

ВЛИЯНИЕ НИЗКОЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА АНАТОМИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ СТЕБЛЯ ОДНОЛЕТНИХ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) И ДУБА КРАСНОГО (*QUERCUS RUBRA* L.)

А.И. Смирнов¹, 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

Приведены результаты исследований по определению эффективности влияния низкочастотного электромагнитного поля на анатомическое строение стебля однолетних сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) с закрытой корневой системой, проведенных в питомнике Устьянского лесосеменного селекционного центра Архангельской обл., и однолетних сеянцев дуба красного (*Quercus rubra* L.), проведенных в лесном питомнике Донского лесхоза Управления лесного хозяйства Липецкой обл., при посадке в открытый грунт с внесением гидрогеля. Проведена обработка опытных образцов однолетних сеянцев сосны обыкновенной и дуба красного низкочастотным электромагнитным полем по запатентованной технологии ПОСЭП (предпосевная обработка семян и сеянцев электромагнитным полем) прибором «Рост-Актив» (низкочастотным генератором). Контролем служили необработанные сеянцы. Проведенные в лаборатории кафедры лесных культур, селекции и дендрологии МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал) гистометрические анализы опытных и контрольных образцов однолетних сеянцев сосны обыкновенной и дуба красного показали положительное влияние низкочастотного электромагнитного поля на анатомические характеристики их стеблей. **Ключевые слова:** низкочастотное электромагнитное поле (НЧ ЭМП), технология ПОСЭП, гистометрия, анатомическое строение, гидрогель

Ссылка для цитирования: Смирнов А.И., Аксенов П.А. Влияние низкочастотного электромагнитного поля на анатомическое строение стебля однолетних сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и дуба красного (*Quercus rubra* L.) // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 3. С. 39–46. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-3-39-46

В настоящее время внимание исследователей привлекают физические факторы воздействия на рост растений, в частности электромагнитные поля искусственного происхождения. Известно, что электромагнитное поле (ЭМП) является одним из важных экологических факторов, влияющих на биологическую активность растений [1]. Анализ литературных источников и проведение собственных исследований доказывают, что обработка семян ЭМП повышает их всхожесть, положительно влияет на рост и развитие растений [2–4]. Для решения этих задач была создана и успешно опробована инновационная технология выращивания лесокультурного материала (технология ПОСЭП) и создан прибор «Рост-Актив» на основе генератора низкочастотного (НЧ) ЭМП [5, 6].

Получение экспериментальных данных и сравнение важнейших биометрических характеристик (высоты и массы сеянцев, массы стволика, хвои и корней), гистометрических характеристик древесины, стеблей однолетних сеянцев выявило существенное превышение значений показателей опытных образцов относительно контрольных [7, 8]. Это указывает на ускорение ростовых процессов

сеянцев, обработанных НЧ ЭМП, что в свою очередь способствует получению стандартного посадочного материала в более сжатые сроки.

В течение нескольких лет нами проводятся исследования влияния обработки НЧ ЭМП семян древесных пород на их посевные качества, а также на рост и развитие сеянцев.

В лаборатории кафедры «Лесные культуры, селекция и дендрология» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал) был проведен гистометрический анализ древесины стволиков однолетних сеянцев сосны обыкновенной и дуба красного, который показал положительный результат влияния обработки НЧ ЭМП на анатомические показатели ксилемы опытных сеянцев.

Цель работы

Цель работы — изучение влияния НЧ ЭМП на анатомическое строение стволиков однолетних сеянцев сосны обыкновенной и дуба красного.

Объекты и методы исследования

Исследования с однолетними сеянцами сосны обыкновенной проводились в питомнике Устьянского лесосеменного селекционного центра (УЛССЦ) Архангельской обл. В июне 2017 г. были

обработаны опытные образцы сеянцев сосны с закрытой корневой системы по технологии ПОСЭП с помощью НЧ генератора «Рост-Актив» с частотой 16 Гц при возрастающем значении индукции магнитного поля от 0,4 до 2,0 мТл, время экспозиции 11 мин [9] (рис. 1).



