

Состояние фотосинтетических пигментов в интродукционных популяциях можжевельника обыкновенного (*Juniperus communis* L.)

*Е.А. Тишкина, к.с.-х.н., Л.П. Абрамова, к.с.-х.н.,
ФГБОУ ВО Уральский ГЛТУ*

Для исследования состояния фотосинтетического аппарата растений в городской среде наиболее информативной является система «почва—растительность» в силу приграничного взаимодействия четырёх геосфер: лито-, гидро-, атмо- и биосферы. Тем не менее имеющихся сведений по адаптации фотосинтетического пигментного комплекса древесных растений к условиям урбанизации недостаточно [1].

В ходе интродукции растения, переносимые за пределы своих природных ареалов, оказываются

в новых природных условиях. В первую очередь при интродукционных перемещениях наступают адаптационные изменения физиологических функций. В связи с этим большое значение при исследовании состояния растений имеет изучение пластичности фотосинтетического аппарата, его способности приспосабливаться к изменяющимся внешним условиям [2].

Материал и методы исследования. В 2007 г. из семян можжевельника обыкновенного, собранных в Башкирском государственном заповеднике, создана интродукционная популяция на новой территории УГЛТУ в разреженном сосновом дре-

востое. Сеянцы выращены в закрытом грунте на участке группы новых плодовых и декоративных культур в Ботаническом саду УрО РАН при участии А.П. Кожевникова и в 3-летнем возрасте высажены на постоянное место. Второй участок находится в заповедной части Ботанического сада УрО РАН. Растения выращены из черенков, взятых в 2000 г. в Шалинском районе Свердловской области. У каждой особи можжевельника проводили замеры высоты, диаметра кроны в двух взаимно перпендикулярных направлениях, диаметра их корневой шейки и угла отхождения боковых ветвей. Для определения объёма кроны использовали формулу объёма пирамиды.

Кроме морфологических особенностей для оценки фотосинтетического аппарата популяций можжевельника обыкновенного использовали показатель накопления в хвое фотосинтетических пигментов [3]. Для определения количественного состава пигментов брали не менее трёх навесок хвои 2-летнего возраста с южной стороны кроны на высоте 1,3 м у пяти экземпляров.

Определение хлорофиллов a/v и каротиноидов проводили прямым спектрофотометрированием на спектрофотометре Odyssey DR/2500 (НАСН, США) в период с января по декабрь 2014–2015 гг. Экстрагирование пигментов проводили 100-процентным ацетоном. Навеску (0,5 г) свежего материала тщательно измельчали в фарфоровой ступке со стеклянным порошком и 5 мл ацетона с целью получения усреднённого образца. Для нейтрализации органических кислот вносилось небольшое количество CaCO_3 . Спектрофотометрирование проводили в кювете с толщиной слоя 1 см при длине волны 644, 662 и 440 нм в трёх повторностях. Расчёты концентрации пигментов в вытяжке проводили по стандартным формулам. Для характеристики эффективности фотосинтетического процесса в хвое растений и накопления биомассы использовали показатель потенциальной продуктивности (P) по Силкиной [4]:

$$P = m \times C_{\text{Хл}a + \text{Хл}b},$$

где m – средняя масса хвоинки, мг;

$C_{\text{Хл}a + \text{Хл}b}$ – общее содержание хлорофиллов в хвоинке, мг/г.

Почвенные изыскания и отбор образцов для лабораторных исследований проведены общепринятыми методами. Химический анализ почв выполнен в лаборатории почвоведения на кафедре лесоводства в УГЛТУ общепринятыми методами [5].

Результаты исследования. Для образования компонентов и нормальной работы фотосинтетического аппарата необходимы минеральные вещества, входящие как в состав пластид, ферментов и других компонентов фотосинтеза, так и непосредственно участвующие в фотосинтезе [6]. В процессе исследования были проведены обследования почвенных разрезов и прикопок на территории заповедной части Ботанического сада УрО РАН и новой

территории УГЛТУ, где находятся интродукционные популяции можжевельника обыкновенного. Определение почв произведено по классификации почв СССР 1977 г. [7, 8]. Исследованные почвы отнесены к бурым лесным оподзоленным обычным маломощным среднесуглинистым. Агрохимические показатели исследованных почв приведены в таблице 1.

