

УДК 582.623.2: 581.522.4

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ В ЛИСТЬЯХ ОСИНЫ *Populus tremula* L. НА ЗАРАСТАЮЩЕМ ОТВАЛЕ УГОЛЬНОГО КАРЬЕРА

Ю. В. Загурская

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН»
Институт экологии человека СО РАН
650065, Кемерово, просп. Ленинградский, 10

E-mail: syjil@mail.ru

Поступила в редакцию 24.08.2016 г.

Изучена сезонная динамика содержания основных фотосинтетических пигментов (хлорофиллов *a* и *b* и каротиноидов) в листьях подростка осины *Populus tremula* при естественном возобновлении на зарастающем породном отвале отработанного угольного карьера. Исследование проводили подекадно в течение вегетационного периода 2015 г. (июнь–начало сентября) на территории отвала «Южный» угольного разреза «Кедровский» (Кемеровская обл.) и на ненарушенном участке. Содержание фотосинтетических пигментов определяли спектрофотометрически и рассчитывали на массу абсолютно сухих листьев, так как влажность листьев осины может существенно изменяться, искажая полученные результаты. Изменений характера видимого спектра поглощения ацетоновых экстрактов листьев осины, свидетельствующих о феофитинизации хлорофиллов, не обнаружено. Содержание пигментов, в особенности хлорофилла *b*, было выше преимущественно в контрольных образцах. Соотношение хлорофиллов *a/b* в листьях осины к концу сезона уменьшалось. Максимальные различия по соотношению содержания хлорофиллов *a/b* и хлорофиллов/каротиноидов между образцами отмечены в конце августа. Адаптация пигментного комплекса фотосинтетического аппарата осины к условиям зарастающего отвала осуществлялась за счет снижения суммарного содержания хлорофиллов и каротиноидов и доли хлорофилла *b* в составе фотосинтетических пигментов.

Ключевые слова: осина *Populus tremula*, фотосинтетические пигменты, хлорофилл, каротиноиды, отвал угольного карьера, естественное лесовозобновление.

DOI: 10.15372/SJFS20170111

ВВЕДЕНИЕ

Осина обыкновенная (тополь дрожащий) *Populus tremula* L. сем. Salicaceae – одна из основных лесобразующих пород Сибири, а также произрастает на Дальнем Востоке, в Западной и Восточной Европе, Средней и Малой Азии, в Монголии и Китае (Коропачинский, Востовская, 2002). Вид характеризуется РС-стратегией адаптации к стрессу (Grime, 1977): растения не только хорошо приспособлены к резкому ухудшению условий обитания (что обуславливает их быстрое развитие на горях и вырубках), но и обладают определенной конкурентной мощ-

ностью для сосуществования с другими древесными растениями в составе лесов (Восточно-европейские леса..., 2004).

Антропогенное загрязнение окружающей среды вызывает существенные нарушения в пигментном комплексе растений (Кириенко, Терлеева, 2009): под воздействием большинства абиотических стрессовых факторов содержание пигментов падает (Удовенко, 1995). Известно, что реакция растения на стресс может иметь многофазный характер: эти результаты получены при изучении действия тяжелых металлов (Ху и др., 2007) и автотранспортного загрязнения на содержание фотосинтетических пигмен-

тов (Ерофеева и др., 2009). Кроме того, закономерности физиологических изменений могут существенно различаться в зависимости от таксономической принадлежности объекта, типа поллютантов и других экологических факторов (Тарабрин, 1984). Механизмы устойчивости основных физиологических процессов *P. tremula* к техногенному воздействию изучены недостаточно, при этом практически не охвачены пре-генеративные этапы развития.

Цель работы – изучить сезонные изменения содержания основных фотосинтетических пигментов в листьях подроста осины при естественном возобновлении в условиях эмбриоземов зарастающего отвала угольного карьера.

Задачи: 1) подобрать методику измерения и расчета содержания хлорофиллов и каротиноидов в листьях осины; 2) изучить содержание хлорофиллов и каротиноидов в листьях подроста осины в течение вегетационного сезона 2015 г. в условиях отвала и на ненарушенной территории; 3) выявить особенности изменения содержания фотосинтетических пигментов в листьях подроста осины в условиях зарастающего породного отвала угольного карьера.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в течение вегетационного периода 2015 г. (июнь–начало сентября) на территории породного отвала «Южный» угольного разреза «Кедровский» в Кемеровской области. Возраст отвала около 30 лет, в 2004 г. проведен комплекс работ по его планировке. Породы отвала представлены песчаником (60 %), алевролитами (20 %), аргиллитами (15 %), суглинками и глинами (5 %). Преобладающей фракцией являются крупные агрегаты (от 3 до 10 мм и более), содержание мелких частиц снижено. Исследуемые элювии характеризуются щелочной реакцией (рН 7.8), низкой обеспеченностью подвижными формами фосфора и азота (7 и 1.7 мг/кг соответственно), содержанием обменного калия чуть ниже нормы (125 мг/кг). Анализ содержания тяжелых металлов показал незначительное превышение ПДК по подвижным формам никеля и хрома (Корникова, Неверова, 2011).

