

УДК 51:621;532

ТЕРМОПОЛЯРИЗАЦИОННЫЙ МЕХАНИЗМ
ВЕСЕННОГО СОКОДВИЖЕНИЯ

Камалова Н. С., Рощупкин А. Д., Косенко А. Э.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова»

E-mail: rc@icmail.ru

Вода является основной составной частью растительных организмов. Ее содержание доходит до 95 % от массы организма, и она участвует прямо или косвенно во всех жизненных процессах. Она осуществляет связь органов, координирует их деятельность в целостном растении. Вода входит в состав мембран и клеточных стенок, составляет основную часть цитоплазмы, поддерживает ее структуру, устойчивость входящих в состав цитоплазмы коллоидов, обуславливает определенную конформацию молекул белка. Ее высокое содержание придает цитоплазме подвижный характер. Являясь растворителем, вода обеспечивает транспорт веществ по растению и циркуляцию растворов. Кроме того, все реакции гидролиза, многочисленные окислительно-восстановительные реакции (фотосинтез, дыхание) идут с участием воды. Вода защищает растительные ткани от резких колебаний температуры.

Если попытаться найти информацию по транспортировке водных растворов в ксилеме деревьев, то большинство статей описывают так называемые транспирацию и корневое давление. Двух этих явлений достаточно, чтобы описать движение воды в деревьях при испарении. Однако, эти механизмы не могут объяснить такое явление как сокодвигание в деревьях ранней весной, когда процесс испарения происходит не так явно и его недостаточно для поднятия уровня жидкости до верхних границ ствола дерева.

Большинство исследователей считает, что особенное значение в отсутствие транспирации приобретает именно нижний концевой двигатель водного тока. У некоторых многолетних растений в зимний период сосуды ксилемы заполнены воздухом и весной поступление воды идет за счет работы только нижнего концевого двигателя. Однако, механизм корневого давления и особенности его включения до сих пор остаются загадкой.

В статье предлагается сравнить механизмы транспорта воды в деревьях с наиболее похожими механизмами в насосах и оценить исходя из необходимого

избыточного давления физические характеристики процесса, который на наш взгляд может быть ответственен за раннее весеннее сокодвижение.

Известно, что в древесных растениях ранней весной создается достаточно большая подъёмная сила 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. В таком случае принцип работы корневого давления схож с работой высоковакуумных молекулярных насосов.

