



УДК 630*181.28

Н.А. Прожерина, О.А. Гвоздухина, Е.Н. Наквасина

Прожерина Надежда Александровна родилась в 1973 г., окончила в 1995 г. Поморский международный педагогический университет, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института экологических проблем Севера УрО РАН. Имеет более 20 печатных работ в области экологической физиологии древесных растений.



Гвоздухина Ольга Альбертовна родилась в 1972 г., окончила в 1995 г. Архангельский государственный технический университет, кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель кафедры лесоводства и почвоведения АГТУ. Имеет 11 печатных работ в области лесных культур и лесного семеноводства.



Наквасина Елена Николаевна родилась в 1952 г., окончила в 1975 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой лесоводства и почвоведения Архангельского государственного технического университета. Имеет более 100 печатных работ в области лесовосстановления и экологии экосистем.

**ПОКАЗАТЕЛИ ВОДНОГО ОБМЕНА ЕЛИ
(*Picea abies* × *P. obovata* Ledeb.)
КАК КРИТЕРИИ АДАПТАЦИИ
В ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ УСЛОВИЯХ СРЕДЫ***

Исследован адаптивный потенциал водного режима хвои ели в условиях аэротехногенного и климатического стресса. Показано, что оводненность хвои является наследуемым признаком и зависит от условий формирования популяций. Наиболее информативным показателем, реагирующим на изменения условий среды, служит критерий t_{50} , характеризующий водоудерживающую способность хвои.

Ключевые слова: ель, водный режим, адаптация, аэротехногенное загрязнение, климатические изменения.

Каждое растение обладает определенным набором эволюционно сформировавшихся и генетически закрепленных морфо-анатомических и физиолого-биохимических особенностей, модификационная изменчивость которых определяет возможности адаптационного потенциала организма. Адаптация растений в значительной степени зависит от их способности к поддер-

* Исследования поддержаны грантом РФФИ-север № 05-04-97509.

жанию стабильного водного баланса растительной клетки и организма в целом, что имеет определяющее значение для жизнеобеспечения растений.

Оценить уровень водообмена растений позволяет ряд показателей, среди которых оводненность, водный дефицит, водоудерживающая способность листьев и пр. Так, варьирование содержания воды в листьях считается хорошим критерием подвижности или устойчивости водного режима, показателем способности регулировать водный баланс, адаптироваться к условиям обитания [1]. В природных условиях практически не встречается полного насыщения листьев водой. Напряженность водного режима растения характеризует водный дефицит, который определяется как разность между содержанием воды в листе в природных условиях и в листе, донасыщенном водой [3]. Водоудерживающая способность листьев зависит от морфолого-анатомических особенностей (кутикула, восковой налет, опушение и т. д.), структуры и поведения устьичного аппарата, состояния структур и функций клеток [4]. Агрегатное состояние протоплазмы и соотношение форм воды в клетке также характеризуют водоудерживающую способность клеток. Усиление процессов комплексообразования как белковой, так и небелковой природы приводит к увеличению доли связанной воды и снижению количества свободной воды в клетке [7]. Потеря клетками половины от общего содержания воды близка к пороговым значениям уровня обезвоженности. Этот показатель, критерий t_{50} , М.М. Котов [5] предложил использовать в качестве критерия стабильности оводненности тканей растения.

Цель нашего исследования – изучить изменчивость показателей водного режима ели в зависимости от факторов среды и определить возможность их использования в качестве диагностического критерия оценки адаптационных возможностей растений.

Исследование параметров водного режима позволяет выявить адаптационные возможности ели при изменении как природных (климатических), так и антропогенных (загрязнения атмосферы промышленными выбросами) факторов. Изучение влияния этих факторов на растительность актуально прежде всего при ожидаемом потеплении климата. В настоящее время единственной моделью климатических изменений на потепление или похолодание являются географические культуры, в которых представлены потомства популяций севернее и южнее места выращивания [6].

Чтобы проследить взаимодействия наследственных факторов водного обмена растений с факторами внешней среды, интересно изучить особенности водообмена ели, растущей в естественной популяции пригородных лесов Архангельска при разном уровне аэротехногенной нагрузки, и ели из разных популяций в географических культурах Архангельской области, но растущей в одних условиях. Это позволяет выявить генетическую закрепленность и модификационную изменчивость показателей водного обмена ели.

