

**ОЦЕНКА АДАПТИВНОГО ПОТЕНЦИАЛА *BETULA PENDULA ROTH.*
В УСЛОВИЯХ ПРЕОБЛАДАЮЩЕГО ВЛИЯНИЯ ВЫБРОСОВ ПРОМЗОНЫ
Г. КЕМЕРОВО**

Неверова О.А.¹, Быков А.А.²

¹ФГБУН «Институт экологии человека СО РАН», Кемерово, e-mail: nev11@yandex.ru;

²ФГБУН «Институт вычислительных технологий СО РАН», Кемеровский филиал, г. Кемерово, bykov@icc.kemsc.ru

В работе дана оценка адаптивного потенциала березы повислой (*Betula pendula Roth.*) в условиях преобладающего влияния выбросов предприятий промзоны г. Кемерово по комплексу физиолого-биохимических, морфологических и анатомических характеристик. Экспериментально установлено, что в условиях влияния выбросов промзоны у березы повислой возникают + и – корреляции изучаемых характеристик с комплексным показателем загрязнения атмосферы (КПЗА), которые формируют адаптивные и негативные перестройки на различных уровнях организации деревьев. В частности, по мере приближения к промзоне в листьях березы выявлена стимуляция окислительных процессов (увеличивается активность пероксидазы и уровень малонового диальдегида), отмечено снижение содержания зеленых пигментов (хлорофиллов *a* и *b*), в то же время наблюдается возрастание относительного содержания хл *a/b*, увеличивается толщина листовой пластинки, клеток нижней эпидермы, столбчатого и губчатого мезофилла. Соотношение адаптивных перестроек к негативным у березы повислой составило 5/3, с долей адаптивных перестроек, равной 1,7. Полученные данные свидетельствуют, что увеличение адаптивных перестроек у березы повислой на физиологическом и анатомическом уровне обеспечивают ее устойчивость в условиях преобладающего влияния выбросов промзоны г. Кемерово.

Ключевые слова: промышленное загрязнение среды, древесные растения, физиологические, морфометрические, анатомические характеристики листьев.

**THE ASSESSMENT OF ADAPTIVE POTENTIAL OF *BETULA PENDULA ROTH.*
IN THE CONDITIONS OF PREVAILING INFLUENCE BY EMISSIONS OF THE
INDUSTRIAL ZONE OF KEMEROVO CITY**

Neverova O.A.¹, Bukov A.A.²

¹Institute of Human Ecology of the Siberian Branch of the Russian Academy of Science, Kemerovo, Russia, e-mail: nev11@yandex.ru;

²Institute of computing technologies of the Siberian Branch of the Russian Academy of Science, Kemerovo branch, Kemerovo, Russia, e-mail: nev11@yandex.ru

The assessment of adaptive potential of *Betula pendula Roth.* in the conditions of the prevailing influence by enterprises emissions of the industrial zone of Kemerovo city according to complex of physiological-biochemical, morphological and anatomical characteristics is observed in this work. It is experimentally established that in the conditions of prevailing influence by emissions of the industrial zone the *Betula pendula Roth.* acquires «+» and «-» correlations of specified characteristics with the complex indicator of atmosphere pollution (CIAP), which create adaptive and negative rearrangements at the various levels of trees organization. Particular by on drawing near the industrial zone the stimulation of oxidative processes (the activity of peroxidase and level of malondialdehyde increase) in the Birch leaves is found out, the decrease of green pigments content (chlorophyll «a» and «b») is pointed out, at the same time the increase of the relative content chl «a» / «b», the blade caliber, cells of low epidermis, palisade and cancellate mezofill is observed. The proportion of adaptive and negative rearrangements in *Betula pendula Roth.* is amounted to 5/3, with the contribution of adaptive rearrangements in *Betula pendula Roth.* at the physiological and anatomical levels provide its stability in the conditions of prevailing influence by emissions of the industrial zone of Kemerovo city.

Keywords: environmental pollution, woody plants, physiological, morphometrical, anatomical characteristics of leaves.

