

Сведения об авторах

Луцевич Анна Андреевна – старший преподаватель кафедры «Радиационная экология и БЖД» ФГБОУ ВПО «Брянская государственная инженерно-технологическая академия», г. Брянск, Российская Федерация; e-mail: annalutsevich@mail.ru.

Information about authors

Lutsevich Anna Andreevna – Senior lecturer of «Radiation Ecology and Life Safety» dept., FSBEI HPE «Bryansk State Engineering and Technological Academy», Bryansk, Russian Federation; e-mail: annalutsevich@mail.ru.

DOI: 10.12737/8436

УДК 53.072.172

ТЕРМОПОЛЯРИЗАЦИОННЫЙ МЕХАНИЗМ СОКОДВИЖЕНИЯ В ПЕРИОД ВЕСЕННЕГО РАВНОДЕНСТВИЯ

доктор физико-математических наук, профессор **Н. Н. Матвеев**¹

кандидат физико-математических наук **Н. С. Камалова**¹

кандидат физико-математических наук **Н. Ю. Евсикова**¹

кандидат физико-математических наук, доцент **В. И. Лисицын**¹

1 – ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия»,
Воронеж, Российская Федерация

В статье ищется ответ на вопрос, как осуществляется распределение концентрации растворенных в соке минеральных веществ после зимнего периода в ксилеме, если в осенний период в силу низких зимних температур дерево стремится уменьшить количество воды и сока в своих порах. В поисках ответа предлагается рассмотреть термополяризационные явления в ксилеме стволов деревьев в период весеннего равноденствия. Результаты мониторинга среднесуточной температуры показали, что в течение зимнего периода температура за день изменяется на величину, в полтора раза большую, чем за ночь, а в феврале это изменение практически одинаково. Тогда как в марте изменения температуры происходит сериями, порой они отличаются в три раза. Максимальное изменение температуры за день и за ночь достигается в период весеннего равноденствия, в среднем оно составляет десять градусов. Подобный характер изменения температуры сопровождается резкими скачками температуры в течение дня, которые, согласно проведенным оценкам, приводят к возникновению электрического поля в ксилеме вдоль ствола. В рамках такого подхода в работе было теоретически получено оценочное выражение для концентрации ионов солей в ксилеме стволов деревьев, дающее основания утверждать, что описанный механизм вносит свой вклад и в величину осмотического давления. Все эти рассуждения позволяют сделать предположение, что интенсивное весеннее сокодвижение (в отсутствии токов транспирации) стимулируется тер-

мополяризационными эффектами в ксилеме ствола, вызванными интенсивными изменениями температуры окружающей среды в этот период.

Ключевые слова: термополяризационные явления, изменение температуры окружающей среды, транспорт воды в ксилеме, весеннее сокодвижение, осмотическое давление.

THERMAL POLARIZATION MECHANISM OF SAP FLOW DURING THE SPRING EQUINOX

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor **N. N. Matveev**¹

PhD in Physics and Mathematical Sciences **N. S. Kamalova**¹

PhD in Physics and Mathematical Sciences **N. Y. Evsikova**¹

PhD in Physics and Mathematical Sciences, Associate Professor **V. I. Lisitsyn**¹

1 – FSBEI HPE «Voronezh State Academy of Forestry and Technologies»,
Voronezh, Russian Federation

Abstract

This article seeks the answer to the question of how the distribution of the concentration of dissolved minerals in the sap after the winter period in the xylem is made, if in the fall due to low winter temperatures tree tends to reduce the amount of water and sap in its pores. In search of an answer it is invited to consider thermal polarization effects in the xylem of tree trunks during the spring equinox. The results of monitoring of daily average temperature showed that during the winter the temperature of the day varies in the amount of one and a half times greater than during the night, and in February this change is almost the same. Whereas in March the temperature change occurs in series, they sometimes are different in three times. Maximum temperature change for the day and night is achieved during the spring equinox, on average, it is ten degrees. Such a temperature change is accompanied by sharp changes in temperature during the days, which, according to the estimates, give rise to an electric field in the xylem along the trunk. Under this approach, in the work estimated expression was theoretically derived for the concentration of salt ions in the xylem of tree trunks, giving reason to believe that the described mechanism also contributes to the value of the osmotic pressure. All these considerations lead to the assumption that intensive spring sap flow (in the absence of currents of transpiration) is stimulated by thermal polarization effects in the xylem of the trunk, caused by the intense ambient temperature changes during this period.