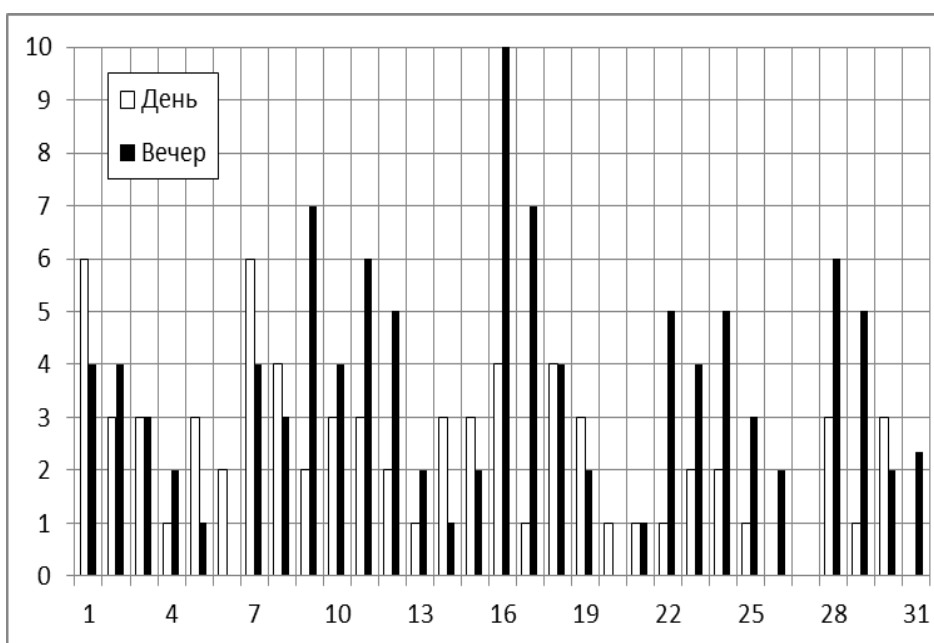


Рисунок 1 – Среднесуточные изменения температуры ранней весной

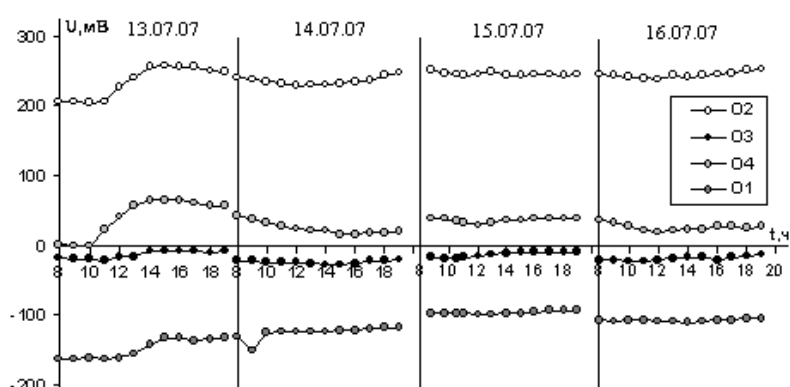
Молекулярные насосы осуществляют откачку за счёт передачи молекулам газа импульса от твёрдой, жидкой или парообразной быстродвижущейся поверхности (откачивающей). К ним относятся водоструйные, эжекторные, диффузионные молекулярные насосы с одинаковым направлением движения откачивающей поверхности и молекул газа и турбомолекулярные насосы с взаимно перпендикулярным движением твёрдых поверхностей и откачиваемого газа. Для понимания принципа работы корневого давления необходимо выяснить, что является быстродвижущейся поверхностью и как осуществляется передача энергии для ее движения.

Для ответа на эти вопросы следует обратить внимание на тот факт, что интенсивное сокодвижение ранней весной начинается при определенных тем-

пературных условиях. На рисунке 1 приведены типичные среднесуточные изменения температуры ранней весной в этот период. Очевидно, что изменения среднесуточной температуры носят периодический характер и достигают 10 К.

Результаты экспериментальных исследований.

Экспериментальные исследования показали, что при изменении температуры окружающей среды возникает разность потенциалов вдоль ствола, которая слабо зависит от времени. На основе этих фактов можно предложить, механизм интенсивного весеннего сокодвижения (в отсутствии токов транспирации). Поток минеральных ионов (движущейся поверхности) осуществляется в пористой древесине ствола по принципу молекулярного вакуумного насоса, в котором энергия раствора солей потребляется из термополяризационного поля ксилемы при изменении температуры окружающей среды [1-10].



O1 – осина № 1, O2 – осина № 2, O3 – осина № 3, O4 – осина [5]

Рисунок 2 – Суточная динамика разности потенциалов между центром ствола и половиной радиуса

На рисунке 2 представлены измерения динамики разности потенциалов в стволах деревьев в течение дня [4]. Простой анализ приведенных экспериментальных данных показывает, что состояние каждого дерева характеризуется своим уровнем разности потенциалов, которое непрерывно, плавно изменяет свое значение в течение дня. Причем характер изменения во всех четырех осинах происходит примерно одинаково и зависит от изменений температуры окружающей среды. Интересно, что возрастание разности потенциалов в стволах осин происходит одинаковым образом примерно через 3-4 ч после возрастания температуры окружающей среды.

Избыточное давление необходимое для транспорта раствора согласно ос-

новным принципам механики жидкости и газа определяется из соотношения

$$p = \rho gh, \quad (1)$$

где ρ – плотность раствора, g – ускорение свободного падения, h – высота подъема. При этом давление создаваемое потоком ионов солей в термополяризационном электрическом поле (с разностью потенциалов U) можно оценить как отношение работы электрического поля A_U к объему V , которое согласно законам электростатики определяется соотношением:

$$p = A_u / V = \sum_i^k n_i q_i U \quad (2)$$

где n_i, q_i – соответственно концентрация и заряд ионов i -ой соли. Полагая, что потери несущественны при движении тока, и учитывая, что

$$n_i = \frac{\rho_i}{m_i} = \frac{\rho_i}{\rho m_i} \rho = C_i \frac{\rho}{m_i},$$

(C_i – процент содержания i -ой соли в растворе сока, а m_i – масса молекулы соли) приравняв соотношения (1) и (2) можно получить следующее соотношение, позволяющее оценить необходимую разность потенциалов для подъема раствора на высоту h :

$$U = \frac{gh}{q_i / m_i C_i}. \quad (3)$$

Оценка разности потенциалов, например для катиона азота, концентрация которого согласно исследованиям возрастает именно ранней весной позволяет получить для $h = 30$ м величину порядка нескольких милливольт для $C = 1$ %. Учитывая комплексность и различия в составе сока различных деревьев общая разность потенциалов может колебаться от нескольких до нескольких сотен милливольт.

