

ПРИЖИВАЕМОСТЬ И МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ САЖЕНЦЕВ ЕЛИ ЕВРОПЕЙСКОЙ (*PICEA ABIES* L.), ОБРАБОТАННЫХ НИЗКОЧАСТОТНЫМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОЛЕМ И ПОСАЖЕННЫХ С ВНЕСЕНИЕМ ГИДРОГЕЛЯ

А.И. Смирнов¹, В.Ф. Никитин², А.А. Генералова², П.А. Аксенов²

¹ООО «Разносервис», 127051, г. Москва, Лихов пер., д. 10

²МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

axenov.pa@mail.ru

Представлены результаты исследования, свидетельствующие о явном положительном влиянии обработки саженцев ели европейской (*Picea abies* L.) низкочастотным электромагнитным полем и внесения в почву гидрогеля на увеличение их приживаемости, а также результаты сравнительного биометрического анализа, которые доказывают эффективность таких приемов. Проведен гистометрический анализ опытных и контрольных образцов саженцев ели европейской, подтвердивший также положительное влияние обработки саженцев ели низкочастотным электромагнитным полем на анатомическое строение их ксилемы.

Ключевые слова: низкочастотное электромагнитное поле (ЭМП), технология ПОСЭП, гидрогель, саженцы ели европейской, морфометрия, гистометрия

Ссылка для цитирования: Смирнов А.И., Никитин В.Ф., Генералова А.А., Аксенов П.А. Приживаемость и морфологические особенности саженцев ели европейской (*Picea abies* L.), обработанных низкочастотным электромагнитным полем и посаженных с внесением гидрогеля // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 5. С. 22–29. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-22-29

Для реализации программ воспроизводства лесных ресурсов необходим высококачественный посадочный материал с оптимальными биометрическими параметрами, которые обеспечат хорошую приживаемость, сохранность и высокие темпы роста лесных культур [1–3].

Актуальной задачей искусственного лесовыращивания является повышение качественных характеристик семян и сеянцев хозяйственно ценных древесных пород [4, 5], в частности ели европейской (*Picea abies* L.). Для решения этой задачи разработана и апробирована высокоэффективная и экологически безопасная технология ПОСЭП (предпосевная обработка семян и сеянцев электромагнитным полем) [6]. Эта технология позволяет существенно повысить посевные характеристики семян, усилить рост всходов, сеянцев и их приживаемость при посадке [7].

Для исследования увеличения приживаемости и роста сеянцев ели европейской кроме технологии ПОСЭП при посадке использовали внесение в почву гидрогеля — гранулированного полимерного абсорбента [8], выполняющего роль влагонакопителя и при внесении в почву удерживающего воду и растворенные в ней питательные вещества в зоне ризосферы растений [9], легко отдавая накопленную влагу и питательные вещества саженцам, что помогает им быстрее и лучше прижиться. При правильном внесении гидрогель удерживает удобрения, сохраняя их в доступной для корней зоне, улучшает водно-физические свойства почвы [10],

обеспечивает максимально благоприятные условия для роста и развития древесных пород в первые годы после посадки.

Цель работы

Цель работы — изучение влияния низкочастотного электромагнитного поля и гидрогеля на рост, увеличение приживаемости и анатомическое строение древесины саженцев ели европейской (*Picea abies* L.).

Объекты и методы исследования

Исследование проводилось в 2019 г. на территории Алексеевского лесничества Сергиево-Посадского района Московской обл.

В сравнениях участвовали две группы четырехлетних саженцев ели:

- первая группа: посадка д. Малинники;
- вторая группа: посадка д. Слабнево.

Каждая группа представлена тремя вариантами саженцев:

1) контрольные — саженцы не обработаны, гидрогель не внесен, посажены весной 2019 г. (200 шт.);

2) опыт-1 — саженцы обработаны ЭМП при посадке весной 2019 г. (200 шт.);

3) опыт-2 — саженцы посажены весной 2019 г., в лунку внесен гидрогель (200 шт.).

Согласно методике исследования [11], весной 2019 г. саженцы для варианта опыт-1 обрабатывали по технологии ПОСЭП низкочастотным генератором «Рост-Актив» [12] с частотой 16 Гц

с возрастающим значением индукции магнитного поля от 0,4 до 2,0 мТл и с экспозицией 11 мин. Контрольными служили необработанные саженцы. Посадку саженцев весной 2019 г. проводили в четырехкратной повторности [13] в подготовленные борозды по 50 шт.

В варианте опыт-2 в посадочные лунки предварительно вносили гидрогель, набухший в воде (из расчета 2 г сухого гидрогеля на одну лунку), и затем высаживали саженцы.