Keywords: thermal polarization phenomena, temperature change of the environment, transport of water in the xylem, spring sap flow, osmotic pressure.

Известно, что в древесных растениях одними только капиллярными явлениями невозможно создать достаточную подъёмную силу для движения растительного сока (вода с растворёнными в ней минеральными

веществами) по ксилеме от корней до самой верхушки. Например, дубам требуется доставлять раствор на высоту до 30 метров. При этом в дереве движение концентрированного раствора, каким является растительный

сок, считается ничем не ограниченным. Ответственность за такую подъемную силу в период раннего весеннего сокодвижения принято возлагать на осмотическое давление. По определению [1], это давление является избыточным гидростатическим давлением со стороны раствора, препятствующего диффузии растворителя отделенного от него полупроницаемой мембраной. Это давление стремится уравнивать концентрации растворов по обе стороны мембраны вследствие встречного движения молекул растворённого вещества и растворителя.

Загадка состоит в том, как осуществляется распределение концентрации растворенных минеральных веществ после зимнего периода в ксилеме, если в осенний период в силу низких зимних температур дерево стремится уменьшить количество воды, а, следовательно, и сока в своих порах. Интересным является еще и тот факт, что с началом весны (в марте) меняется характер изменений разности среднесуточной температуры дня и ночи в течение месяца. Например, на рис. 1 и 2 представлены средние изменения этой величины в течение

дня (к вечеру) и ночи (к утру) для декабря, января, февраля и марта 2012 г. Простое сравнение показывает, что в течение зимнего периода величина изменения температуры за день в 1,5 раза превосходит величину изменения температуры за ночь, а в феврале температура днем и ночью меняется практически одинаково. Тогда как в марте изменения температуры происходят сериями, порой их величины отличаются в 3 раза. Максимальное изменение температуры за день и за ночь достигается в период весеннего равноденствия, в среднем оно составляет 10 градусов. Резкий скачкообразный характер изменения температуры в течение дня, согласно проведенным оценкам, приводит к возникновению электрического поля в ксилеме вдоль ствола. Показанные на гистограмме (рис. 3) результаты исследований относительной разности потенциалов ($\Delta U / \Delta U_{\max}$), измеренной вдоль ствола, свидетельствуют о том, что существует корреляция этой величины с относительным увеличением температуры $\Delta T / \Delta T_{\max}$ в течение времени наблюдения.

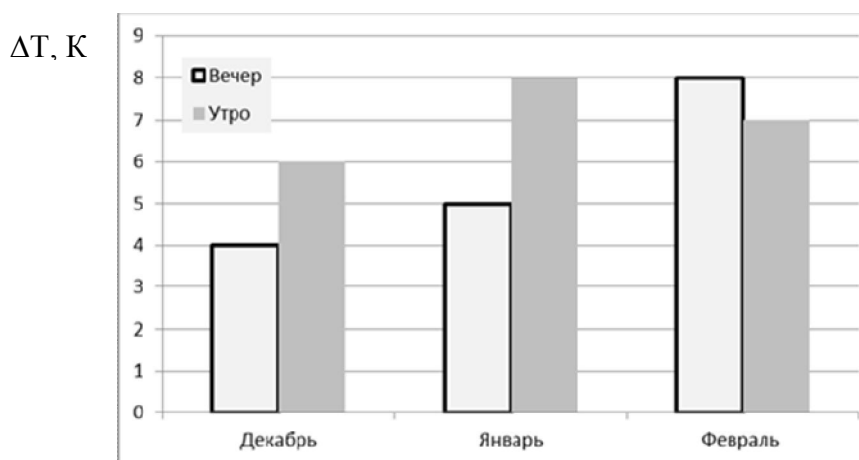


Рис. 1. Изменение величины температуры за день и за ночь в течение зимнего периода месяца 2012 г.

