

УДК 630*232.32+630*811.1

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.78

ВЛИЯНИЕ НИЗКОЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.)

А.И. Смирнов¹, канд. с.-х. наук

Ф.С. Орлов¹, канд. с.-х. наук

В.В. Беляев², д-р с.-х. наук, проф.

П.А. Аксенов³, канд. с.-х. наук, доц.

¹Общество с ограниченной ответственностью «Разносервис», Лихов пер., д. 10, Москва, Россия, 127051; e-mail: 364-27-37@mail.ru, ap-6@yandex.ru

²Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лавёрова РАН, наб. Северной Двины, д. 23, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: beljaew29@mail.ru

³Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, ул. 1-я Институтская, д. 1, г. Мытищи, Московская обл., Россия, 141005; e-mail: axenov.pa@mail.ru

В работе представлены результаты исследования, которое проводилось в Устьянском лесном селекционно-семеноводческом центре Архангельской области. Цель исследования – изучение влияния низкочастотного электромагнитного поля на биометрические характеристики однолетних сеянцев сосны обыкновенной, выращиваемых с закрытой корневой системой в теплицах. Обработку сеянцев низкочастотным электромагнитным полем осуществляли с помощью генератора «Рост-Актив». Площадь эксперимента около 100 м². Полученные результаты свидетельствуют о явном положительном влиянии подобной обработки, так как отмечено существенное увеличение биометрических показателей сеянцев сосны. В качестве дополнительного исследования проведен сравнительный гистометрический анализ микросрезов стволиков однолетних сеянцев на контрольных и опытных образцах. Результаты анализа также подтвердили значительное преимущество опыта над контролем. Таким образом, обработка растущих сеянцев сосны низкочастотным электромагнитным полем по предложенной технологии показала эффективность данного приема для интенсификации агротехники выращивания качественного посадочного материала сосны обыкновенной в лесных питомниках.

Финансирование: Исследования проведены в ходе выполнения государственного задания ФИЦКИА им. академика Н.П. Лавёрова РАН (№ гос. регистрации АААА-А18-118012390305-7).

Для цитирования: Смирнов А.И., Орлов Ф.С., Беляев В.В., Аксенов П.А. Влияние низкочастотного электромагнитного поля на биометрические характеристики сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // Лесн. журн. 2019. № 2. С. 78–85. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.78

Ключевые слова: низкочастотное электромагнитное поле, сосна обыкновенная, сеянцы, обработка сеянцев низкочастотным электромагнитным полем, технология ПОСЭП, гистометрический анализ поперечных срезов.

Введение

При выращивании сеянцев основных лесобразующих пород в лесных питомниках, особенно в промышленных масштабах, большое значение имеют эффективные, простые в применении и экологически безопасные технологии, позволяющие получать высококачественный посадочный материал [8]. В связи

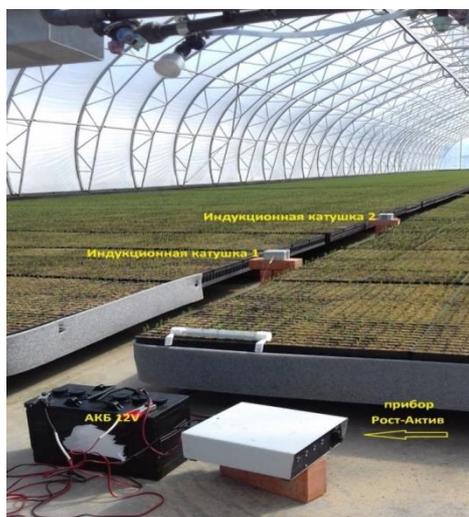
с этим все больший интерес у исследователей вызывает использование физических методов воздействия на качественные характеристики посевного и посадочного материала [1]. Известно, что предпосевная обработка семян сельскохозяйственных культур низкочастотным электромагнитным полем (ЭМП) способствует повышению их посевных качеств (энергии прорастания и всхожести), при этом подавляется активность патогенной микрофлоры [1, 10, 12–14]. Этот способ обработки, хорошо зарекомендовавший себя в сельском хозяйстве [2], мало изучен при выращивании лесокультурного материала. В лесном семеноводстве обработка семян хвойных пород низкочастотным ЭМП была использована впервые в 2012 г. На основе положительных результатов были разработаны простая в применении инновационная и экологически безопасная технология ПОСЭП (предпосевная обработка семян электромагнитным полем) [6] и прибор «Рост-Актив» – генератор низкочастотного ЭМП [7]. Дальнейшее изучение (2013–2016 гг.) [9] влияния низкочастотного ЭМП включало обработку семян и растущих сеянцев хвойных пород в лесных питомниках. Результаты исследования свидетельствуют об эффективности обработки низкочастотным ЭМП по технологии ПОСЭП как семян, так и сеянцев основных лесообразующих пород.

