

ПРЕДРАСВЕТНЫЙ ВОДНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ВЛАГООБЕСПЕЧЕННОСТИ ДРЕВОСТОЕВ

А.Г. Молчанов

Институт лесоведения РАН,
Россия, 143030, Успенское, Одинцовский р-н, Московская обл.; *a.georgievich@gmail.com*

Реферат. На основе литературных данных проанализирована связь характеристик водного режима почвы и древесных растений (дуба, березы, осины и ели) с физиологическими показателями их состояния. Рассмотрены основные подходы, используемые для определения водного потенциала почвы и растений. Отмечены критические показатели состояния водного режима саженцев растений. Показана взаимосвязь водного потенциала почвы и древесных растений при различных условиях их произрастания. Выявлено, что в гибель саженцев березы повислой наблюдается при потенциале почвы от 3.1 до 4.1 МПа, а осины – при 2.9-3.3 МПа. У саженцев ели признаки гибели от иссушения проявляются при водном потенциале почвы около 5 МПа, тогда как ассимиляционные процессы у ели прекращаются при существенно меньшем иссушении почвы, чем у березы и осины. Анализ экспериментальных данных также позволил выявить, что для взрослых древесных растений, произрастающих в лесостепной зоне при засушливых условиях, влажность верхних слоев почвы не может быть достоверно использована для характеристики влагообеспеченности корнеобитаемого слоя, и для его описания наиболее эффективным показателем является предрасветный водный потенциал. Показано, что ассимиляционные процессы у дуба черешчатого прекращаются, когда предрасветный водный потенциал листьев достигает 3 МПа.

Ключевые слова. Водный потенциал почвы и растений, предрасветный водный потенциал, влагообеспеченность древесных растений, дуб, береза, осина, ель.

PREDAWN WATER POTENTIAL, AS AN INDICATOR OF WATER AVAILABILITY OF TREE STANDS

A.G. Molchanov

Institute of Forest Science, RAS,
Uspenskoe, Odinzovskiy, 143030, Moscow oblast, Russia; *a.georgievich@gmail.com*

Abstract. The relationships between soil and plant water availability (oak, birch, aspen, spruce trees) and physiological indicators of their living conditions are analyzed on the basis of literature data. The main approaches used to derive the soil and plant water conditions are considered. Critical indicators of water

availability of plant saplings are found. The interrelations between soil and plant water potentials under various growing conditions are shown. It is revealed that the death of silver birch saplings is observed when the soil water potential reached 3.1-4.1 MPa, and the death of aspen ones – 2.9-3.3 MPa. The first signs of death of spruce saplings become evident when the soil water potential reached 5 MPa whereas assimilation processes of spruce trees are terminated at significantly lower soil water potentials than of the birch and aspen trees. Experimental data analysis is also showed that the wetness of the upper soil layer cannot be used to characterize moisture availability in root zone of the mature woody plants growing in the forest-steppe zone under drought conditions. The predawn water potential can be used as the most appropriate indicator for its description. It is shown that assimilation processes of European oak are terminated when the predawn water potential of leaves reaches 3 MPa.

Keywords. Soil and plant water potentials, predawn water potential, moisture availability of woody plants, oak, birch, aspen, spruce.

Введение

На основе мониторинга температуры поверхности были получены данные, свидетельствующие, что наибольшее значимое понижение летних суммарных осадков наблюдалось на юго-востоке Восточно-Европейской равнины и составило в среднем 5% в период 1926-1962 гг. и 10% в 1995-2012 гг. (Черенкова, 2017). Скорость роста среднегодовой температуры по России за 10 лет составила 0.45°C, что более чем в 2.5 раза выше среднего результата по планете (около 0.17°C за 10 лет). Также в целом по РФ в последние десятилетия наблюдается рост годовых сумм осадков примерно на 2% каждые 10 лет (Доклад об особенностях..., 2018). Выводы И.Н. Кургановой с соавторами (2017) показывают, что каждый второй-третий год, в период проведения наблюдений, был в той или иной степени засушливый.

Таким образом, в связи с изменением климата во многих регионах возможно изменение влагообеспеченности. Одним из важных составляющих лесорастительных условий, влияющих на развитие растений, является уровень почвенной влаги. Однако характеризовать количество или состояние влаги в почве единым показателем не так просто. Обычно изменение влагообеспеченности почвы определяется термовесовым методом, недостатком которого является несоответствие процентного содержания влаги с ее доступностью для растений в зависимости от механического состава почвы. Содержание влаги в почве зависит от ее физических свойств, рельефа местности и от соотношения количества осадков с испаряемостью. Недостаток влаги в почве в значительной степени может повлиять на состояние древостоев.