Город Кемерово является индустриальным центром Кузбасса. Мощным источником загрязнения атмосферного воздуха г. Кемерово является промзона, включающая Кемеровскую ГРЭС, КОАО «Химпром», ОАО «Кокс». Промзона расположена на границе

Центрального и Заводского районов города в непосредственной близости к жилым кварталам. Приоритетными выбросами данных промышленных объектов являются оксиды азота, диоксид серы, оксид углерода, полиароматические углеводороды, в том числе бенз(а)пирен и взвешенные вещества.

Устойчивость растений к загрязнению окружающей среды характеризует их способность полноценно осуществлять свои основные жизненные функции, а мера устойчивости отражает количественную сторону этой способности.

Уровень устойчивости определяется адаптивными возможностями растения [3-5; 8; 10]. Но поскольку адаптация представляет собой сложную совокупность многих перестроек в организме, а каждый конкретный методический прием оценки устойчивости основан на изучении какого-либо одного звена или процесса жизнедеятельности, то более точную оценку устойчивости растений можно получить при использовании комплекса различных методов диагностики.

Целью представленных исследований являлась оценка адаптивного потенциала березы повислой (*Betula pendula* Roth.) в условиях преобладающего влияния выбросов предприятий промзоны г. Кемерово.

Для достижения цели проведено моделирование загрязнения на пробных площадках наблюдения и изучен комплекс физиолого-биохимических и анатомических характеристик березы повислой.

Объекты и методы

Для исследований выбраны 6 площадок наблюдения (ПН), расположенных по факельному следу распространения выбросов от промзоны (по преобладающему юго-западному направлению ветров) (рис. 1).

Для оценки среднего за длительный период загрязнения атмосферы г. Кемерова использован специальный модуль программного комплекса ЭРА, который согласован ГГО им. А.И. Воейкова (С.-Петербург, Россия) на соответствие краткосрочной [9] и долгосрочной модели [7]. Комплекс ЭРА может быть применен для нормативных расчетов загрязнения атмосферы и позволяет использовать стандартные нормативные базы данных, накопленные в форматах программного комплекса ЭРА, отработанный интерфейс и все текстовые и графические возможности по представлению результатов (включая построение на цифровых и растровых картах). Для линейных и площадных источников используется процедура интегрирования с шагом, зависящим от удаления точки от источника, а шаг выбирается из условия не превышения вычислительной погрешности уровня 3%.

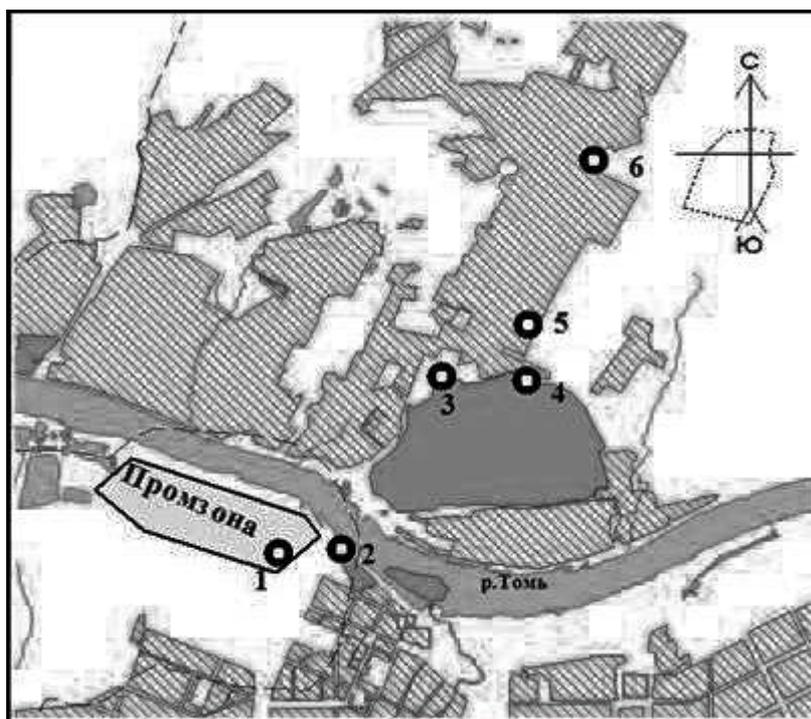


Рис. 1. Схема расположения площадок наблюдения в плане города Кемерово.