Объекты и методы исследования

13 июля 2017 г. в теплице Устьянского лесного селекционно-семеноводческого центра (УЛССЦ) Архангельской области низкочастотным ЭМП были обработаны однолетние сеянцы сосны обыкновенной. Сеянцы выращивались с закрытой корневой системой. Обработку проводили по технологии ПОСЭП, которая основана на использовании слабых электромагнитных пульсаций с фиксированной экспозицией. Продолжительность экспозиции (11 мин) подобрана экспериментально и является оптимальной при передаче необходимой энергии опытному объекту для активации биохимических изменений в целях стимулирования ростовых процессов. Воздействие на семена и сеянцы осуществлялось низкочастотным ЭМП с частотой 16 Гц при возрастающей от 0,4 до 2,0 мТл индукции магнитного поля генератора «Рост-Актив» (масса – 2 кг, питание от аккумуляторной батареи – 12 в). Устройство для предпосевной обработки посевного материала (рис. 1) содержит регулируемый по частоте в диапазоне 6...19 Гц задающий генератор и источник излучения электромагнитных волн [9].

Рис. 1. Процесс обработки низкочастотным ЭМП однолетних сеянцев сосны в теплицах УЛССЦ

Fig. 1. Pine yearlings processing with low-frequency EM field in greenhouses of the Ust'yanskiy Forest Breeding and Seed Center



По истечении трех месяцев после обработки, в конце сентября 2017 г., на учетных площадках были проведены отбор семян, замер их линейных параметров (точность линейных измерений ± 1 мм) и взвешивание (точность определения массы ± 10 мг). Для определения массы частей семян использовали весы AcomJW1. Влажность семян устанавливали гравиметрическим методом путем вычисления процента потери массы после высушивания (до постоянной массы) в сушильном шкафу при температуре 103 °С в соответствии с [3], зольность семян – как массовую долю сухого остатка после озольнения высушенной биомассы семян в муфельной печи [4].

Данные натуральных измерений обрабатывали с помощью программы Microsoft Excel.

Для гистометрического анализа поперечных срезов использовали методику, состоящую из следующих этапов:

– отбор модельных семян из групп «Обработка ЭМП» и «Контроль» (с применением случайного отбора посадочных строчек, по 20 семян сосны на группу);

– маркировка, упаковка и транспортировка семян в лабораторию;

– определение места положения корневой шейки на оси корень–стебель путем отложения расстояния от первых боковых корней;

– разрезание семени поперек оси стебля на 2...5 мм выше корневой шейки;

– зачистка поперечной поверхности торцевого среза стебля семени с помощью бритвы;

– получение поперечных срезов с помощью микротомы МС-2 и окраска в соответствии с общепринятой методикой [11];

– изготовление временных глицериновых препаратов в соответствии с общепринятой методикой [15];

– микроскопирование в прямом светопольном и поляризационном режимах на исследовательском биологическом микроскопе Jenoval (фирма «Carl Zeiss»), снабженном окуляр-микрометром и поляризаторами (микрообъективы: GF-Plan 12,5/0,25/160/0,17; Plan 9/0,2/160/0,17; Achromat 40/0,95/160/Cor 0,1–0,2; GF-Plan HI 100/1,25/160/0,17; срезы древесины фотографировали с помощью микрофотонасадки);

– определение гистометрических характеристик древесины на поперечных срезах представленных вариантов семян сосны (особенности прироста ксилемы, параметры трахеид и вертикальных смоляных ходов).

Результаты исследования и их обсуждение

Основные результаты сравнительных исследований представлены в таблице, где приведены средние значения, рассчитанные по 30–40 измерениям семян.

Данные таблицы свидетельствуют о том, что обработка растущих семян ЭМП существенно повлияла на их показатели. Высота опытных образцов превосходила контроль на 64 %. Это существенная разница, если учесть, что семена выращивались в теплицах. Проведено сравнение средней высоты однолетних семян сосны обыкновенной в вариантах эксперимента «Опыт ЭМП» и «Контроль» со стандартным значением. В качестве эталона сравнения была взята высота однолетнего семени сосны обыкновенной, равная 12 см в соответствии с приказом Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 29 июня 2016 г. № 375 [5]. В ходе осенних учетов показатели образцов контрольных семян оказались почти на 28 % ниже стандартного размера, а семена, обработанные низкочастотным ЭМП, по высоте превосходили стандарт на 19 %.