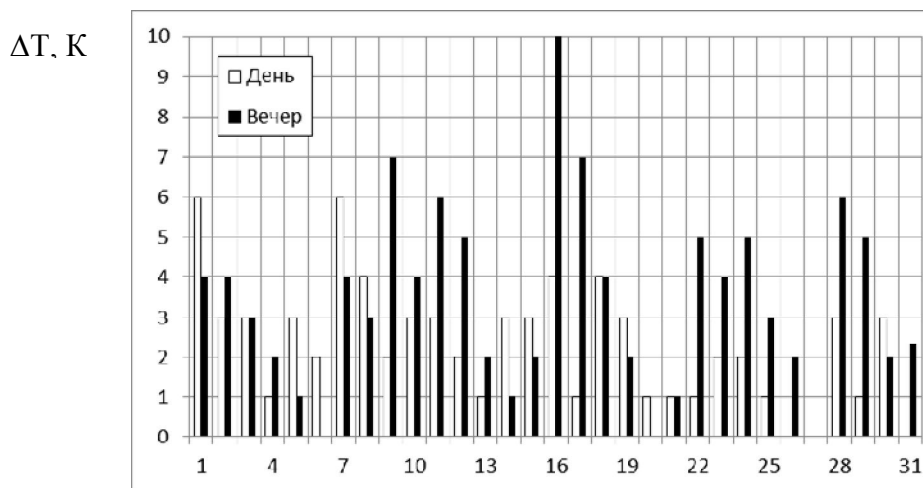


Рис. 2. Изменение величины температуры за день и за ночь в течение марта месяца 2012 г.

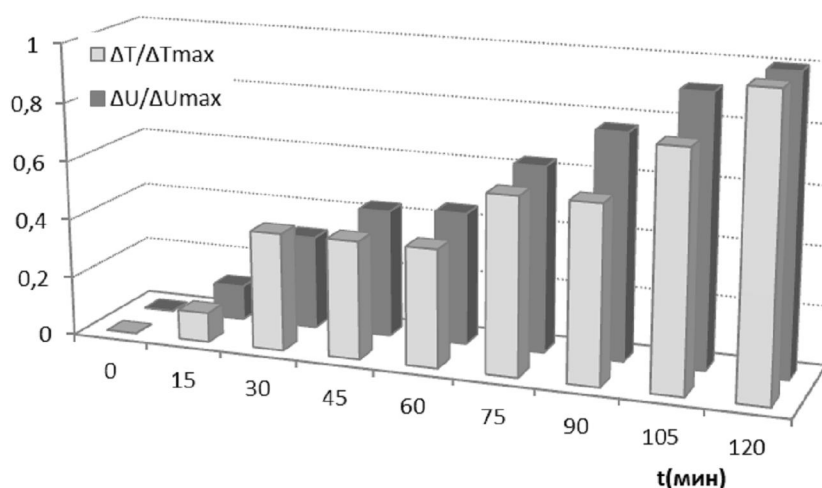


Рис. 3. Динамика относительного изменения вертикальной разности потенциалов $\Delta U/\Delta U_{\max}$ в сравнении с динамикой относительного увеличения температуры $\Delta T/\Delta T_{\max}$ в течение двух часов

На основании этих неоднократно проверенных данных [2] можно утверждать, что в ксилеме стволов дикорастущих древесных растений, произрастающих в естественной среде, при изменении температуры последней возникает разность потенциалов вдоль ствола, которая прямо пропорциональна величине этого изменения. В ряде работ нами предлагалось объяснить описанное явление термополяризационными свойствами древесной кристал-

лической целлюлозы [3, 4, 5, 6, 7, 8].

Древесина обладает низкой теплопроводностью, поэтому суточные изменения температуры обязательно влекут за собой возникновение неоднородного температурного поля вдоль радиуса ствола дерева. Поэтому при изменении температуры окружающей среды на ΔT в ксилеме ствола дерева температура неодинакова вдоль радиуса ствола и изменяется как

$$T(r, t) = T_0 + 1,6\Delta T(1 - 0,72(r/r_0)^2) \cdot \exp(-5,7at/r_0^2), \quad (1)$$

где T_0 – температура в центре ствола,
 r_0 – радиус ствола.

Поскольку, древесина растущего дерева на 90-95 % состоит из мертвых клеток, то стоит рассматривать процессы, ограничиваясь лишь ксилемой ствола. При этом основываясь на том факте, что компонентами клеточных стенок являются высокомолекулярные вещества: частично кристаллическая волокнообразующая целлюлоза и аморфный лигнин [9], можно на начальном этапе исследований моделировать древесину ствола (исключая живую флоэму, расположенную под корой) как полимерный композит, в котором армирующей компонентой служит целлюлоза, а наполнителем – лигнин.