Рис. 1. Обработка однолетних сеянцев сосны обыкновенной прибором «Рост-Актив»

Fig. 1. Processing of annual seedlings of Scots pine with the «Rost-Active» device



Рис. 2. Контроль (а), опыт 1 (обработка ЭМП) (б), опыт 2 (обработка ЭМП + гидрогель) (в)

Fig. 2. Control (a), experiment 1 (EMF treatment) (б), experiment 2 (EMF treatment + hydrogel) (в)

Экспериментальные опыты с однолетними сеянцами дуба красного с открытой корневой системой проводились в питомнике Донского лесничества Управления лесного хозяйства

Липецкой обл. В апреле 2019 г. были заложены контрольные и опытные посадки сеянцев на участке 150 пог. м. посадочной гряды.

Для сравнения были отобраны по 50 сеянцев в трех вариантах:

- 1) контроль — сеянцы необработанные;
- 2) опыт 1 — сеянцы, обработанные ЭМП;
- 3) опыт 2 — сеянцы, обработанные ЭМП + гидрогель (50 шт.).

Перед посадкой в лунки сеянцы для опытов 1 и 2 обрабатывали по технологии ПОСЭП НЧ генератором «Рост-Актив» (частота 16 Гц с возрастающим значением индукции магнитного поля от 0,4 до 2,0 мТл и экспозицией 11 мин). Сеянцы высаживали под меч Колесова с шагом посадки 1 м. В опыте 2 предварительно в посадочные лунки вносили гидрогель [10], набухший в воде (из расчета 2 г сухого гидрогеля на 1 лунку), а затем высаживали сеянцы, обработанные ЭМП.

В сентябре 2019 г. был сделан учет прижившихся сеянцев на опытных и контрольном участках и проведены биометрические обмеры сеянцев дуба красного (рис. 2).

Далее проводился отбор контрольных и опытных сеянцев для детальных исследований в лаборатории кафедры «Лесные культуры, селекция и дендрология» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал) [11–17].

Для проведения гистометрического анализа поперечных срезов использована следующая методика. Из сеянцев вырезали 1–2-сантиметровые участки стволиков с корневой шейкой, которые подвергали воздействию размягчающей спиртоглицериновой смеси (соотношение компонентов 1:1) в течение 10 сут при температуре 25...30 °С. Затем получали поперечные срезы с помощью микротомы МС-2 и окрашивали в соответствии с общепринятой методикой [18]. Временные глицериновые препараты изготавливали в соответствии с методикой [19], микроскопирование проводили в прямом светопольном и поляризационном режимах на исследовательском биологическом микроскопе Jenoval (производство фирмы «Carl Zeiss»), снабженном окуляр-микрометром и поляризаторами. Использовали микрообъективы: 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 НI 100/1,25/160/0,17. Срезы древесины фотографировали с помощью микрофотонасадки.

Для проверки достоверности полученных результатов руководствовались общепринятыми методиками статистической обработки [20] и программой Microsoft Excel.

Сравнительный гистометрический анализ поперечных срезов контрольных и опытных стволиков сеянцев дуба показал следующие результаты (табл. 1).

Средние гистометрические характеристики семян дуба, обработанных ЭМП и гидрогелем (объемы сравниваемых выборок — по 10 семян; $\alpha = 0,05$)Average histometric characteristics of oak seedlings treated with EMF and hydrogel (volumes of compared samples - 10 seedlings each; $\alpha = 0,05$)

№	Варианты опытов и статистические показатели различий выборок	Диаметр сердцевины, мм	Ширина кольца ксилемы, мм	Диаметр сосудов вторичной древесины, мкм
1	Контроль	1,51 ± 0,087	0,86 ± 0,034	18,7 ± 0,910
	% к контролю	100	100	100
2	Опыт 1 (обработка ЭМП)	1,79 ± 0,122	1,43 ± 0,074	19,6 ± 0,990
	% к контролю	118	166	105
	$t_{расч}/t_{ст}$	1,87/2,1	6,99/2,1	0,67/2,1
3	Опыт 2 (обработка ЭМП + гидрогель)	1,55 ± 0,065	1,31 ± 0,069	21,7 ± 1,080
	% к контролю	103	152	116
	$t_{расч}/t_{ст}$	0,37/2,1	5,85/2,1	2,12/2,1

Примечание. Приведены средние арифметические значения анатомических характеристик ± ошибка средней арифметической; $t_{ст}$ — стандартное значение t -критерия достоверности различий 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.