Влажность почвы и водный потенциал почвы (ВП) характеризует количество и состояние влаги в каждом из ее слоев. Водный потенциал растения показывает его влагообеспеченность. Оценку предрассветного водного потенциала используют как показатель доступности воды в почве (Кудоярова и др., 2013). Однако во многих случаях было отмечено несоответствие между

водным потенциалом почвы и предрассветным водным потенциалом (ПВП) растения. При исследовании 21 растения (Donovan et al., 2001) расхождения составляли от 0.5 до 2.3 МПа. ПВП в большей степени связан с влажностью почвы и с уровнем дефицита влаги в самом растении, не восполненной в течение ночи. Можно обоснованно считать, что ночью водный потенциал почвы, поверхности корня и водный потенциал листа одинаковые (Слейчер, 1970; Кудоярова и др., 2013). Дневные значения ВП листа в значительной степени обусловлены погодными условиями, и чем больше недостаток влаги в почве, тем значительнее сказывается напряженность метеоусловий на ВП листа (Богатырев, Васильева, 1985). В зависимости от влагообеспеченности в ясные, малооблачные и пасмурные дни ВП листа может различаться в два раза.

Величину ВП растений применяют также для оценки их состояния при загрязнении поллютантами (Кайбияйнен и др., 1995) и при определении причин возможного поселения на растения различных насекомых (Линдеман, 1988) и др.

Методы

В настоящее время существующие методы измерения давления влаги в почве и в растительных тканях, которые различаются по точности и диапазону измерений (Богатырев, 1984). Криоскопический и психрометрический методы дают нам возможность определения водного потенциала, как почвы, так и растительных тканей. Психрометрический метод является одним из наиболее признанных в методическом отношении. Сравнение психрометрического и криоскопического методов показали, что в интервале от 0 до 6.0-7.0 МПа точность измерения давления влаги находится в пределах 0.2 до 0.3 МПа (Богатырев, 1984). В исследовании С. Сузуки (Suzuki, 2004) были получены кривые зависимости содержания воды в почвах, разных по механическому составу, и матричного потенциала, полученные психрометрическим и криоскопическим методами. Результаты показали, что взаимосвязи, рассчитанные с помощью этих методов, практически не различаются. Методика определения ВП почвы криоскопическим методом описана довольно полно, этим методом можно определять ВП как почвы, так и любых растительных тканей (Судницин, 1966; Судницин, Скалабан, 1968; Взнуздаев, 1973; Богатырев, 1984). Для измерения ВП растительных тканей также используется изопиестическим методом (Котов, Котова, 2010). Взаимосвязь ВП почвы и влажности для темно-серой суглинистой почвы определена в Теллермановском опытном лесничестве Института лесоведения РАН (Жосу, 1988; Молчанов, 2007). В этих работах ВП определяли криоскопическим методом, а влажность почвы – термовесовым. В настоящее время, при определении ВП, для регистрации показаний термопары используется микровольтметры, например, Щ-1516.

ВП листы и облиственных побегов в основном определяют при помощи камеры давления (Рахи, 1973; Иванов, 1991; Scholander et al., 1965). Сравнение психрометрического метода с методом камеры давления показали, что точность измерений в интервале 0-4 МПа составляет 5-10% (Богатырев, 1984).

Результаты

В засушливый 1972 г. на рыхлых супесчаных почвах с уровнем почвенно-грунтовых вод (УПГВ) на 3.5–4 м в верхнем 50 см слое почвы ВП почвы был выше 2.5–3 МПа, но уже на глубине 1 м составлял всего 0.5 МПа (Абатуров и др., 1976). При раскопках корней оказалось, что 9-летние деревья сосны, имеющие корни свыше 1.8 м, не пострадали от засухи, тогда как деревья с корнями до 0.8 м – погибли. Таким образом, определение влажности и ВП почвы по ее глубине не всегда дает нам правильное представление о влагообеспеченности дерева, так как сложно определить из какого именно почвенного горизонта растение потребляет влагу.

Различные породы деревьев обладают корневой системой, достигающей разной глубины. В среднем, наибольшее количество всасывающих корней расположено в верхнем 0–50-см слое почвы. Однако отдельные тяжи проводящих корней могут проникать и в более глубокие горизонты. Например, у дуба корни могут уходить на глубину более 10 метров, до самых глубоких слоев почвы (Ванин, 1960; Иванов, 1991).

Раскопки корневых систем в нагорной дубраве в Теллермановском опытном лесничестве Института лесоведения РАН показали, что корни взрослых растений дуба проникают на глубину до 9 м и больше, достигая не только зоны капиллярной каймы, но и грунтовых вод. По данным М.Г. Романовского и В.В. Мамаева (2002) масса тонких сосущих корней дуба на глубине 6–9.5 м составляет около 10% от общей массы корней толщиной до 1 мм.

