

УДК 504.054:539.16.04:630*173/174

Е.Н. Самошкин, И.Ю. Адамович

Брянская государственная инженерно-технологическая академия

Адамович Игорь Юрьевич родился в 1971 г., окончил в 1994 г. Брянский государственный педагогический институт, доцент кафедры садово-паркового и ландшафтного строительства Брянской государственной инженерно-технологической академии. Имеет 14 печатных трудов по изучению влияния ионизирующего излучения на микотрофность хвойных.

E-mail: BGITAkafSPLS@yandex.ru



ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ И СООТНОШЕНИЕ ПОДТИПОВ МИКОРИЗ *PICEA ABIES* L. В УСЛОВИЯХ ХРОНИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ РАДИОНУКЛИДАМИ В БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ

Стимулированы ростовые процессы микориз *Picea abies* L. при мощности экспозиционной дозы от $(159,4 \pm 7,6)$ до $(541,2 \pm 24,0)$ мкР/ч.

Ключевые слова: мощность экспозиционной дозы, микориза, *Picea abies* L.

После аварии на ЧАЭС около 11 тыс. км² земель Брянской области были загрязнены радионуклидами [2]. Создание лесных насаждений на этой территории позволит уменьшить дальнейшее распространение заражения.

Ель европейская (*Picea abies* L.) – один из наиболее радиочувствительных видов [3], отличается высокой микотрофностью, в корневом питании большая роль принадлежит эктомикоризам, особенно на бедных почвах или при неблагоприятных факторах [6]. Так, при химическом загрязнении наиболее повреждаются насаждения ели с малой встречаемостью грибов – симбионтов [5].

Цель наших исследований – изучить состояние корневых окончаний двухлетнего самосева ели в условиях хронического загрязнения радионуклидами после аварии на ЧАЭС.

Эксперименты поставлены в смешанных насаждениях (состав 2...8 Е, возраст 50...95 лет) с разным уровнем радиоактивного загрязнения (мощность экспозиционной дозы (МЭД) от $(10,0 \pm 0,4)$ до $(811,4 \pm 36,2)$ мкР/ч) в Красногорском участковом лесничестве ГУ «Клинцовское лесничество» и Учебно-опытном лесничестве Брянской области (табл. 1).

В исследуемых насаждениях закладывались опытные участки (ОУ), на которых дозиметрами ДРГ-01Т (точность до 0,001 мкР/ч) на высоте 1 м и на поверхности почвы измерялась МЭД гамма-излучения.

На ОУ отобрано и проанализировано 240 образцов корневых окончаний двухлетнего самосева ели. В каждой пробе определены плотность корневых окончаний (количество окончаний на 100 мм корня последнего порядка) и микоризность (процент микоризных корневых окончаний от их общего количества). На микротоме приготовлено 250 микросрезов микориз толщиной 5...10 мкм, которые без окрашивания были исследованы под микроскопами МБИ-6 и «Микмед» с видеоокуляром. Размеры элементов микориз определяли при помощи окуляра, оснащенного шкалой Гюйгенса. На поперечных срезах были изучены: общая толщина микориз, радиус корневого цилиндра, толщина паренхимы первичной коры и грибного чехла – по методике Д.В. Веселкина [1]; тип и подтип микоризы – по методике Т. Dominik, доработанной И.А. Селивановым [4] (табл. 2).