Контрольный участок расположен вблизи отвала «Южный», в 4 км на северо-запад от пос. «Кедровский» на ненарушенных землях с типичными для области серыми лесными почвами (Яковченко и др., 2014).

Объект исследования – группы деревьев осины обыкновенной 10–15 лет, не достигшие генеративного этапа онтогенеза (подрост), без видимых повреждений ствола и кроны.

Содержание фотосинтетических пигментов изучали подекадно в образцах листовых пластинок осины (не менее 50 шт. на образец), собранных с разных экземпляров деревьев на высоте 1.5–2.5 м. Полученный материал измельчали до частей по 2–3 см², перемешивали и методом конверта отбирали по 3 пробы для определения содержания фотосинтетических пигментов и сухого вещества. Каждую пробу измельчали до частиц размером 1–2 мм. Точную навеску 0.10–0.13 г измельченного материала заливали 10 мл ацетона (ч. д. а.) и экстрагировали при температуре 4 °С в течение 30 дней при периодическом встряхивании. При меньшем времени экстракции для листьев осины максимум извлечения фотосинтетических пигментов может не достигаться. Срок хранения препаратов и БАД на основе хлорофилла при соблюдении соответствующих условий (в стеклянной емкости, в защищенном от света прохладном месте) составляет до 2 лет (Хлорофилл жидкий, 2011), а по нашим наблюдениям, хранение ацетоновых экстрактов листьев осины в течение года не влияет на результаты определения содержания фотосинтетических пигментов. Равноценность выхода пигментов подтверждали на основании статистических характеристик выборок.

Содержание фотосинтетических пигментов определяли методом прямой спектрофотометрии неразбавленных ацетоновых экстрактов по методике Хольма–Веттштейна (Holm, 1954; Wettstein, 1957; Шлык, 1971) с последующим пересчетом единиц измерения в проценты на абсолютно сухую массу образца (абс. сух. массу). Концентрацию каротиноидов также определяли на основании удельных показателей поглощения $E_{1\text{см}}^{1\%}$ (Справочник биохимика, 1991) при длинах волн 440, 450 и 460 нм с учетом вклада хлорофиллов в суммарный абсорбционный спектр экстракта, определенного по соотношению полос поглощения. Абсорбционные спектры экстрактов в УФ и видимой части регистрировали на сканирующем спектрофотометре СПЕКС ССП-705 (Россия).

Долю сухого вещества и удельную массу листа определяли весовым методом. Для расчета содержания пигментов на единицу площади листа среднюю массу 1 см² абсолютно сухих листьев (мг/см²) умножали на значения медианы содержания пигментов (%) (при таком подходе

не имеют значения нормальность распределения и численность выборок).

Статистическую обработку производили в программе Microsoft Excel 2007 с применением методов обработки результатов полевого опыта Б. А. Доспехова, а также критерия Манна–Уитни.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При изучении содержания фотосинтетических пигментов наиболее часто для характеристики тканей листа пользуются методом расчета концентраций на единицы массы или доли от них (%) сырого материала. Однако следует учитывать, что в результате онтогенетических изменений, сезонных и суточных ритмов развития, а также под воздействием различных внешних факторов может значительно варьировать содержание воды в растительном материале, для мезоморфных таксонов составляющее 45–60 %. Более корректные выводы при сравнении содержания фотосинтетических пигментов в листьях растений в различных условиях произрастания можно сделать при пересчете содержания соединений на массу структурных элементов клеток (сухого материала). Общее содержание воды в листьях осины сравнимо с показателями для большинства растений (52.8–66 %) и характеризуется значительным диапазоном изменчивости (размах вариации более 20 %).

Для снижения влияния структурных особенностей клеток и тканей, подвергающихся изменениям в процессе адаптации к воздействию окружающей среды, применяют метод расчета на удельную массу листа (удельную поверхностную плотность листа – УППЛ). При использовании дополнительных параметров (масса сухого вещества и УППЛ) для расчета содержания соединений разброс полученных результатов может увеличиться. Точность определения удельной массы листа для подростка осины составляла до 6 % (коэффициент вариации ≥ 9 %), а доля

сухого вещества не превышала 2 % (коэффициент вариации ≥ 6 %).

Достоверной связи между содержанием каротиноидов, определяемых при 440 нм, при расчете на сырую массу материала с их содержанием в расчете на УППЛ не обнаружено. Наиболее сильная взаимосвязь отмечена для всех вариантов расчета хлорофилла *b*, а также при расчете концентраций на УППЛ и абсолютно сухую массу листа для всех основных пигментов (см. таблицу).