Как видно из табл. 1, размер сердцевины сравниваемых групп в опытных вариантах превышает контроль; ширина кольца суммарной ксилемы в опытах 1 и 2 значительно больше контроля; радиальный прирост древесины на уровне корневой шейки имеет максимальное значение в опыте 1 (обработка ЭМП).

Сравнение средних диаметров сосудов вторичной ксилемы в различных вариантах эксперимента выявило тенденцию увеличения среднего диаметра членка сосуда в ряду контроль — опыт 1 — опыт 2.

При анатомическом исследовании поперечных срезов установлены следующие особенности строения стебля на уровне корневой шейки:

- в целом вторичная ксилема во всех вариантах эксперимента имеет общие ювенильные черты; особенно стоит отметить высокую степень паренхиматизации последнего радиального прироста семян, представленную как множественными однорядными сердцевинными лучами, так и высоким содержанием метатрахеальной крахмалоносной паренхимы (рис. 3);

- сердцевина всех вариантов содержит достаточно много мелких крахмальных зерен; наблюдается тенденция увеличения встречаемости крахмала в клетках сердцевины в опытных вариантах по сравнению с контролем (рис. 4);

- ширина слоя вторичной ксилемы значительно больше в вариантах с обработкой ЭМП; отмечается большая упорядоченность радиальных цепочек просветов сосудов при увеличении годового кольца (рис. 5);

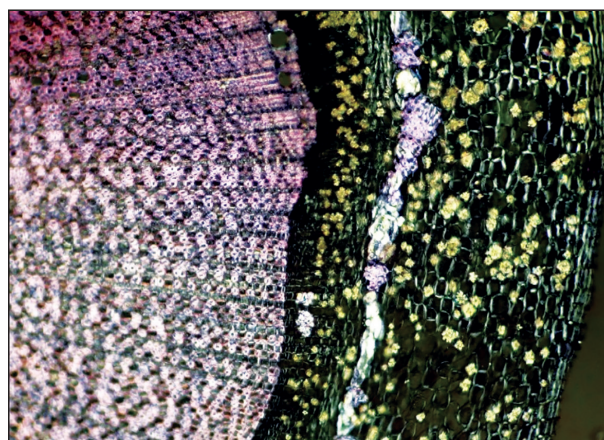


Рис. 3. Поперечный срез семца дуба (опыт 2) в режиме скрещенных николей (объектив GF-Plan 12,5/0,25/∞/—; зона сильно паренхиматизированной древесины справа; в кольце коры есть множественные кристаллы оксалата и сплошное светлое волокно-склереидное кольцо)

Fig. 3. Transverse section of an oak seedling (experiment 2) in the crossed nicols mode (lens GF-Plan 12.5/0.25/∞/—; zone of strongly parenchymatized wood on the right; in the bark ring there are multiple oxalate crystals and a continuous light fiber-sclereid ring)

- ширина коры также имеет большие значения у растений, подвергнутых действию ЭМП, однако при этом сохраняется целостность внутреннего кольца коры, образованного чередующимися участками волокон первичного луба и скоплениями каменистых клеток; основную массу первичной коры составляет тонкостенная паренхима, содержащая большое количество мелких друз и одиночных кристаллов оксалата кальция, выявляемых в режиме поляризации (см. рис. 3);

