft forests / T.A. Ishida, K. Nara, T. Hogetsu // New Phytol. 2007. Vol. 174. P. 430–440.
- 5. Walbert, K. Ectomycorrhiza of *Pinus radiate* (D. Don 1836) in New Zealand an above and belowground assessment / K. Walbert, T.D. Ramsfield, H.J. Ridgway, E.E. Jonaes // Australasian Mycologist. 2010. Vol. 29. P. 7–16.
- 6. Smith, S.E. Roles of arbuscular mycorrhizas in plant nutrition and growth: new paradigms from cellular to ecosystem scales / S.E. Smith, F.A. Smith // Ann. Biol. 2011. Vol. 62. P. 227–250.
- 7. Yakushko O.F., Yemelianov Yu.N., Ivanov D.L. Geomorfologiya: uchebnik dlia studentov vysshikh uchebnykh zavedenii po spetsialnostiam «Geografiya», «Geoekologiya» [Geomorphology: University Student Textbook], Minsk, IVTs Minfina, 2011, 320 p.
- 8. Blaschke, H. Einflus von saurer Beregnung und Kalkung auf die Biomasse und Mykorrhizierung der Feinwurzeln von Fichten / H. Blaschke // Forstw. Cbl. Bd. 105. H. 4. 1986. S. 324–329.
- 9. Kocourek, R. Fine root and mycorrhizal biomass in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) Forest stands under different pollution stress / R. Kocourek, A. Bystřičan // Ecological and applied aspects of ecto- and endomycorrhizal associations. 1989. Pt. 1. P. 235–242.
- 10. Veselkin D.V. Morfologicheskaya izmenchivoct i adaptivnoye znacheniye ektomikoriz khvoinikh (Pinaceae Lindl.) Dissertatsiya na soiskaniye uchenoi stepeni doktora biologicheskikh nauk [Morphological Changeability and Adaptive Significance of Pinaceae Lindl., Dr.Sc. (Biology) Dissertation], Yekaterinburg, 2013, 491 p.

Поступила в редакцию 30.03.2018

Адрес для корреспонденции: e-mail: pavel kolmakov@list.ru – Колмаков П.Ю.