Учитывая значительную изменчивость общей влажности листьев и более высокую точность определения содержания сухого вещества по сравнению с УППЛ, а также очень сильную взаимосвязь показаний при расчете концентраций на УППЛ и абсолютно сухую массу листа для всех основных пигментов, в листьях осины предпочтительно рассчитывать содержание фотосинтетических пигментов на массу абсолютно сухих листьев.

Спектр поглощения в видимой (красной) части для ацетоновых извлечений во всех изученных образцах листьев осины демонстрирует характерный пик на (662 ± 1) нм, что соответствует максимуму поглощения хлорофилла *a* в этой части спектра, длина волны для измерения хлорофилла *b* при этом равна 644 нм, т. е. содержание пигментов можно рассчитывать по уравнениям Хольма–Веттштейна (Туманов, Чирук, 2007). Определить значительные количества феофитина *a*, свидетельствующие о деструктуризации хлорофиллов, в смеси фотосинтетических пигментов растений можно по особенностям абсорбционного спектра: об активном процессе феофитинизации свидетельствует выравнивание спектра в диапазоне 606–616 нм (формирование плато) или исчезновение пиков в области 535 и 616 нм при нормальных концентрациях пигментов (Milenković et al., 2012). Для изученных нами образцов указанных особенностей не отмечено.

Коэффициенты корреляции показателей содержания фотосинтетических пигментов в листьях *Populus tremula* при разных методах расчета

Вариант расчета	Хлорофилл		Каротиноиды	
	<i>a</i>	<i>b</i>	440 нм	460 нм
СМ – АСМ	0.82	0.98	0.71	0.85
СМ – УППЛ	0.62	0.96	0.39	0.67
АСМ – УППЛ	0.90	0.98	0.85	0.91

Примечание. СМ – в расчете на сырую массу материала; АСМ – в расчете на абсолютно сухую массу материала; УППЛ – в расчете на абсолютно сухую удельную поверхностную плотность листа.

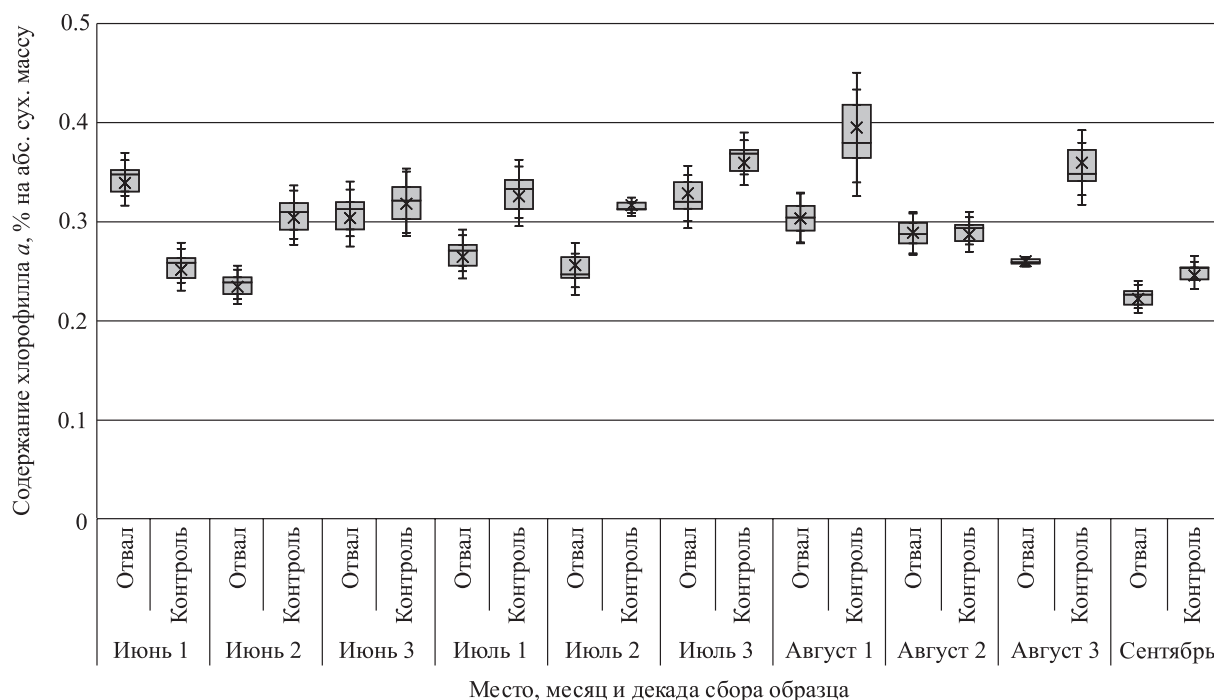


Рис. 1. Сезонная динамика содержания хлорофилла *a* в листьях осины.

