

ПРИЖИВАЕМОСТЬ И РОСТ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ НИЗКОЧАСТОТНЫМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

А.И. Смирнов¹, Ф.С. Орлов¹, П.А. Аксенов², С.Б. Васильев²

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 исследований, проведенных в Правдинском питомнике Пушкинского лесотехнического техникума Московской обл. и в лаборатории кафедры «Лесные культуры, селекция и дендрология» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал) с мая 2015 г. по сентябрь 2019 г. Результаты исследования подтвердили значительное преимущество опытных показателей над контролем. Таким образом, обработка семян и двухлетних сеянцев сосны обыкновенной низкочастотным электромагнитным полем по технологии ПОСЭП, в целом, оказала положительное влияние не только на их приживаемость, и биометрические параметры, но и на их анатомическую структуру. Основываясь на результатах проведенных исследований, можно утверждать, что технология ПОСЭП — это эффективный метод физического воздействия на приживаемость и ускорение роста сеянцев сосны обыкновенной.

Ключевые слова: приживаемость сеянцев, технология ПОСЭП, *Pinus sylvestris*, лесные культуры

Ссылка для цитирования: Смирнов А.И., Орлов Ф.С., Аксенов П.А., Васильев С.Б. Приживаемость и рост сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) после обработки низкочастотным электромагнитным полем // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 2. С. 25–34. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-2-25-34

Одним из важнейших путей воспроизводства высокопродуктивных лесов является создание лесных культур. Искусственное лесовосстановление во многом зависит от качества выбранного посадочного материала, а также от технологии создания культур [1, 2]. В современной практике ведения лесного хозяйства при облесении вырубок в различных лесных зонах часто не все стандартные и качественные сеянцы полноценно приживаются [3–5]. Приживаемость посадочного материала можно рассматривать как один из основных показателей эффективности агротехники искусственного лесовосстановления [6, 7].

На сегодняшний день исследования физических приемов агротехники, направленных на повышение приживаемости и роста сеянцев сосны обыкновенной, практически не проводятся.

В 2012 г. авторами настоящей статьи разработана и успешно опробована новая технология, применяемая при выращивании лесокультурного материала — технология ПОСЭП (предпосевная обработка семян и сеянцев электромагнитным полем) и создан прибор Рост-Актив — генератор низкочастотного электромагнитного поля (ЭМП) [8, 9]

Исследование приживаемости и роста сеянцев было направлено на подтверждение ранее полученных результатов (2014), когда обработанные ЭМП двухлетние сеянцы сосны обыкновенной были высажены на песчаных отвалах после добычи фосфоритов в Виноградовском лесничестве, т. е. на землях подлежащих рекультивации [10–13]. Приживаемость по этим опытам составила 70 % (контроль — 30 %). Весной 2015 г.

исследования приживаемости двухлетних сеянцев сосны обыкновенной продолжались в открытом грунте Правдинского питомника Пушкинского лесотехнического техникума Московской обл. В течение 5 лет нами изучалось влияние низкочастотного ЭМП на рост, развитие и приживаемость сеянцев сосны обыкновенной. Наблюдения велись на разных этапах: от обработки семян ЭМП, посева в посевном отделении, выхода однолетних сеянцев в посевном отделении до пересадки уже двухлетних сеянцев, обработанных ЭМП, в школьное отделение Правдинского питомника на доращивание до пятилетнего возраста. Как и во всех исследованиях, обработка семян и сеянцев ЭМП проводилась прибором Рост-Актив — генератором низкочастотного ЭМП по технологии ПОСЭП. Было отмечено, что стимулирующий эффект ЭМП имеет пролонгированное действие как минимум в течение 3 лет после обработки посадочного материала. [14]

В лаборатории кафедры «Лесные культуры, селекция и дендрология» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал) в сентябре 2019 г. был проведен гистометрический анализ, который также показал положительное влияние обработки ЭМП на анатомическое строение сеянцев сосны обыкновенной.

Цель работы

Цель работы — определение эффективности влияния низкочастотного ЭМП на всхожесть семян, рост и приживаемость двухлетних сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.).

Объекты и методы исследования

Исследования проводились в 2015–2019 гг. в Правдинском питомнике Пушкинского лесотехнического техникума Московской обл. и в лаборатории кафедры «Лесные культуры, селекция и дендрология» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал). Объектами исследования послужили всходы сосны обыкновенной, выращенные из семян, обработанных ЭМП и двухлетние сеянцы сосны обыкновенной, выращенные из этих семян в посевном отделении питомника.