Таблица 1

Лесоводственная и радиационная характеристика объектов

Номер ОУ	Квартал/выдел	Состав	Возраст, лет	<i>D</i> , см/ <i>H</i> , м	Класс бонитета	Полнота	Общий запас, м ³ /га	Тип леса /ГЛУ	МЭД на поверхности почвы, мкР/ч	Удельная активность почвы, Бк/кг
Учебно-опытное лесничество										
9	61/3	7Е3С+Б	95	31,3/29,5	I	0,78	459	Кисз/С _{2,3}	11,8 ± 0,6	14,4
Красногорское участковое лесничество ГУ «Клинцовское лесничество»										
10	13/6	8С2Е+Б,Д	50	20,3/20,1	I	0,99	345	Бр/В ₂	41,8 ± 2,1	1 626,0
11	16/27	8С2Е+Б ед,Д	60	23,9/21,9	I	0,92	390	Бр/В ₂	159,4 ± 7,6	4 633,0
12	21/15	6Е3Ос1С+Д,Б ед.Кл	85	28,8/28,5	I	0,79	439	Кисз/С _{2,3}	193,2 ± 9,3	6 755,0
13	21/15	8Е1С1Б+Ос	85	27,9/26,7	I	0,73	402	Кисз/С _{2,3}	238,6 ± 6,7	9 468,0
14	11/35	6Е1С2Б1Ос	82	28,9/26,6	I	0,68	362	Кисз/С _{2,3}	273,6 ± 13,1	10 900,0
15	182	7Е3Сед.Б	81	29,9/26,3	I	0,67	351	Кисз/С _{2,3}	541,2 ± 24,0	28 680,0
16	182	5Е4С1Б	82	28,5/26,0	I	0,70	374	Кисз/С _{2,3}	811,4 ± 36,2	38 310,0

Таблица 2

Типы чехлов эктотрофных микориз ели европейской

Подтипы грибных чехлов	Краткое описание
Плектенхиматические с войлочным строением грибного чехла:	
A	Рыхлое неправильное соединение гифов с корнем
B	Поверхность грибного чехла гладкая или покрыта слабой бахромой
C	Грибной чехол покрыт ризоморфами
D	Грибной чехол покрыт щетинками
E	Грибной чехол покрыт множеством цистид
Псевдопаренхиматические:	
F	Поверхность грибного чехла гладкая или с одиночными гифами
H	Грибной чехол покрыт мягкими светлыми гифами
G	Грибной чехол покрыт жесткими тупоконечными гифами
Бесструктурный S	Микоризы бесструктурного сложения с гладкой поверхностью, более или менее однородные
Двойные:	
P	Наружный слой – светлый плектенхиматический, внутренний – темный псевдопаренхиматический
N	Наружный слой – темный псевдопаренхиматический, внутренний – светлый плектенхиматический
L	Наружный слой – плектенхиматический с ризоморфами, внутренний – псевдопаренхиматический той же окраски
K	Наружный слой – плектенхиматический коричневый гладкий, внутренний – псевдопаренхиматический иной окраски

Вся полученная экспериментально информация обработана статистически с использованием аналитических компьютерных программ Microsoft Excel; вычисленные $M \pm t$



Рис. 1. Микоризы ели

сравнивали с контролем по критерию Стьюдента t с учетом трех доверительных интервалов ($P = 95,0; 99,0; 99,9 \%$).

Микоризы ели (рис. 1) относятся к эктотрофным, имеют типичное строение (рис. 2): грибной чехол;

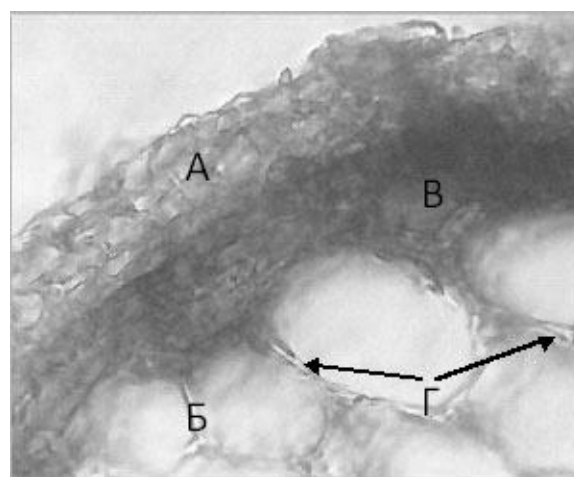


Рис. 2. Поперечный срез микоризы ели: А – грибной чехол, Б – паренхима первичной коры, В – танниновые клетки, Г – сеть Гартига

ярко выраженную, часто многослойную сеть Гартига; проникающие в межклетники нескольких слоев паренхимы первичной коры, имеющей танниновые клетки. Микоризность ели – высокая (97,2 %); количество корневых окончаний на 100 мм корня последних порядков – $(56,3 \pm 2,1)$ шт. Количество корневых окончаний, плотность микориз и микоризность загрязненных территорий недостоверно отличаются от контроля ($t_{\text{факт}} < t_{\text{табл}}$).