Здесь и на рис. 2 и 3 коробка – интерквартильный размах (Q1–Q3), переключатель – медиана, погрешности (тонкая линия) – экспериментальные минимальное (нижнее) и максимальное (верхнее) значения, маркер (крест) – среднее значение, погрешности (толстая линия) – среднее квадратическое отклонение.

Относительная ошибка опыта при определении содержания хлорофиллов в листьях осины не превышала 10 %, что считается приемлемым при статистической обработке биологических повторностей. Коэффициент осцилляции для содержания хлорофилла *a* не превышал 30 %, для хлорофилла *b* и суммы хлорофиллов – 50 %, т. е. изменчивость выборок по содержанию хлорофилла *a* можно характеризовать как низкую, хлорофилла *b* и суммы хлорофиллов – как среднюю. Значения коэффициента вариации во всех случаях не превышали 25 %, что также свидетельствует об однородности полученных данных и корректности сравнения выборок.

Содержание хлорофилла *a* в течение сезона в контрольном варианте изменялось в диапазоне 0.25–0.38 %, а в образцах с отвала 0.23–0.35 % на абсолютно сухую массу (здесь и далее приведены значения медиан содержания пигментов). Наибольшие различия между контрольным и опытным образцами отмечены в конце августа (рис. 1).

Согласно литературным данным, один из четырех основных биохимических факторов, обнаруживших зависимость от концентрации поллютантов (полихлорированных бифенилов) в воде при изучении высших водных растений, – концентрация хлорофилла *b* (Соловых, Вино-

курова, 2015), которая в листьях осины изменялась в диапазоне 0.07–0.25 %, наиболее низкие значения отмечены в июне, а наиболее высокие показатели и максимальные различия между образцами из разных экотопов (более 100 %) – в середине июля и в конце августа. С начала июля количество хлорофилла *b* было достоверно выше в контрольных образцах (рис. 2).

Суммарная доля хлорофиллов в листьях подраста осины в расчете на абсолютно сухую массу образца составила 0.32–0.60 %. Основные закономерности сезонных изменений содержания суммы хлорофиллов и отдельных компонентов совпадали ($r \geq 0.88$).

Обязательные составляющие пигментных систем всех фотосинтезирующих организмов – каротиноиды, выполняющие функции дополнительных светопоглотителей и антиоксидантов, предотвращающих необратимое окисление хлорофиллов (Полевой, 1989; Уэйн, 1991).

В области детектирования каротиноидов (400–470 нм) для ацетоновых экстрактов листьев осины обнаружены максимумы поглощения в диапазоне 430 ± 5 и (435 ± 5) нм, а также плечо в области 445–455 нм и резкое снижение оптической плотности после 460 нм. Анализ литературных данных показал, что при уменьшении длины волны в ряду 440–460 нм удельный