Рис. 1. Выход однолетних сеянцев сосны обыкновенной, обработанных ЭМП (сентябрь 2015) в посевном отделении Правдинского питомника (опытная площадка)

Fig. 1. The annual seedlings of Scots pine harvest, treated with EMF (September 2015) in the sowing department of the Pravdinsky nursery (trial plot)



Рис. 2. Посадка обработанных электромагнитным полем двухлетних сеянцев сосны обыкновенной (май 2017) в школьное отделение Правдинского питомника

Fig. 2. Planting two-year-old Scots pine seedlings treated with an electromagnetic field (May 2017) in the school department of the Pravdinsky nursery

В мае 2015 г. семена сосны обыкновенной 3-го класса качества были обработаны низкочастотным ЭМП [15, 16] по технологии ПОСЭП, после чего посеяны на подготовленных опытных площадках в посевном отделении Правдинского питомника. На контрольных площадках были посеяны необработанные семена. Протяженность как опытного, так и контрольного участка составляла 8 м посевной гряды. Посев осуществлен по 5-строчной схеме при норме высева 2 г/пог. м. в 4-кратной повторности. В течение вегетационного сезона на посевах проводились все необходимые мероприятия по аграрному уходу: прополка, подкормка минеральными удобрениями, обработка фунгицидами (рис. 1).

В конце вегетационного периода 2015 г. (середина сентября) после проведения всех запланированных мероприятий провели учет однолетних сеянцев на опытных и контрольных площадках посевов и отобрали сеянцы для замера биометрических показателей. Число сеянцев, отобранных методом случайной выборки для измерений, составило 30 шт. для опыта и 30 шт. для контроля.

В целях проведения дальнейших исследований на приживаемость в мае 2017 г. провели выкопку и измерили биометрические показатели двухлетних сеянцев сосны. Отобранные сеянцы пересадили в школьное отделение Правдинского питомника, где для этого были заложены опытные и контрольные посадочные гряды, подготовленные плугом ПКЛ-70 — 6 гряд по 50 м каждая. Для посадки методом случайной выборки отобрали 300 сеянцев: по 150 шт. для опыта и контроля. Перед посадкой опытные сеянцы обрабатывали низкочастотным генератором Рост-Актив по технологии ПОСЭП частотой 16 Гц с возрастающим значением индукции ЭМП от 0,4 до 2,0 мТл с экспозицией 11 мин. Посадку сеянцев проводили в трехкратной повторности в подготовленные борозды по 50 шт. с помощью меча Колесова и шагом посадки 1 м (рис. 2).

В конце вегетационного сезона в сентябре 2019 года были проведены учеты приживаемости и биометрических показателей саженцев сосны обыкновенной на опытных и контрольных участках школьного отделения в Правдинском питомнике. В лаборатории кафедры «Лесные культуры, селекция и дендрология» выполняли измерения следующих биометрических показателей: высоты и диаметра саженца у корневой шейки, массы корней и надземной части в воздушно-сухом состоянии после высушивания в течение 15 дней, годичного прироста осевого побега. Для определения средней массы частей сеянцев использовали весы Аcom JW1. Точность линейных измерений составила ± 1 мм при определении линейного прироста и $\pm 0,1$ мм при измерении

диаметров; точность определения массы составила ± 10 мг. Число саженцев каждого варианта, отобранных методом случайной выборки для замеров биометрических параметров, составило 22 шт., что является достаточным для обеспечения точности среднестатистических показателей в пределах 5 %.

Для проведения гистометрического анализа поперечных срезов использована методика, состоящая из следующих этапов:

1) отбор модельных сеянцев из групп «Обработанные ЭМП» и «Контрольные»;

2) маркировка, упаковка и транспортировка сеянцев в лабораторию;

3) определение места положения корневой шейки на оси корень — стебель, путем отложения расстояния от первых боковых корней;

4) разрезание сеянца поперек оси стебля на уровне корневой шейки;

5) зачистка поперечной поверхности торцевого среза стебля сеянца с помощью бритвы;

6) получение поперечных срезов с помощью микротомы МС-2 и окраска в соответствии с общепринятой методикой;

7) изготовление временных глицериновых препаратов в соответствии с общепринятой методикой;

8) микроскопирование в прямом светопольном и поляризационном режимах на исследовательском биологическом микроскопе Jenoval (Carl Zeiss), снабженным окуляр-микрометром и поляризаторами, микрообъективами: GF-Plan 3,2/0,06/ ∞ /-, GF-Plan 12,5/0,25/ ∞ /-, GF-Plan 25/0,5/ ∞ /0,17, GF-Plan 40/0,65/ ∞ /0,17, GF-Plan HI 100/1,25/160/0,17; срезы древесины фотографировали с помощью микрофотонасадки;

9) определение гистометрических характеристик древесины на поперечных срезах представленных вариантов сеянцев (особенностей прироста ксилемы, параметров трахеид и вертикальных смоляных ходов) [17].

Для проверки достоверности полученных результатов руководствовались общепринятыми методиками статистической обработки [18] и использовали программу Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение

В мае 2015 г. семена сосны обыкновенной 3-го класса качества были обработаны низкочастотным ЭМП по технологии ПОСЭП, после чего посеяны на подготовленных опытных и контрольных площадках в посевном отделении Правдинского питомника (табл. 1). В результате учета выявлено, что предпосевная обработка ЭМП семян сосны 3-го класса способствовала выходу 84 шт. однолетних сеянцев на 1 пог. м., что соответствует показателям 2-го класса качества семян.