В конце сентября 2019 г. был сделан учет прижившихся саженцев на опытных и контрольных участках и проведены их измерения (рис. 1, 2).

Также была проведена выкопка контрольных и опытных саженцев для детальных исследований в лаборатории кафедры «Лесные культуры, селекция и дендрология» МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. Выполнялись измерения следующих биометрических показателей: высоты, диаметра саженца на уровне корневой шейки, массы корней надземной части и хвои в воздушно-сухом состоянии после высушивания в течение 15 сут и линейный прирост текущего года. Для определения средней массы частей саженцев использовались весы Аcom JW1. Замеры биометрических параметров саженцев проводились в количестве, достаточном для обеспечения точности среднестатистических показателей в пределах $\pm 5\%$.

Для проведения гистометрического анализа [14] поперечных срезов использована следующая методика. Из саженцев вырезали 1–2 см участки стволиков с корневой шейкой, которые подвергали действию размягчающей спиртоглицериновой смеси (соотношение компонентов 1:1) в течение 10 сут при температуре 25...30 °С [15]. Далее получали поперечные срезы с помощью микротомы МС-2 и окрашивали в соответствии с общепринятой методикой [16]. Изготовление временных глицериновых препаратов соответствовало методике [17]. Микроскопирование велось в прямом светопольном и поляризационном режимах на исследовательском биологическом микроскопе *Reichert Diavar*, снабженном окуляр-микрометром и поляризаторами. Использовали микрообъективы: Plan 4/0,1/160/-; S-Plan 10/0,25/160/-; S-Plan 40/0,65/160/0,17; S-Plan 63/0,8/160/0,17. Срезы ксилемы фотографировали с помощью цифрового фотоаппарата Sony DSC-WX30 через планкомпенсационный окуляр микроскопа. Измерение и подсчет структурных элементов годичных колец проводился по данным работы [18].

Для проверки достоверности полученных результатов руководствовались общепринятыми методиками статистической обработки [19] с использованием программ Microsoft Excel.



Рис. 1. Саженцы ели европейской (д. Малинники, сентябрь 2019 г): а — вариант с обработкой низкочастотным ЭМП; б — контрольный вариант

Fig. 1. European spruce seedlings (Malinniki village, September 2019): а — variant with low-frequency EMF treatment; б — control option

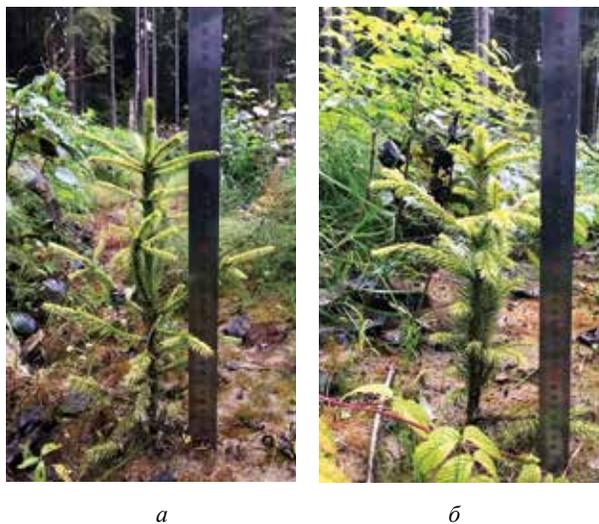


Рис. 2. Саженцы ели европейской (д. Слабнево, сентябрь 2019 г): а — вариант с внесением гидрогеля; б — контрольный вариант

Fig. 2. European spruce seedlings (village Slabnevo, September 2019): а — option with the introduction of a hydrogel; б — control option

Результаты и обсуждение

Анализ приживаемости саженцев осенью 2019 г. показал значительное превосходство опытных вариантов над контрольными (табл. 1).

Результаты исследований влияния ЭМП и гидрогеля на приживаемость саженцев ели европейской, выращиваемых в открытом грунте питомника, показали, что лучшим из вариантов оказалась обработка ЭМП (см. табл. 1).

Обработка ЭМП и добавление гидрогеля также оказали влияние на биометрические характеристики саженцев ели европейской (табл. 2).