В относительно чистой зоне (ОУ 9 – контроль, МЭД = $(11,8 \pm 0,6)$ мкР/ч) обнаружено 10 подтипов микориз с различным анатомическим строением грибных чехлов (рис. 3): плектенхиматические (подтипы В, С, D, E), псевдопаренхиматические (F, H, G), двойные (P, L, K).

Наиболее распространены (63 %) плектенхиматические чехлы, преобладает подтип В. Вторые по количеству – псевдопаренхиматические чехлы, наиболее часто (17 %) встречается чехол F. Бесструктурные чехлы S не встречались, микориз с двойным чехлом только 10 %.

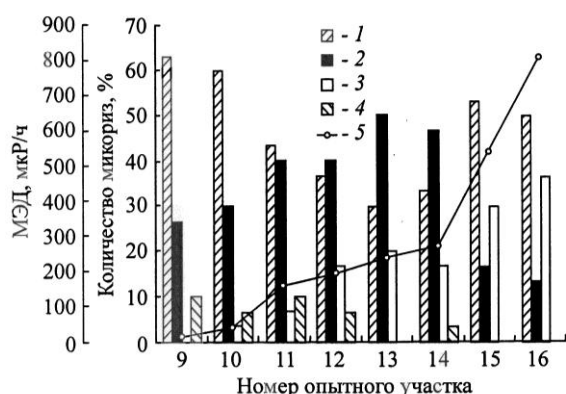


Рис. 3. Соотношение подтипов микориз (1–4) в зонах с разной МЭД (5): 1 – плектенхиматические; 2 – псевдопаренхиматические; 3 – бесструктурные; 4 – двойные

В зоне радиоактивного загрязнения обнаружены плектенхиматические (дополнительно отмечен подтип А), псевдопаренхиматические (подтипы те же, что и в относительно чистой

зоне), двойные (дополнительно – подтип N), бесструктурные (дополнительно – подтип S) подтипы микориз. Большая часть микориз сеянцев в контроле (ОУ 9), в зонах с самым низким (ОУ 10, МЭД = $(11,8 \pm 0,6)$ мкР/ч) и самыми высокими (ОУ 15, МЭД = $(541,2 \pm 24,0)$ мкР/ч; ОУ 16, МЭД = $(811,4 \pm 36,2)$ мкР/ч), уровнями загрязнения имеют плектенхиматические грибные чехлы, однако их количество снижено до 30 % на ОУ 13 (МЭД = $(238,6 \pm 6,7)$ мкР/ч) в сравнении с контролем (ОУ 9) на 63 %.

С усилением загрязнения количество микориз с плектенхиматическими чехлами снова увеличивается: в зоне максимального загрязнения (ОУ 16, МЭД = $(811,4 \pm 36,2)$ мкР/ч) оно составило 50 %. Преобладают микоризы с чехлом В (до 47 %), микоризы с чехлами С, D и E – редки (3...13 %), подтип А отмечен только на ОУ 15, 16, где самые высокие уровни загрязнения. На ОУ 12, 13, 14 (МЭД = $(193,2 \pm 9,3)$; $(238,6 \pm 6,7)$ и $(273,6 \pm 13,1)$ мкР/ч) микоризы с псевдопаренхиматическими чехлами преобладают (до 50 %), в контроле – только 27 %, что можно объяснить стимулирующим действием радиации, среди них наиболее распространены микоризы с чехлом F: на ОУ 12, 13, 14 – 30...47 %, на ОУ 16 – только 13 %, в контроле – 17 %. С ростом МЭД увеличивается количество микориз с бесструктурными чехлами S: при самом высоком загрязнении (МЭД = $(811,4 \pm 36,2)$ мкР/ч) – 37 %, в контроле их нет. Двойные чехлы (подтипы P, N, L, K) встречаются редко (до 10 %), в основном в контроле (ОУ 9) и при МЭД = $(41,8 \pm 2,1)$... $(193,2 \pm 9,3)$ мкР/ч (ОУ 10, 11, 12). В зонах с МЭД = $(541,2 \pm 24,0)$ мкР/ч и выше (ОУ 15, 16) эти микоризы не отмечены.