Почвенный разрез 1 (новая территория УГЛТУ): A_0 0–2 см. От светло-бурой до тёмно-бурой среднеразложившаяся подстилка из травянистых растительных остатков, листьев, веток, шишек, хвои; A_1 2–20 см. Тёмно-бурый, средний суглинок, ореховато-зернистый, плотноватый; большое количество корней древесных и травянистых растений; свежий. Переход к следующему горизонту постепенный; A_2B 20–34 см. Светло-бурый, песок, плитчато-ореховато-комковатый, плотноватый; встречаются редкие корни древесных растений, червороины; свежий. Переход постепенный; BC 34–64 см. Светло-бурый, средний суглинок, плитчато-ореховато-комковатый, плотноватый; множество обломков горных пород; свежий. Переход постепенный. $C > 64$ см. Гранит.

Почвенный разрез 2 (Ботанический сад УрО РАН): A_0 0–2 см. Бурый, среднеразложившаяся подстилка из травянистых растительных остатков, веток; A_1 220 см. Тёмно-бурый, средний суглинок, зернистый, рыхлый; много корней травянистых и древесных растений, рядом пень; свежий. Переход к следующему слою ясный; A_2B 20–39 см. Светло-бурый, лёгкий суглинок, ореховато-зернистый, плотноватый; много корней, встречается отложение кварца; свежий. Переход постепенный; A_3B 39–70 см. Пятнистый бурый с чёрными пятнами, нарушено естественное сложение почвы, глина, зернисто-ореховатый, плотноватый; корней мало, встречаются корни древесных растений; влажный. Переход постепенный; B 70–92 см. Бурый, глина, глыбистый, плотноватый; обломки горных пород; влажный.

По содержанию доступного калия (K_2O) лишь два горизонта на новой территории УГЛТУ отнесены к среднеобеспеченным – это A_2B в основном разрезе и A_1 в прикопке 2.1. Все остальные исследованные горизонты отнесены к низкообеспеченным.

По содержанию доступного P_2O_5 все горизонты основного разреза № 1.1 отнесены к среднеобеспеченным. За исключением горизонта A_2B в прикопке 1.1, который отнесён к низкообеспеченным. В Ботаническом саду все горизонты отнесены к низкообеспеченным подвижным фосфором, за исключением только одного горизонта A_1 в основном разрезе, в нём содержится 7,5 мг P_2O_5 на 100 г почвы, что соответствует средней обеспеченности P_2O_5 .

Во втором почвенном разрезе обнаружены признаки антропогенной трансформации в морфологии, которые выражены только в перемешивании