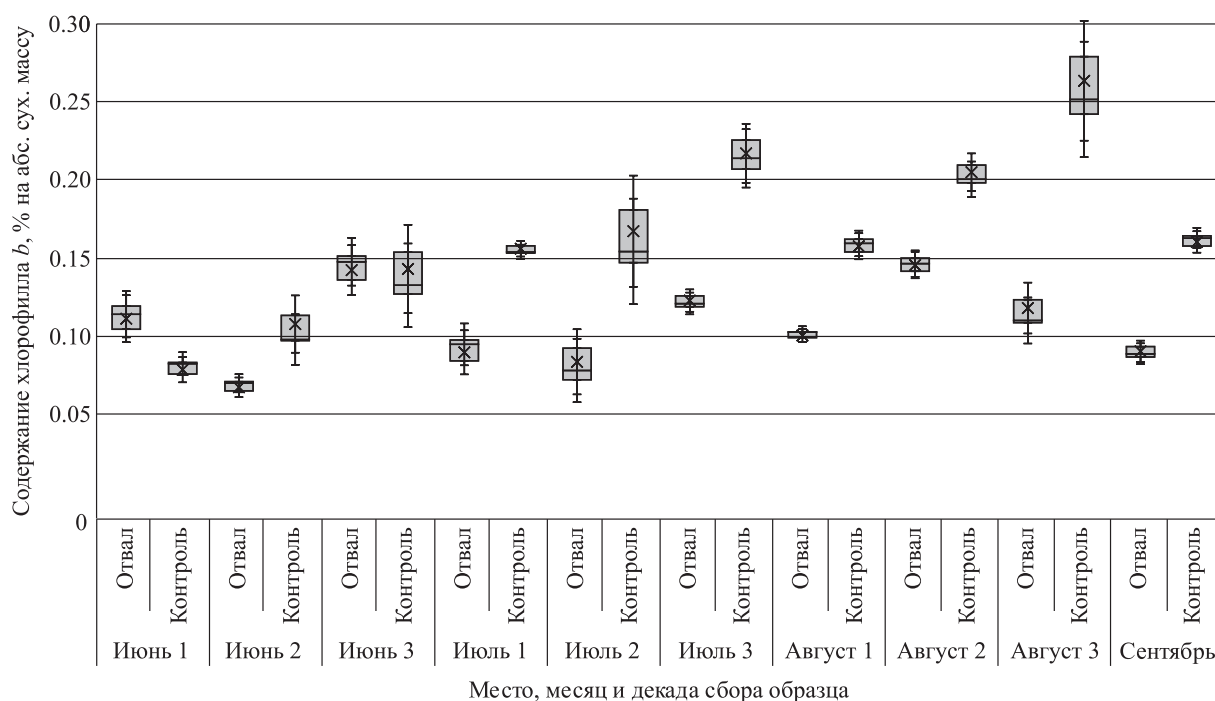


Рис. 2. Сезонная динамика содержания хлорофилла *b* в листьях осины.

показатель (коэффициент) поглощения (УПП), оптимальный для расчета содержания каротиноидов, уменьшается: при детектировании на 440 нм – 2600, 450 нм – 2550, 460 нм – 2500 (Phytoplankton..., 1997; Rodriguez-Amaya, 2001; Шадрин и др., 2008).

Изменения показателей содержания каротиноидов, рассчитанных с применением удельных коэффициентов поглощения, для $\lambda = 440$ нм совпадали с данными, полученными при расчете по уравнению Хольма–Ветшттейна ($\lambda = 440.5$ нм) ($r = 0.90$). Корреляция между содержанием каротиноидов при определении на 450 и 460 нм составила 0.997, а наименее тесная взаимосвязь количества каротиноидов отмечена при измерении на 440 и 460 нм ($r = 0.65$). Таким образом, определять содержание каротиноидов в ацетонных экстрактах листьев осины без предварительного разделения целесообразно при длинах волн 440 и 460 нм.

Наибольшей точностью опыта характеризовалось содержание каротиноидов при определении на 460 нм: максимальная относительная ошибка составила 8 %, а коэффициент вариации – 12 %, что характеризует низкий уровень изменчивости признака в пределах выборки. Коэффициент осцилляции не превышал 25 %.

При определении каротиноидов на 440 нм различия между содержанием в контрольных образцах и растениях с отвала оказались незначительными. При измерении на 460 нм количество

каротиноидов с середины июня до середины августа в контрольных образцах было достоверно выше (рис. 3).

Одной из характеристик нормального протекания фотосинтетических процессов у высших растений и их устойчивости к неблагоприятным факторам является отношение количества хлорофилла *a* к хлорофиллу *b*. Соотношение хлорофиллов в листьях осины составило от 1.4 до 3.4 и снижалось к концу сезона как в контрольном, так и в опытном варианте. Почти во всех изученных вариантах соотношение хлорофиллов было больше в образцах с отвала (рис. 4).

О перестройке светособирающих комплексов (ССК) фотосистем и возрастании роли каротиноидов как дополнительных светосборщиков в сине-фиолетовой области солнечного спектра свидетельствует изменение отношений хлорофиллы/каротиноиды (Иванов и др., 2013). Отношение содержания суммы хлорофиллов к сумме каротиноидов в высших растениях изменяется в широких пределах: согласно литературным данным, для большинства растений эта величина составляет от 4.6 до 8.0 (Рабинович, 1951). В листьях осины с отвала соотношение количества хлорофиллов и каротиноидов изменялось в диапазоне 3.9–5.7, а в листьях с контрольного участка – 4.2–7.4. Максимальные различия между образцами из разных мест сбора характеризовали конец вегетационного сезона (с середины августа): в это время количество хлорофиллов