Микоризы с плектенхиматическими и псевдопаренхиматическими чехлами зафиксированы на всех ОУ в достаточном количестве, практически доминируют на большинстве ОУ, что

Таблица 3

Анализ анатомо-морфологического строения микоризных корневых окончаний ели европейской в радиоактивно загрязненной и относительно чистой зонах

Показатель	Значение показателя для ОУ							
	9	10	11	12	13	14	15	16
МЭД на почве, мкР/ч	11,8 ± 0,6	41,8 ± 2,1	159,4 ± 7,6	193,2 ± 9,3	238,6 ± 6,7	273,6 ± 13,1	541,2 ± 24,0	811,4 ± 36,2
Корневые окончания с плектенхиматическими грибными чехлами								
Толщина, мкм:								
корневого окончания	276,6 ± 12,3	286,5 ± 6,8	311,7 ± 9,4 *	313,8 ± 9,2*	294,0 ± 17,5	292,0 ± 12,9	282,5 ± 13,9	269,8 ± 11,7
грибного чехла	18,2 ± 0,9	20,0 ± 1,0	24,2 ± 0,8 ***	23,2 ± 0,9 ***	23,0 ± 1,5 *	20,1 ± 0,8	19,5 ± 1,2	20,9 ± 1,2
паренхимы корня	73,6 ± 3,1	75,9 ± 1,9	81,5 ± 2,9	84,5 ± 2,4 **	76,3 ± 5,8	77,5 ± 4,2	73,2 ± 4,6	67,6 ± 3,1
Радиус центрального цилиндра, мкм	46,5 ± 2,5	47,4 ± 1,5	50,2 ± 2,1	49,2 ± 2,5	47,6 ± 2,9	48,4 ± 2,0	48,5 ± 2,0	46,4 ± 2,2
Корневые окончания с псевдопаренхиматическими грибными чехлами								
Толщина, мкм								
корневого окончания	297,9 ± 8,9	318,1 ± 15,3	354,5 ± 16,6 *	352,7 ± 14,0 **	335,1 ± 14,6 *	340,9 ± 11,8**	301,5 ± 29,0	307,5 ± 6,2
грибного чехла	28,6 ± 1,0	29,2 ± 1,3	33,3 ± 1,8 *	34,2 ± 1,8 *	34,9 ± 2,9	30,2 ± 1,6	28,4 ± 1,6	27,5 ± 1,2
паренхимы корня	71,1 ± 2,9	76,1 ± 4,5	87,9 ± 3,7 **	88,4 ± 2,9 ***	81,7 ± 3,4 *	88,5 ± 4,3**	71,1 ± 8,8	74,0 ± 3,1
Радиус центрального цилиндра, мкм	49,2 ± 1,2	53,7 ± 3,6	56,1 ± 3,5	53,8 ± 3,7	51,0 ± 2,4	51,8 ± 2,1	51,37 ± 4,9	52,3 ± 2,4
* Достоверность различий с показателями контроля при $p = 95,0\%$.								
** « « « « « « 99,0 %.								
*** « « « « « « 99,9 %.								

позволяет проследить изменения их анатомо-морфологических показателей при различных уровнях загрязнения.

Показано значимое увеличение анатомо-морфологических показателей микориз. При МЭД = $(41,8 \pm 2,1)$ мкР/ч (ОУ 10) достоверных отличий от контроля не зафиксировано ($t_{\text{факт}} < t_{\text{табл}}$).

При МЭД = $(159,4 \pm 7,6)$ мкР/ч (ОУ 11) толщина корневого окончания микориз с плектенхиматическим грибным чехлом существенно ($t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$, $P = 95,0$ %) превышает контроль (табл. 3), в основном за счет увеличения толщины грибного чехла ($t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$, $P = 99,9$ %).

Толщина паренхимы первичной коры и радиус центрального цилиндра существенно не различаются с контролем. При МЭД = $(159,4 \pm 7,6)$ мкР/ч (ОУ 11) у микориз с псевдопаренхиматическим подтипом грибных чехлов толщина паренхимы первичной коры и толщина грибного чехла выше контроля. Однако радиус центрального цилиндра не имеет существенных отличий от контроля ($t_{\text{факт}} < t_{\text{табл}}$).