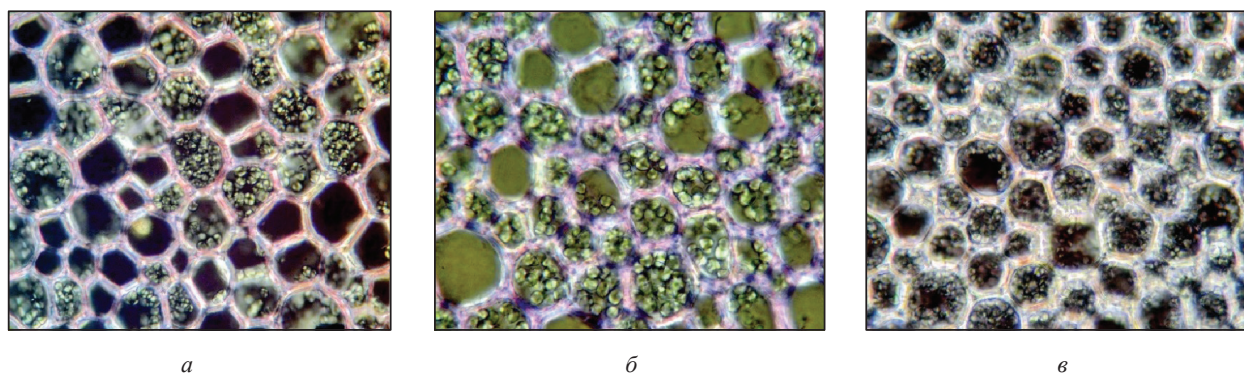


Рис. 4. Поперечные срезы сердцевин семян дуба в режиме частично скрещенных николей (объектив GF-Plan 40/0,65/∞/0,17): *a* — контроль; *б* — опыт 1; *в* — опыт 2

Fig. 4. Cross sections of the core of oak seedlings in the mode of partially crossed nicols (objective GF-Plan 40/0.65/∞/0.17): *a* — control; *б* — experiment 1; *в* — experiment 2

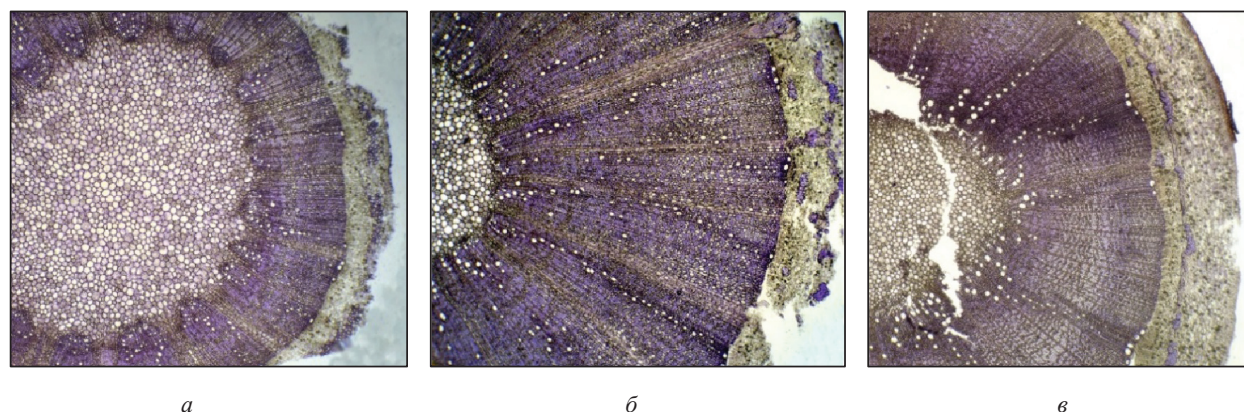


Рис. 5. Поперечные срезы стволиков семян дуба при одном увеличении (объектив GF-Plan 3,2/0,06/∞/–, окраска генцианвиолетом): *a* — контроль; *б* — опыт 1; *в* — опыт 2

Fig. 5. Transverse sections of stems of oak seedlings at one magnification (GF-Plan 3.2/0.06/∞/– lens, stained with gentian violet): *a* — control; *б* — experiment 1; *в* — experiment 2

агрегатные лучи, как правило, заканчиваются в коре с образованием крупных зон склерификации и кальцинации.