Т а б л и ц а 1

Учет выхода и биометрические параметры однолетних сеянцев сосны в Правдинском питомнике

Yield and biometric parameters of annual pine seedlings in the Pravdinsky nursery

Вариант опыта	Количество сеянцев, шт./пог. м	Высота надземной части, см	Длина корня, см
Группа «Контрольные»	71,1 \pm 2,55	3,5 \pm 0,11	8,2 \pm 0,26
Группа «Обработанные ЭМП»	84,2 \pm 3,26	5,0 \pm 0,18	9,8 \pm 0,35
Процент к контролю	118	143	120
t_{st}	2,01	2,00	2,00
$t_{расч}$	3,14	7,11	3,67

Примечание. Приведены средние арифметические значения биометрических характеристик саженцев \pm ошибка средней арифметической; объемы сравниваемых выборок: для определения выхода посадочного материала с 1 пог. м. — 25 пог. м. для опыта и 25 пог. м. для контроля; для измерения линейных характеристик — 30 шт. для опыта и 30 шт. для контроля; t_{st} — стандартное значение t -критерия достоверности различий при заданном уровне значимости $\alpha = 0,05$; $t_{расч}$ — расчетный t -критерий достоверности различий между выборками; жирным шрифтом выделены значения $t_{расч}$, превышающие стандартное значение t -критерия (здесь и далее).

Т а б л и ц а 2

Биометрические параметры двухлетних сеянцев сосны обыкновенной в Правдинском питомнике. Май 2017 г.

Biometric parameters of two-year-old Scots pine seedlings in the Pravdinsky nursery. May 2017

Вариант опыта	Высота надземной части, см	Длина корня, см	Диаметр стебля у корневой шейки, мм	Масса сеянца в воздушно-сухом состоянии, г
Группа «Контрольные»	12,5 \pm 0,53	9,4 \pm 0,47	4,1 \pm 0,20	1,6 \pm 0,07
Группа «Обработанные ЭМП»	23,1 \pm 1,10	14,7 \pm 0,55	4,2 \pm 0,22	2,6 \pm 0,11
Процент к контролю	185	156	103	162
$t_{расч}$	8,68	7,32	0,34	7,67

Примечание. Приведены средние арифметические значения биометрических характеристик саженцев \pm ошибка средней арифметической; объемы сравниваемых выборок — 30 шт.; стандартное значение t -критерия достоверности различий $t_{st} = 2,002$ при заданном уровне значимости $\alpha = 0,05$.

По результатам проведенных учетов (см. табл. 1), следует, что максимальное количество сеянцев на 1 пог. м составило 84 шт. в группе «Обработка ЭМП» и превышало группу «Контрольные» на 18 %, показатель высоты — на 43 % и составил 5,0 см при 3,5 см в группе «Контрольные». Также положительно обработка семян ЭМП отразилась на росте корней, длина их была больше на 20 %, чем в «Контрольных».

В конце вегетационного сезона (сентябрь 2017 г.) были проведены учеты биометрических параметров двухлетних сеянцев для последующей пересадки в школьное отделение (табл. 2).

Из табл. 2 следует, что обработка семян низкочастотным ЭМП имеет пролонгированное действие, все биометрические параметры, кроме диаметра стебля у корневой шейки двухлетних сеянцев сосны, выращенные из семян, обработанных ЭМП, превышали контрольные показатели [19, 20]. Линейные размеры надземной и подземной частей сеянцев выше у опытных сеянцев более чем на 50 % по сравнению с контрольными. Увеличение массы опытных сеянцев на 62 % достигалось как за счет увеличения главных органов, так и за счет более густого охвоения обработанного ЭМП варианта.

В конце вегетационного сезона 2019 г. проводились учеты пятилетних саженцев сосны на опытных и контрольных участках школьного отделения в Правдинском питомнике Пушкинского лесотехнического техникума. Анализ приживаемости сеянцев осенью 2019 г. показал значительное превосходство опытных вариантов над контрольными (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Характеристика приживаемости двухлетних сеянцев сосны, обработанных ЭМП, (учет в сентябре 2017 г.)

The survival rate of two-year-old pine seedlings treated with EMF (in September 2017)

Вариант опыта	Число учтенных сеянцев при посадке, шт.	Число прижившихся сеянцев, шт.	Приживаемость, % ± ошибка доли, %
Группа «Контрольные»	150	108	72 ± 3,7
Группа «Обработанные ЭМП»	150	144	96 ± 1,6

Результаты изучения влияния ЭМП на приживаемость сеянцев сосны, выращиваемых в открытом грунте школьного отделения питомника, указывают на то, что наблюдаемую разницу между контрольными и опытными образцами, составляющую 24 %, можно объяснить стимулирующим действием ЭМП. [21, 22]

В конце вегетационного периода 2019 г. проводились учеты пятилетних саженцев сосны на опытных и контрольных участках школьного отделения в Правдинском питомнике Пушкинского лесотехнического техникума (табл. 4).

Из табл. 4 следует, что обработка семян и сеянцев низкочастотным ЭМП имеет эффективное пролонгированное действие, все биометрические параметры пятилетних сеянцев сосны, выращенные из семян обработанных ЭМП, превышали все контрольные показатели [23].

Анализ приживаемости сеянцев осенью 2019 г. показал значительное превосходство опытных вариантов над контрольными.

