

# БИОЛОГИЯ

УДК 581.1

## ДИНАМИКА ИНТЕНСИВНОСТИ ПЕРЕКИСНОГО ОКИСЛЕНИЯ ЛИПИДОВ В ЛИСТОВОЙ ПЛАСТИНКЕ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ В БИОТОПАХ С РАЗЛИЧНЫМ УРОВНЕМ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

© 2008 г.

*Е.А. Ерофеева, М.М. Наумова*

Нижегородский госуниверситет им. Н.И. Лобачевского

vestnik@unn.ru

*Поступила в редакцию 12.05.2008*

Исследована динамика интенсивности перекисного окисления липидов (ПОЛ) в листовой пластинке березы повислой (*Betula pendula* Roth.), произрастающей в двух биотопах г. Нижнего Новгорода с различным уровнем автотранспортной нагрузки (пр. Гагарина и территория Нижегородского Кремля). В обоих биотопах динамика имела сходный характер: наиболее высокое содержание продуктов ПОЛ в листе березы наблюдалось в начале июня, затем происходило значительное снижение интенсивности ПОЛ и ее относительная стабилизация. При этом в июне–июле более высокий уровень ПОЛ наблюдался в листовой пластинке березы, произрастающей в биотопе с большей величиной автотранспортной нагрузки (пр. Гагарина), а в сентябре различия между биотопами исчезали.

*Ключевые слова:* перекисное окисление, липид, берёза повислая.

### Введение

К настоящему времени накоплен огромный фактический материал, позволяющий заключить, что усиление свободнорадикальных процессов и перекисного окисления липидов является одной из универсальных клеточных реакций на воздействие различных по своей природе стрессовых факторов как у животных [1–3], так и растений [4–6]. Причем повышенный уровень липопероксидации наблюдается и при хроническом действии антропогенных стресс-факторов на животные и растительные объекты [7–9]. В последнее время накапливается все больше данных, показывающих, что увеличение интенсивности ПОЛ при стрессе является не только следствием нарушения перекисного гомеостаза, а представляет собой важный компонент адаптационного процесса. В частности известно, что такой продукт ПОЛ, как малоновый диальдегид, обладает биологической активностью и может влиять на экспрессию генов, функции белков [10, 11]. Кроме того, от содержания активных форм кислорода (АФК) зависит редокс-статус клетки. Имеются факты, указывающие на редокс-регуляцию многих ферментных систем у растений [6]. Таким образом, все вышеупомянутое объясняет интерес иссле-

дователей к ПОЛ в плане использования показателей интенсивности этого процесса в фитоиндикации [9, 12]. В то же время динамика изменения интенсивности ПОЛ у растений в различные сроки вегетационного периода в условиях действия антропогенной нагрузки изучена мало.

Цель работы – изучение динамики интенсивности ПОЛ в листовой пластинке березы повислой, произрастающей в биотопах г. Нижнего Новгорода с различным уровнем автотранспортной нагрузки.

### Материалы и методы

Листовые пластинки березы повислой (*Betula pendula* Roth.) были собраны в двух биотопах нагорной части города Нижнего Новгорода с различной автотранспортной нагрузкой: на одной из главных автомагистралей города – пр. Гагарина (поток автотранспорта 3908 авто/час) и на территории Нижегородского Кремля (136.5 авто/час). Автотранспортную нагрузку оценивали, используя стандартную методику [13]. Листовые пластинки березы собирали 5 раз за сезон: в начале июня (интенсивный рост листа), в середине и конце июня (рост листа замедляется), середине июля (рост листа пре-

крашается), середине сентября (интенсивное старение листа). Для изучения интенсивности ПОЛ в объединенной пробе из 30–35 листовых пластинок с каждого из 10 деревьев биотопа определяли содержание диеновых (ДК) и триеновых (ТК) конъюгатов, малонового диальдегида (МДА) и оснований Шиффа (ОШ) [14].

Статистическая обработка материала проводилась с использованием программ БИОСТАТИСТИКА 4.03 и STATISTICA 5.11 с помощью непараметрических методов статистического анализа.