Т а б л и ц а 1

Характеристика приживаемости саженцев ели европейской, обработанных низкочастотным ЭМП и гидрогелем (учет в сентябре 2019)

Characteristics of the survival ability of European spruce seedlings treated with low-frequency EMF and hydrogel (accounting in September 2019)

Место посадки	Варианты опыта	Число прижившихся саженцев из 200	Приживаемость ± ошибка доли, %
д. Малинники	Контрольные	148	74,0 ± 3,1
	Опыт-1	184	92,0 ± 1,9
	Опыт-2	178	89,0 ± 2,2
д. Слабнево	Контрольные	144	72,0 ± 3,2
	Опыт-1	186	93,0 ± 1,8
	Опыт-2	182	91,0 ± 2,0
Среднее по двум участкам	Контрольные	146	73,0 ± 3,1
	Опыт-1	185	92,5 ± 1,9
	Опыт-2	181	91,0 ± 2,1

В табл. 2 приведены средние арифметические значения биометрических характеристик саженцев ± ошибка средних арифметических; объемы сравниваемых выборок 25 шт.; стандартное значение t -критерия достоверности различий (t_{st}) = 2,011 при заданном уровне значимости (α) = 0,05; $t_{расч}$ — расчетный t -критерий достоверности различий между выборками; жирным шрифтом выделены значения $t_{расч}$, превышающие стандартное значение t -критерия.

По результатам осенних учетов проведено сравнение средних биометрических характеристик саженцев ели европейской в вариантах эксперимента: опыт-1 — ЭМП, опыт-2 — гидрогель и контрольные. Данные табл. 2 свидетельствуют о том, что обработка саженцев в опыте-1 и опыте-2 по всем показателям превышала контрольные. Различия большинства средних показателей опытов достоверны на 5%-м и более высоких уровнях значимости.

В конце вегетационного сезона в лаборатории кафедры лесных культур, селекции и дендрологии МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана был проведен сравнительный гистометрический анализ поперечных срезов контрольных и опытных стволиков саженцев ели европейской (табл. 3).

Т а б л и ц а 2

Средние биометрические характеристики саженцев ели европейской, обработанных ЭМП и гидрогелем (учет осенью 2019 г.)

Average biometric characteristics of European spruce seedlings treated with EMF and hydrogel (accounting in autumn 2019)

Место посадки	Варианты опыта	Диаметр у корневой шейки, мм	Высота саженца, см	Масса сухого растения, г	Масса сухих корней, г	Масса сухой надземной части без хвои, г	Масса сухой хвои, г
д. Малинники	Контрольный	4,02 ± 0,15	30,44 ± 1,42	8,98 ± 0,40	1,67 ± 0,08	2,95 ± 0,14	4,46 ± 0,17
	Относительно контрольного, %	100	100	100	100	100	100
	Опыт-1	5,38 ± 0,21	35,30 ± 1,76	14,55 ± 0,72	3,18 ± 0,13	4,69 ± 0,23	6,65 ± 0,32
	Относительно контрольного, %	133,8	115,9	162,0	190,4	159,0	149,1
	$t_{расч}$	5,20	2,15	6,71	9,64	6,34	5,99
	Опыт-2	5,05 ± 0,18	34,84 ± 1,49	14,10 ± 0,67	3,02 ± 0,15	4,50 ± 0,21	6,61 ± 0,27
	Относительно контрольного, %	125,6	114,4	157,0	180,8	152,5	148,2
	$t_{расч}$	4,35	2,14	6,52	7,78	6,02	6,69
д. Слабнево	Контрольный	3,86 ± 0,19	29,78 ± 1,14	9,41 ± 0,45	1,81 ± 0,09	3,10 ± 0,16	4,53 ± 0,22
	Относительно контрольного, %	100	100	100	100	100	100
	Опыт-1	5,17 ± 0,25	33,76 ± 1,57	13,76 ± 0,64	2,67 ± 0,13	4,60 ± 0,22	6,45 ± 0,33
	Относительно контрольного, %	133,0	113,4	146,2	147,5	148,4	142,4
	$t_{расч}$	4,15	2,05	5,54	5,39	5,48	4,85
	Опыт-2	4,73 ± 0,21	32,34 ± 1,50	12,59 ± 0,59	2,53 ± 0,12	4,26 ± 0,17	5,83 ± 0,25
	Относительно контрольного, %	122,5	108,6	133,8	139,8	137,4	128,7
	$t_{расч}$	3,09	1,36	4,25	4,80	4,86	3,88

Т а б л и ц а 3

Средние гистометрические характеристики вариантов опыта с саженцами ели европейской
Average histometric characteristics of experimental variants with European spruce seedlings