Общий вид среднестатистических саженцев из двух вариантов эксперимента представлен на рис. 3 и 4.

В лабораторных условиях кафедры «Лесные культуры, селекция и дендрология» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал) проведен сравнительный анатомический анализ опытной и контрольной группы сеянцев. Результаты сравнительных гистометрических исследований, проведенных на поперечных срезах, сделанных на уровне корневой шейки, представлены в табл. 5.

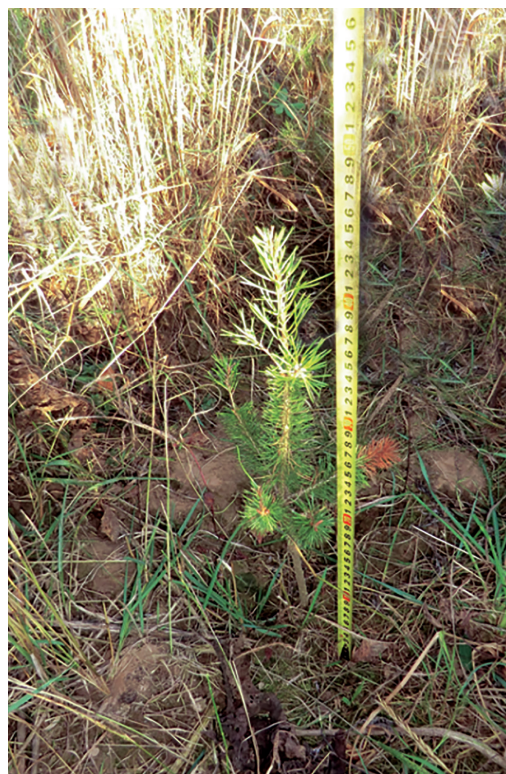
Ширина годичного кольца у сравниваемых вариантов значительно варьирует независимо от обработки ЭМП. По всей видимости, это связано с неоднородностью условий вегетационных периодов как по климатическим изменениям, так и по применяемым агротехническим приемам и уходам. Более подробно изменчивость радиального прироста можно рассмотреть на гистограмме (рис. 5) отражающей средние колебания ширины годичных колец с 2015 по 2019 г.

Из рис. 5 видно, что в первые два года жизни сосен разница в ширине кольца незначительна. После обработки ЭМП одной группы сеянцев весной 2017 г. наблюдается увеличение ширины годичного кольца за вегетационный сезон 2017 г., далее в 2018 г. величина радиальных приростов становится наибольшей и составляет 220 % относительно контрольной группы с последующим уменьшением различий в 2019 г. Гистограмма рис. 5 показывает стойкое увеличение ширины годичных колец опытной группы сеянцев в течение трех последующих после обработки ЭМП вегетационных периодов. Различия средних показателей ширины радиальных приростов за последние 3 года исследуемых вариантов сеянцев достоверны на уровне значимости 5 % (см. табл. 3).

Подсчет числа сечений трахеид в радиальных рядах годичных колец выявил увеличение этого показателя у опытной группы саженцев на 20 % за последние 3 года. Однако статистически достоверность различий средних показателей не подтвердилась из-за ограниченной выборки.



a



б

Рис. 3. Саженьцы сосны обыкновенной (сентябрь 2018 г.): *a* — опытный (обработанный ЭМП); *б* — контрольный
Fig. 3. Scots pine seedlings (September 2018): *a* — experimental (treated with EMF); *б* — controlled



a



б

Рис. 4. Саженьцы сосны обыкновенной (октябрь 2019 г.): *a* — опытный (обработанный ЭМП); *б* — контрольный
Fig. 4. Scots pine seedlings (October 2019): *a* — experimental (treated with EMF); *б* — controlled

Т а б л и ц а 4

Средние биометрические параметры саженцев, обработанных ЭМП, по сравнению с контрольными (учет в сентябре 2019 г.)

Average biometric parameters of seedlings treated with EMF, in comparison with the control (in September 2019)

Вариант опыта	Высота саженцев, см	Диаметр корневой шейки, мм	Протяженность последнего линейного прироста осевого побега, см	Масса сухого растения, г	Масса сухой надземной части, г	Масса сухих корней, г	Масса сухой хвои, г
Группа «Контрольные»	58,5 ± 1,37	9,9 ± 0,32	8,9 ± 0,35	28,97 ± 0,87	21,43 ± 0,76	7,87 ± 0,36	7,92 ± 0,31
Группа «Обработанные ЭМП»	72,2 ± 2,76	11,7 ± 0,38	12,7 ± 0,46	48,9 ± 2,54	35,4 ± 1,58	12,7 ± 0,63	14,1 ± 0,57
Процент к контролю	123,5	118,3	142,7	168,8	165,1	162,0	178,2
$t_{расч}$	4,45	3,62	6,57	7,42	7,97	6,67	9,52

Примечание. Приведены средние арифметические значения биометрических характеристик саженцев ± ошибка средней арифметической; объемы сравниваемых выборок — 22 шт.; стандартное значение t -критерия достоверности различий $t_{ст} = 2,018$ при заданном уровне значимости $\alpha = 0,05$.