1. Агрохимическая характеристика почв

| № разреза | Горизонт | Глубина залегания, см | Скелетность, % | Удельный вес | Объёмный вес, г/см ³ | Порозность, % | pH _{KCl} | K ₂ O | P ₂ O ₅ | Н, | S, | Е, | V, % |
|--------------------------|-------------------------------|-----------------------|----------------|--------------|---------------------------------|---------------|-------------------|-------------------|-------------------------------|------|------|------|------|
| | | | | | | | | мг на 100 г почвы | | | | | |
| Новая территория УГЛТУ | | | | | | | | | | | | | |
| Почвенный разрез № 1 | A ₁ | 2–20 | 0 | 2,33 | 1,08 | 54 | 6,2 | 4,8 | 7,5 | 7,00 | 22,0 | 29,0 | 75,8 |
| | A ₂ B | 20–34 | 0,6 | 2,43 | 1,25 | 48 | 4,8 | 20,0 | 10,0 | 3,7 | 3,5 | 7,2 | 48,6 |
| | BC | 34–64 | 0,8 | 2,72 | 1,20 | 56 | 4,2 | 4,8 | 10,0 | 3,6 | 6,5 | 10,1 | 64,4 |
| Прикопка № 1.1 | A | | 0 | 2,31 | 0,81 | 65 | 6,2 | 13,5 | 8,5 | 6,1 | 21,2 | 27,3 | 77,7 |
| Прикопка № 1.1 | A ₂ B | | 0,2 | 2,61 | 0,92 | 64 | 6,4 | 4,8 | <1,25 | 7,4 | 11,2 | 18,6 | 60,2 |
| Прикопка № 1.2 | BC | | 9,7 | 2,12 | 0,82 | 61 | 6,5 | 8,0 | 7,5 | 8,0 | 22,4 | 30,4 | 73,7 |
| Ботанический сад УрО РАН | | | | | | | | | | | | | |
| Почвенный разрез № 2 | A ₁ | 0–20 | 8,5 | 2,50 | 1,16 | 54 | 5,0 | 5,7 | 7,5 | 7,2 | 22,6 | 29,8 | 75,8 |
| | A ₂ B | 20–39 | 23,0 | 2,63 | 1,15 | 57 | 4,0 | 6,0 | 1,25 | 5,4 | 10,0 | 15,4 | 64,9 |
| | A ₁ B | 39–70 | 5,0 | 2,51 | 1,28 | 49 | 4,6 | 4,6 | 1,25 | 5,3 | 38,2 | 43,5 | 87,8 |
| | B | 70–92 | 5,4 | 2,28 | 1,24 | 46 | 5,2 | 6,0 | 1,25 | 2,5 | 17,5 | 20,0 | 87,5 |
| Прикопка № 2.1 | A ₁ | 2–12 | 10,1 | 2,49 | 0,94 | 62 | 6,0 | 4,8 | 1,25 | 7,0 | 16,6 | 23,6 | 70,3 |
| | A ₁ A ₂ | 12–21 | 4,4 | 2,36 | 1,13 | 52 | 5,2 | 6,0 | 1,25 | 5,6 | 12,0 | 18,0 | 66,6 |
| | B ₁ | 21–34 | 12,0 | 2,39 | 1,18 | 51 | 5,0 | 4,8 | 0 | 5,3 | 7,5 | 12,8 | 58,0 |
| | B ₂ | 34–41 | 16,8 | 2,35 | 1,23 | 48 | 4,6 | 8,0 | 0 | 6,3 | 17,5 | 23,8 | 73,5 |

Примечание: Н – гидролитическая кислотность; S – сумма обменных оснований; Е – ёмкость поглощения; V – степень насыщенности почв основаниями

2. Морфологические показатели можжевельника *Juniperus communis* L.

| № п/п | Высота, м | Диаметр корневой шейки, см | Угол отхождения ветвей, град. | Объём кроны, м ³ | Площадь проекции кроны, м ² | Средняя масса хвоинок, мг |
|--------------------------|-----------|----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------|---------------------------|
| Новая территория УГЛТУ | | | | | | |
| 1 | 1,82 | 2,49 | 55 | 0,111 | 0,184 | 12 |
| 2 | 1,59 | 2,15 | 70 | 0,006 | 0,131 | |
| 3 | 1,66 | 1,72 | 60 | 0,076 | 0,138 | |
| 4 | 1,39 | 2,31 | 60 | 0,070 | 0,151 | |
| 5 | 2 | 2,69 | 30 | 0,227 | 0,341 | |
| среднее (X±Sx) | 1,69±0,1 | 2,27±0,16 | 55±6,71 | 0,1±0,04 | 0,19±0,04 | |
| Ботанический сад УрО РАН | | | | | | |
| 1 | 1,72 | 2,1 | 120 | 0,175 | 0,306 | 9 |
| 2 | 1,34 | 1,84 | 80 | 0,082 | 0,188 | |
| 3 | 1,57 | 2,58 | 70 | 0,091 | 0,166 | |
| 4 | 1,45 | 1,92 | 90 | 0,133 | 0,27 | |
| 5 | 1,41 | 2,56 | 65 | 0,103 | 0,22 | |
| среднее (X±Sx) | 1,5±0,07 | 2,2±0,16 | 85±9,75 | 0,12±0,02 | 0,23±0,03 | |

одного слоя; по химическим характеристикам профиль не сильно изменен по сравнению с зональными почвами [9].