В лесостепной зоне Теллермановской дубравы, в лизиметре, где ВП почвы относительно равномерен по глубине, взаимосвязь ПВП листа с ВП в почве была довольно близка, $R^2 = 0.862$ на глубине 25 см и 0.748 на глубине 55 см (рис. 1Б). В 250-летней полево-кленовой дубраве, в период значительного недостатка влаги, когда ВП в слое почвы 0–4 м составлял 2.8–3.2 МПа, взаимосвязь ВП почвы и ПВП растений практически отсутствовала: $R^2 = 0.191$ на глубине 25 см и 0.064 на глубине 55 см (рис. 1А) (Молчанов, 2007). В полево-кленовой дубраве наблюдение за влажностью почвы проводилось в течение нескольких десятилетий. Исследования показали, что во многие годы, когда наблюдалось пересыхание верхних горизонтов почвы, на глубине от 3 до 6 м находился почти полностью сухой слой, так называемый «мертвый горизонт», ВП которого был ниже 3–4 МПа. Однако значительного усыхания дубрав в регионе не наблюдалось, так как УПГВ находился на глубине 10 м, и при этом проводящие корни дуба были достаточной длины, чтобы достигать капиллярной каймы грунтовых вод (Романовский, Мамаев, 2002). При определении ПВП листьев оказалось, что его значение не опускалось ниже 1.5–2 МПа, тогда как ВП почвы в слое 0–4 м составлял менее 3 МПа, что говорит нам о том, что деревья находились в состоянии лучшего влагообеспечения, чем этот горизонт (Молчанов, 2007).

Следовательно, поглощение влаги корнями растений идет из всех горизонтов почвы, находящихся в пределах досягаемости, начиная с подстилки и

заканчивая грунтовыми водами. Поэтому, в случае недостаточного количества влаги в верхних горизонтах почвы, говорить о недостатке влаги для деревьев не совсем верно.

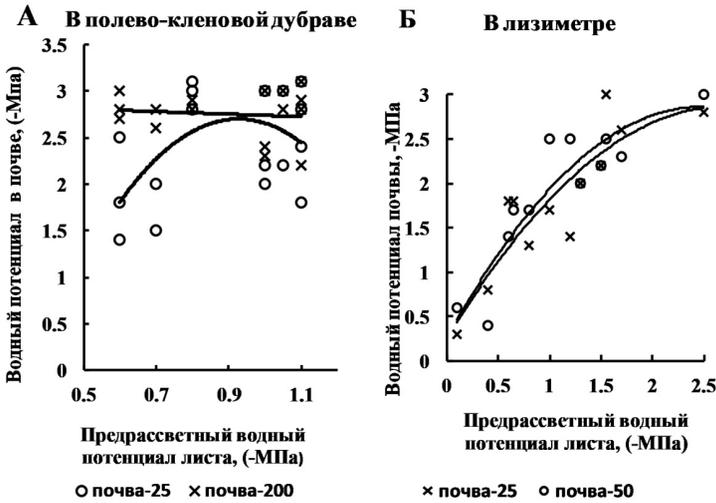


Рисунок 1. Взаимосвязь ЛВП листьев с ВП в почве

А – для 250-летнего дуба в ПК дубраве в слое почвы 25 (1) и 200 см (2); Б – для сеянцев дуба в лизиметре в слое почвы 25 (1) и 55 см (2) (Молчанов, 2007)

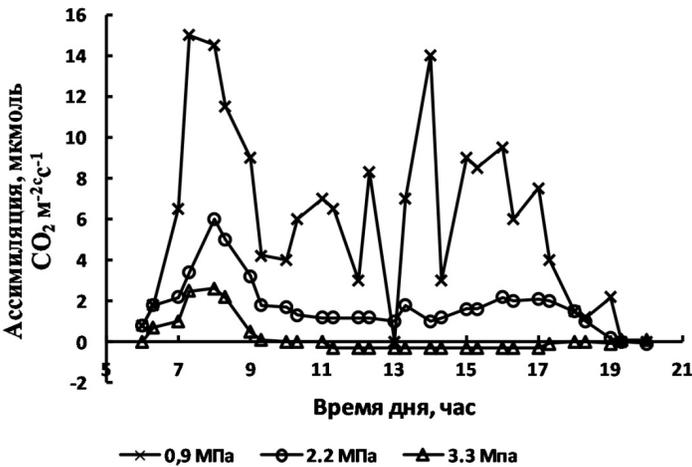


Рисунок 2. Дневной ход фотосинтеза дуба в малооблачные дни в различных условиях влагообеспеченности (ЛВП листьев-ψ)

ψ = 0.9 МПа (1); ψ = 2.2 МПа (2); ψ = 3.3 МПа (3) (Молчанов, 2007)

Исследование фотосинтеза дуба при разном ЛВП листьев (Молчанов, 2007) показало, что в малооблачный день уже при 0.9 МПа интенсивность фотосинтеза дуба в течение дня значительно снижается (рис. 2). В утренние часы интенсивность фотосинтеза была практически в два раза выше, чем в течение всего малооблачного дня. При ЛВП листьев 2.2 МПа интенсивность фотосинтеза

даже в утренние часы была в два раза ниже, чем при ПВП листьев в 0.9 МПа, однако в течение всего малооблачного дня наблюдалась интенсивность фотосинтеза около $2 \text{ мкмоль CO}_2 \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$. При ПВП листьев в 3.3 МПа фотосинтез был незначительным и только в первой половине дня, до 9 часов.

Однако такое снижения интенсивности фотосинтеза в течение дня происходят только в малооблачные дни. В пасмурные или в дни с переменной облачностью при низком ПВП листьев интенсивность фотосинтеза может за световой день выше, чем в безоблачный (рис. 3). Это происходит, как указано выше в связи с тем, в пасмурный день в меньшей степени происходит перегрева листы и полуденный ВП не увеличивается в значительной степени.