Характеристика однолетних сеянцев сосны обыкновенной, обработанных ЭМП

Вариант опыта	Высота сеянца, см	Процент от высоты стандарта	Масса, г				Среднее значение, %	
			сеянца	стволика	хвои	корней	влажности	зольности
Контроль	8,7±0,37	72,5	0,74±0,045	0,14±0,010	0,31±0,018	0,29±0,017	43,47±2,4	3,61±0,14
Обработка ЭМП	14,3±0,72	119,0	1,21±0,066	0,29±0,028	0,48±0,029	0,44±0,032	58,87±2,6	4,10±0,16
Процент к контролю t_p	164	–	164	207	155	152	136	114
	6,9	–	5,8	5,0	4,9	4,1	4,4	2,2

Примечание. t_p – расчетное значение критерия Стьюдента; $t_{ст}$ (при $\alpha = 0,05$) = 2,05.

Таким образом, обработка низкочастотным ЭМП способствовала получению стандартного посадочного материала в более сжатые сроки, что, несомненно, даст положительный экономический эффект.

Наибольшее влияние обработка растущих сеянцев низкочастотным ЭМП оказала на увеличение средней массы стволиков, так в опыте она достигла 0,29 г при показателях в контроле 0,14 г, а к концу вегетационного сезона различие составило 107 %. Средняя масса хвои в опыте была выше контроля на 55 %, средняя масса корней – на 52 %. Разница масс целых растений для вариантов «Опыт ЭМП» и «Контроль» составила 64 %.

Кроме того, обработанные ЭМП сеянцы имеют большую влажность и содержат больше зольных элементов. Это указывает на более высокие показатели метаболической, прежде всего ассимиляционной, активности этих сеянцев. Результаты осенних учетов, полученные в конце вегетационного сезона 2017 г., показали, что обработка сеянцев сосны низкочастотным ЭМП в теплице способствовала увеличению их роста, накоплению ими надземной фитомассы, развитию корневой системы и ускорила получение стандартного посадочного материала. Различия средних показателей опытов во всех вариантах сравнений достоверны на уровне значимости 5 %. Внешний вид сеянцев, представленный на рис. 2, наглядно демонстрирует преимущество опытных образцов по сравнению с контрольными.

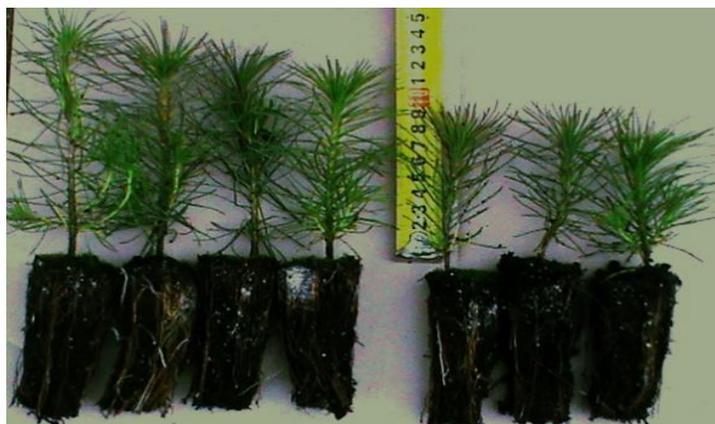


Рис. 2. Однолетние сеянцы сосны (слева – обработка ЭМП; справа – контроль)

Fig. 2. Pine yearlings (on the left – EMF treatment; on the right – control samples)

В целях изучения воздействия низкочастотного 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 низкочастотным 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. 3 приведены фотографии участков поперечных микросрезов стволиков однолетних сеянцев.



Рис. 3. Участки поперечных микросрезов стволиков однолетних сеянцев (слева – обработка ЭМП, справа – контроль; объектив – GF-Plan 12,5/0,25/160/0,17)

Fig. 3. Sites of transverse microsections of stipitates of yearlings (on the left – EMF treatment, on the right – control; microscope objective – GF-Plan 12.5/0.25/160/0.17)

Таким образом, обработка низкочастотным ЭМП привела к более быстрому формированию вторичной ксилемы основного стебля однолетних сеянцев сосны обыкновенной, при этом формирующиеся анатомические элементы

древесины имеют бóльшую толщину клеточных стенок в сравнении с контролем. Можно предположить, что выявленные изменения гистометрических характеристик варианта 1 будут способствовать повышению приживаемости семян, а также более интенсивному росту культур, заложенных с использованием посадочного материала, обработанного низкочастотным ЭМП.