Место посадки	Варианты опыта	Гистометрический показатель	Среднее значение показателя радиального прироста 2019 г.	Относительно контрольных, %	$t_{расч}$
д. Малинники	Контрольные	Ширина годичного кольца, мм	0,198 ± 0,009	100,0	–
		Число сечений трахеид в радиальном ряду, ряд ⁻¹	13,20 ± 0,631	100,0	–
		Средний радиальный диаметр трахеиды, мкм	15,10 ± 0,717	100,0	–
	Опыт-1	Ширина годичного кольца, мм	0,672 ± 0,029	339,4	15,46
		Число сечений трахеид в радиальном ряду, ряд ⁻¹	36,30 ± 1,901	275,0	11,53
		Средний радиальный диаметр трахеиды, мкм	18,50 ± 0,904	122,5	2,95
	Опыт-2	Ширина годичного кольца, мм	0,559 ± 0,024	282,3	14,31
		Число сечений трахеид в радиальном ряду, ряд ⁻¹	30,00 ± 1,487	227,2	10,40
		Средний радиальный диаметр трахеиды, мкм	18,60 ± 0,891	123,2	3,06
д. Слабнево	Контрольные	Ширина годичного кольца, мм	0,146 ± 0,007	100,0	–
		Число сечений трахеид в радиальном ряду, ряд ⁻¹	9,90 ± 0,478	100,0	–
		Средний радиальный диаметр трахеиды, мкм	14,80 ± 0,697	100,0	–
	Опыт-1	Ширина годичного кольца, мм	0,604 ± 0,025	413,7	17,77
		Число сечений трахеид в радиальном ряду, ряд ⁻¹	32,20 ± 1,606	325,3	13,30
		Средний радиальный диаметр трахеиды, мкм	18,70 ± 0,850	126,4	3,55
	Опыт-2	Ширина годичного кольца, мм	0,451 ± 0,018	308,9	15,51
		Число сечений трахеид в радиальном ряду, ряд ⁻¹	24,40 ± 1,250	246,5	10,83
		Средний радиальный диаметр трахеиды, мкм	18,50 ± 0,921	125,0	3,20

В табл. 3 приведены средние арифметические значения гистометрических характеристик саженцев ± ошибка средних арифметических; объемы сравниваемых выборок 10 шт.; стандартное значение t -критерия достоверности различий ($t_{ст}$) = 2,101 при заданном уровне значимости (α) = 0,05; $t_{расч}$ — расчетный t -критерий достоверности различий между выборками; жирным шрифтом выделены значения $t_{расч}$, превышающие стандартное значение t -критерия.

Примеры особенностей микростроения участков последнего годичного кольца саженцев ели европейской из различных вариантов опыта приведены на рис. 3, 4.

Примеры особенностей микростроения участков последнего годичного кольца саженцев ели европейской из различных вариантов опыта приведены на рис. 3, 4.

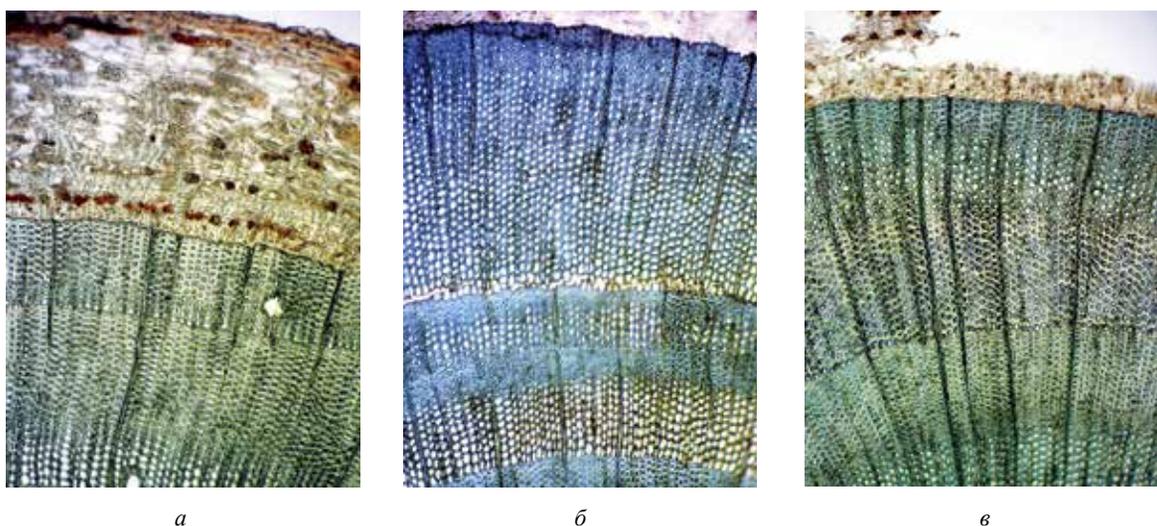


Рис. 3. Поперечные срезы стволиков саженцев ели европейской из посадок в д. Малинники (окрашено генцианвиолетом, одинаковое увеличение, объектив S-Plan 10/0,25/160/-): *a* — контроль; *б* — опыт-1; *в* — опыт-2