### Результаты и их обсуждение

С помощью критерия Шапиро-Уилкса было установлено, что распределение содержания продуктов ПОЛ в листовой пластинке березы в ряде случаев отличалось от нормального ( $p < 0.05$ ). В течение периода наблюдения листовые пластинки собирали с одних и тех же деревьев, которые были пронумерованы. В связи с этим для изучения динамики интенсивности ПОЛ в листовой пластинке березы в биотопах с разным уровнем автотранспортной нагрузки использовали непараметрический аналог дисперсионного анализа повторных наблюдений – критерий Фридмана, а для парных сравнений, согласно рекомендации С. Гланца [15] – непараметрический вариант критерия Ньюмена-Кейлса. Для построения графиков использовали медианы, поскольку, в отличие от выборочного среднего, медиана является центром распределения при любом его характере [16].

В обоих биотопах динамика имела сходный характер: наиболее высокое содержание продуктов ПОЛ в листе березы наблюдалось в начале июня в период интенсивного роста листовых пластинок, затем в середине июня происходило значительное снижение содержания ДК, ТК и ОШ до относительно стабильного уровня. Наиболее сильное падение интенсивности ПОЛ в середине июня происходило у березы на пр. Гагарина: содержание ДК и ТК снижалось почти в 10 раз, ОШ – в 4 раза (рис. 1, 2), в то время как у деревьев на территории Кремля содержание ДК в листе уменьшалось в 5 раз, ТК – в 2.5, ОШ – в 2 раза (рис. 1, 2).

Очень высокий уровень липопероксидации в листе березы в начале июня, по-видимому, обусловлен интенсивными ростовыми процессами в этот период. Как известно, усиленные ростовые процессы у растений сопровождаются повышенной продукцией таких АФК, как перекись водорода и гидроксильный радикал, которые, как было недавно показано, являются регуляторами деления и роста клеток [6, 17].

В свою очередь, эти АФК могут вызывать усиление интенсивности ПОЛ.

Анализ межбиотопических различий, проведенный с помощью непараметрического Т-критерия Манна-Уитни, показал, что в начале июня интенсивность ПОЛ была значительно выше в листовой пластинке березы повислой, произрастающей на пр. Гагарина, по сравнению с территорией Кремля. Содержание ДК, ТК и ОШ в 2–3 раза превышало аналогичные показатели листовой пластинки березы с территории Кремля (рис. 1, 2). В отношении МДА была обнаружена лишь тенденция к более высокому содержанию этого продукта ПОЛ в листовой пластинке березы, произрастающей на пр. Гагарина (рис. 1, 2).

В середине июня достоверные различия между биотопами были обнаружены только по содержанию МДА. Его уровень был на 19% выше в листовой пластинке березы с пр. Гагарина ( $p < 0.05$ ). В конце июня содержание ДК, ТК и ОШ у этих же деревьев было достоверно выше на 16–51% по сравнению с деревьями, произрастающими на территории Кремля.

В середине июля интенсивность ПОЛ была выше в листовой пластинке березы, произрастающей на пр. Гагарина. Отмечался достоверно более высокий уровень всех исследованных продуктов липопероксидации ( $p < 0.05$ ) в среднем на 20%.

В сентябре каких-либо статистически значимых различий между биотопами по интенсивности ПОЛ в листовой пластинке березы выявлено не было ( $p > 0.05$ ).

Таким образом, в июне–июле в листовой пластинке березы, произрастающей в биотопе с более высоким уровнем автотранспортной нагрузки, отмечалось повышенное содержание тех или иных продуктов ПОЛ, причем наиболее выраженные различия (в 2–3 раза) наблюдались в период интенсивного роста листа – в начале июня. По-видимому, отчасти это может быть обусловлено различной глубиной зимнего покоя у деревьев из биотопов с высоким и низким уровнем антропогенной нагрузки. Ранее нами показано, что деревьям на пр. Гагарина требуется больше времени для выхода из состояния зимнего покоя и распускания почек по сравнению с березой, произрастающей на территории Кремля [18]. В связи с этим вегетация у них начинается позже и интенсивность процессов роста и деления клеток листа в начале июня должна быть более высокой, чем у березы на территории Кремля. Как известно, усиленные ростовые процессы у растений сопровождаются интенсификацией свободнорадикальных процессов и липопероксидации [6].