Заключение

Сравнение ряда важнейших биометрических характеристик (высоты и массы семян, массы стволика, хвои и корней), влажности и зольности семян, гистометрических характеристик древесины стеблей однолетних семян выявило значительное превышение показателей опытных образцов по сравнению с контролем. Это указывает на ускорение ростовых процессов семян, обработанных низкочастотным ЭМП, что в свою очередь способствует получению стандартного посадочного материала в более сжатые сроки.

Использование низкочастотного ЭМП как способа повышения качества посадочного материала является принципиально новым и перспективным направлением, способным решать задачи развития лесного хозяйства России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Анашева Л.М., Лобанов А.В., Комиссаров Г.Г.* Влияние флуктуирующего электромагнитного поля на ранние стадии развития растений // Докл. АН. 2006. Т. 406, № 1. С. 108–110.
2. *Голдаев В.К.* Электрическое поле и урожай // Сел. хоз-во. 1980. № 4. С. 30–31.
3. ГОСТ 16483.7–71. Древесина. Методы определения влажности. М.: Стандартинформ, 2006. 4 с.
4. ГОСТ Р 56881–2016. Биомасса. Определение зольности стандартным методом. М.: Стандартинформ, 2016. 8 с.
5. Об утверждении Правил лесовосстановления: приказ Минприроды России от 29.06.2016 № 375. (Зарегистрирован в миноюсте РФ 15 ноября 2016 г., регистрац. № 44342). Доступ из справ.-правовой системы «Крсультант Плюс».
6. Пат. РФ 2591969. Способ предпосевной обработки семян и устройство для его осуществления / Смирнов А.И., Орлов Ф.С. Оpubл. 20.07.14, Бюл. № 20.
7. Пат. РФ 155132. Устройство для предпосевной обработки посевного материала / Смирнов А.И., Орлов Ф.С. Оpubл. 20.09.15, Бюл. № 26.
8. *Родин А.Р., Попова Н.Я., Крестов Д.С.* Интенсификация выращивания лесопосадочного материала. М.: Агропромиздат, 1989. 78 с.
9. *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. Мытищи, 2016. 20 с.
10. *Старухин Р.С., Белицин И.В., Хомутов О.И.* Метод предпосевной обработки семян с использованием эллиптического электромагнитного поля // Ползуновский вестн. 2009. № 4. С. 97–103.
11. *De Lucas M., EtcHELLS J.P.* Xylem. Methods and Protocols. New York: Humana Press, 2017. 262 p. DOI: 10.1007/978-1-4939-6722-3
12. *De Souza A., García D., Sueiro L., Licea L., Porras E.* Pre-Sowing Magnetic Treatment of Tomato Seeds: Effects on the Growth and Yield of Plants Cultivated Late in the Season // Spanish Journal of Agricultural Research. 2005. Vol. 3, no. 1. Pp. 113–122. DOI: 10.5424/sjar/2005031-131
13. *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. Vol. 25, iss. 8. Pp. 638–641. DOI: 10.1002/bem.20058

14. Podleśny J., Pietruszewski S., Podleśna A. Influence of Magnetic Stimulation of Seeds on the Formation of Morphological Features and Yielding of the Pea // International Agrophysics. 2005. Vol. 19, nr. 1. Pp. 61–68.

15. Schweingruber F.H. Wood Structure and Environment. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007. 279 p.

Поступила 27.11.18

UDC 630*232.32+630*811.1

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.78

Influence of Low-Frequency Electromagnetic Field on Biometric Parameters of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Seedlings

*A.I. Smirnov*¹, *Candidate of Agricultural Sciences*

*F.S. Orlov*¹, *Candidate of Agricultural Sciences*

*V.V. Belyaev*², *Doctor of Agricultural Sciences, Professor*

*P.A. Aksenov*³, *Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor*

¹Limited Liability Company “Raznoservis”, Likhov per., 10, Moscow, 127051, Russian Federation; e-mail: 364-27-37@mail.ru, ap-6@yandex.ru

²N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, RAS, Laboratory of Subsurface Geology and Dynamics of the Lithosphere, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 23, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: beljaew29@mail.ru