В целях изучения воздействия НЧ ЭМП на макро- и микроанатомические характеристики древесины однолетнего посадочного материала сосны обыкновенной исследованы гистометрические характеристики поперечных срезов древесины стеблей (стволиков). Сравнительно-анатомическое исследование двух вариантов (1 — обработка НЧ ЭМП; 2 — контроль) выявило следующие особенности строения ксилемы однолетних сеянцев:

- ширина годичного кольца ксилемы при обработке ЭМП увеличилась на 15...25 % по сравнению с контролем;

- в варианте 1 граница годичного кольца ксилемы выражена четче и почти не имеет разрывов;

- общая выраженность, толщина и встречаемость сердцевидных лучей на анализируемых срезах заметно выше у варианта 1;

- выраженность радиальной упорядоченности поперечных сечений трахеид на торцевых срезах одинакова в обоих вариантах опыта;

- среднее число клеток в радиальном ряду: для варианта 1 — (47 ± 10) шт./ряд, для варианта 2 — (36 ± 12) шт./ряд;

- толщина клеточных стенок трахеид годичного кольца ксилемы при обработке ЭМП заметно больше, чем в контроле;

- участки первичной ксилемы выражены значительно лучше у варианта 1;

- вертикальные смоляные ходы встречаются на 20...30 % чаще у варианта 1.

На рис. 6 видны участки поперечных срезов стволиков однолетних сеянцев.

Дополнительно проведено сравнение влажности и зольности опытных и контрольных сеянцев.

Влажность сеянцев определяли гравиметрическим методом путем вычисления (в процентах) потери массы после высушивания в сушильном шкафу при 103 °С (до постоянной массы) в соответствии с ГОСТ 16483.7–71 [21]. Зольность сеянцев определяли как массовую долю сухого остатка после озоления высушенной биомассы сеянцев в муфельной печи в соответствии с ГОСТ Р 56881–2016 [22].

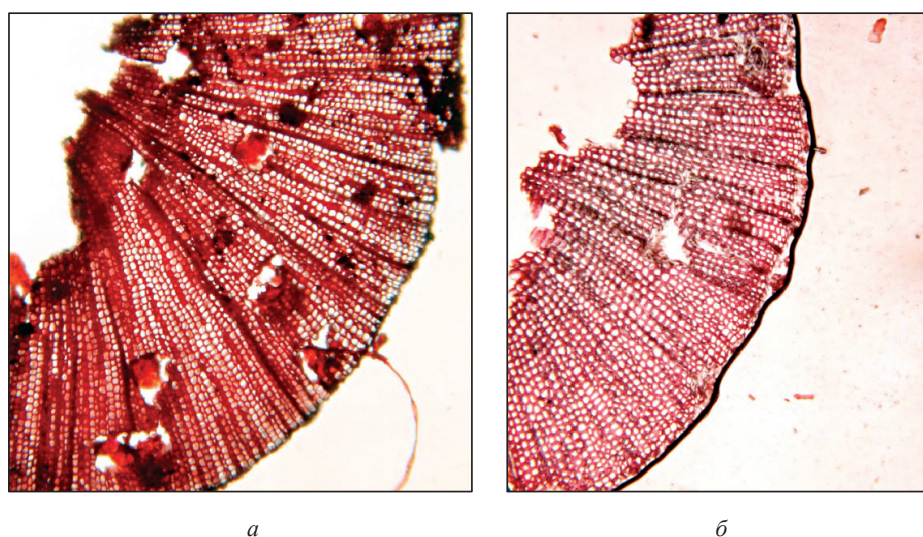


Рис. 6. Участки поперечных микросрезов стволиков однолетних сеянцев (объектив: GF-Plan 12,5/0,25/160/0,17): *a* — опыт; *б* — контроль
Fig. 6. Areas of transverse microsections of stems of annual seedlings (objective: GF-Plan 12.5/0.25/160/0.17): *a* — experiment; *б* — control

Результаты сравнений показателей влажности и зольности сеянцев «опыта» и «контроля» представлены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Влажность и зольность однолетних сеянцев сосны обыкновенной (объемы сравниваемых выборок — по 10 сеянцев; $\alpha = 0,05$)