Объектами исследования служили пять климатипов ели (*Picea abies* × *P. obovata* Ledeb.), произрастающие в опытных культурах в Плесецком лесхозе Архангельской области. В естественных условиях были заложены две пробные площади в ельниках-черничниках свежих, расположенных на

удалении 6,5 км (зона загрязнения) и 26 км (зона относительного контроля) от Архангельского ЦБК.

Пробы отбирали с 20 деревьев в каждом варианте. Общее содержание воды определяли термовесовым способом, высушивая хвою до постоянной массы при 105 °С, и выражали в процентах от массы сырой хвои. Реальный водный дефицит (РВД) устанавливали в естественных насаждениях как разность между наибольшим содержанием воды в изолированной от побега хвое в состоянии насыщения и реальным содержанием воды в хвое в момент определения. РВД выражали в процентах от содержания воды в растениях после насыщения [2]. Водоудерживающую способность характеризовали по скорости водоотдачи изолированной хвои. Для этого собранные побеги предварительно погружали в воду на 24 ч для донасыщения водой. Затем у изолированной от побегов хвои определяли потерю воды с интервалом 2 ... 6 ч до тех пор, пока воздушно-сухая масса хвои не оставалась постоянной. Серу в хвое находили спектрофотометрически, переводя ее в сульфатную форму и осаждая хлористым барием [9].

Исследования показали, что уровень оводненности хвои ели зависит от возраста дерева и хвои. В естественных условиях произрастания в первой декаде июня в хвое ели текущего года формирования содержалось максимальное количество воды (84 ... 87 %), в то время как в однолетней 51 ... 52 %. В среднем на начальном этапе развития в хвое текущего года воды было на 33 % больше, чем в прошлогодней. К концу сезона вегетации различия еще сохраняются, но не превышают 2 ... 3 % (табл. 1).

Выбросы предприятий Архангельского промышленного узла воздействуют на пригородные леса и приводят к увеличению содержания серы в хвое ели, растущей в непосредственной близости к источникам эмиссий. Однако повышение уровня аэротехногенной нагрузки не отразилось на оводненности хвои ели как текущего года, так и однолетней. РВД варьировал от 4,6 до 6,6 % и также не зависел от степени аэротехногенного воздействия. Стабильность этих показателей водообмена под влиянием загрязнения атмосферы может свидетельствовать, с одной стороны, о том, что изученные нами характеристики водного режима обусловлены генетически и в

Таблица 1

Показатели водного режима хвои и содержание серы в хвое ели, произрастающей на различном удалении от источников атмосферных выбросов

Расстояние от источника выбросов, км	Возраст хвои	Содержание серы, % от абс. сухой массы	Реальный водный дефицит, %	Оводненность, %	t_{50} , ч
6,5	Текущего года	0,144	5,4	60,2	22,5
	Однолетняя	0,111	6,3	57,8	35,1
26	Текущего года	0,099	6,6	60,5	33,9
	Однолетняя	0,100	4,6	57,1	38,5

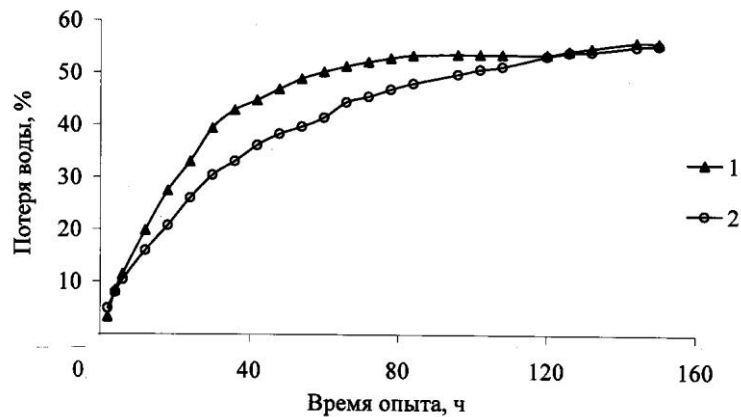


Рис. 1. Скорость потери воды изолированной хвоей ели при различном уровне аэротехногенной нагрузки: 1 – 6,5; 2 – 26 км от АЦБК

пределах популяции ели достоверно не различаются, с другой – о том, что при данном уровне аэротехногенного воздействия растения обладают достаточными адаптационными возможностями, чтобы поддерживать насыщенность тканей хвоей водой на необходимом уровне.