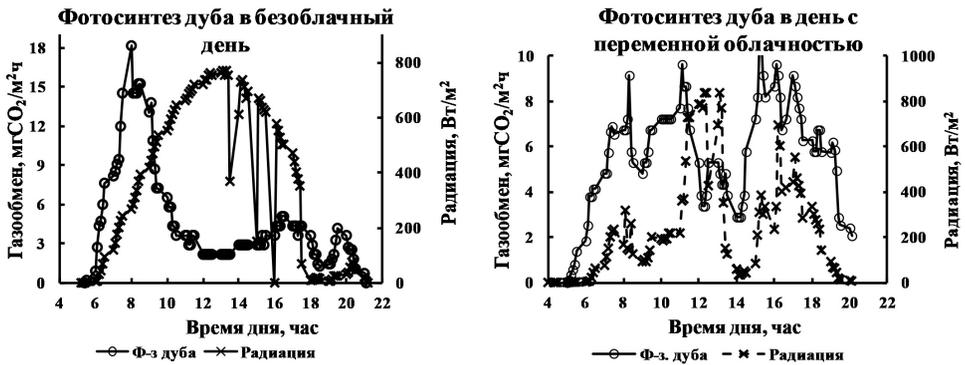


Рисунок 3. Дневной ход фотосинтеза – (1) и солнечной радиации – (2) дуба в малооблачный день (А) и в день с переменной облачностью (Б) при ПВП листа = 1.6 МПа (Молчанов, 2007)

Таким образом, исследования в дубравах Теллермановского опытного лесничества Института лесоведения РАН показали, что дубовые древостои в засуху, когда влага в горизонтах почвы от 0 до 500 см становится практически недоступной, а водный потенциал почвы становится ниже 3 МПа, предрасветный водный потенциал деревьев дуба достигает 2 МПа, однако деревья дуба продолжают фотосинтезировать. Это происходит в результате того, что корни дуба достигают капиллярной каймы грунтовых вод, уровень которых находится на глубине 10-14 м.

Данное исследование свидетельствует о том, что сеянцы дуба продолжают фотосинтезировать при ПВП листьев, равном 2.0 МПа, а при ПВП листьев 3.0 МПа интенсивность фотосинтеза практически прекращается, т.е. значение в 3.0 МПа для дуба является критическим. При оценке взаимосвязи ПВП листьев дуба и дневного нетто поглощения CO_2 древостоем дуба (Молчанов, 2007) получили, что в малооблачный день газообмен становится отрицательным при ПВП листьев ниже 2.0 МПа. При этом в день с переменной облачностью нетто поглощение CO_2 дубового насаждения составляет около 40% от величины, полученной при оптимальных условиях в день с переменной облачностью, или около 25% от дневного поглощения в малооблачный день (рис. 4).

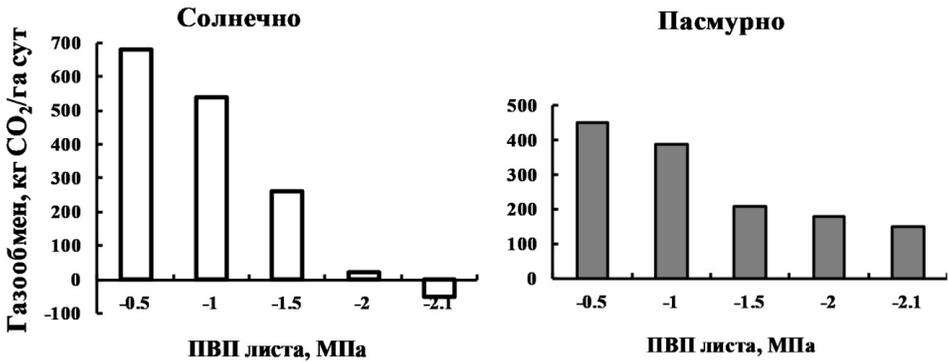


Рисунок 4. Нетто поглощение CO_2 пологом дубового древостоя за день в малооблачный и в день с переменной облачностью в зависимости от влагообеспеченности (ЛВП листьев) (Молчанов, 2007)

Следовательно, в этих условиях дубовые древостои могут пережить засуху, продолжаясь довольно длительное время.

Безусловно, в случае если засуха будет наблюдаться несколько лет и произойдет вспышка каких либо вредителей или болезней, то дубовые древостои могут погибнуть.

Исследования пороговых значений ЛП почвы для ели, осины и березы проводились на Северной лесной опытной станции (ЛОС) Лаборатории лесоведения АН СССР (Рыбинский р-н Ярославская обл.). В результате было получено, что снижение уровня транспирации от потенциальной показывает недостаточное влагообеспечение растения. Прекращение его роста отражает крайнюю степень угнетения метаболизма, а летальная точка показывает предел устойчивости растения к иссушению почвы (Богатырев, Васильева, 1986, 1991). У березы транспирация начинает снижаться при ЛП почвы в 0.6 МПа, у осины при 1.0 МПа у ели при 0.1-0.2 МПа. В тоже время гибель саженцев березы наблюдалась при ЛП почвы от 3.1 до 4.1 МПа, осина погибала при 2.9-3.3 МПа, тогда как у ели признаки гибели от иссушения начинали проявляться только при ЛП почвы около 5 МПа. Таким образом, ель значительно выносливее осины и березы и способна сохранить свою жизнедеятельность при иссушении почвы до 5 МПа.