Humidity and ash content in annual seedlings of Scots pine (volumes of compared samples — 10 seedlings each; $\alpha = 0,05$)

№	Варианты опытов и статистические показатели различий выборок	Влажность, %	Зольность, %
1	Контроль	43,47 ± 2,4	3,61 ± 0,14
2	Опыт (обработка ЭМП)	58,87 ± 2,6	4,10 ± 0,16
% к контролю		136	114
$t_{расч}/t_{ст}$		4,4/2,1	2,2/2,1
<p><i>Примечание.</i> Приведены средние арифметические значения физиологических характеристик ± ошибка средней арифметической; $t_{ст}$ — стандартное значение t-критерия достоверности различий 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.</p>			

Представленные в табл. 2 данные свидетельствуют о том, что обработанные ЭМП сеянцы имеют большую влажность и содержат большую концентрацию зольных элементов. Это указывает на более высокие показатели метаболической, прежде всего ассимиляционной, активности обработанных сеянцев.

Различия средних показателей вариантов сравнений достоверны на уровне значимости 5 %.

Таким образом, обработка НЧ ЭМП привела к ускоренному формированию вторичной ксилемы основного стебля однолетних сеянцев сосны обыкновенной, при этом формирующиеся анатомические элементы древесины имеют большую толщину клеточных стенок по сравнению с контролем. Можно предположить, что выявленные изменения гистометрических характеристик опытных растений будут способствовать повышению приживаемости сеянцев, а также более интенсивному начальному росту культур, заложенных с использованием посадочного материала, обработанного НЧ ЭМП.

Выводы

Сравнение ряда важнейших гистометрических характеристик стеблей, влажности и зольности однолетних сеянцев выявило существенное превышение значений показателей опытных образцов по сравнению с контролем. Это указывает на ускорение ростовых процессов сеянцев, обработанных НЧ ЭМП, что способствует получению стандартного посадочного материала в более сжатые сроки. Использование НЧ ЭМП как способа повышения качества посадочного материала является принципиально новым и перспективным направлением, способным решать задачи развития лесного хозяйства России.

Список литературы

[1] Пресман А.С. Электромагнитное поле и жизнь. М.: Наука, 2003. 215 с.

- [2] Барышев М.Г., Джимаков С.С. Исследование влияния низкочастотного электромагнитного поля на биологические объекты. Краснодар: Кубанский госуд. ун-т, 2012. С. 1–15.
- [3] Старухин Р.С., Белицин И.В., Хомутов О.И. Метод предпосевной обработки семян с использованием эллиптического электромагнитного поля // Ползуновский вестник, 2009. № 4. С. 97–103.
- [4] Фирсов В.Ф., Чекмарев В.В., Левин В.А. Использование физических факторов и микроэлементов в повышении болезнестойчивости и продуктивности возделываемых культур // Вопросы современной науки и практики, 2005. № 1. С. 19–26.
- [5] 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.
- [6] Смирнов А.И., Орлов Ф.С. Устройство для предпосевной обработки посевного материала. Пат. № 155132 РФ, заявитель и патентообладатель ООО «Разносервис», 2014. Бюл. № 26.
- [7] Смирнов А.И., Орлов Ф.С., Беляев В.В., Аксенов П.А. Влияние низкочастотного электромагнитного поля на биометрические характеристики семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // ИВУЗ Лесной журнал, 2019. № 2 С. 78–84.
- [8] Смирнов А.И., Орлов Ф.С., Аксенов П.А., Яськов Ю.В. Эффективность влияния низкочастотного электромагнитного поля и гидрогеля на приживаемость и рост однолетних семян дуба красного (*Quercus rubra* L.) // ИВУЗ Лесной журнал, 2020. № 5. С. 81–89.
- [9] De Lucas M., Etchells J.P. (Eds.) Xylem — Methods and Protocols. New York: Publishing Humana Press, 2017, p. 260.
- [10] Schweingruber F.H. Wood Structure and Environment (Springer Series in Wood Science). Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 2007, p 280.
- [11] 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.
- [12] Sarvaš M, Pavlenda P., Takáčová E. Effect of hydrogel application on survival and growth of pine seedlings in reclamation // J. of forest science, 2007, v. 53 (5), pp. 204–209.
- [13] Willan R.L. A Guide to Forest Seed Handling with Special Reference to the Tropics. FAO, Rome: Forestry Paper, 1987, no. 20/2.
- [14] 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.
- [15] 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/
- [16] 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.
- [17] Gordon G.A. Seed manual for forest trees. UK, London: Forestry Commission, 1992, 132 p.
- [18] Смирнов А.И. Влияние низкочастотного электромагнитного поля на всхожесть семян и рост семян сосны обыкновенной в питомниках зоны смешанных лесов: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М.: МГУЛ, 2016. С. 17.
- [19] Данилова Т.Н., Козырева Л.В. Возможности использования гидрогелей для управления водообеспеченностью полей // Плодородие, 2008. № 6. С. 24–25.
- [20] Свалов Н.Н. Вариационная статистика. М.: МГУЛ, 2001. С. 80.
- [21] ГОСТ 16483.7–71 Древесина. Методы определения влажности, 1999. 4 с.
- [22] ГОСТ Р 56881–2016 Биомасса. Определение зольности стандартным методом, 2016. 8 с.