Fig. 3. Cross sections of the stems of European spruce seedlings from plantings in the village of Malinniki (stained with gentian violet, the same magnification, S-Plan 10 / 0.25 / 160 / - lens): *a* — control; *б* — experiment-1; *в* — experiment-2

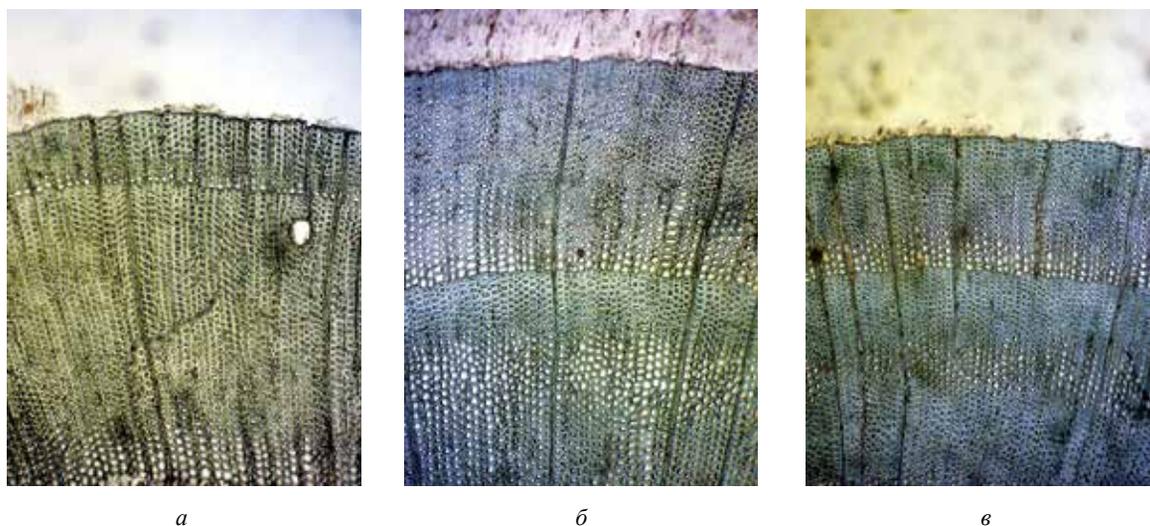


Рис. 4. Поперечные срезы стволиков саженцев ели европейской из посадок в д. Слабнево (окрашено генцианвиолетом, одинаковое увеличение, объектив S-Plan 10/0,25/160/-): *a* — контроль; *б* — опыт-1; *в* — опыт-2

Fig. 4. Cross sections of European spruce seedlings from plantings in the village of Slabnevo (stained with gentian violet, the same magnification, S-Plan 10 / 0.25 / 160 / - lens): *a* — control; *б* — experiment-1; *в* — experiment-2

Выводы

По данным гистометрических исследований можно сделать следующие выводы.

Обработка саженцев низкочастотным ЭМП при пересадке [20] перед последним вегетационным сезоном вызвала максимальное увеличение радиального прироста ксилемы. Увеличение ширины годичного кольца произошло как за счет усиления камбиальной активности, продуцирующей большее число клеток радиальных рядов трахеид (превышение опытных вариантов в среднем на 200 %), так и за счет изменений процессов роста первичных клеточных стенок дифференцирующихся трахеид, приводящих к повышению среднего радиального диаметра трахеальных элементов на 24 % по сравнению с контрольными. Отмечено образование очень крупных диаметров первых рядов ранних трахеид. На рис. 3, *б* наблюдается деформация этой части годичного кольца, вызванная нагрузкой, создаваемой режущей кромкой микротомного ножа. Протяженность зоны поздней древесины и средняя толщина клеточных стенок поздних трахеид годичного кольца ксилемы опытных вариантов заметно больше по сравнению с контрольными как при обработке ЭМП посадочного материала, так и при внесении гидрогеля.

Близкая по изменению гистометрических показателей ситуация складывается и с саженцами, высаженными с применением гидрогеля. По сравнению с контрольными растениями, опытные имели превышение ширины годичного кольца 2019 г. на 196 %, увеличение числа просветов

трахеид в среднем радиальном ряду на 137 % и повышение среднего радиального диаметра клеток на 24 %. Различия всех опытных и контрольных гистометрических показателей достоверны на 5%-м уровне значимости.