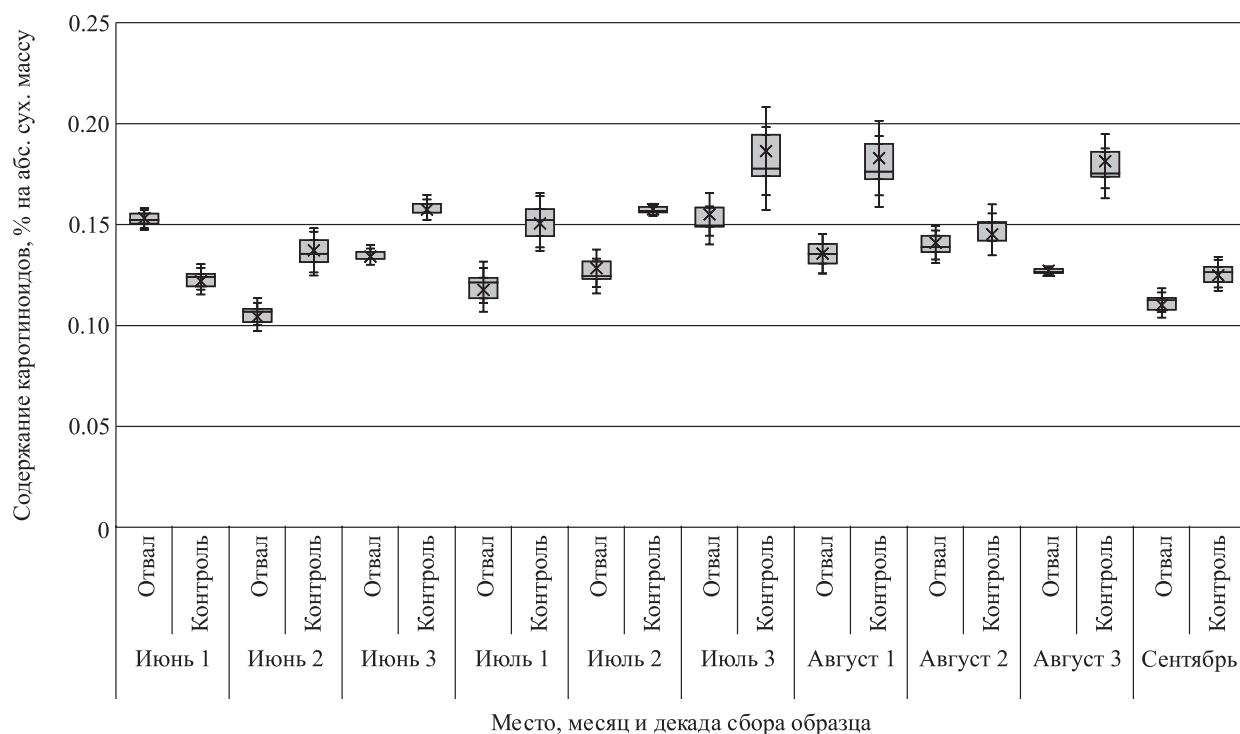


Рис. 3. Сезонная динамика содержания каротиноидов в листьях осины (регистрация оптической плотности экстрактов при 460 нм).

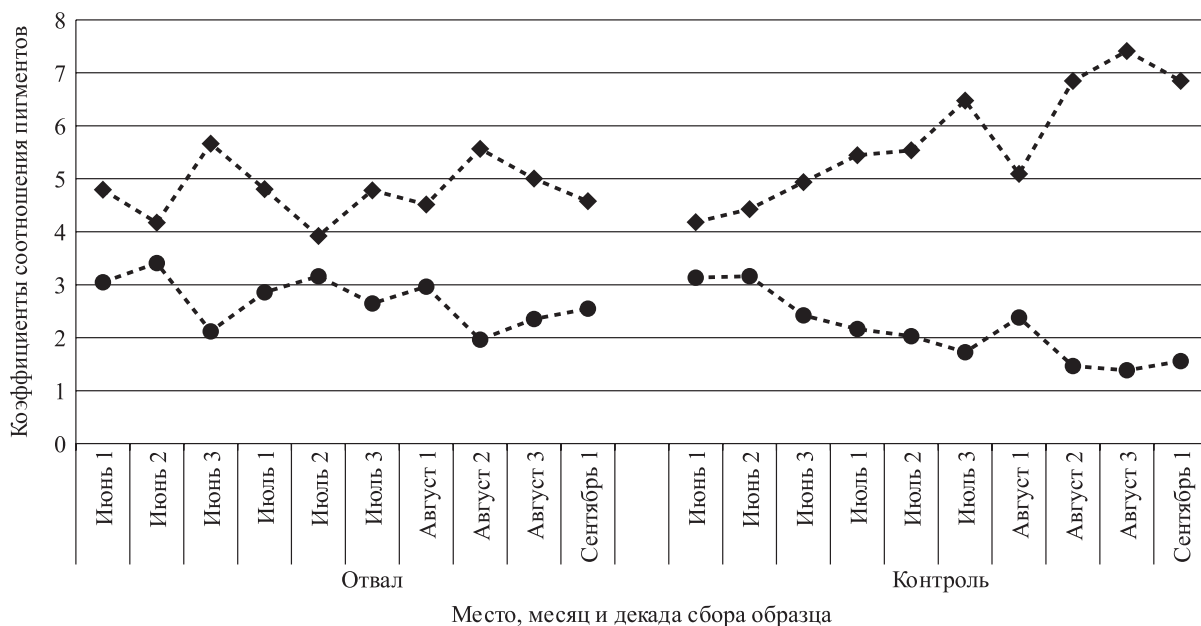


Рис. 4. Соотношение содержания хлорофиллов *a/b* и суммы хлорофиллов к сумме каротиноидов в листьях осины в течение вегетационного сезона.