Обозначения. ПН: 1 – сквер у проходной ГРЭС (ул. Станционная, 17);

2 – парк им. Горького (вблизи спорткомплекса);

3 – территория станции юннатов (пр. Шахтеров, 10);

4 – территория санатория «Журавлик» (ул. Терешковой, 7);

5 – сквер им. Шахтеров (между пр. Шахтеров и ул. Институтской);

6 – двор сельской больницы (ул. Авроры, 12).

Расстояние от ПН 1 по прямой линии составляет: до 2 ПН - 1 км, до 3 – 3 км, до 4 – 4 км, до 5 – 4,5 км, до 6 – 6,5 км.

Основное соотношение для вычисления средней за длительный период концентрации C в точке с полярными координатами (r, φ) относительно источника имеет следующий общий вид:

$$C(r, \varphi) = \frac{p_1(\varphi)M}{r} \int_0^{\infty} du \int_0^{\infty} d\lambda p_2(u) p_3(\lambda) q(r, u, \varphi, \lambda, H_e), \quad (1)$$

где M (г/сек) средний за период осреднения выброс источника, а расшифровка обозначений и формулы для подынтегральной функции q и эффективной высоты источника H_e представлены в [7]. В состав выражения (1) входят три функции, представляющие плотности распределения: направление ветра $p_1(\varphi)$; скорость ветра $p_2(u)$; безразмерный параметр λ интенсивности турбулентного перемешивания $p_3(\lambda)$. Для нормативных расчетов эти распределения, определяющие режим долговременного загрязнения атмосферы в окрестности источника, запрашиваются вместе с остальными необходимыми параметрами в

ГГО им. А.И. Воейкова. Функция $r_1(\Phi)$ получается из стандартной 8-румбовой розы ветров путем интерполяции, вид которой определен в [7].

При расчете учтены данные инвентаризации из материалов сводного тома ПДВ г. Кемерова приоритетных выбросов предприятий промзоны – оксидов азота, диоксида серы, оксида углерода, бенз(а)пирена и взвешенных веществ (зола, сажа и др.).

В процессе моделирования рассчитывался условный безразмерный комплексный показатель (КП) суммарного среднегодового загрязнения атмосферы:

$$\text{КП} = C_1 / \text{ПДК } c_1 + C_2 / \text{ПДК } c_2 + \dots + C_n / \text{ПДК } c_n,$$

где C – среднегодовая приземная концентрация, ПДКс – среднесуточная ПДК, а индексы 1, 2, 3, ... n относятся к вышеперечисленным загрязняющим веществам. Данный показатель не является нормативным гигиеническим критерием, поскольку далеко не все учтенные вещества обладают эффектом одностороннего воздействия на человека. Он носит смысл «суммарной техногенной нагрузки», создаваемой промышленностью посредством атмосферного переноса загрязнения на ту или иную территорию города.

Объектом исследований являлась береза повислая (*Betula pendula Roth.*) средневозрастного генеративного состояния, произрастающая в зоне действия выбросов предприятий промзоны. Для исследований использовали по 5 деревьев наиболее типичного жизненного состояния для каждой ПН. Физиолого-биохимические исследования проводили 3 раза за вегетацию – в середине июня, июля и августа. Отбор проб листьев проводили в утренние часы, с южной стороны, с нижней части кроны с годичных побегов. Повторность опытов трехкратная.

Содержание хлорофилла a , b , их суммы, суммы каротиноидов определяли фотометрическим методом [2]. Активность пероксидазы исследовали методом А.Н. Бояркина [2]. Содержание основного продукта перекисного окисления липидов – малонового диальдегида (МДА) фиксировали спектрофотометрическим методом с использованием 2-тиобарбитуровой кислоты [6]. Интенсивность фотосинтеза определяли по уровню восстановленных ассимилятов после 4-часовой экспозиции точной навески листьев на свету [1]. Для анатомических исследований листья собирали в июне, июле и августе – в сроки взятия проб для физиолого-биохимических исследований и фиксировали в 60%-ном этаноле. Из средней части хвои делали поперечные срезы и помещали их в глицерин. Измерения анатомо-морфологических признаков хвои проводили с помощью микроскопа Аксиоскоп-2+, модель ZEISS NBO103 and N XBO75 (Германия) с программным обеспечением. При статистической обработке данных применяли программу Statistica 6.0. Достоверность отличий анатомо-морфологических параметров определяли по критерию Стьюдента, при уровне значимости 0,05.