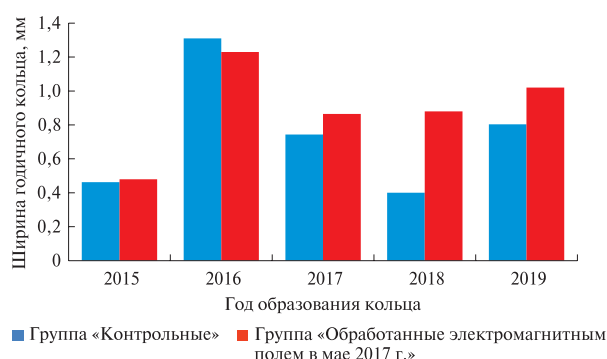


Рис. 5. Изменение ширины годичных колец сеянцев сравниваемых вариантов с 2015 по 2019 гг.

Fig. 5. The annual rings width change of seedlings of the compared samples from 2015 to 2019

Средний радиальный диаметр трахеид также имеет тенденцию увеличения после обработки ЭМП в мае 2017 г. (рис. 6). При этом разница по диаметрам клеток у сравниваемых групп до 2017 г. незначительна и варьирует на уровне не более 5 %.

Детальное микроскопирование поперечных срезов ксилемы исследуемых групп саженцев, с использованием режимов частично скрещенных никелей выявило следующие особенности строения стеблей на уровне корневой шейки:

- толщина клеточных стенок трахеид последних трех радиальных приростов ксилемы при обработке ЭМП заметно больше по сравнению с контрольной группой;

- вертикальные смоляные ходы встречаются достаточно часто у обоих вариантов эксперимента; наибольшая частота их наблюдается в 2017–2018 гг., спад — в 2019 г.; эта тенденция объясняется отдаленными последствиями действия постпересадочного стресса у всех саженцев;

- упорядоченность сечений трахеид в радиальных рядах годичных колец выше у варианта с обработкой ЭМП, за исключением годичного кольца, образованного на следующий год после обработки; кольца 2018 г. у опытного варианта часто содержат массивные слои кренивой древесины (рис. 7, а) и реже аномально разупорядоченных рядов трахеид с мелкой такгенциальной свилеватостью и повышенной паренхиматизацией (рис. 7, б).

Выводы

Таким образом, сравнительный анатомический анализ вторичной ксилемы опытной и контрольной группы сеянцев показал, что обработка низкочастотным ЭМП привела к усиленному формированию вторичной ксилемы стволика сеянцев сосны обыкновенной, начиная с первого вегетационного сезона после обработки. Формирующиеся после воздействия низкочастотным ЭМП анатомические элементы ксилемы чаще всего более упорядочены и имеют преимущественно более толстые клеточные стенки. Также наблюдаемая тенденция увеличения размеров сечений трахеид свидетельствует о большем транспортном потенциале древесины опытных сеянцев. Полагаем, что выявленные изменения в строении древесины опытных сеянцев после воздействия низкочастотного ЭМП, несомненно, способствуют повышению приживаемости сеянцев, а также более ускоренному росту молодых культур, заложенных с использованием обработанного ЭМП посадочного материала, поэтому целесообразно создание лесных культур сосны обыкновенной с использованием посадочного материала в виде сеянцев, обработанных ЭМП перед посадкой.

Т а б л и ц а 5

**Гистометрические характеристики сеянцев, обработанных ЭМП,
по сравнению с контрольными**

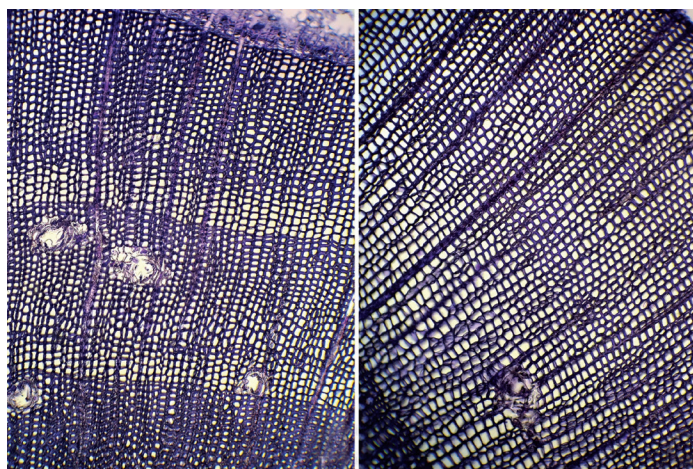
Histometric characteristics of seedlings treated with EMF, compared with the controlled