Согласно приведенным исследованиям разность потенциалов формирующаяся в результате изменения температуры окружающей среды составляет около 5-200мВ [4-5]. Совпадение порядка величины разности потенциалов говорит о том, что термополяризационные явления в ксилеме стволов лежат в основе механизма раннего весеннего сокодвижения.

В результате оценки разности потенциалов, необходимой для транспорта раствора солей на высоту выяснилось, что теоретические расчеты в рамках термополяризационной модели механизма раннего весеннего сокодвижения совпадают с наблюдаемыми по порядку величины. Совпадение порядка величины разности потенциалов говорит о том, что термополяризационные явления в ксилеме стволов могут лежать в основе механизма раннего весеннего сокодвижения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Саушкин, В. В. Оценка жизненного состояния лесных массивов цифровыми методами [Текст] / В. В. Саушкин, Н. С. Камалова, И. Д. Евсиков // Актуальные направления научных исследований XXI века : теория и практика. 2017. Т. 5. – № 1 (27). – С. 249-252.

2 Термополяризационные свойства почвы и древесины в прогнозировании лесных пожаров [Текст] / В. И. Лисицын [и др.] ; В. И. Лисицын, Н. С. Камалова, Н. Ю. Евсикова, А. Н. Черников // Актуальные направления научных исследований XXI века : теория и практика – Воронеж, 2016. – № 5, ч. 1 (25-1). – С. 88-94.

3 Оценка избыточного давления растворов на мембраны в порах гетерогенных структур природного происхождения [Текст] / Н. С. Камалова [и др.] ; Н. С. Камалова, Н. Ю. Евсикова, Н. А. Саврасова, Н. М. Киреев // Актуальные направления научных исследований XXI века : теория и практика – Воронеж, 2016. – № 5, ч. 1 (25-1). – С. 156-160.

4 Измерение влажности древесины методом температурного сканирования [Текст] / Н. Н. Матвеев [и др.] ; Н. Н. Матвеев, Н. С. Камалова, Н. Ю. Евсикова, Н. С. Юрьев // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика – Воронеж, 2016. – № 5, ч. 1 (25-1). – С. 161-166.

5 Оценка возможного влияния слабого импульсного магнитного поля на микроструктуру биопластика [Текст] / В. В. Постников [и др.] ; В. В. Постников, Н. С. Камалова, Н. Ю. Евсикова, И. О. Зорина // Актуальные направления научных исследований XXI века : теория и практика – Воронеж, 2016. – № 5, ч. 1 (25-1). – С. 166-171.

6 Матвеев Н. Н., Камалова Н. С., Евсикова Н. Ю., Лисицын В. И. Термополяризационный механизм сокодвижения в период весеннего

равноденствия // Лесотехнический журнал. 2014. Т. 4. – № 4 (16). – С. 26-36.

7 Евсикова Н. Ю., Матвеев Н. Н., Камалова Н. С. Степень кристалличности целлюлозы и время релаксации сегментальной подвижности ее макромолекул в неоднородном температурном поле // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2011. – Т. 7. – № 8. – С. 180-182.

8 Евсикова Н. Ю., Камалова Н. С., Постников В. В., Матвеев Н. Н. Возникновение неоднородного температурного поля при температурном сканировании кристаллизующихся полимеров // В сборнике : INTERMATIC – 2007 Материалы Международной научно-практической конференции "Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения". Председатель редколлегии Ю. В. Гуляев. 2007. – С. 99-102.

9 Евсикова Н. Ю., Камалова Н. С., Постников В. В., Матвеев Н. Н. Возникновение неоднородного температурного поля при температурном сканировании кристаллизующихся полимеров // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. 2007. – Т. 7. – № 3. – С. 99-102.

10 Евсикова Н. Ю., Камалова Н. С., Постников В. В., Матвеев Н. Н., Лисицын В. И., Саврасова Н. А., Кумицкий Б. М. Разность потенциалов, возникающая в природной древесине под действием неоднородных температурных полей // В сборнике: Вестник физико-математического факультета Елецкого государственного университета им. И. А. Бунина Елец, 2006. – С. 218-221.

11 Камалова Н. С., Евсикова Н. Ю., Лисицын В. И., Матвеев Н. Н., Постников В. В., Саврасова Н. А., Саушкин В. В. Модель распределения неоднородного электрического поля термического происхождения по радиальной составляющей в стволе дерева // В сборнике : Наука и образование на службе лесного комплекса (к 75-летию ВГЛТА) Материалы международной научно-практической конференции (к 75-летию ВГЛТА). Воронеж, – 2005. – С. 294-297.

12 Кириченко, Н. А. Термодинамика, статистическая и молекулярная физика / Учебное пособие. 3-е изд. – М. : Физматкнига, 2005. – 176 с.