Результаты и обсуждение

Значения комплексного показателя загрязнения атмосферы (КПЗА) на ПН представлены в табл. 1. Данные таблицы показывают, что значения КПЗА распределяются в порядке убывания при удалении от промзоны.

Таблица 1

Значения комплексного показателя загрязнения атмосферы на исследуемых площадках наблюдения

№ п/п	Название ПН	Значение КПЗА
1	Сквер у проходной ГРЭС (ул. Станционная, 17)	17.968
2	Парк им. Горького (вблизи спорткомплекса)	10.429
3	Территория станции юннатов (пр. Шахтеров, 10)	8.132
4	Территория санатория «Журавлик» (ул. Терешковой, 7)	6.871
5	Сквер им. Шахтеров (между пр. Шахтеров и ул. Институтской)	6.281
6	Двор сельской больницы (ул. Авроры, 12)	6.208

Существенная разница между значениями КПЗА отмечается между 1-4 ПН. Так, от 1 к 4 ПН значения КПЗА распределяются следующим образом: $17,97 > 10,43 > 8,13 > 6,87$. По мере удаления от промзоны начиная с 4 по 6 ПН существенных различий в значениях КПЗА не наблюдается, данный показатель варьирует в пределах 6,87-6,21.

Трехлетними исследованиями выявлена нелинейная зависимость в реакциях березы повислой на комплексное загрязнение атмосферного воздуха от промзоны, тем не менее в непосредственной близости к промзоне (как правило, ПН1 и ПН2) наблюдается более выраженная ответная реакция деревьев в сравнении с ПН, наиболее удаленной (ПН6), на промежуточных ПН исследуемые показатели колеблются без определенной тенденции.

Выбросы предприятий промзоны вызывают стимуляцию окислительных процессов в клетках растений, что выражается в увеличении активности пероксидазы и перекисного окисления липидов мембран. По мере приближения к источнику выбросов (от 4 км и ближе) данная тенденция усиливается. Вблизи промзоны (ПН1 и ПН2) стимуляция окислительных процессов в среднем за 3 года у березы более выражена (рис. 2, 3).

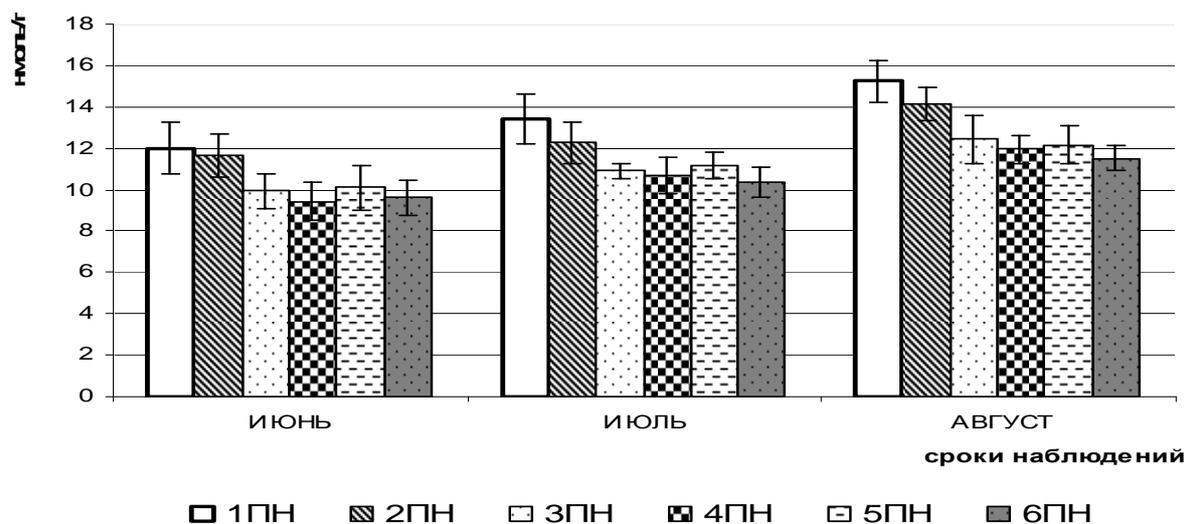


Рис. 2. Содержание малонового диальдегида в листьях березы повислой в условиях выбросов промзоны (средние данные за 2011-2013 гг.).