Поскольку коэффициент теплового расширения лигнина значительно превышает таковой для целлюлозы, то изменение температуры внешней среды приводит к расширению или сжатию лигнина, которое вызывает деформацию кристаллитов целлюлозы. Известно, что целлюлоза обладает пирозлектрическими и пьезоэлектрическими свойствами, поэтому деформация ее пьезокристаллов в поле спонтанной поляризации будет сопровождаться появлением электрического поля термического происхождения, индукцию dD_i которого можно представить в виде [3, 4, 5, 6, 7, 8]:

$$dD_i = \varepsilon_0 \varepsilon_{ij} dE_j + \gamma_i dT - d_{ijk} c_{ijkl} \alpha_{kl} dT. \quad (2)$$

Здесь γ_i – пирозлектрический коэффициент целлюлозы,

ε_{ij} – тензор диэлектрической проницаемости,

d_{ijk} – тензор пьезоэлектрических модулей,

$d\sigma_{jk} = c_{ijkl} \alpha_{kl} dT$ – механические напряжения, возникающие в древесине при малом изменении температуры dT .

Поскольку свободных зарядов в древесине нет, уравнение Пуассона для электрического поля, вызванного термополяризационными явлениями, имеет вид:

$$\operatorname{div} D = 0.$$

Поэтому для напряженности электрического поля в радиальном направлении получается выражение [8]:

$$E(r) = E_0 \left(1 - 0,72 \frac{r^2}{r_0^2} \right) \exp(-\kappa r). \quad (3)$$

Здесь E_0 – модуль максимального значения напряженности электрического поля, который определяется пьезоэлектрическими и пирозлектрическими свойствами древесины и оценивается как: $E_0 = -\frac{1,6\Delta T}{\varepsilon_0 \varepsilon_k} (\gamma_{ki} - d_{ijk} c_{ijkl} \alpha_{kl})$, а коэффициент $\kappa = 5,7a/r_0^2$ зависит от температуропроводности вещества древесины a и радиуса цилиндра ствола r_0 .

Однако в древесных растениях радиус уменьшается с высотой, это может привести к возникновению неоднородности напряженности электрического поля вдоль оси ствола, а следовательно, и к возникновению разности потенциалов вдоль ствола, связанной с изменением температуры окружающей среды. Учитывая, что изменение радиуса ствола $\Delta r_0 = \chi h \ll r_0$ (что справедливо для большей части ствола), получим выражение для разности потенциалов:

$$U = \frac{1,15\Delta T}{\varepsilon_0\varepsilon_k} \delta^2 \frac{\chi h^2}{r_0} \exp(-\kappa t) = C_h \Delta T. \quad (4)$$

Здесь $\delta = r/r_0$ – относительная удаленность от центра ствола, а параметр $\chi = \Delta r_0/h$ характеризует изменение радиуса ствола с высотой.

Как известно, природная древесина представляет собой довольно сложный пористый биоконкомпозит, причем большинство пор находятся на некотором расстоянии r от центра ствола. В обычном состоянии поры древесины заполнены раствором солей, необходимых для жизнедеятельности растения [10], а их стенки покрыты адсорбированной фазой воды. Вообще говоря, согласно Поляни, адсорбция представляет собой физический процесс, и адсорбционная фаза состоит из многих слоев молекул. Следовательно, состояние молекул адсорбированной воды характеризуется энергией, которая заведомо меньше некоторого порогового значения W_i . В случае, когда энергия молекулы больше этого значения, молекула отделяется от адсорбционной фазы и становится «свободной».

В рамках такого подхода легко представить, что при изменении температуры окружающей среды ионы солей в порах оказываются во внешнем электрическом поле с разностью потенциалов U . В результате ионный ток, обусловленный макроскопическим перемещением ионов солей в растворе, будет сопровождаться адсорбцией ионов солей на молекулах воды, адсорбированных на стенках пор [12]. В некоторых случаях, сравнительно редко, ион может упруго отразиться от адсорбированной молекулы, причем такой удар не сопровождается обменом