На Северной ЛОС в Ярославской области (Богатырев, Серяков, 1995) также изучался водный режим ели в условиях засухи 1992 г. Этот год был достаточно сухим – с ранней весны и до середины августа осадков практически не было, однако температурный режим был весьма изменчив, и периоды с высокой температурой сменялись прохладными. В результате в третьей декаде ЛП почвы опустился с 0.05-0.2 МПа до 0.5-3.0 МПа в зависимости от глубины почвенного слоя. ЛВП хвои снизился с 0.2 до 1.0 МПа, и хвоя могла получать влагу только с глубины ниже 20 см. Во второй половине августа пошли дожди, и ночной ЛВП хвои стал 0.4-0.7 МПа. Никаких внешних признаков угнетения ели до конца теплого сезона 1992 г. обнаружено не было.

Сделан вывод, что ель благополучно переносит длительный период (с ранней весны до конца августа) с крайне малым количеством осадков, но при условии умеренных значений температуры и влажности воздуха.

Рассмотрим исследования водного режима ельников в засуху 1972 и 1992 гг. в Тверской области. Изучение водного режима ельников проводилось в Центральном-лесном государственном заповеднике (ЦЛГЗ) (Абражко, Абражко, 1993). По-видимому, засуха 1992 г. в Ярославской области, вследствие невысоких температур воздуха, была несколько слабее, чем в Тверской обл. Исследования в ЦЛГЗ показали что засуха 1992 г. оказалась более сильной, чем в 1972 г. (табл. 1). В 1992 г. во всех типах ельников сосущая сила корней (которая близка к ПВП листа) опускалась до значительной величины от 2.2 до 2.7 МПа. Наиболее низкий ПВП наблюдался у высокопродуктивных ельников. Дневной водный потенциал у них достигал 5.8 и 6.5 МПа, тогда как у низкопродуктивных от 3.5 до 4.2. Тем не менее, значительного массового усыхания в древостоях не произошло. Авторы считают, что в высокопродуктивном древостое незначительное усыхание могло произойти из-за его разреженности.

Таблица. 1 Усредненные показатели водного режима деревьев *Picea abies* в засушливые периоды вегетации 1972 и 1992 г. в скобках сублетальные значения (Абражко, Абражко, 1993)

Тип сообщества ельника	Водный дефицит растений, %		Сосущая сила хвои, МПа		Сосущая сила корней, МПа	
	1972	1992	1972	1992	1972	1992
Чернично-кисличный	2.2	(5.2)	3.2	4.9	1.5	2.7
Сфагново-черничный	1.9	4.1	2.9	4.2	1.1	2.7
Чернично-пушицево-сфагновый	2.0	3.7	3.0	3.5	0.6	2.2

Несмотря на то, что в чернично-кисличном и сфагново-черничном типах ельников уровень грунтовых вод различается довольно значительно (рис. 5), сосущая сила корней практически одинаковая. По-видимому, уровень грунтовых вод сам по себе не отражает возможную устойчивость к недостатку влаги в древостое, в связи с тем, что даже один вид дерева в разных условиях произрастания имеет проникновение корней на разную глубину.

В междуречье Волги и Урала (Джаныбекский стационар Лаборатории лесоведения АНССР) были проведены исследования по определению величины водного потенциала деревьев вяза мелколистного и дуба черешчатого, при условии их заселения ксилофагами (Линдемман, 1988). Использовали криоскопический метод для определения потенциала влаги в ненарушенных тканях растений. При ВП 2.2-2.8 МПа произошло заселение ксилофагом (заболонником Кирша) стволов и ветвей вяза мелколистного. У деревьев дуба при ВП ниже 2.8 МПа на вершинах поселились узкотелые златки.

Динамика УПГВ в ельнике в 1992 г.

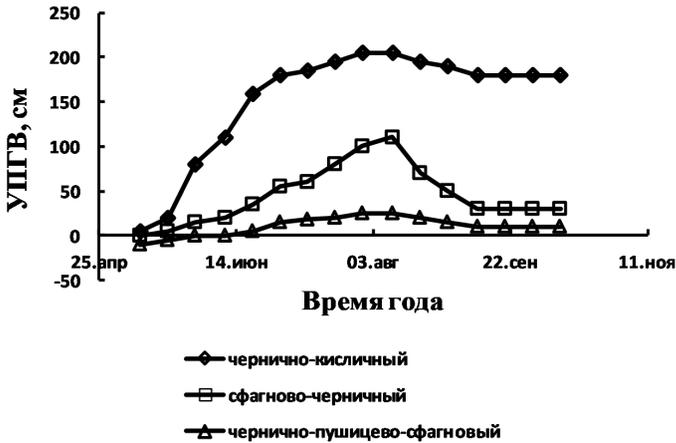


Рисунок 5. Динамика уровня поверхностных грунтовых вод (УПГВ) в ельниках в 1992 г.