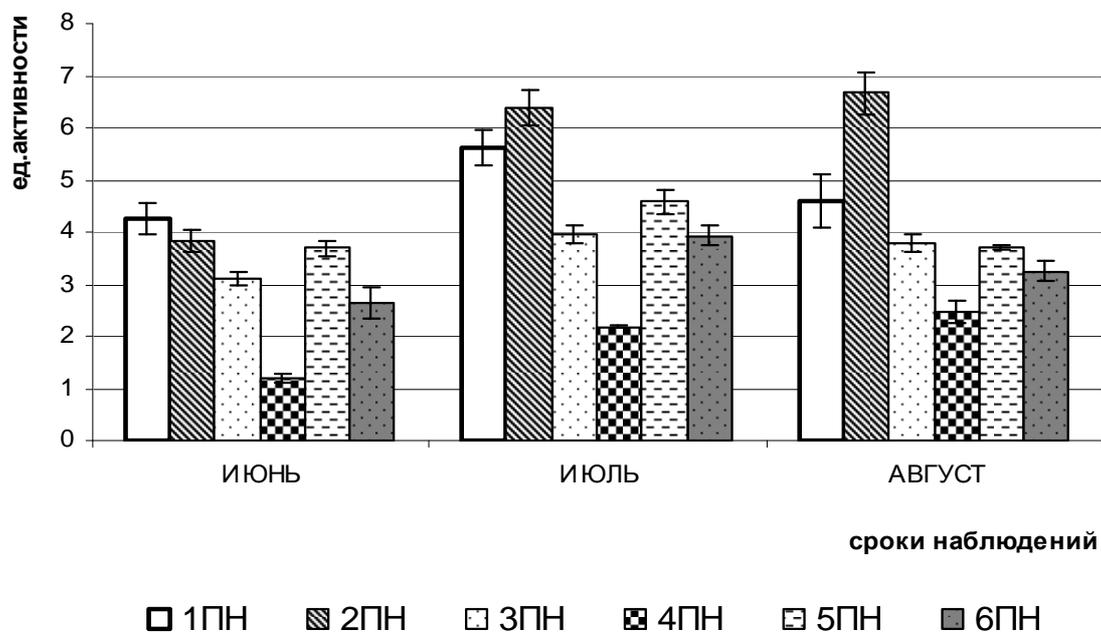


Рис. 3. Активность пероксидазы в листьях березы повислой в условиях выбросов промзоны (средние данные за 2011-2013 гг.).

Результатами трехлетних исследований установлена тенденция к снижению содержания хлорофилла *a* и *b* у березы по мере приближения к промзоне. Концентрация хлорофилла *b* в сравнении с хлорофиллом *a* у березы была гораздо меньше и на ПН снижалась в большей степени (рис. 4).