При МЭД = $(193,2 \pm 9,3)$ мкР/ч (ОУ 12) толщина корневого окончания микориз с плектенхиматическими грибными чехлами, грибного чехла и паренхимы первичной коры значимо превышают контроль; радиус центрального цилиндра с контролем не различается ($t_{\text{факт}} < t_{\text{табл}}$). На ОУ 12 толщина микориз с псевдопаренхиматическими грибными чехлами, грибного чехла, паренхимы первичной коры существенно выше контроля. Радиус центрального цилиндра существенно не отличается от контроля ($t_{\text{факт}} < t_{\text{табл}}$).

При МЭД = $(238,6 \pm 6,7)$ мкР/ч (ОУ 13) достоверно превышает контроль толщина корневого окончания, паренхима первичной коры у псевдопаренхиматических подтипов и толщина грибных чехлов у плектенхиматических подтипов микориз.

При МЭД = $(273,6 \pm 13,1)$ мкР/ч существенно выше контроля толщина корневого окончания и паренхимы первичной коры у псевдопаренхиматических подтипов микориз, у плектенхиматических значимых отличий от контроля не зафиксировано.

В опытах с МЭД = $(541,2 \pm 24,0)$... $(811,4 \pm 36,2)$ мкР/ч (ОУ 15, 16) анатомо-морфологические параметры микориз не отличаются от контроля ($t_{\text{факт}} < t_{\text{табл}}$).

Таким образом, стимулирующее влияние радиации на микоризы ели проявляется прежде всего при МЭД = $(159,4 \pm 7,6)$... $(541,2 \pm 24,0)$ мкР/ч по толщине грибного чехла (преимущественно у микориз с плектенхиматическим чехлом) и паренхиме первичной коры (в основном у микориз с псевдопаренхиматическим чехлом). При усилении загрязнения до $(541,2 \pm 24,0)$... $(811,4 \pm 36,2)$ мкР/ч активирующее действие не зафиксировано.

Выводы

Через 20 лет после аварии на ЧАЭС отмечена стимуляция ростовых процессов микориз при загрязнении $(159,4$... $541,2)$ мкР/ч, которая не проявляется при более высоких дозах. С ростом МЭД от 41,8 до 811,4 мкР/ч увеличивается количество бесструктурных чехлов S. При МЭД $> 541,2$ мкР/ч снижено количество микориз с двойными и псевдопаренхиматическими чехлами, в опытах с МЭД = $(159,4$... $541,2)$ мкР/ч увеличено количество псевдопаренхиматических подтипов чехлов.

Ведение постоянного мониторинга за ростом и развитием микориз в загрязненных насаждениях ели позволит определить среднюю дозу (МЭД около 540 мкР/ч и меньше) для начала работ по восстановлению исходных экосистем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Веселкин Д.В.* Анатомическое строение эктомикориз *Abies sibirica* Ledeb. и *Picea obovata* Ledeb. в условиях загрязнения лесных экосистем выбросами медеплавильного комбината // Экология. 2004. № 4. С. 90–98.

2. Природа и природные ресурсы Брянской области / Л.М. Ахромеев [и др.]. Брянск: БГПУ, 2001. 216 с.

3. Радиационный мониторинг леса / Ф.А. Тихомиров [и др.] // Тез. докл. I Всесоюз. радиобиол. съезда. Москва; Пушкино, 1989. Т.2. С. 538–539.

4. *Селиванов И.А.* Микосимбиотрофизм как форма консортивных связей в растительном покрове Советского Союза. М.: Наука, 1981. 232 с.

5. Belowground ectomycorrhizal communities in three Norway spruce stands with different degrees of decline in the Czech Republic / M. Peter [et al.] // Mycorrhiza. Feb 2008. N 10. P. 157–159.

6. Vertical distribution of an ectomycorrhizal community in upper soil horizons of a young Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) stand of the Bavarian Limestone Alps / R. Baier [et al.] // Mycorrhiza. Mar 2006. P. 197–206.

E.N. Samoshkin, I.Yu. Adamovich

Bryansk State Academy of Engineering and Technology

Specific Features of Structure and Correlation of *Picea abies* L. Mycorrhizae Subtypes under Chronic Pollution by Radionuclides

The growth processes of *Picea abies* L. micorrhizae are stimulated at the exposure rate of $159.4 \pm 7.6 \dots 541.2 \pm 24.0$ mkr/H.

Keywords: exposure rate, micorrhizae, *Picea abies* L.