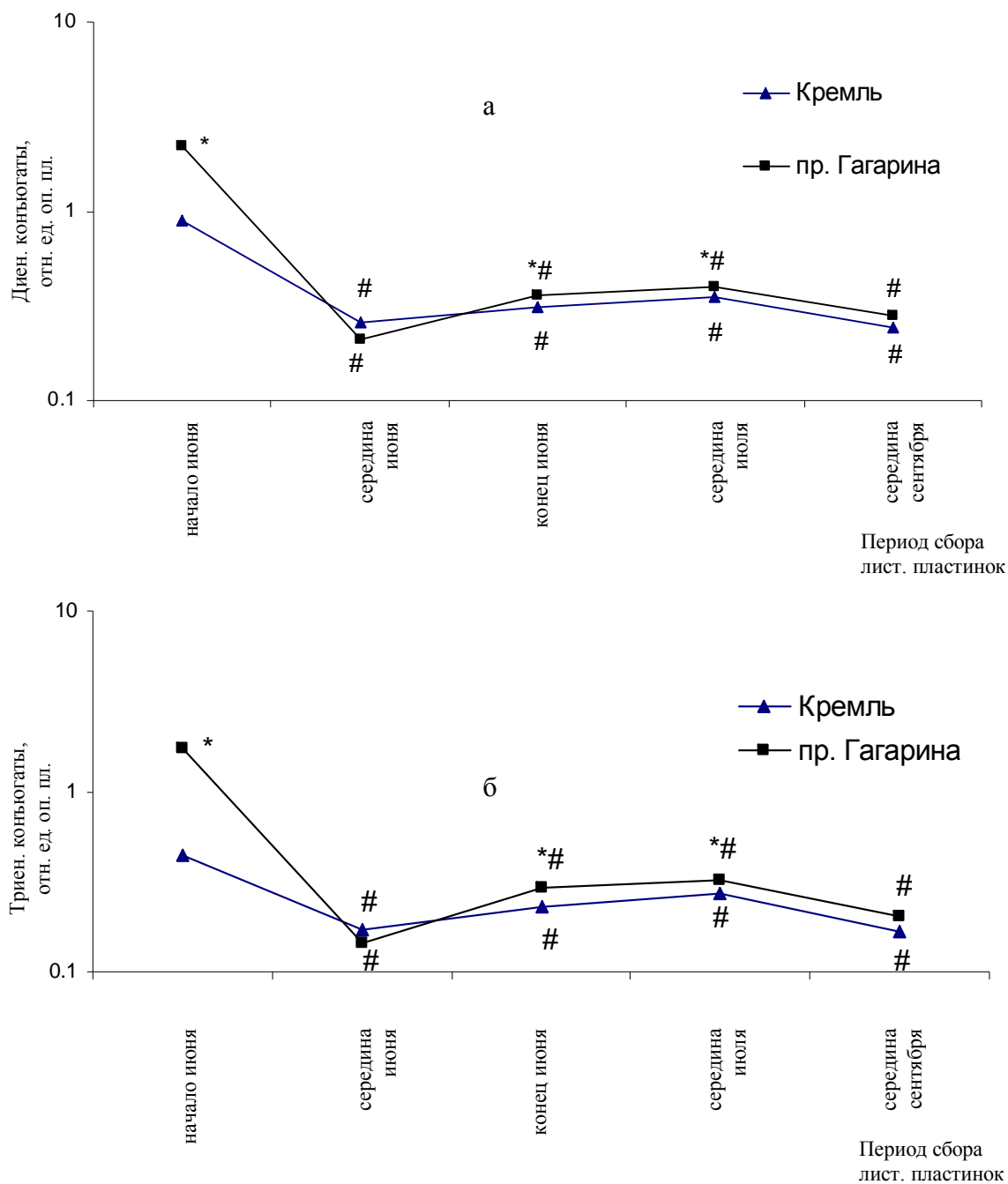


Рис. 1. Динамика содержания диеновых (а) и триеновых (б) конъюгатов в листовой пластинке березы повислой, произрастающей в биотопах г. Нижнего Новгорода с различным уровнем автотранспортной нагрузки.