Многие исследователи считают, что в результате засухи, которая была в еловых древостоях южной тайги в 2011-2014 гг. произошла вспышка короеда-типографа и, как следствие этого, в ельниках произошло усыхание. Считается, что заселение короедом еловых древостоев обусловлено их ослаблением в результате засухи. Однако мониторинга влагообеспеченности древостоев, к сожалению, в это время не проводилось. Даже при условии того, что была засуха, из-за которой многие деревья ослабли, только факт их ослабления не мог привести к вспышке численности короеда-типографа. По-видимому, помимо ослабления деревьев, необходимым условием является наличие большой численности насекомых. Однако таких исследований по короеду-типографу в южной тайге пока не было проведено.

Таким образом, в настоящее время исследований по оценке ВП древесных растений в нашей стране в настоящее время практически прекратились, хотя именно этот показатель, ВП растений, является наиболее информативным для оценки влагообеспечения растений в условиях засухи.

Имеющиеся в литературе и в нашем распоряжении экспериментальные данные, свидетельствуют о том, что наиболее показательным в этом отношении является предрассветный водный потенциал растений, так как в течение ночного времени суток при замедленной транспирации, в растении происходит постепенное восстановление потерянной за день влаги до того уровня, который определяет ее доступность или недоступность.

Показано, что гибель саженцев березы повислой происходит при водном потенциале 3.1-4.1 МПа, осины – при 2.9-3.3 МПа, ели – при 5.0 МПа. Ассимиляционные процессы у дуба прекращаются при предрассветном водном потенциале 3.0 МПа.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ 14-14-00956 П.

Список литературы

Абатуров Ю.Д., Богатырев Ю.Г., Орлов А.Я. 1976. О роли глубоких корней в жизни сосновых молодняков на рыхлопесчаных почвах. – Лесоведение, № 4, с. 18-24.

Абражко В.И., Абражко М.А., 1993. Водный режим растений еловых лесов в ЗБогатырев Ю.Г. 1984. О применении криоскопического метода для измерения давления влаги в хвое сосны. – Лесоведение, № 2, с. 71-76.

Богатырев Ю.Г., Васильева И.Н. 1985. Водный режим почв и подроста ели на вырубках и под пологом. – Лесоведение, № 2, с. 16-25.

Богатырев Ю.Г., Васильева И.Н. 1986. Роль водного режима в напряженности жизненных процессов саженцев ели европейской. – Лесоведение, № 2, с. 76-80.

Богатырев Ю.Г., Васильева И.Н. 1991. Пороговые величины водного потенциала почвы у саженцев березы и осины. – Лесоведение, № 2, с. 34-43.

Богатырев Ю.Г., Серяков А.Д. 1995. Водный режим ели европейской в условиях засухи. – Лесоведение, № 4, с. 34-39.

Ванин А.И. 1960. Дендрология. – М.-Л., Гослесбумиздат, 248 с.

Взнуздаев Н.А. 1973. Криоскопический метод определения потенциала влаги в системе почва – растение в лесоведческих исследованиях. – Лесоведение, № 5, с. 69-80.

Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2017 год. 2018. – Москва, Росгидромет, 69 с.

Жосу В.П. 1988. Влагообеспеченность снытево-осоковых дубрав лесостепи. – Лесоведение, № 4, с. 17-26.

Иванов В.В. 1991. Водный режим пойменных и нагорной дубрав южной лесостепи. – Лесоведение, № 5, с. 33-41.

Кайбияйнен Л.К., Болондинский В.К., Сазонова Т.А., Софронова Г.И. 1995. Водный режим и фотосинтез сосны в условиях промышленного загрязнения среды. – Физиология растений, т. 42, № 3, с. 451-456.

Котов А.А, Котова Л.М. 2010. Термопарный психрометр для измерения водного потенциала растительных тканей изопиестическим методом. – Физиология растений, т. 57, № 5, с. 783-790.

Кудоярова Г.Р., Холодова В.П., Веселова Д.С. 2013. Современное состояние проблемы водного баланса растений при дефиците воды – Физиология растений, т. 60, с. 150-160.

Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Мякшина Т.Н., Сапронов Д.В., Аблеева В.А., Кудеяров В.Н. 2017. Эмиссия CO₂ из почв различных экосистем южного Подмосквья в условиях современных климатических трендов: ана-

лиз данных многолетнего мониторинга. – Тезисы докладов Всероссийской научной конференции “Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды. Основные результаты и пути развития”, Москва, 20-22 марта 2017 г. / Отв. сост. А.А. Трунов, П.Д. Полумиева, А.А. Романовская. Электронный ресурс. URL: http://www.igce.ru/conferences_pem2017_theses – М., ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН», с. 141-142.

Линдеман Г.В. 1988. Потенциал влаги в лубе как показатель влагообеспеченности и устойчивости дерева к нападению насекомых-ксилофагов в засушливых условиях. – Лесоведение, № 5, с. 20-29.

Молчанов А.Г. 2007. Баланс CO₂ в экосистемах сосняков и дубрав в разных лесорастительных зонах. – Тула, Гриф и К, 284 с.