Вариант опыта	Гистометрический показатель	Год образования радиального прироста ксилемы					Среднее за 5 лет $M \pm m_M$	Среднее за последние три года		
		2015	2016	2017	2018	2019		$M \pm m_M$	Процент к контролю	$t_{расч.}$
Группа «Контрольные»	Ширина годичного кольца, мм	0,46	1,31	0,74	0,40	0,80	$0,742 \pm 0,191$	$0,647 \pm 0,123$	100	—
	Число сечений трахеид в радиальном ряду, ряд ⁻¹	33	78	53	25	46	$47,1 \pm 9,15$	$41,3 \pm 8,40$	100	—
	Средний радиальный диаметр трахеиды, мкм	14,0	16,8	14,0	15,7	17,5	$15,60 \pm 0,71$	$15,73 \pm 1,01$	100	—
Группа «Обработанные ЭМП»	Ширина годичного кольца, мм	0,48	1,23	0,86	0,88	1,02	$0,895 \pm 0,122$	$0,921 \pm 0,050$	142	2,12
	Число сечений трахеид в радиальном ряду, ряд ⁻¹	34	78	53	48	47	$52,0 \pm 7,21$	$49,4 \pm 1,85$	120	0,94
	Средний радиальный диаметр трахеиды, мкм	14,3	15,7	16,3	18,4	21,5	$17,25 \pm 1,25$	$18,75 \pm 1,51$	119	1,66

Примечание. Объемы сравниваемых выборок — 10 шт.; стандартное значение t -критерия достоверности различий $t_{ст} = 2,1$ при заданном уровне значимости $\alpha = 0,05$.

Рис. 6. Поперечные срезы последних годичных колец стволиков саженцев сосны при одном увеличении (объектив GF-Plan 12,5/0,25/∞/—, окраска генцианвиолетом): *a* — группа «Контрольные»; *б* — группа «Обработанные ЭМП»

Fig. 6. Cross sections of the last tree rings of pine seedlings at one magnification (lens GF-Plan 12,5/0,25/∞/—, coloring with gentian violet): *a* — «Control» group; *б* — group «Treated EMF»

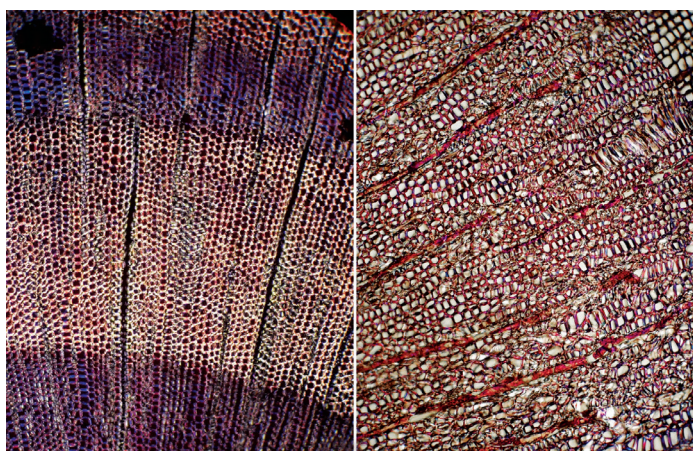


a

б

Рис. 7. Поперечные срезы стволиков сеянцев сосны, обработанных ЭМП. Снимки зоны кольца 2018 г (объектив GF-Plan 12,5/0,25/∞/—, окраска генцианвиолетом, поляризационный режим): *a* — центральное светлое кольцо реакционной древесины; *б* — частичная разупорядоченность рядов трахеид

Fig. 7. Cross sections of pine seedling stems treated with EMF. Pictures of the 2018 ring zone (lens GF-Plan 12,5/0,25/∞/—, gentian violet coloring, polarization mode): *a* — central light ring of reaction wood; *б* — partial disorder of the tracheids rows