Все особи в интродукционных популяциях можжевельника обыкновенного имеют жизненные формы дерева или кустарника. По высоте на новой территории особи достигают от 1,4 до 2 м, а в Ботаническом саду – от 1,34 до 1,72 м (табл. 2). По объёму и площади проекции кроны особенно выделяется модельный экземпляр № 5, произрастающий на новой территории УГЛТУ. Для оценки состояния интродукционных популяций можжевельника нами была исследована динамика накопления фотосинтетических пигментов в двухлетней хвое (рис. 1, 2). При интродукции хвойных в новые для них экологические условия надёжным диагностическим признаком состояния древесных

растений служит качественный и количественный состав пигментной системы – хлорофиллов и каротиноидов – главных фоторецепторов фотосинтезирующей клетки. При успешной интродукции содержание хлорофилла интродукта очень близко к накоплению его в природных популяциях [10].

Согласно полученным данным, максимальное накопление хлорофилла *a* у можжевельника было установлено летом (1,75 мг/г сырого веса) на новой территории УГЛТУ, а хлорофилла *b* в зимний период (1,62 мг/г сырого веса).

При снижении накопления хлорофилла *a* происходит увеличение доли хлорофилла *b* или каротиноидов, которые выполняют защитные функции, что является адаптивной реакцией ассимиляционного аппарата можжевельника на различные стрессы. Сумма пигментов и в зимний,

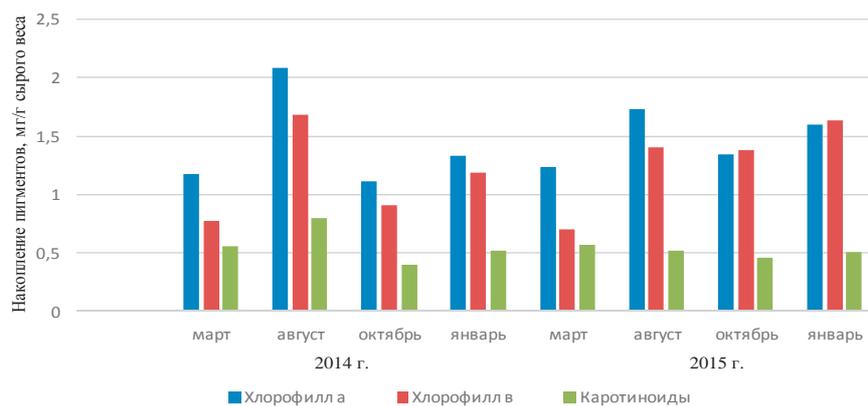


Рис. 1 – Сезонная динамика накопления пигментов в хвое можжевельника обыкновенного (новая территория УГЛТУ)



Рис. 2 – Сезонная динамика накопления пигментов в хвое можжевельника обыкновенного (Ботанический сад Уро РАН)

и в летний периоды больше в интродукционной популяции можжевельника обыкновенного на новой территории УГЛТУ (3,76 и 3,65 мг/г).

Одним из показателей, диагностирующих работу фотосинтетического аппарата можжевельника обыкновенного, является отношение хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* (*a/b*). Это отношение связано с активностью «главного» хлорофилла *a*, чем оно больше, тем интенсивнее фотосинтез данного вида. Наибольший показатель установлен в летний период у особей можжевельника на новой территории УГЛТУ. Соотношение хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* варьируется от 0,98 до 1,23. Важным составляющим пигментной системы хвойных являются каротиноиды. Динамика изменения каротиноидов для *Juniperus communis* имела другую закономерность. В зимний период пигментный аппарат можжевельника характеризуется более высокими показателями содержания каротиноидов. Это связано с тем, что в этот период жёлтые пигменты сохраняют хлорофиллы от избытка солнечной радиации, так как каротиноиды ещё и участвуют в защите клеток от воздействия окружающей среды. Амплитуда распределения каротиноидов в различ-

ных популяциях установлена в низких пределах (0,41–0,54 мг/г сырого веса). Для характеристики эффективности фотосинтеза в хвое можжевельника была рассчитана потенциальная продуктивность. Популяция, которая растёт на новой территории УГЛТУ, оказалась (44,84) значительно выше, чем в другой интродукционной популяции (Ботанический сад Уро РАН) (29,54).