В то же время атмосферное загрязнение привело к увеличению скорости водоотдачи и снижению водоудерживающей способности хвоей ели (рис. 1). Время, при котором наступают необратимые нарушения водного обмена (критерий t_{50}), у хвоей деревьев, растущих вблизи источников выбросов, было меньше, чем на контрольных участках (табл. 1). В большей степени влияние промышленных эмиссий сказалось на хвое текущего года формирования по сравнению с однолетней. Так, показатель t_{50} у хвоей текущего года у ели, растущей в непосредственной близости от АЦБК, был на 34 % ниже, чем в зоне относительного контроля.

У ели разного географического происхождения содержание воды в однолетней хвое к концу сезона вегетации колебалось в довольно широком диапазоне (51 ... 62 %), что говорит об определенной приспособительной реакции, выработанной популяциями при формировании в конкретных климатических условиях (табл. 2). Большею оводненностью отличались

Таблица 2

Показатели водного режима хвоей у деревьев ели разного географического происхождения

Область, республика	Происхождение культур		Оводненность, %	t_{50} , ч	
	Лесхоз	Географические координаты			
		Северная широта			Восточная долгота
Мурманская	Мончегорский	67°51'	32°57'	53,9	44,7
Коми	Корткеросский	61°41'	51°31'	58,9	18,9
Архангельская	Плесецкий	62°59'	40°24'	57,5	21,3
Псковская	Великолукский	56°23'	30°30'	51,0	18,5
Московская	Солнечногорский	56°10'	36°58'	61,7	28,4

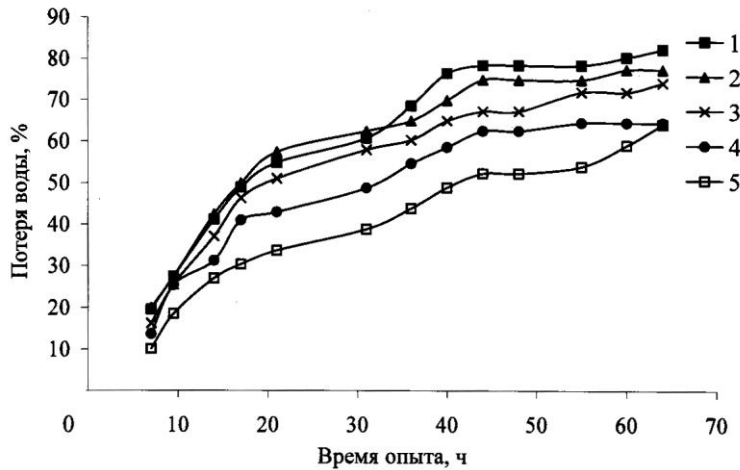


Рис. 2. Скорость потери воды изолированной хвои ели разного географического происхождения (область, республика): 1 – Псковская; 2 – Коми; 3 – Архангельская; 4 – Московская; 5 – Мурманская

среднетаежные климатипы происхождения из Плесецкого лесхоза Архангельской области и Корткеросского лесхоза Республики Коми. У северотаежного климатипа из Мурманской области воды в хвое было меньше. Ее максимальное содержание отмечено у популяции ели из южной подзоны смешанных лесов. Уровень оводненности хвои культур ели из Плесецкого района (местной популяции) был близок к естественным популяциям пригородных лесов г. Архангельска. Разный характер оводненности хвои обуславливает выносливость климатипов по отношению к таким повреждающим факторам, как низкие температуры или недостаток влаги в почве. Северные виды, имеющие высокий процент сухого вещества, более устойчивы к холоду. Повышенная влажность хвои у южных видов снижает их устойчивость к холоду и предохраняет от засухи [8].