энергией. Однако в большинстве случаев удар оказывается неупругим, и ион в течение некоторого промежутка времени остается в контакте с молекулой. Через некоторое время он покидает молекулу и возвращается в газовую фазу. Согласно Лэнгмюру [11], именно эта задержка во времени, вызванная пребыванием иона и молекулы «в паре», обуславливает явление адсорбции. Можно предположить, что при столкновении ионов солей с молекулами воды, образующими слои на поверхности пор, происходит такая задержка, которую можно моделировать неупругим ударом. Пусть ион массой m_i и зарядом q_i в электрическом поле приобретает кинетическую энергию:

$$W_k = \frac{p_i^2}{m_i} \approx q_i U. \quad (5)$$

Тогда после взаимодействия с молекулой воды массой m_0 импульс системы «молекула воды + ион», согласно закону сохранения импульса для неупругого удара, будет равен p_i , а кинетическая энергия будет определяться выражением:

$$W_{sk} = \frac{p_i^2}{2m_0(1 + m_i/m_0)}.$$

Используя (5) для определения p_i , преобразуем последнее соотношение к виду:

$$W = \frac{q_i U}{2(1 + m_i/m_0)}. \quad (6)$$

Полученное выражение говорит о том, что кинетическая энергия молекулы воды, на которую временно адсорбируется ион, тоже начинает зависеть от характеристик внешнего электрического поля. Поэтому при определенных значениях U молекула становится «свободной», тогда W_i можно определить из выражения:

$$W_i = \frac{q_i U}{2(1 + m_i/m_0)}. \quad (7)$$

С другой стороны, полагая, что в любой адсорбционной фазе более половины молекул имеют энергию больше некоторого значения W_F , зависящего от особенностей поверхности поры, можно задать плотность распределения числа молекул в адсорбированной фазе с данным значением энергии W как

$$F(W; T) = \frac{dN}{NdW} = \frac{1}{1 + \exp((W - W_F)/kT)}. \quad (8)$$

Здесь N – общее количество молекул воды в слоях.

Полагая, что число возможных состояний энергии для «свободных» молекул воды прямо пропорционально разности $W - W_i$ (т.к. только при превышении W_i молекула покинет адсорбционную фазу), можно определить изменение концентрации «свободных» молекул воды в результате описанного механизма как

$$dn = \frac{A(W - W_i)dW}{1 + (W - W_F)/kT}.$$

При условии, что $(W - W_F) \gg kT$, т.к. концентрация не может превосходить концентрации ионов солей в порах n_0 , после некоторых математических преобразований получим, что

$$n = n_0 \exp\left(-\frac{W_i - W_F}{kT}\right).$$

Тогда, с учетом (7) и (4) из последнего выражения можно получить следующее соотношение для концентрации солей в соке:

$$n_0 = n \exp\left(\frac{C_n q_i \Delta T - 2W_F(1 + m_i/m_0)}{2(1 + m_i/m_0)kT}\right). \quad (9)$$

Выражение (9) позволяет определить концентрацию ионов солей, участвующих

в диффузии раствора, из концентрации свободной воды, а значит из влажности ксилемы ствола, с учетом изменения температуры окружающей среды. Кроме того, величина осмотического давления, являющегося коллигативным свойством раствора, зависит от количества, а не от химической природы растворенных ионов солей, и рассчитывается по формуле [1]:

$$\pi = n_0 kT, \quad (10)$$

где n_0 – концентрация ионов солей в растворе,

k – постоянная Больцмана,

T – абсолютная температура раствора.

Поэтому, с учетом (9) можно утверждать, что описанный механизм вносит свой вклад и в величину осмотического давления.

В заключение необходимо отметить, что результаты мониторинга температуры в марте месяце и проведенные нами исследования позволяют предположить, что термополяризационные явления в ксилеме стволов деревьев играют более ощутимую роль в жизни древесных растений, чем это принято считать. Так, в период весеннего равноденствия в ксилеме формируется распределение ионов солей вдоль ствола, оказывающее согласно (9) и (10) большое влияние на механизмы осмотического давления в силу их зависимости от распределения концентрации ионов солей. Приведенные рассуждения позволяют сделать предположение, что интенсивное весеннее сокодвижение (в отсутствии токов транспирации) стимулируется термополяризационными эффектами в ксилеме ствола, вызванными интенсивными изменениями

температуры окружающей среды. Возможно, не малую роль в установлении стационарного потока минеральных ионов играет диффузия ионов солей и молекул

воды в пористой древесине ствола в электростатическом поле, разность потенциалов которого можно определить из соотношения (4).