Рахи М.О. 1973. Аппаратура для исследований компонентов водного потенциала листьев. – Физиология растений, т. 20, с. 215-221.

Романовский М.Г., Мамаев В.В. 2002. Грунтовые воды нагорных дубрав Теллермановского леса. – Лесоведение, № 5, с. 6-11.

Слейчер Р. 1970. Водный режим растений. – М., Мир, 365 с.

Судницын И.И. 1966. Новые методы оценки водно-физических свойств почв и влагообеспеченности леса. – М., Наука, 94 с.

Судницын И.И., Скалабан В.Д. 1968. О методах измерения давления влаги. – Почвоведение, № 8, с. 148-152.

Черенкова Е.А. 2017. Годовое и сезонное увлажнение восточно-европейской равнины в XX-ом – начале XXI-го вв. в условиях меняющегося климата. – Тезисы докладов Всероссийской научной конференции “Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды. Основные результаты и пути развития”. Москва, 20-22 марта 2017 г. /Отв. сост. А.А. Трунов, П.Д. Полумиева, А.А. Романовская. Электронный ресурс. URL: http://www.igce.ru/conferences_pem2017_theses – М., ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН», с. 43-45.

Donovan L.A., Linton M.J., Richards J.H. 2001. Predawn water potential does not necessarily equilibrate with soil water potential under well-watered condition. – *Oecologia*, vol. 129, pp. 3238-3350.

Scholander P.F., Hammel H.N., Bradstreet E. D., Hemmingsen E.H. 1965. Sap pressure in vascular plants. – *Science*, vol. 148, pp. 339-346.

Suzuki S. 2004. Verification of freezing point depression method for measuring matric potential of soil water. – *Soil Sci. Plant Nutr.*, vol. 50 (8), pp. 1277-1280.

References

Abaturov Yu.D., Bogatyrev Yu.G., Orlov A.Ya. 1976. O roli glubokih kornej v zhizni osnovnyh molodnyakov na ryhlopeschanyh pochvah [On the role of deep roots in the life of young pine forests on loosely sandy soils]. *Russian Journal of Forest Science*, no. 4, pp.18-24.

Abrazhko V.I., Abrazhko M.A., 1993. Vodnyj rezhim rastenij elovyh lesov v zasuhu [Water relation of plant in spruce forests under drouht conditions]. *Botanicheskij zhurnal – Botanic magazine*, vol. 78, no. 10, pp. 32-44.

Bogatyrev Yu.G. 1984. O primenenii krioskopicheskogo metoda dlii izmereniy davleniy vlagi potentsiala hvoe sosny [On application of cryoscopic metod for measuring moisture pressure in pinus sylvestris L.]. *Russian Journal of Forest Science*, no. 2, pp.71-76.

Bogatyrev Yu.G., Vasil'eva I.N.1985. Vodnyj rezhim pochv i podrosta eli na vyrubkah i pod pologom [Water regime of soil and spruce regrowth in clearings and under forest canopy]. *Russian Journal of Forest Science*, no. 2, pp. 16-25.

Bogatyrev Yu.G., Vasil'eva I.N. 1986. Rol' vodnogo rezhima v napryazhennosti zhiznennyh processov sazhencev eli evropejskoj [The role of the water regime in the intensity of life processes of Norway spruce seedlings]. *Russian Journal of Forest Science*, no. 2, pp. 76-80.

Bogatyrev Yu.G., Vasil'eva I.N. 1991. Porogovye velichiny vodnogo potentsiala pochvy u sazhencev berezy i osiny [Threshold values of the soil water potential for birch and aspen transplants]. *Russian Journal of Forest Science*, no. 2, pp. 34-43.

Bogatyrev Yu.G., Seryakov A.D. 1995. Vodnyj rezhim eli evropejskoj v usloviyah zasuhi [Water regime of picea abies under draught]. *Russian Journal of Forest Science*, no. 4, pp. 34-39.

Vanin A.I. 1960. *Dendrologiy* [Dendrology]. Moscow-Leningrad, 248 p.

Vznuzdaev N.A. 1973. Krioskopicheskij metod opredeleniya potentsiala vlagi v sisteme pochva – rastenie v lesovedcheskih issledovaniyah [Perfection of the measurement scheme for determination of moisture potential be a cryoscopic method]. *Russian Journal of Forest Science*, no. 5, pp. 69-80.

Doklad ob osobennostyah klimata na territorii Rossijskoj Federacii za 2017 god [Report on the peculiarities of climate on the territory of the Russian Federation for 2017]. 2018, Moscow, 69 p.

Zhosu V.P. 1988. Vлагообеспеченност' snytevo-osokovyh dubrav lesostepi [Water supply of guerceta aegopodio-caricosum in forest-steppe]. *Russian Journal of Forest Science*, no. 4, pp. 17-26.

Ivanov V.V. 1991. Vodnyj rezhim pojmnennyh i nagornoj dubrav yuzhnoj lesostepi [Water regime of floodplain and upland oak forests of southern forest-steppe]. *Russian Journal of Forest Science*, no. 5, pp. 33-41.