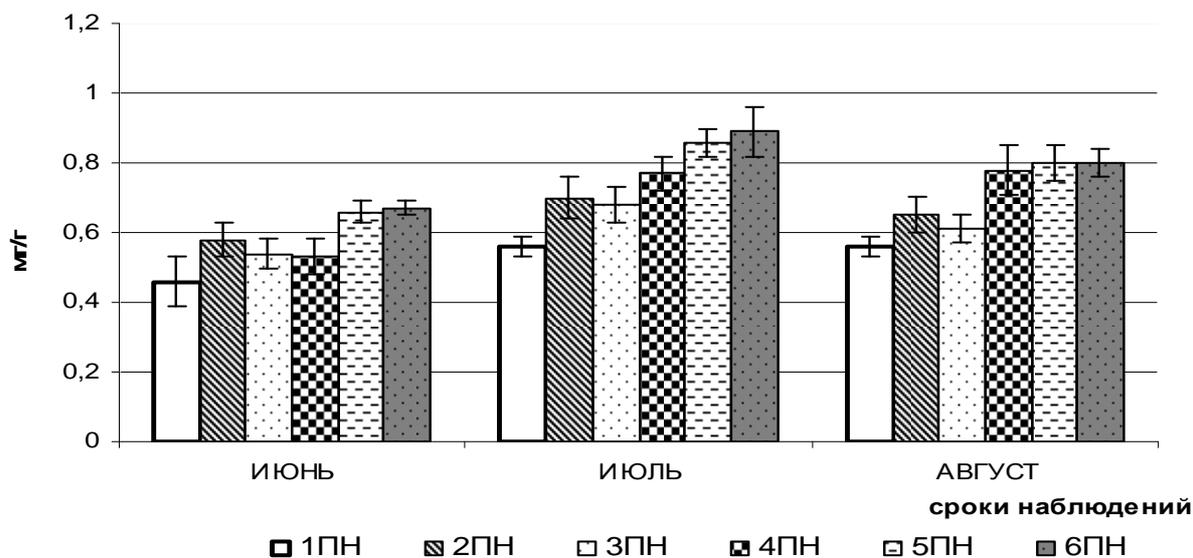


Рис. 4. Содержание хлорофилла «б» в листьях березы повислой в условиях выбросов промзоны (средние данные за 2011-2013 гг.).

Полученные экспериментальные данные показывают, что, несмотря на выявленное снижение количества *хл. а* и *хл. б*, у растений, произрастающих на ПН, расположенных ближе к источникам загрязнения, наблюдается тенденция к повышению соотношения *хл.а/хл.б*. Причем данные трех лет показали, что более значительное повышение отношения *хл.а/хл.б* выявлено у березы на ПН 1 и ПН 2 в июле в сравнении с ПН 6 (рис. 5).

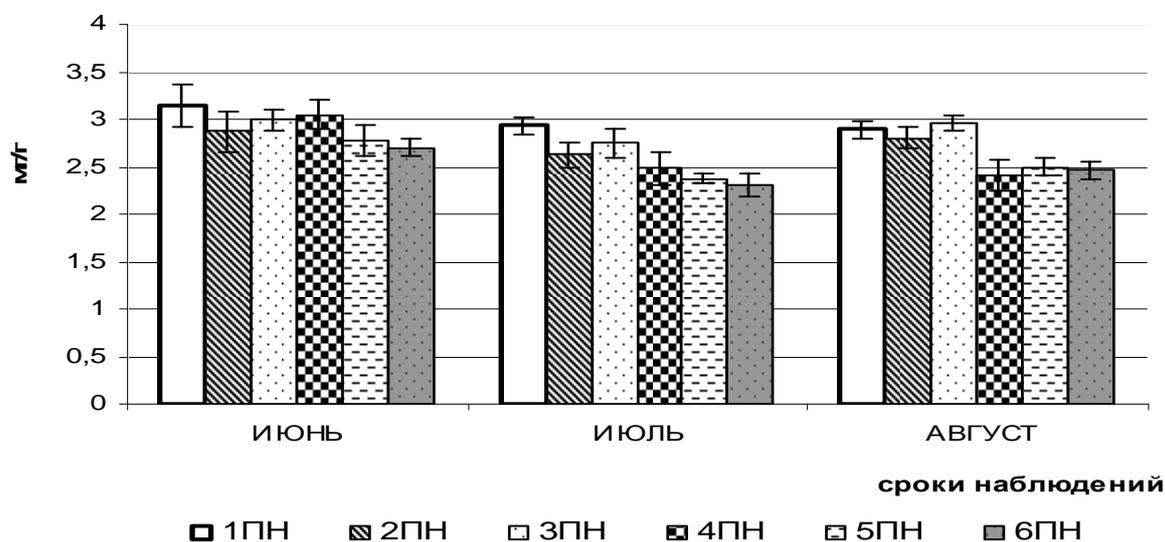


Рис. 5. Отношение содержания хлорофилла «а» к хлорофиллу «б» в листьях березы повислой в условиях выбросов промзоны (средние данные за 2011-2013 гг.).