Библиографический список

1. Большая Советская Энциклопедия [Текст] / 3-е изд. – М., 2008. – 672 с.
2. Сканирование электрического поля в стволах древесных растений как метод выявления жизненного состояния [Текст] / Н. Ю. Евсикова, Н. Н. Матвеев, О. М. Корчагин, Н. С. Камалова, В. Ю. Заплетин // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2008. – № 6. – С. 43-49.
3. Матвеев, Н. Н. Поляризация эффекты в кристаллизующихся полимерах [Текст] : монография / Н. Н. Матвеев, В. В. Постников, В. В. Саушкин. – Воронеж, 2000. – 170 с.
4. Новый подход к определению степени кристалличности целлюлозы в древесине [Текст] / Н. Ю. Евсикова, Н. С. Камалова, Н. Н. Матвеев, В. В. Постников // Известия РАН. Серия физическая. – 2010. – Т. 74. – № 9. – С. 1373-1374.
5. Разность потенциалов, возникающая в природной древесине под действием неоднородных температурных полей [Текст] / Н. Ю. Евсикова, Н. С. Камалова, В. В. Постников, Н. Н. Матвеев, В. И. Лисицын, Н. А. Саврасова, Б. М. Кумицкий // Вестник физико-математического факультета Елецкого государственного университета им. И. А. Бунина : сборник научных и учебно-методических трудов. – Елец, 2006. – Вып. 1. – С. 218 – 221.
6. Термополяризация явления в древесном слое [Текст] / Н. Ю. Евсикова, Н. Н. Матвеев, В. В. Постников, Н. С. Камалова, В. И. Лисицын // Молодые ученые - науке, технологиям и профессиональному образованию (Молодые ученые – 2008) : материалы Международной научно-технической школы-конференции, Москва, 10–13 ноября 2008 г. / под ред. А. С. Сигова. – М. : Энергоатомиздат, 2008. – Ч. 3. – С. 72–74.
7. Электрические поля термического происхождения в природной древесине [Текст] / Н. Ю. Евсикова, В. В. Постников, Н. Н. Матвеев, В. И. Лисицын // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения (INTERMATIC – 2006) : материалы Международной научно-технической конференции, Москва, 24–28 октября 2006 г. / под ред. А. С. Сигова. – М. : Энергоатомиздат, 2006. – Ч. 3. – С. 87–89.
8. Возникновение неоднородного температурного поля при температурном сканировании кристаллизующихся полимеров [Текст] / Н. Ю. Евсикова, Н. С. Камалова, В. В. Постников, Н. Н. Матвеев // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения (INTERMATIC – 2007) : материалы 5 Международной научно-технической конференции, Москва, 23-27 октября 2007 г. / под ред. А. С. Сигова. – М. : Энергоатомиздат, 2007. – Ч. 3. – С. 99-102.
9. Уголев, Б. Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения [Текст] : учеб. для лесотехнических вузов / Б. Н. Уголев. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – М. : МГУЛ, 2001. – 340 с.
10. Богомолов, Б. Д. Химия древесины и основы химии высокомолекулярных соединений [Текст] : учеб. / Б. Д. Богомолов. – М. : Химия, 1973. – 400 с.

11. Брунауер, С. Адсорбция газов и паров [Текст] : учеб. / С. Брунауер. – Москва : Из-во иностранной литературы, 1948. – 754 с.

12. Сажин, Б. И. Электрические свойства полимеров [Текст] : учеб. / Под ред. Б. И. Сажина. – Л. : Химия, 1986. – 224 с.

References

1. *Bol'shaja Sovetskaja Jenciklopedija* [Great Soviet Encyclopedia]. Moscow, 2008, 672 p. (In Russian).

2. Evsikova N.Y., Matveev N.N., Korchagin O.M., Kamalova N.S., Zapletin V.Y. Skanirovanie jelektricheskogo polja v stvolah drevesnyh rastenij kak metod vyjavlenija zhiznennogo sostojanija [Scanning of the electric field in trunks of woody plants as a method to identify the state of life]. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Lesnoj zhurnal – Bulletin of institutions of higher education. Forest journal*, 2008, no. 6, pp. 43-49. (In Russian).