a

б

Список литературы

- [1] Редько Г.И., Мерзленко М.Д., Бабич Н.А. Лесные культуры. СПб.: Изд-во ГЛТА, 2005. 556 с.
- [2] Родин А.Р. Интенсификация выращивания лесопосадочного материала. М.: Агропромиздат, 1989. 78 с.
- [3] De Lucas M., Etchhells J.P. (Eds.) Xylem – Methods and Protocols. New York: Publishing Humana Press, 2017, p. 260.
- [4] Schweingruber F.H. Wood Structure and Environment (Springer Series in Wood Science). Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 2007, p 280.
- [5] Penuelas J., Llusia J., Martinez B., Fontcuberta J. Diamagnetic Susceptibility and Root Growth Responses to Magnetic Fields in *Lens culinaris*, *Glycine soja*, and *Triticum aestivum* // *Electromagnetic Biologu and Medicine*, 2004, v. 23, no. 2, pp. 97–112.
- [6] Gordon G.A. Seed manual for forest trees. UK London: Forestry Commission, 1992, 132 p.
- [7] Get transplanting right for seedling survival. Lloyd Phillips, September 11, 2012. URL: <https://www.farmer-sweekly.co.za/agri-technology/farming-for-tomorrow/get-transplanting-right-for-seedling-survival/> (дата обращения 21.08.2020).
- [8] 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.
- [9] Старухин Р.С., Белицын И.В., Хомутов О.И. Метод предпосевной обработки семян с использованием эллиптического электромагнитного поля // *Ползуновский вестник*, 2009. № 4. С. 97–103.
- [10] Лебедев В.М. Эколого-физиологические особенности реакции сосны обыкновенной на уровень плодородия почвы как показатель адаптации к условиям среды // *ИВУЗ Лесной журнал*, 2019. № 6. С. 92–103.
- [11] Любимов В.В. Биотропность естественных и искусственно созданных электромагнитных полей. Аналитический обзор. Препринт. № 7. (1103). М.: ИЗМИРАН, 1997. 85 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] Mudhanganyi A., Maravanyika C., Ndagurwa H.G.T., Mwase R. The Influence of Hydrogel Soil Amendment on the Survival and Growth of Newly Transplanted *Pinus patula* Seedlings // *J. of Forestry Research*, 2018, v. 29, iss. 1, pp. 103–109. DOI: 10.1007/s11676-017-0428-1.
- [14] Fischer G., Tausz M., Köck M., Grill D. Effect of Weak 16½ Hz Magnetic Fields on Growth Parameters of Young Sunflower and Wheat Seedlings // *Bioelectromagnetics*, 2004, v. 25, iss. 8, pp. 638–641. DOI: 10.1002/bem.20058/
- [15] Рубцова Е.И. Влияние импульсного электрического поля на энергию прорастания семян сои // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*, 2009. № 12. С. 26–27.
- [16] 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. Москва, МГУЛ, 2016. С. 58.
- [17] Булыгин Н.Е., Ярмишко В.Т. Дендрология. М.: МГУЛ, 2001. 528 с.
- [18] Свалов Н.Н. Вариационная статистика. М.: МГУЛ, 2001. 80 с.
- [19] Комиссаров Г.Г. Влияние флуктуирующего электромагнитного поля на ранние стадии развития растений // *Доклады РАН*, 2006. Т. 406. № 1. С. 108–110.
- [20] Ксенз Н.В., Качеишвили С.В. Анализ электрических и магнитных воздействий на семена // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*, 2000. № 5. С. 10–12.
- [21] Кораблев Р.А. Влияние физических факторов на свойства семян и рост сеянцев сосны обыкновенной и березы повислой: дис. ...канд. с.-х. наук. Воронеж, 2003. 201 с.
- [22] Куликова Н.Н. Экологические аспекты действия низкочастотного электромагнитного поля на биологические объекты растительного происхождения: дис. ...канд. биол. наук. Москва, 2006. 145 с.
- [23] Willan R.L. A Guide to Forest Seed Handling with Special Reference to the Tropics. FAO, Rome: Forestry Paper, 1987, no. 20/2.

Сведения об авторах

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

Орлов Федор Станиславович — канд. с.-х. наук, ООО «Разносервис», ar-6@yandex.ru

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

Васильев Сергей Борисович — канд. с.-х. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), svasilyev@mgul.ac.ru

Поступила в редакцию 30.12.2020.

Принята к публикации 15.01.2021.

COMMON PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.) SURVIVAL ABILITY AND SEEDLINGS GROWTH AFTER TREATMENT WITH LOW-FREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELD

A.I. Smirnov¹, F.S. Orlov¹, P.A. Aksenov², S.B. Vasil'ev²

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 studies carried out in the Pravdinsky nursery of the Pushkin Forestry Technical College in the Moscow Region and in the laboratory of the department «Forest cultures, selection and dendrology» at the BMSTU (Mytishchi branch) since May 2015 until September 2019 are presented. The results of the study confirmed the significant advantage of experimental indicators over the control. Thus, the treatment of seeds and two-year-old seedlings of Scots pine with a low-frequency electromagnetic field using the POSEP technology, in general had a positive effect not only on their survival rate and biometric parameters, but also on their anatomical structure. Based on the results of the studies, it can be stated that the POSEP technology is an effective method of physical impact on the survival rate and growth increase of Scots pine seedlings.

Keywords: seedling survival, POSEP technology, *Pinus sylvestris*, forest crops

Suggested citation: Smirnov A.I., Orlov F.S., Aksenov P.A. *Prizhivaemost' i rost seyantsev sosny obyknovnoy (Pinus sylvestris L.) posle obrabotki nizkочастотным электромагнитным полем* [Common pine (*Pinus sylvestris* L.) survival ability and seedlings growth after treatment with low-frequency electromagnetic field]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 2, pp. 25–34. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-2-25-34