В целом по трем основным количественным гистометрическим показателям годичных колец, образованных в 2019 г., лидируют саженцы, предварительно обработанные низкочастотным ЭМП по технологии ПОСЭП по сравнению с вариантом опыта, где имело место внесение гидрогеля. Изменения этих показателей хорошо видны при сравнении микрофотографий поперечных срезов стволиков, приведенных на рис. 3 и 4. Нами отмечено, что у саженцев, обработанных ЭМП, помимо увеличения ширины годичного кольца ксилемы также наблюдалось значительное утолщение коры за счет более активного радиального роста в период вегетации 2019 г. Поэтому высокие значения диаметра у корневой шейки в опытных образцах саженцев ели являются суммарным результатом активного роста древесного кольца и коры (см. табл. 2). Значительных различий во встречаемости вертикальных смоляных ходов на единице площади поперечного сечения последнего годичного кольца у растений из разных вариантов опыта не выявлено, к концу периода вегетации 2019 г. наблюдалось некоторое увеличение смолистости коры стволиков ели, обработанной ЭМП.

Обобщая изложенное, отметим, что обработка ЭМП 4-летнего посадочного материала положительно повлияла на увеличение ключевых гистометрических показателей древесины

по сравнению с саженцами, культивируемыми с гидрогелем. Оба опытных варианта значительно превышают контрольные по сравниваемым параметрам. Обработка низкочастотным ЭМП по технологии ПОСЭП саженцев ели европейской, несомненно, дает значительные преимущества по скорости образования и качеству дифференцирующейся ксилемы, что, в свою очередь, положительно влияет на приживаемость и дальнейший рост саженцев.

Список литературы

- [1] Мелехов И.С. Лесоведение. М.: МГУЛ, 2002. 398 с.
- [2] Луганский Н.А., Залесов С.В., Азаренок В.А. Лесоводство. Екатеринбург: Уральский государственный лесотехнический университет, 2001. 320 с.
- [3] Пентелькина Н.В. Проблемы выращивания посадочного материала в лесных питомниках и пути их решения // Актуальные проблемы лесного комплекса. Вып. 31. Брянск: Брянская государственная инженерно-технологическая академия, 2012. С. 189–193.
- [4] Родин А.Р. Интенсификация выращивания лесопосадочного материала. М.: Агропромиздат, 1989. 78 с.
- [5] Romanas L. Effect of cold stratification on the germination of seeds // Physiology of forest seeds. The National Agricultural Research Foundation (NAGREF). Thessaloniki, Greece: Forest Research Institute, 1991, p. 20.
- [6] Смирнов А.И., Орлов Ф.С. Способ предпосевной обработки семян и устройство для его осуществления. Пат. № 2591969 РФ, заявитель и патентообладатель ООО «Разносервис», 2014. Бюл. № 20.
- [7] Смирнов А.И. Влияние низкочастотного электромагнитного поля на всхожесть семян и рост сеянцев сосны обыкновенной в питомниках зоны смешанных лесов: дис. ... канд. с.-х. наук. М., МГУЛ, 2016.
- [8] Sarvaš M, Pavlenda P., Takáčová E. Effect of hydrogel application on survival and growth of pine seedlings in reclamations // J. of forest science, 2007, v. 53 (5), pp. 204–209.
- [9] Мырзаханова М.Н., Кушкумбаева А.А. Инновационные возможности поддержания почвенного баланса различных сельскохозяйственных культур. Лондон: Междунар. академия наук и высшего образования, 2016. С. 14–16.
- [10] Данилова Т.Н., Козырева Л.В. Возможности использования гидрогелей для управления водообеспеченностью полей // Плодородие, 2008. № 6. С. 24–25.
- [11] Рекомендации по восстановлению искусственным и комбинированным способами хвойных и твердолиственных молодняков на землях лесного фонда (с базовыми технологическими картами на выполненные работы). Пушкино: ВНИИЛМ, 2015. 80 с.
- [12] Смирнов А.И., Орлов Ф.С. Устройство для предпосевной обработки посевного материала. Пат. № 155132 РФ, заявитель и патентообладатель ООО «Разносервис», 2014. Бюл. № 26.
- [13] Доспехов В.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Колос, 1985. 336 с.
- [14] Арсентьева Т.В. Сравнительно-анатомическое изучение древесины *J. communis* L. (Cupressaceae) в связи с изменением жизненных форм // Проблемы ботаники на рубеже 20–21 вв. СПб.: Ботанический институт РАН, 1998. Т. 1. С. 6.
- [15] Булыгин Н.Е., Ярмишко В.Т. Дендрология. М.: МГУЛ, 2001. 528 с.
- [16] De Lucas M., Etchells J.P. (Eds.) Xylem — Methods and Protocols. New York: Publishing Humana Press, 2017. 260 p.
- [17] Schweingruber F.H. Wood Structure and Environment (Springer Series in Wood Science). Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 2007, p 280
- [18] Ваганов Е.А., Шашкин А.В., Свищерская И.В., Высоцкая Л.Г. Гистометрический анализ роста древесных растений. Новосибирск: Наука, 1985. 108 с.
- [19] Свалов Н.Н. Вариационная статистика. М.: МГУЛ, 2001. 80 с.
- [20] Фирсов В.Ф., Чекмарев В.В., Левин В.А. Использование физических факторов и микроэлементов в повышении болезнеустойчивости и продуктивности возделываемых культур // Вопросы современной науки и практики, 2005. № 1. С. 19–26.