Сведения об авторах

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

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

Поступила в редакцию 14.02.2022.

Одобрено после рецензирования 03.03.2022.

Принята к публикации 13.05.2022.

LOW-FREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELD INFLUENCE ON ANATOMICAL STEM STRUCTURE OF SCOTS PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.) AND RED OAK (*QUERCUS RUBRA* L.) ANNUAL SEEDLINGS

A.I. Smirnov¹, 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 study determines the influence of a low-frequency electromagnetic field on the anatomical stem structure of the annual seedlings of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) with a root-balled system, carried out in the nursery of the Ustyansky forest seed breeding center of the Arkhangelsk region, and annual seedlings of red oak (*Quercus rubra* L.) carried out in the forest nursery of the Donskoy forestry of the Forestry Department of the Lipetsk region, when planting in open ground with the introduction of a hydrogel. Experimental samples of annual seedlings of Scots pine and red oak were treated with a low-frequency electromagnetic field using the patented POSEP technology (pre-sowing treatment of seeds and seedlings with an electromagnetic field) using the «Rost-Active» device (low-frequency generator). Untreated seedlings served as control. Conducted in the laboratory of the Department of Forest Plantations, Breeding and Dendrology of the BMSTU (Mytishchi branch), histometric analyzes of experimental and control samples of annual seedlings of Scots pine and red oak showed a positive effect of a low-frequency electromagnetic field on the anatomical characteristics of their stems.

Keywords: low-frequency electromagnetic field (LF EMF), POSEP technology, histometry, anatomical structure, hydrogel

Suggested citation: Smirnov A.I., Aksenov P.A. *Vliyanie nizkochastotnogo elektromagnitnogo polya na anatomicheskoe stroenie steblya odnoletnikh seyantsev sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris L.) i duba krasnogo (Quercus rubra L.)* [Low-frequency electromagnetic field influence on anatomical stem structure of scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and red oak (*Quercus rubra* L.) annual seedlings]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 3, pp. 39–46. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-3-39-46