3. Matveev N.N. Postnikov V.V., Saushkin V.V. *Poljarizacionnye jeffekty v kristallizujushhihsja polimerah* [Polarization effects in crystallizing polymers]. Voronezh, 2000, 170 p. (In Russian).

4. Evsikova N.Y., Kamalova N.S., Matveev N.N., Postnikov V.V. Novyj podhod k opredele-niju stepeni kristallichnosti celljulozy v drevesine [The new approach to the determination of the degree of crystallinity of the cellulose in the wood]. *Izvestija RAN. Serija fizicheskaja – Proceedings of RAS. Physics series*, 2010, Vol. 74, no. 9, pp. 1373-1374. (In Russian).

5. Evsikova N.Y., Kamalova N.S., Postnikov V.V., Matveev N.N., Lisitsyn V.I., Savrasova N.A., Kumitsky B.M. Raznost' potencialov, vznikajushhaja v prirodnoj drevesine pod dejstviem neodno-rodnyh temperaturnyh polej [The potential difference that occurs in natural wood under the influence of non-uniform temperature fields]. *Vestnik fiziko-matematicheskogo fakul'teta Eleckogo gosudarstvennogo universiteta im. I. A. Bunina : sbornik nauchnyh i uchebno-metodicheskikh trudov – Bulletin of Physics and Mathematics Faculty of Yelets State University named after IA Bunin: a collection of scientific and educational works*, Yelets, 2006, Iss. 1, pp. 218-221. (In Russian).

6. Evsikova N.Y., Matveev N.N., Postnikov V.V., Kamalova N.S., Lisitsyn V.I. *Termopol-jarizacionnye javlenija v drevesnom sloe* [The thermal polarization phenomenon in the tree layer]. *Molodye uchenye - nauke, tehnologijam i professional'nomu obrazovaniju (Molodye uchenye – 2008) : materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy shkoly-konferencii, Moskva, 10–13 no-jabrja 2008 g.* [Young Scientists to Science, Technology and Vocational Education (Young scientists - 2008): Proceedings of the International Scientific School-Conference, Moscow, November 10-13, 2008]. Moscow, Energoatomizdat, 2008, Part 3, pp. 72-74. (In Russian).

7. Evsikova N.Y., Postnikov V.V., Matveev N.N., Lisitsyn V.I. *Jelektricheskie polja termicheskogo proishozhdenija v prirodnoj drevesine* [Electric fields of thermal origin in natural wood]. *Fundamental'nye problemy radiojelektronnogo priborostroenija (INTERMATIC – 2006) : materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii, Moskva, 24–28 oktjabrja 2006 g.* [Fundamental problems of radio-electronic instrument (INTERMATIC - 2006): Proceedings of the International Science and Technology Conference, Moscow, October 24-28, 2006]. Moscow, Energoatomiz-

dat, 2006, Part 3, pp. 87-89. (In Russian).

8. Evsikova N.Y., Kamalova N.S., Postnikov V.V., Matveev N.N. *Vozniknovenie neodnorodnogo temperaturnogo polja pri temperaturnom skanirovanii kristallizujushhhsja polimerov* [The appearance of inhomogeneous temperature field at a temperature scanning of crystallizing polymers]. *Fundamental'nye problemy radioelektronnogo priborostroenija (INTERMATIC – 2007) : materialy 5 Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii, Moskva, 23–27 oktjabrja 2007 g.* [Fundamental problems of radio-electronic instrument (INTERMATIC - 2007): materials of the 5th International Science and Technology Conference, Moscow, October 23-27, 2007]. Moscow, Energoatomizdat, 2007, Part 3, pp. 99-102. (In Russian).

9. Ugolev B.N. *Drevesinovedenie s osnovami lesnogo tovarovedenija* [Wood Science with forest-based Commodity]. Moscow, 2001, 340 p.

10. Bogomolov B.D. *Himija drevesiny i osnovy himii vysokomolekuljarnyh soedinenij* [Wood Chemistry and fundamentals of Macromolecular Chemistry]. Moscow, 1973, 400 p. (In Russian).

11. Brunauer S. *Adsorbcija gazov i parov* [The adsorption of gases and vapors]. Moscow, 1948, 754 p. (In Russian).

12. Sazhin B.I. *Jelektricheskie svojstva polimerov* [Electrical properties of polymers]. Leningrad, 1986, 224 p. (In Russian).