Выводы. Почвы на новой территории УГЛТУ отличаются более лёгким гранулометрическим составом, большей порозностью и, как следствие более благоприятными водно-физическими свойствами, большим содержанием доступного фосфора P_2O_5 и доступного калия K_2O , меньшей степенью насыщенности почв основаниями, менее кислой реакцией почвы, меньшей ёмкостью поглощения.

Почвы Ботанического сада Уро РАН отличаются более тяжёлым гранулометрическим составом, меньшей порозностью и, как следствие, менее благоприятными водно-физическими свойствами для произрастания можжевельника обыкновенного, меньшим содержанием доступного фосфора и калия, большей степенью насыщенности

почв основаниями, более кислой реакцией почв, большей ёмкостью поглощения. В них отмечено антропогенное влияние, что проявляется в перемешанности горизонта A_1B на глубине 40–70 см.

На основе полученных экспериментальных данных выявлены сезонные различия в накоплении хлорофиллов и каротиноидов в хвое можжевельника, произрастающего в интродукционных популяциях. Установлено, что накопление пигментов можжевельника подвержено изменению в течение годового цикла и зависит от природно-климатических условий, а также почвенных условий и влагообеспеченности. Так, общее накопление хлорофиллов и каротиноидов варьирует в пределах 2,37–3,76 мг/г сырого веса. Таким образом, с точки зрения пигментных показателей можжевельника в течение двух лет по уровню активности фотосинтетического аппарата в интродукционных популяциях наблюдается стабильность в работе пигментного комплекса. Но, несмотря на закономерности сезонной динамики фотосинтетических пигментов, выявлены отличия, которые, скорее всего, связаны с их различными адаптационными возможностями в районе интродукции.

Литература

1. Павлова Л.М. Состояние фотосинтетических пигментов в вегетативных органах древесных растений в городской среде / Л.М. Павлова, И.М. Котельникова, Н.Г. Куимова, Н.Ю. Леусова, Л.П. Шумилова // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия «Экология и безопасность жизнедеятельности». 2010. № 2. С. 11–19.
2. Тарчевский И.А., Андрианова И.А. Содержание пигментов как показатель мощности развития фотосинтетического аппарата у пшеницы // Физиология растений. 1980. Т. 27. № 2. С. 390–395.
3. Тишкина Е.А., Семкина Л.А. Влияние антропогенных воздействий на устойчивость ценопопуляций *Juniperus Communis* L. на Среднем Урале // Вестник Удмуртского университета. Серия «Биология. Науки о Земле». 2016. Т. 26. Вып. 1. С. 79–84.
4. Силкина О.В. Комплексная оценка эколого-физиологических параметров хвои *Abies sibirica* и *Picea abies* в процессе вегетации и её фитопродуктивная активность: автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Казань, 2006. 25 с.
5. Луганская В.Д., Луганский В.Н. Химический анализ почв: методические указания. Екатеринбург: Отдел оперативной полиграфии УГЛТУ, 2011. 28 с.
6. Шеин Е.В., Мазиров М.А., Гончаров В.М. Агрофизика: учебное пособие. Владимир: Изд-во Вл ГУ, 2014. 92 с.
7. Егоров В.В., Иванова Е.Н., Фридланд В.М. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 225 с.
8. Луганская В.Д., Луганский В.Н., Стародубцева Н.И. Почвоведение: методические указания. Екатеринбург: Отдел оперативной полиграфии УГЛТУ, 2005. 39 с.
9. Гафуров Ф.Г. Почвы Свердловской области Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2008. 396 с.
10. Титова М.С. Содержание фотосинтетических пигментов в хвое *Picea abies* и *Picea koraiensis* // Вестник Оренбургского государственного университета. 2010. № 12 (118). С. 9–12.