References

- [1] Presman A.S. *Elektromagnitnoe pole i zhizn'* [Electromagnetic field and life]. Moscow: Nauka, 2003, 215 p.
- [2] Baryshev M.G., Dzhimak S.S. *Issledovanie vliyaniya nizkochastotnogo elektromagnitnogo polya na biologicheskie ob'ekty* [Study of the influence of a low-frequency electromagnetic field on biological objects]. Krasnodar: Kuban state un-t, 2012, pp. 1–15.
- [3] Starukhin R.S., Belitsin I.V., Khomutov O.I. *Metod predposevnoy obrabotki semyan s ispol'zovaniem ellipticheskogo elektromagnitnogo polya* [Method of pre-sowing treatment of seeds using an elliptical electromagnetic field]. *Polzunovskiy Vestnik*, 2009, no. 4, p. 100.
- [4] 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 the disease resistance and productivity of cultivated crops]. *Voprosy sovremennoy nauki i praktiki* [Questions of modern science and practice], 2005, no. 1, pp. 19–26.
- [5] Smirnov A.I., Orlov F.S. *Sposob predposevnoy obrabotki semyan i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya* [Method for presowing seed treatment and device for its implementation]. Pat. No. 2591969 of the Russian Federation, applicant and patent holder Raznoservis LLC, 2014, bull. no. 20.
- [6] Smirnov A.I., Orlov F.S. *Ustroystvo dlya predposevnoy obrabotki posevnogo materiala* [Device for pre-sowing treatment of seed material]. Pat. No. 155132 of the Russian Federation, applicant and patent holder Raznoservis LLC, 2014, bull. no. 26.
- [7] Smirnov A.I., Orlov F.S., Belyaev V.V., Aksenov P.A. *Vliyanie nizkochastotnogo elektromagnitnogo polya na biometricheskie kharakteristiki seyantsev sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris L.)* [Influence of a low-frequency electromagnetic field on the biometric characteristics of seedlings of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.)]. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*, 2019, no. 2, pp. 78–84.
- [8] Smirnov A.I., Orlov F.S., Aksenov P.A., Yas'kov Yu.V. *Effektivnost' vliyaniya nizkochastotnogo elektromagnitnogo polya i gidrogelya na prizhivaemost' i rost odnoletnikh seyantsev duba krasnogo (Quercus rubra L.)* [The effectiveness of the influence of a low-frequency electromagnetic field and hydrogel on the survival and growth of annual seedlings of red oak (*Quercus rubra* L.)]. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*, 2020, no. 5, pp. 81–89.
- [9] De Lucas M., Etchells J.P. (Eds.) *Xylem — Methods and Protocols*. New York: Publishing Humana Press, 2017, p. 260.
- [10] Schweingruber F.H. *Wood Structure and Environment (Springer Series in Wood Science)*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 2007, p. 280.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] Willan R.L. *A Guide to Forest Seed Handling with Special Reference to the Tropics*. FAO, Rome: Forestry Paper, 1987, no. 20/2.
- [14] Mudhangani 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.

- [15] Fischer G., Tausz M., Köck M., Grill D. Effect of Weak 16 $\frac{2}{3}$ 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/
- [16] 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.
- [17] Gordon G.A. Seed manual for forest trees. UK, London: Forestry Commission, 1992, 132 p.
- [18] Smirnov A.I. *Vliyanie nizkochastotnogo elektromagnitnogo polya na vskhozhest' semyan i rost seyantsev sosny obyknovvennoy v pitomnikakh zony smeshannykh lesov* [Influence of a low-frequency electromagnetic field on the germination of seeds and the growth of seedlings of Scotch pine in nurseries of the zone of mixed forests]. Dis. Sci. Cand. (Agric.). Moscow: MSFU, 2016, p. 17.
- [19] Danilova T.N., Kozyreva L.V. *Vozmozhnosti ispol'zovaniya gidrogeley dlya upravleniya vodoobespechennost'yu poley* [Possibilities of using hydrogels to control the water supply of fields]. *Plodorodie* [Fertility], 2008, no. 6, pp. 24–25.
- [20] Svalov N.N. *Variatsionnaya statistika* [Variational statistics]. Moscow: MSFU, 2001, p. 80.
- [21] GOST 16483.7–71 *Drevesina. Metody opredeleniya vlazhnosti* [Wood. Moisture Determination Methods], 1999, 4 p.
- [22] GOST R 56881–2016 *Biomassa. Opredelenie zol'nosti standartnym metodom* [Biomass. Determination of ash content by the standard method], 2016, 8 p.

Authors' information

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

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

Received 14.02.2022.

Approved after review 03.03.2022.

Accepted for publication 13.05.2022.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article
The authors declare that there is no conflict of interest