References

- [1] Red'ko G.I., Merzlenko M.D., Babich N.A. *Lesnye kul'tury* [Forest crops]. St. Petersburg: GLTA, 2005, 556 p.
- [2] Rodin A.R. *Intensifikatsiya vyrashchivaniya lesoposadochnogo materiala* [Intensification of growing forest planting material]. Moscow: Agropromizdat, 1989, 78 p.
- [3] De Lucas M., Etchells J.P. (Eds.) *Xylem – Methods and Protocols*. New York: Publishing Humana Press, 2017, p. 260.
- [4] Schweingruber F.H. *Wood Structure and Environment* (Springer Series in Wood Science). Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 2007, p. 280.
- [5] Penuelas J., Llusia J., Martinez B., Fontcuberta J. Diamagnetic Susceptibility and Root Growth Responses to Magnetic Fields in *Lens culinaris*, *Glycine soja*, and *Triticum aestivum*. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 2004, v. 23, no. 2, pp. 97–112.
- [6] Gordon G.A. *Seed manual for forest trees*. UK London: Forestry Commission, 1992, 132 p.
- [7] Get transplanting right for seedling survival. Lloyd Phillips, September 11, 2012. Available at: <https://www.farmersweekly.co.za/agri-technology/farming-for-tomorrow/get-transplanting-right-for-seedling-survival/> (accessed 21.08.2020).
- [8] Smirnov A.I., Orlov F.S. *Sposob predposevnoy obrabotki semyan i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya* [The method of presowing treatment of seeds and a device for its implementation]. Pat. 2591969 of the Russian Federation, applicant and patent holder of LLC Raznoservice, 2014, byul. no. 20.
- [9] Starukhin R.S., Belitsyn I.V., Khomutov O.I. *Metod predposevnoy obrabotki semyan s ispol'zovaniem ellipticheskogo elektromagnitnogo polya* [Method of pre-sowing seed treatment using an elliptical electromagnetic field]. *Polzunovskiy Vestnik*, 2009, no. 4, pp. 97–103.
- [10] Lebedev V.M. *Ekologo-fiziologicheskie osobennosti reaktsii sosny obyknovnoy na uroven' plodorodiya pochvy kak pokazatel' adaptatsii k usloviyam sredy* [Ecological and physiological features of the reaction of Scots pine to the level of soil fertility as an indicator of adaptation to environmental conditions]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2019, no. 6, pp. 92–103.
- [11] Lyubimov V.V. *Biotropnost' estestvennykh i iskusstvenno sozdannykh elektromagnitnykh poley. Analiticheskiy obzor* [Biotropy of natural and artificially created electromagnetic fields. Analytical review]. Preprint, no. 7 (1103). Moscow: IZMIRAN, 1997, 85 p.
- [12] Smirnov A.I., Orlov F.S. *Ustroystvo dlya predposevnoy obrabotki posevnoy materiala* [Device for pre-sowing treatment of seed]. Pat. 155132 RF, applicant and patent holder LLC Raznoservice, 2014, byul. no. 26.
- [13] Mudhanganyi A., Maravanyika C., Ndagurwa H.G.T., Mwase R. The Influence of Hydrogel Soil Amendment on the Survival and Growth of Newly Transplanted *Pinus patula* Seedlings. *J. of Forestry Research*, 2018, v. 29, iss. 1, pp. 103–109. DOI: 10.1007/s11676-017-0428-1.
- [14] Fischer G., Tausz M., Köck M., Grill D. Effect of Weak 16% Hz Magnetic Fields on Growth Parameters of Young Sunflower and Wheat Seedlings. *Bioelectromagnetics*, 2004, v. 25, iss. 8, pp. 638–641. DOI: 10.1002/bem.20058/
- [15] Rubtsova E.I. *Vliyanie impul'snogo elektricheskogo polya na energiyu prorastaniya semyan soi* [Influence of a pulsed electric field on the germination energy of soybeans]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva* [Mechanization and electrification of agriculture], 2009, no. 12, pp. 26–27.
- [16] Smirnov A.I. *Vliyanie nizkочастотного электромагнитного поля na vskhozhest' semyan i rost seyantsev sosny obyknovnoy 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]. Diss. Cand. Sci. (Agric.). Moscow: MGUL, 2016, p. 58.
- [17] Bulygin N.E., Yarmishko V.T. *Dendrologiya* [Dendrology]. Moscow: MSFU, 2001, 528 p.
- [18] Svalov N.N. *Variatsionnaya statistika* [Variational statistics]. Moscow: MGUL, 2001, p. 80.

- [19] Komissarov G.G. *Vliyaniye fluktuiruyushchego elektromagnitnogo polya na rannie stadii razvitiya rasteniy* [Influence of fluctuating electromagnetic field on the early stages of plant development]. Doklady RAN, 2006, v. 406, no. 1, pp. 108–110.
- [20] Ksenz N.V., Kacheishvili S.V. *Analiz elektricheskikh i magnitnykh vozdeystviy na semena* [Analysis of electrical and magnetic effects on seeds]. Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva [Mechanization and electrification of agriculture], 2000, no. 5, pp. 10–12.
- [21] Korablev R.A. *Vliyaniye fizicheskikh faktorov na svoystva semyan i rost seyantsev sosny obyknovnoy i berezy povisloy* [The influence of physical factors on the properties of seeds and the growth of seedlings of Scots pine and silver birch]. Dis. Cand. Sci. (Agric.). Voronezh, 2003, 201 p.
- [22] Kulikova N.N. *Ekologicheskie aspekty deystviya nizkochastotnogo elektromagnitnogo polya na biologicheskie ob'ekty rastitel'nogo proiskhozhdeniya* [Environmental aspects of the action of a low-frequency electromagnetic field on biological objects of plant origin]. Dis. Cand. Sci. (Biol.). Moscow, 2006, 145 p.
- [23] Willan R.L. *A Guide to Forest Seed Handling with Special Reference to the Tropics*. FAO, Rome: Forestry Paper, 1987, no. 20/2.

Authors' information

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

Orlov Fedor Stanislavovich — Cand. Sci. (Agriculture), LLC «Raznoservis», ap-6@yandex.ru

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

Vasil'ev Sergey Borisovich — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), svasilyev@mgul.ac.ru

Received 30.12.2020.

Accepted for publication 15.01.2021.