Сведения об авторах

Смирнов Алексей Иванович — канд. с.-х. наук, ООО «Разносервис», 3642737@mail.ru

Никитин Владимир Федорович — канд. с.-х. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), vfnikitin@mgul.ac.ru

Генералова Анна Александровна — магистрант, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал)

Аксенов Петр Андреевич — канд. с.-х. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), axenov.pa@mail.ru

Поступила в редакцию 30.04.2021.

Принята к публикации 21.05.2021.

EUROPEAN SPRUCE (*PICEA ABIES* L.) SURVIVAL ABILITY AND MORPHOLOGICAL TRAITS OF SEEDLINGS TREATED WITH LOW-FREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELD AND PLANTED WITH HYDROGEL APPLICATION

A.I. Smirnov¹, V.F. Nikitin², A.A. Generalova², P.A. Aksenov²

¹LLC Raznoservice, 10, Likhov per., 127051, Moscow, Russia

²BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

axenov.pa@mail.ru

The results of the study indicate a clear positive effect of the low-frequency electromagnetic field and hydrogel on the increase in the survival rate of experimental samples of European spruce seedlings (*Picea abies* L.) treated with BOT technology in relation to the control samples. The results of comparative biometric analysis are presented, which prove the effectiveness of methods of processing spruce seedlings with a low-frequency electromagnetic field and applying hydrogel to the soil. The histometric analysis of experimental and control samples of European Spruce seedlings confirmed the positive effect of the low-frequency electromagnetic field on the anatomical structure of the xylem of seedlings treated using the BOT technology.

Keywords: low-frequency electromagnetic field (EMF), BOT technology, Hydrogel, European spruce seedlings, morphometry, histometry

Suggested citation: Smirnov A.I., Nikitin V.F., Generalova A.A., Aksenov P.A. *Prizhivaemost' i morfologicheskie osobennosti sazhentsev eli evropeyskoy (Picea abies L.), obrabotannykh nizkochastotnym elektromagnitnym polem i posazhennykh s vneseniem gidrogelya* [European spruce (*Picea abies* L.) survival ability and morphological traits of seedlings treated with low-frequency electromagnetic field and planted with hydrogel application]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 5, pp. 22–29. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-22-29