Наименьшая скорость потери воды отмечалась у потомства ели из северной подзоны тайги, сформировавшегося в суровых условиях Севера с резким перепадом влажности воздуха (рис. 2). У ели из средней и южной подзон скорость дегидратации при завядании хвои выше. Южные потомства ели (из зоны смешанных лесов) при произрастании в более суровых условиях средней подзоны тайги снижают до установленного предела время обезвоживания (t_{50}) более интенсивно, чем северные (табл. 2). Наиболее значительно сокращается время обезвоживания у ели восточного происхождения, генотип которой сформировался в условиях резкоконтинентального климата. Подобный характер содержания воды в свежей хвое сосны различного происхождения наблюдал И.И. Сизов [10] в географических культурах Мурманской области.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что оводненность хвои ели является наследуемым признаком, зависящим от условий формирования популяций. Этот признак носит адаптивный характер и сохраняет стабильность в пределах популяции при воздействии данного уровня аэротехногенного загрязнения. Содержание воды в хвое ели варьирует в зависимости от происхождения популяций, генотип которых сформировался в разных климатических условиях.

Водоудерживающая способность хвои ели в большой степени зависит от факторов внешней среды. Наиболее информативным показателем, отражающим скорость водоотдачи хвои и достижения порогового уровня обезвоживания, является критерий t_{50} , который более отзывчив к изменению условий среды. Его можно использовать для оценки реакции ели на техногенные и климатические изменения при адаптационных исследованиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеевко, Л.Н.* Водный режим луговых растений в связи с условиями среды [Текст] / Л.Н. Алексеевко. – Л.: ЛГУ, 1976. – 200 с.
2. *Бобровская, Н.И.* О водном балансе древесных и кустарниковых видов песчаной пустыни Каракумы [Текст] / Н.И. Бобровская // Ботан. журн. – 1971. – Т. 56, № 3. – С. 361–368.
3. *Горышина, Т.К.* Водный дефицит в листьях травянистых дубравных растений разных сезонных групп [Текст] / Т.К. Горышина, Л.И. Самсонова // Ботан. журн. – 1966. – Т. 51, № 5. – С. 670–677.
4. *Гусев, Н.А.* Исследования водоудерживающей способности клеток листьев в связи с действием засухи [Текст] / Н.А. Гусев, Т.М. Белькович // Физиологические механизмы адаптивных реакций растений. – Казань: КГУ, 1987. – С. 3–56.
5. *Котов, М.М.* Интеграция генетических систем и структура популяций сосны обыкновенной [Текст] / М.М. Котов // Лесоведение. – 1996. – № 5. – С. 19–26.
6. *Наквасина, Е.Н.* Географические культуры сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) как природная модель имитации климатических изменений [Текст] / Е.Н. Наквасина // Вестн. Помор. ун-та. – 2003. – № 2 (4). – С. 48–54.
7. *Новицкая, Ю.Е.* Физиолого-биохимические основы роста и адаптации сосны на Севере [Текст] / Ю.Е. Новицкая [и др.]. – Л.: Наука, 1985. – 156 с.
8. *Райт, Д.* Введение в лесную генетику [Текст] / Д. Райт. – М.: Лесн. промышленность, 1978. – 465 с.
9. *Ринькис, Г.Я.* Методы анализа почв и растений [Текст] / Г.Я. Ринькис, Х.К. Рамане, Т.А. Куницкая. – Рига: Зинатне, 1987. – 196 с.
10. *Сизов, И.И.* Об оводненности хвои сосны различного географического происхождения [Текст] / И.И. Сизов // Материалы отчет. сессии по итогам науч.-исслед. работ за 1986 г. – Архангельск: АИЛиЛХ, 1987. – С. 44–45.

Институт экологических
проблем Севера УрО РАН

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 20.05.05

N.A. Prozherina, O.A. Gvozdukhina, E.N. Nakvasina

Water Metabolism Parameters of Spruce (*Picea abies* × *P. obovata* Ledeb.) as Adaptation Criteria in Changing Environment

The adaptation potential of water metabolism for spruce needles under the air pollution and climate stress is studied. Water content in the needles is shown to be a heritable parameter depending on the conditions of spruce populations' formation. The criterion t_{50} characterizing the water-retaining capacity is the most informative parameter sensitive to the changing environment.