Сведения об авторах

Матвеев Николай Николаевич – первый проректор, профессор кафедры общей и прикладной физики ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия», доктор физико-математических наук, профессор, Воронеж, Российская Федерация; e-mail: rc@icmail.ru.

Камалова Нина Сергеевна – доцент кафедры общей и прикладной физики ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия», кандидат физико-математических наук, Воронеж, Российская Федерация; e-mail: rc@icmail.ru.

Евсикова Наталья Юрьевна – преподаватель кафедры общей и прикладной физики ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия», кандидат физико-математических наук, Воронеж, Российская Федерация; e-mail: rc@icmail.ru.

Лисицын Виктор Иванович – заведующий кафедрой общей и прикладной физики ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия», кандидат физико-математических наук, доцент, Воронеж, Российская Федерация; e-mail: rc@icmail.ru.

Information about authors

Matveev Nikolay Nikolaevich – Vice-Rector, Professor of the Department General and Applied Physics of FSBEI HPE «Voronezh State Academy of Forestry and Technologies», Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Voronezh, Russian Federation; e-mail: rc@icmail.ru.

Kamalova Nina Sergeevna – Associate Professor of department General and Applied Physics of FSBEI HPE «Voronezh State Academy of Forestry and Technologies», PhD in Physics and Mathematical Sciences, Voronezh, Russian Federation; e-mail: rc@icmail.ru.

Evsikova Natalya Yuryevna – Lecturer of the Department General and Applied Physics of FSBEI HPE «Voronezh State Academy of Forestry and Technologies», PhD in Physics and Mathematical Sciences, Voronezh, Russian Federation; e-mail: rc@icmail.ru.

Lisitsyn Victor Ivanovich – Head of Department General and Applied Physics of FSBEI HPE «Voronezh State Academy of Forestry and Technologies», PhD in Physics and Mathematical Sciences, Associate Professor, Voronezh, Russian Federation; e-mail: rc@icmail.ru.

DOI: 10.12737/8438

УДК 630*232.12

РЕЗУЛЬТАТ ВЫРАЩИВАНИЯ КЛИМАТИПОВ СОСНЫ В ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КУЛЬТУРАХ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО ПОДМОСКОВЬЯ

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент **П. Г. Мельник**¹

доктор сельскохозяйственных наук, профессор **М. Д. Мерзленко**²

1 – ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»,

г. Мытищи-5, Российская Федерация

2 – ФГБУН «Институт лесоведения РАН», с. Успенское, Российская Федерация

Географические культуры являются основным средством изучения географической изменчивости наследуемых свойств лесных пород. В статье приведены результаты выращивания географических культур сосны на территории северо-восточного Подмосковья. Объекты заложены под руководством проф. С.С. Лисина и представлены двумя участками, расположенными в Свердловском лесничестве Щёлковского учебно-опытного лесхоза Московского государственного университета леса. По достижении каждого из двух объектов географических посадок 50-летнего возраста, была сделана очередная таксация. В этом возрасте, географические культуры по своему развитию находились на завершающей стадии фазы формирования стволов. Для объективной оценки роста провениенций, использовался индекс оценки потомств, были рассчитаны индексы в 30 и 50 лет по средней высоте, среднему диаметру и запасу стволовой древесины на одном гектаре. Ранги климатипов меняются в процессе роста, экотипы имеющие наилучшие позиции в 50 лет (фаза формирования стволов), не всегда имели наилучшие ранги в 30 лет (фаза жердняка). Наибольшую возрастную стабильность среди лучших проявляют климатипы из Волгоградской и Сумской областей. Это говорит о продолжающейся дифференциации провениенций сосны обыкновенной, однако необходимо отметить, что эта дифференциация по показателям роста происходит во всё более узких рамках. В целом для условий северо-восточного Подмосковья лучшими являются климатипы из Волгоградской, Саратовской и Тамбовской областей России, Украины и Латвии. С продвижением на север и восток наблюдается снижение интенсивности роста провениенций сосны обыкновенной, самые плохие результаты роста зафиксированы для климатипов происхождением из Европейского Севера, Урала, Сибири и Дальнего Востока.

Ключевые слова: географические культуры, сосна обыкновенная, климатип, провениенция, фаза формирования стволов, Щёлковский учебно-опытный лесхоз, Подмосковье.