\*  $p < 0.05$  по отношению к территории Кремля; #  $p < 0.05$  по отношению к началу июня

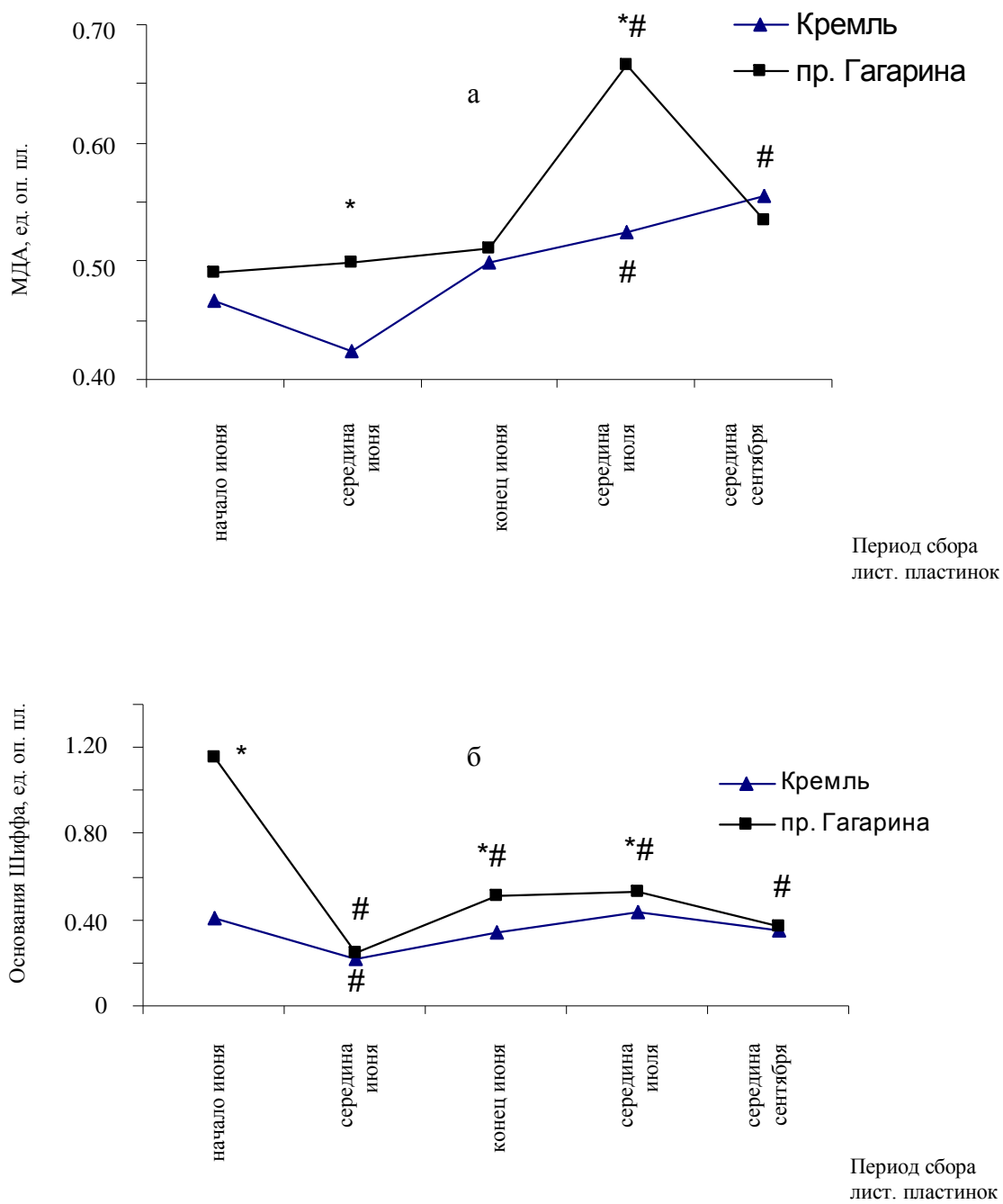


Рис. 2. Динамика содержания МДА (а) и оснований Шиффа (б) в листовой пластинке березы повислой, произрастающей в биотопах г. Нижнего Новгорода с различным уровнем автотранспортной нагрузки.  
\*  $p < 0.05$  по отношению к территории Кремля; #  $p < 0.05$  по отношению к началу июня