Повышение соотношения *хл.а/хл.б* при приближении к промзоне свидетельствует о том, что по мере нарастания уровня техногенной нагрузки у березы происходит перестройка ультраструктуры хлоропластов в сторону «светового» типа. Это способствует повышению эффективности светоусвоения и степени защиты мембран хлоропластов от фотоповреждений

и может рассматриваться как защитный механизм растений в условиях техногенной нагрузки. Полученные выше результаты согласуются с данными по фотосинтетической способности растений на исследуемых ПН. Вблизи источников выбросов (1ПН) в листьях березы возрастает фотосинтетическая способность, хотя не всегда наблюдается линейная зависимость данного эффекта от расстояния до промзоны.

В условиях выбросов промзоны обнаружены анатомо-морфологические изменения листьев березы. В непосредственной близости к промзоне (ПН1) в сравнении с ПН6 у березы больше выявлено анатомо-морфологических изменений адаптивного характера: увеличивается толщина листовой пластинки, верхней эпидермы, столбчатого и губчатого мезофилла; на промежуточных площадках наблюдения изучаемые показатели меняются без определенной тенденции (табл. 2). Известно, что мезофилл листа представляет собой сложноорганизованную систему, образованную разными тканями (столбчатые и губчатые клетки), определенным образом заполняющими объем листа. Суммарная поверхность клеток мезофилла определяет скорость фотосинтеза [5].

Меньше выявлено изменений негативного характера: так, в непосредственной близости к промзоне (ПН1) наблюдается тенденция к снижению толщины кутикулы и ширины клеток нижней эпидермы в сравнении с ПН6 (табл. 2).

Таблица 2

Анатомические признаки строения листовой пластинки березы повислой в условиях промышленного загрязнения города Кемерово

Показатель	№ ПН					
	1	2	3	4	5	6
Толщина листовой пластинки, мкм	176.1*± 0.8	140.4± 0.56	137.9± 0.65	165.3*± 0.34	148.1± 0.13	144.2± 0.44
Высота верхней эпидермы, мкм	23.5*± 0.1	21.6± 0.05	19.6± 0.1	29.4*± 0.14	19.4± 0.09	19.7± 0.07
Высота нижней эпидермы, мкм	14.2± 0.05	11.2*± 0.06	10.6*± 0.07	12.9± 0.08	12.4± 0.05	12.8± 0.05
Толщина столбчатого мезофилла, мкм	72.0*± 0.28	49.7± 0.33	48.3*± 0.21	58.0± 0.11	58.5± 0.19	56.7± 0.16
Толщина губчатого мезофилла, мкм	74.6*± 0.31	62.7± 0.35	60.0± 0.22	66.6*± 0.21	64.4± 0.14	58.2± 0.17
Толщина кутикулы, мкм	4.9± 0.04	4.0± 0.06	4.7± 0.04	6.0± 0.05	5.4± 0.07	6.3± 0.08

Примечание: * - отмечены достоверные отличия от ПН 6.

Для интерпретации полученных данных в таблице 3 представлены результаты корреляционного анализа комплекса изучаемых показателей растений с КПЗА. Анализ табличных данных показывает, что в условиях влияния выбросов промзоны у березы возникают + и – корреляции изучаемых характеристик с КПЗА, которые формируют

адаптивные и негативные перестройки на различных уровнях организации, определяющие тот или иной уровень устойчивости. У березы соотношение адаптивных перестроек к негативным составляет 5/3, при этом доля адаптивных перестроек в этом соотношении составляет 1,7, средняя сила корреляций по модулю составляет 0,39/0,58.

В частности у березы (табл. 3) по мере приближения к промзоне в листьях происходит стимуляция окислительных процессов, снижается содержание зеленых пигментов (хлорофиллов *a* и *b*), в то же время возрастает относительное содержание *хл. a/b*, увеличивается толщина листовой пластинки, клеток нижней эпидермы, столбчатого и губчатого мезофилла.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют, что увеличение адаптивных перестроек у березы повислой на физиологическом и анатомическом уровне обеспечивают ее устойчивость в условиях преобладающего влияния выбросов промзоны г. Кемерово.