References

- [1] Melekhov I.S. *Lesovedenie* [Forestry]. Moscow: MGUL, 2002, 398 p.
- [2] Luganskiĭ N.A., Zalesov S.V., Azarenok V.A. *Lesovodstvo* [Forestry]. Ekaterinburg: UGLTA, 2001, 320 p.
- [3] Pentel'kina N.V. *Problemy vyrashchivaniya posadochnogo materiala v lesnykh pitomnikakh i puti ikh resheniya* [Problems of growing planting material in forest nurseries and ways to solve them]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* [Actual problems of the forest complex]. Issue 31. Bryansk: BGITA, 2012, pp. 189–193.
- [4] Rodin A.R. *Intensifikatsiya vyrashchivaniya lesoposadochnogo materiala* [Intensification of the cultivation of forest planting material]. Moscow: Agropromizdat, 1989, 78 p.
- [5] Romanas L. *Effect of cold stratification on the germination of seeds* [Effect of cold stratification on the germination of seeds]. *Physiology of forest seeds*. The National Agricultural Research Foundation (NAGREF). Thessaloniki, Greece: Forest Research Institute, 1991, p. 20.
- [6] Smirnov A.I., Orlov F.S. *Sposob predposevnoy obrabotki semyan i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya* [Method for pre-sowing seed treatment and device for its implementation]. Pat. no. 2591969 RF, applicant and patentee LLC «Raznoservice», 2014. Bul. no. 20.
- [7] Smirnov A.I. *Vliyaniye nizkochastotnogo elektromagnitnogo polya na vskhozhest' semyan i rost seyantsev sosny obyknovennoy v pitomnikakh zony smeshannykh lesov* [Influence of low-frequency electromagnetic field on seed germination and growth of Scots pine seedlings in nurseries of mixed forest zone]. *Dis. Sci. Cand. (Agric.)*. Moscow, MGUL, 2016.
- [8] Sarvaš M, Pavlenda P., Takáčová E. Effect of hydrogel application on survival and growth of pine seedlings in reclamations. *J. of forest science*, 2007, v. 53 (5), pp. 204–209.
- [9] Myrzakhanova M.N., Kushkumbaeva A.A. *Innovatsionnye vozmozhnosti podderzhaniya pochvennogo balansa razlichnykh sel'skokhozyaystvennykh kul'tur* [Innovative possibilities for maintaining the soil balance of various crops]. London: Int. Academy of Sciences and Higher Education, 2016, pp. 14–16.
- [10] Danilova T.N., Kozyreva L.V. *Vozmozhnosti ispol'zovaniya gidrogeley dlya upravleniya vodoobespechennost'yu poley* [Possibilities of using hydrogels to control water availability in fields]. *Plodorodie* [Fertility], 2008, no. 6, pp. 24–25.
- [11] *Rekomendatsii po vosstanovleniyu iskusstvennykh i kombinirovannykh sposobami khvoynykh i tverdolistvennykh molodnyakov na zemlyakh lesnogo fonda (s bazovymi tekhnologicheskimi kartami na vypolnenie rabot)* [Recommendations for the restoration by artificial and combined methods of coniferous and hard-leaved young stands on the lands of the forest fund (with basic technological maps for work performance)]. Pushkino: VNIILM, 2015, 80 p.
- [12] Smirnov A.I., Orlov F.S. *Ustroystvo dlya predposevnoy obrabotki posevnoy materiala* [Device for pre-sowing treatment of seed]. Pat. no. 155132 RF, applicant and patentee LLC «Raznoservice», 2014. Bul. no. 26.
- [13] Dospikhov V.A. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* [Field experiment methodology (with the basics of statistical processing of research results)]. Moscow: Kolos, 1985, 336 p.
- [14] Arsent'eva T.V. *Sravnitel'no-anatomicheskoe izuchenie drevesiny J. communis L. (Cupressaceae) v svyazi s izmeneniyem zhiznennykh form* [Comparative anatomical study of *J. communis* L. (*Cupressaceae*) wood in connection with changes in life forms]. *Problemy botaniki na rubezhe 20–21 vv.* [Problems of botany at the turn of the 20th–21st centuries]. St. Petersburg: Botanical Institute RAS, 1998, v. 1, p. 6.

- [15] Bulygin N.E., Yarmishko V.T. *Dendrologiya* [Dendrology]. Moscow: MSFU, 2001, 528 p.
- [16] De Lucas M., Etchells J.P. (Eds.) *Xylem — Methods and Protocols*. New York: Publishing Humana Press, 2017, 260 p.
- [17] Schweingruber F.H. *Wood Structure and Environment* (Springer Series in Wood Science). Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 2007, p. 280.
- [18] Vaganov E.A., Shashkin A.V., Sviderskaya I.V., Vysotskaya L.G. *Gistometricheskii analiz rosta drevesnykh rastenii* [Histometric analysis of the growth of woody plants]. Novosibirsk: Nauka, 1985, 108 p.
- [19] Svalov N.N. *Variatsionnaya statistika* [Variational statistics]. Moscow: MSFU, 2001, 80 p.
- [20] Firsov V.F., Chekmarev V.V., Levin V.A. *Ispol'zovanie fizicheskikh faktorov i mikroelementov v povyshenii bolezneustoychivosti i produktivnosti vozdeleyvaemykh kul'tur* [The use of physical factors and microelements in increasing disease resistance and productivity of cultivated crops]. *Voprosy sovremennoy nauki i praktiki* [Questions of modern science and practice], 2005, no. 1, pp. 19–26.

Authors' information

Smirnov Aleksey Ivanovich — Cand. Sci. (Agriculture), LLC «Raznoservis», 3642737@mail.ru

Nikitin Vladimir Fedorovich — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), vfnikitin@mgul.ac.ru

Generalova Anna Aleksandrovna — Master graduand of the BMSTU (Mytishchi branch)

Aksenov Petr Andreevich — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), axenov.pa@mail.ru

Received 30.04.2021.

Accepted for publication 21.05.2021.