Точка – хлорофиллы *a/b*, ромб – хлорофиллы/каротиноиды.

превышало содержание каротиноидов в контрольной пробе в 7–8 раз, а в образце с отвала – в 4–5 раз (см. рис. 4).

Максимальная разница между образцами листьев осины с отвала и контрольного участка обнаружена при расчете содержания фотосин-

тетических пигментов на УППЛ для образцов, собранных в конце августа. По сравнению с содержанием пигментов, рассчитанных на сырую массу образца, она увеличивалась на 30 % и более. Самые слабые различия между образцами из разных экотопов (не превышающие 26 % по

модулю) при всех методах расчета характеризовали показатели содержания каротиноидов, определяемых при 440 нм. Максимальная разница между образцами отмечена для количества хлорофилла *b* при расчете на УППЛ (до 160 % по модулю).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Содержание хлорофилла *a* в ацетоновых экстрактах листьев осины методом прямой спектрофотометрии без предварительного разделения следует определять при длине волны (662 ± 1) нм, а содержание каротиноидов целесообразно измерять при длинах волн 440 и 460 нм.

Установлены различия сезонных изменений содержания фотосинтетических пигментов между образцами листьев подростка осины, произрастающего в условиях зарастающего отвала угольного карьера и на ненарушенном участке. Для всех изученных показателей (содержание хлорофилла *a* и *b* и каротиноидов, а также соотношение пигментов) наиболее существенные различия между образцами наблюдаются в конце вегетационного сезона. Максимальные различия между контрольными и опытными образцами листьев осины отмечены в содержании хлорофилла *b*, что подтверждает высокую чувствительность этого пигмента к действию неблагоприятных факторов. Максимальные различия между образцами по соотношению содержания хлорофиллов *a/b* и хлорофиллов/каротиноидов также наблюдались в конце вегетации.

Количество основных фотосинтетических пигментов в образцах с зарастающего отвала угольного разреза в период вегетации 2015 г. было снижено по сравнению с контролем на протяжении большей части сезона. Признаков феофитинизации хлорофиллов, часто отмечаемой при негативных воздействиях на растения, в листьях осины с отвала не обнаружено.

Можно заключить, что один из механизмов адаптации фотосинтетического аппарата осины к условиям зарастающего отвала угольного карьера осуществляется за счет снижения суммарного содержания фотосинтетических пигментов и увеличения доли хлорофилла *a* в пигментном комплексе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Восточноевропейские леса: история в голоцене и современность: в 2 кн. / отв. ред. О. В. Смирнова. Кн. 1. М.: Наука, 2004. 479 с.

Ерофеева Е. А., Сухов В. С., Наумова М. М. Двухфазная зависимость некоторых эколого-морфологических и биохимических параметров листовой пластинки березы повислой от уровня автотранспортного загрязнения // Поволжск. экол. журн. 2009. № 4. С. 288–295.

Иванов Л. А., Иванова Л. А., Ронжина Д. А., Юдина П. К. Изменение содержания хлорофиллов и каротиноидов в листьях степных растений вдоль широтного градиента на Южном Урале // Физиол. раст. 2013. Т. 60. № 6. С. 856–864.

Кириенко Н. Н., Терлеева П. С. Влияние техногенного загрязнения территории на содержание фотосинтетических пигментов в листьях лекарственных растений // Проблемы современной аграрной науки: мат-лы Междунар. заочн. науч. конф. Красноярск, 2009. www.kgau.ru/img/konferenc/2009/22.doc

Корниасова Н. А., Неверова О. А. Оценка влияния инокулята почвенных микроорганизмов на некоторые характеристики роста и урожая овса в условиях породного отвала угольного разреза «ОАО Кедровский» // Вестн. ТГУ. 2011. № 351. С. 159–162.

Коропачинский И. Ю., Встовская Т. Н. Древесные растения Азиатской России. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2002. С. 86–87.

Полевой В. В. Физиология растений. М.: Высш. школа, 1989. 464 с.

Рабинович Е. Фотосинтез. М.: Иностран. лит., 1951. Т. 1. 118 с.

Соловых Г. Н., Винокурова Н. В. Механизмы экологической адаптации макрофитов р. Урал к токсическому воздействию полихлорированных бифенилов // Совр. пробл. науки и образов. 2015. № 5. <http://www.science-education.ru/article/view?id=22642>

Справочник биохимика: пер. с англ. М.: Мир, 1991. 196 с.

Тарабрин В. П. Природа устойчивости древесных растений к промышленным эксагатам // Адаптация древесных растений к экстремальным условиям среды. Петрозаводск: Карельск. филиал АН СССР, 1984. С. 90–97.

Туманов В. Н., Чирук С. Л. Качественные и количественные методы исследования пигментов фотосинтеза: практикум. Гродно: ГрГУ им. Я. Купалы, 2007. 62 с.