³Mytishchi Branch of Bauman Moscow State Technical University, ul. 1-ya Institutskaya, 1, Mytishchi, Moscow Region, 141005, Russian Federation; e-mail: axenov.pa@mail.ru

Results of the research, which was carried out on the base of Ust'yanskiy Forest Breeding and Seed Center in Arkhangelsk region, are discussed in this paper. The research purpose was to study the effect from low-frequency electromagnetic field (EMF) on biometric parameters of Scots pine yearlings grown with closed root network in greenhouses. Seedling treatment with low-frequency EMF was carried out using “Rost-Aktiv” generator. The experiment area was about 100 m². The obtained results indicate a clear positive effect from such processing, since there is a significant increase in biometric parameters of pine seedlings. A comparative histometric analysis of yearling microsections of stipulates in the control and test samples was carried out as an extension study. Its results also showed a significant advantage of the test samples over control samples. Thus, the processing of growing pine seedlings with low-frequency EMF using the proposed technology has shown the effectiveness of the method for technique intensification of growing high-quality planting material of Scots pine in forest nurseries.

Funding: The research was carried out within the framework of the state assignment of N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, RAS (state registration no. AAAA-A18-118012390305-7).

For citation: Smirnov A.I., Orlov F.S., Belyaev V.V., Aksenov P.A. Influence of Low-Frequency Electromagnetic Field on Biometric Parameters of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Seedlings. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2019, no. 2, pp. 78–85. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.78

Keywords: low-frequency electromagnetic field, Scots pine, seedlings, seedling treatment with low-frequency EMF, technology of pre-sowing seed treatment with EMF, histometric analysis of cross sections.

REFERENCES

1. Apasheva L.M., Lobanov A.V., Komissarov G.G. Effect of Alternating Electromagnetic Field on Early Stages of Plant Development. *Doklady Biochemistry and Biophysics*, 2006, vol. 406, iss. 1, pp. 108–110. DOI: 10.1134/S1607672906010017
2. Goldayev V.K. Electric Field and Harvest. *Sel'skoye khozyaystvo*, 1980, no. 4, pp. 30–31.
3. *GOST 16483.7-71. Wood. Methods for Humidity Determination*. Moscow, Standartinform Publ., 2006. 4 p.
4. *GOST R 56881-2016. Biomass. Determination of Ash by the Standard Method*. Moscow, Standartinform Publ., 2016. 8 p.
5. *On the Approval of Reforestation Rules: Order of the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation of June 29, 2016, no. 375* (Registered in the Ministry of Justice of the Russian Federation on November 15, 2016, registration no. 44342).
6. Smirnov A.I., Orlov F.S. *Method of Preplanting Treatment of Sowing Material and Device Therefor*. Patent RF, 2591969, 2014.
7. Smirnov A.I., Orlov F.S. *Device for Pre-Sowing Seed Treatment*. Patent RF no. 155132, 2014
8. Rodin A.R., Popova N.Ya., Krestov D.S. *Growing Intensification of Seedlings*. Moscow, Agropromizdat Publ., 1989. 78 p.
9. Smirnov A.I. *Influence of Low-Frequency Electromagnetic Field on Seed Germination and Growth of Scots Pine Seedlings in Nurseries of the Mixed Forest Zone*: Cand. Agric. Sci. Diss. Abs. Mytishchi, 2016. 20 p.
10. Starukhin R.S., Belitsyn I.V., Khomutov O.I. Method of Presowing Seed Treatment Using an Elliptical Electromagnetic Field. *Polzunovsky vestnik*, 2009, no. 4, pp. 97–103.
11. De Lucas M., Etchells J.P. *Xylem. Methods and Protocols*. New York, Humana Press, 2017. 262 p. DOI: 10.1007/978-1-4939-6722-3
12. De Souza A., García D., Sueiro L., Licea L., Porrás E. Pre-Sowing Magnetic Treatment of Tomato Seeds: Effects on the Growth and Yield of Plants Cultivated Late in the Season. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 2005, vol. 3, no. 1, pp. 113–122. DOI: 10.5424/sjar/2005031-131
13. 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, vol. 25, iss. 8, pp. 638–641. DOI: 10.1002/bem.20058
14. Podleśny J., Pietruszewski S., Podleśna A. Influence of Magnetic Stimulation of Seeds on the Formation of Morphological Features and Yielding of the Pea. *International Agrophysics*, 2005, vol. 19, nr. 1, pp. 61–68.
15. Schweingruber F.H. *Wood Structure and Environment*. New York, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007. 279 p.

Received on November 27, 2018