## Список литературы

1. Меерсон Ф.З., Пшенинкова М.Т. Адаптация к стрессовым ситуациям и физическим нагрузкам. М.: Медицина, 1988. 254 с.
2. Хавинсон В.Х., Баринов В.А., Арутюнян А.В., Малинин В.В. Свободнорадикальное окисление и старение. СПб: Наука, 2003. 327 с.
3. Барабой В.А. Стресс: природа, биологическая роль, механизмы, исходы. Киев: Фитосоцицентр, 2006. 424 с.
4. Мерзляк М.Н. Активированный кислород и жизнедеятельность растений // Соросовский образовательный журнал. 1999. № 9. С. 20–27.
5. Минибаева Ф.А., Гордон Л.Х. Продукция супероксида и активность внеклеточной пероксидазы в растительных тканях при стрессе // Физиология растений. 2003. Т. 50. № 3. С. 459–465.
6. Полесская О.Г. Растительная клетка и активные формы кислорода. М.: КДУ, 2007. 140 с.
7. Степанова З.Л., Лемешева С.А. Влияние техногенного загрязнения среды на содержание витаминов А, Е и перекисное окисление липидов в печени птенцов мухоловки-пеструшки // Экология. 1993. № 6. С. 77–79.
8. Шейко Л.Д., Чарушников Г.А., Мамина В.П. Интенсивность процессов перекисного окисления липидов в гонадах как индикатор ранних изменений в репродуктивной системе // Экология. 1998. № 6. С. 487–488.
9. Гуськов Е.П., Вардуни Т.В., Шкурят Т.П., Милютин Н.П., Мирзоян А.В. Свободнорадикальные процессы и уровень аберраций хромосом в листьях древесных растений как тест-системы на генотоксичность городской среды // Экология. 2000. № 4. С. 270–275.
10. Brand M.D., Affourtit C., Esteves T.S., Green K., Lambert A.J., Miwa S., Paray J.L., Parcer N. Mitochondrial superoxide production, biological effects, and activation of uncoupling proteins // Free Radical Biology and Medicine. 2004. V. 37(6). P. 755–767.
11. Weber H., Chetelat A., Reymond P., Farmer E. Selective and powerful stress gene expression in Arabidopsis in response to malondialdehyde // The Plant Journal. 2004. V. 37. P. 877–888.
12. Савинов А.Б., Курганова Л.Н., Шекунов Ю.И. Интенсивность перекисного окисления липидов у *Taraxacum Officinale* Wigg. и *Vicia Cracca* L. в биотопах с разным уровнем загрязнения почв тяжелыми металлами // Экология. 2007. № 3. С. 191–197.
13. Методика определения массы выбросов загрязняющих веществ автотранспортными средствами в атмосферный воздух. М.: Изд-во НИИАТ, 1993.
14. Камышников В.С. Справочник по клинико-биохимической лабораторной диагностике. Минск: Белорусь, 2002. Т. 2. 495 с.
15. Гланц С. Медико-биологическая статистика. М.: Практика, 1999. 459 с.
16. Реброва О.Ю. Статистический анализ медицинских данных. Применение пакета прикладных программ STATISTICA. М.: Медиа Сфера, 2003. 312 с.
17. Ванюшин Б.Ф. Апоптоз у растений // Успехи биологической химии. 2001. Т. 41. С. 3–38.
18. Наумова М.М., Ерофеева Е.А. Влияние антропогенного стресса на долю распустившихся почек у побегов березы повислой // Тез. докл. международной конф. аспирантов и молодых ученых «Ломоносов-2007». М.: Изд-во МГУ, 2007. С. 56.

**LEAF LIPID PEROXIDATION INTENSITY DYNAMICS OF BIRCH (*Betula pendula* Roth.)  
IN BIOTOPES WITH DIFFERENT LEVELS OF ANTHROPOGENIC LOAD**

*E.A. Erofeeva, M.M. Naumova*

The leaf lamina lipid peroxidation (LP) intensity dynamics of birch (*Betula pendula* Roth.) growing in two Nizhny Novgorod biotopes with different anthropogenic loads (Gagarin Avenue and the Kremlin territory) has been investigated. The dynamics was similar in both biotopes: the highest content of LP products was observed in early June with its subsequent decrease and relative stabilization. In June-July the leaf lamina LP intensity level was higher for the birch growing in the biotope with a greater anthropogenic load. In September the distinctions between the biotopes disappeared.