Kajbiyajnen L.K., Bolondinskij V.K., Sazonova T.A., Sofronova G.I. 1995. Vodnyj rezhim i fotosintez sosny v usloviyah promyshlennogo zagryazneniya srede [The aqueous mode and photosynthesis pine in industrial pollution]. *Plant Physiology – Russian Journal of Plant Physiology*, vol. 42, no. 3, pp. 451-456.

Kotov A.A, Kotova L.M. 2010. Termoparnyy psihrometr dlya izmereniya vodnogo potentsiala rastitelnyh tkaney izopiestichestkim metodom [Thermocouple

hygrometers are instruments used for measurement of water potential of plant tissues izopiesticheskim method]. *Plant Physiology – Russian Journal of Plant Physiology*, vol. 57, no. 5, pp. 783-790.

Kudoyarova G.R., Holodova V.P., Veselova D.S. 2013. Sovremennoe sostoyanie problemy vodnogo balansa rasteniy pri defitsite vody [Current status of plant water balance problems with water scarcity]. *Plant Physiology – Russian Journal of Plant Physiology*, vol. 60, pp. 150-160.

Kurganova I.N., Lopes de Gerenyu V.O., Myakshina T.N., Sapronov D.V., Ableeva V.A., Kudeyarov V.N. 2017. Ehmissiya CO₂ iz pochv razlichnyh ehkositem yuzhnogo Podmoskov'ya v usloviyah sovremennyh klimaticheskikh trendov: analiz dannyh mnogoletnego monitoringa. [CO₂ emissions from soils of the southern suburbs of various ecosystems under current climate trends: analysis of long-term monitoring data]. *Abstracts report All-Russian scientific conference “Monitoring sostoyaniya i zagryazneniya okruzhayushchej sredy. Osnovnye rezul'taty i puti razvitiya”*. [Abstracts report All-Russian scientific conference “Condition monitoring and pollution. Main results and development”]. URL: http://www.igce.ru/conferences_pem2017_theses. Moscow, pp. 141-142.

Lindeman G.V. 1988. Potencial vlagi v lube kak pokazatel' vlogoobespechennosti i ustojchivosti dereva k napadeniyu nasekomyh-ksilofagov v zasushlivykh usloviyah [Water potential as an indicator of water supply and resistance of a tree to xylophagous insects under dry conditions]. *Russian Journal of Forest Science*, no. 5, pp. 20-29.

Molchanov A.G. 2007. *Balans CO₂ v ehkositemah sosnyakov i dubrav v raznyh lesorastitel'nyh zonah* [The CO₂ balance in the ecosystems of pine and oak forests in the different forest zones]. Tula, 284 p.

Rahi M.O. 1973. Apparatura dlya issledovaniy komponentov vodnogo potentsiala listev [The equipment for the research components of water potential of leaf.]. *Plant Physiology – Russian Journal of Plant Physiology*, vol. 20, pp. 215-221.

Romanovskij M.G., Mamaev V.V. 2002. Gruntovye vody nagornyh dubrav Tellermanovskogo lesa [Groundwater upland oak forest Tellerman]. *Russian Journal of Forest Science*, no. 5, pp. 6-11.

Slejcher R. 1970. *Vodnyj rezhim rastenij* [Plant-Water Relationships]. Moscow, 365 p.

Sudnitsyn I.I. 1966. *Novyie metody otsenki vodno-fizicheskikh svoystv pochv i vlogoobespechennosti lesa* [New methods for estimating water-physical properties of soils and moisture in the forest]. Moscow, 94 p.

Sudnitsin I.I., Skalaban V.D. 1968. O metodah izmereniya davleniya vlagi. [Methods for moisture pressure measurement]. *Eurasian soil Science Soil*, no. 8, pp. 148-152.

Cherenkova E.A. 2017. Godovoe i sezonnoe uvlazhnenie vostochno-evropejskoj ravniny v XX – nachale XXI vv. v usloviyah menyayushchegosya klimata [Annual and seasonal moisture East European Plain in the XX and begin XXI centure in a changing climate]. *Abstracts report All-Russian scientific conference “Monitoring sostoyaniya i zagryazneniya okruzhayushchej sredy. Osnovnye rezul'taty i puti razvitiya”*. [Abstracts report All-Russian scientific conference “Condition monitoring and pollution. Main results and development”]. URL: http://www.igce.ru/conferences_pem2017_theses. Moscow, pp. 43-45.

Donovan L.A., Linton M.J., Richards J.H. 2001. Predawn water potential does not necessarily equilibrate with soil water potential under well-watered condition. – *Oecologia*. vol. 129, pp. 3238-3350.

Scholander P.F., Hammel H.N., Bradstreet E.D., Hemmingsen E.H. 1965. Sap pressure in vascular plants. – *Science*, vol. 148, pp. 339-346.

Suzuki S. 2004. Verification of freezing point depression method for measuring matric potential of soil water. - *Soil Sci. Plant Nutr.*, vol. 50 (8), pp. 1277-1280.

Статья поступила в редакцию: 24.04.2017 г.

После переработки: 19.02.2018 г.