Удовенко Г. В. Устойчивость растений к абиотическим стрессам // Теоретические основы селекции растений. Т. 2, ч. 1 и 2. Физиологические основы селекции растений. СПб: ВИР, 1995. С. 293–346.

Уэйн Р. Основы и применение фотохимии. М.: Мир, 1991. 304 с.

- Хлорофилл жидкий // Регистр лекарственных средств России® (РЛС): энциклопедия лекарств и товаров аптечного ассортимента. [Электронный ресурс]. 2011. http://www.rlsnet.ru/baa_tn_id_24618.html
- Ху Ц. Ц., Ши Г. С., Су Ц. С., Ван С., Юан Ц. Х., Ду К. Х. Воздействие Pb²⁺ на активность антиоксидантных ферментов и ультраструктуру клеток листьев // Физиол. раст. 2007. Т. 54. № 3. С. 469–474.
- Шадрин Н. В., Дробецкая И. В., Чубчикова И. Н., Терентьева Н. В. Каротиноиды в красной соли гиперсоленого Кояшского озера (Крым, Черное море) // МЭЖ. 2008. Т. 7. № 4. С. 85–87.
- Шлык А. А. Определение хлорофиллов и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев // Биохимические методы в физиологии растений. М.: Наука, 1971. С. 154–171.
- Яковченко М. А., Константинова О. Б., Косолапова А. А., Русакова О. В. Исследование почвенно-агрохимических характеристик ПСП Кедровского угольного разреза Кемеровской области при проведении лесной рекультивации // Тенденции сельскохозяйственного производства в современной России: мат-лы XIII Междунар. науч.-практ. конф. Ч. 2. Кемерово, 2014. С. 356–365.
- Grime J. P. Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory // Am. Nat. 1977. V. 111. P. 1169–1194.
- Holm G. Chlorophyll mutations in barley // Acta. Agr. Scand. 1954. V. 4. P. 457–471.
- Milenković S. M., Zvezdanović J. B., Anđelković T. D., Marković D. Z. The identification of chlorophyll and its derivatives in the pigment mixtures: HPLC-chromatography. Visible and mass spectroscopy studies // Adv. Technol. 2012. V. 1 (1). P. 16–24.
- Phytoplankton pigments in oceanography: guidelines to modern methods. Paris: UNESCO, 1997. 595 p.
- Rodriguez-Amaya D. B. A guide to carotenoid analysis in foods. Washington, 2001. 65 p.
- Wettstein D. Chlorophyll letale und der submikroskopische Formwechsel der Plastiden // Exp. Cell Res. 1957. V. 12. P. 427–434.

SEASONAL DYNAMICS OF THE PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS CONTENT IN *Populus tremula* L. LEAVES AT THE ADAPTATION ON AN OPEN-PIT COAL MINE REVEGETATING DUMP

Yu. V. Zagurskaya

*Federal Research Center on Coal and Coal Chemistry, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch
Institute of Human Ecology, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch
Prospekt Leningradskii, 10, Kemerovo, 650065 Russian Federation*

E-mail: syjil@mail.ru

Seasonal dynamics of the basic photosynthetic pigments (*a* and *b* chlorophylls, carotenoids) content in the samples of aspen *Populus tremula* during natural regeneration on a revegetating pit dump of a worked-out coal pit has been studied. The studies were conducted every ten days during the vegetation period in 2015 (June–September) on the territory of «Yuzhniy» dump of «Kedrovskiy» open-pit coal mine (Kemerovo region). The pigment content was identified by the means of spectrophotometric detection. The content of photosynthetic pigments in aspen leaves was calculated on oven-dry weight of the leaves, as moisture aspen leaves can greatly vary, and the determination of accuracy of dry matter content higher than the for specific gravity of the sheet. No changes in visible absorption spectrum of acetone extracts indicating pheophytin formation in chlorophylls have been identified. For all variants the larger amount of *b* chlorophyll was contained in control samples. The largest differences in *a/b* chlorophylls and chlorophylls/carotenoids ratio were observed in the end of vegetation period. The ratio between *a* and *b* chlorophylls of aspen leaves in both cases by the end of the season was considerably lower. The adaptation of aspen photosynthetic system to the revegetating dump conditions was performed due to decrease in the total pigment content and the percent of *b* chlorophyll in their composition.

Keywords: *aspen tree Populus tremula, photosynthetic pigments, chlorophyll, carotenoids, coal mine waste dump, natural regeneration.*

How to cite: *Zagurskaya Yu. V. Seasonal dynamics of the photosynthetic pigments content in Populus tremula L. leaves at the adaptation on an open-pit coal mine revegetating dump // Sibirskij Lesnoj Zurnal (Siberian Journal of Forest Science). 2017. N. 1: 105–113 (in Russian with English abstract).*