Таблица 3

Результаты корреляционного анализа комплекса изучаемых показателей березы повислой с КПЗА в условиях влияния выбросов промзоны г. Кемерово

Исследуемые характеристики	Корреляции с КПЗА (r), n=90, p<0,05	
	Адаптивные перестройки	Негативные перестройки
Содержание малонового диальдегида	–	0,51
Содержание хлорофилла <i>a</i>	–	-0,58...-0,68
Содержание хлорофилла <i>b</i>	–	-0,48...-0,63
Относительное содержание, <i>a/b</i>	0,51	–
Анатомические признаки: толщина клетки нижней эпидермы	0,22	–
толщина палисадного мезофилла	0,43	–
толщина губчатого мезофилла	0,39	–
толщина листовой пластинки	0,37	–
Средняя сила корреляций (по модулю)	0,39	0,58
<i>Общее количество адаптивных и негативных перестроек</i>	5	3

Заключение

В условиях преобладающего влияния выбросов промзоны г. Кемерово у березы повислой выявлены + и – корреляции физиологических и морфо-анатомических характеристик с комплексным показателем загрязнения атмосферы (КПЗА). В частности, по

мере приближения к промзоне в листьях березы выявлена стимуляция окислительных процессов (увеличивается активность пероксидазы и уровень малонового диальдегида), отмечено снижение содержания зеленых пигментов (хлорофиллов *a* и *b*); в то же время наблюдается возрастание относительного содержания хл. *a/b*, увеличивается толщина листовой пластинки, клеток нижней эпидермы, столбчатого и губчатого мезофилла, что можно рассматривать как адаптивные изменения в ответ на загрязнение окружающей среды.

Соотношение адаптивных перестроек к негативным у березы повислой составило 5/3, с долей адаптивных перестроек, равной 1,7. Полученные данные свидетельствуют, что увеличение адаптивных перестроек у березы повислой на физиологическом и анатомическом уровне обеспечивает ее устойчивость в условиях преобладающего влияния выбросов промзоны г. Кемерово.

Список литературы

1. Быков О.Д. Бескамерный способ изучения фотосинтеза. Методические указания. – Л., 1974. - 17 с.
2. Гавриленко В.Ф., Ладыгина М.Е., Хандобина Л.М. Большой практикум по физиологии растений. Фотосинтез. Дыхание : учеб. пособие. - М. : Высшая школа, 1975. - 391 с.
3. Колмогорова Е.Ю., Цандекова О.Л., Неверова О.А. Адаптивные реакции *pinus sylvestris* l. в условиях породного отвала угольного разреза «Кедровский» // Материалы научной сессии ИЭЧ СО РАН 2013 года / Институт экологии человека СО РАН. - Кемерово, 2013. - С. 63-70.
4. Легощина О.М., Неверова О.А., Быков А.А. Изменчивость анатомической структуры хвои *pinus obovata* ledeb. в условиях влияния выбросов промзоны г. Кемерово // Сибирский экологический журнал. - 2013. - Т. 20. - № 5. - С. 733-739.
5. Легощина О.М., Неверова О.А., Быков А.А. Анатомо-морфологические характеристики хвои ели сибирской в условиях влияния выбросов промзоны г. Кемерово // Вестник Иркутской государственной сельскохозяйственной академии. - 2011. - Т. 8. - № 44. - С. 54-61.
6. Малый практикум по физиологии растений / под ред. А.Т. Мокроносова. – М. : МГУ, 1994. - 183 с.
7. Методика расчета осредненных за длительный период концентраций выбрасываемых в атмосферу вредных веществ (Дополнение к ОНД-86). – СПб. : ГГО им. А.И. Воейкова, 2005. – 15 с.
8. Неверова О.А., Легощина О.М., Зокиров Р.С. Изменение анатомических показателей хвои *pinus eldarica* ten., произрастающей в примагистральных посадках г. Худжанда //

Современные проблемы науки и образования. - 2012. - № 4. - URL: www.science-education.ru/104-6676.

9. ОНД-86. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. - Л. : Гидрометеиздат, 1987. - 92 с.

10. Neverova O.A., Legoshchina O.M., Bykov A.A. Anatomy of leaves of betula pendula (roth.) Affected by air emissions in industrial area of Kemerovo city // Middle East Journal of Scientific Research. - 2013. - Т. 17. - № 3. - С. 354-358.

Рецензенты:

Краснова Т.А., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой аналитической химии и экологии ФГБОУ ВПО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности» (университет), г. Кемерово;

Еремеева Н.И., д.б.н., профессор кафедры зоологии и экологии ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет», г. Кемерово.