

УДК 582.475

*О.В. Копач, магистрант БГПУ;**И.А. Шобанова, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией
экологической физиологии ЦБС НАН Беларуси;**Ж.Э. Мазец, кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники
и основ сельского хозяйства БГПУ*

ВЛИЯНИЕ АБИОТИЧЕСКОЙ СРЕДЫ НА ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ У ПИХТЫ ОДНОЦВЕТНОЙ (*ABIES CONCOLOR LINDL. ET GORD*)

Введение. В связи с интенсивным развитием промышленности и автотранспорта в атмосферу, гидросферу и почву поступает все большее количество вредных веществ. Антропогенное загрязнение окружающей среды вызывает существенное изменение экологического равновесия в природе. Для большей части населения промышленных районов загрязнение среды влечет за собой не только ухудшение условий жизни, но и возникновение и обострение различных легочных, сердечно-сосудистых и нервно-психических заболеваний, сокращение продолжительности жизни [1–2].

В связи с этим одной из актуальных проблем экологии в настоящее время является оптимизация городской среды с целью создания нормальных условий для жизни и отдыха населения. Возрастающее загрязнение атмосферы токсическими газами делает необходимым поиск путей нейтрализации их пагубного воздействия. В процессе снижения уровня загрязнения важная роль принадлежит городским зеленым насаждениям и естественным лесным массивам. Именно они, синтезируя органическое вещество, вовлекают в метаболизм ингредиенты промышленных и транспортных отходов и тем самым, понижая их концентрацию в воздушной среде, улучшают микроклимат и санитарно-гигиенические характеристики воздуха. Особое значение имеют вечнозеленые растения, которые обладают высокодекоративными качествами и, в отличие от листопадных пород, оказывают благотворное влияние на городскую среду круглый год. Растения проявляют высокую чувствительность к газообразным токсикантам в связи с автотрофным характером метаболизма. Однако газоустойчивость различных видов деревьев и кустарников не одинакова.

Высокая чувствительность растительных организмов к внешним воздействиям позволяет использовать параметры их жизнедеятельности в качестве индикаторов состояния воздушной среды и степени устойчивости вида к внешним воздействиям (механическим повреждениям, понижению температуры внешней среды, техногенным загрязнениям, грибным болезням). Подбор видового ассортимента растений является наиболее действенным моментом в деле создания устойчивых зеленых насаждений, эффективно отфильтровывающих воздух от вредных газов и аэрозолей [4–5].

При организации экологического мониторинга урбанизированной среды заслуживает внимания возможность использования ряда физиолого-биохимических характеристик для оценки газоустойчивости городских насаждений. Так, данные об изменении содержания и состояния пулов фотосинтетических пигментов, продуктов вторичного обмена и морфометрических характеристик являются важной информацией об устойчивости растительных организмов на территориях, подверженных влиянию токсичных ингредиентов техногенных эмиссий [7].

В связи с этим целью работы явилось изучение изменения морфометрических параметров хвои, содержания основных фотосинтетических пигментов, продуктов вторичного метаболизма в условиях комплексного воздействия токсических компонентов урбанизированной атмосферы на примере пихты одноцветной.

Объекты и методы исследования.

Пихта одноцветная естественно произрастает в горах западной части Северной Америки. В Беларусь интродуцирована во второй половине девятнадцатого века. Одна из красивейших пихт, обладает густой, широкопирамидальной кроной, скелетные ветви распо-

ложены горизонтально. Хвоя 50–70 мм длиной и около 2,5 мм шириной, сизовато-зеленая с обеих сторон (отчего и получила свое название), заостренная, держится 5–7 лет. Как высокодекоративная и устойчивая порода заслуживает широкого использования в зеленом строительстве для создания аллейных, групповых и одиночных посадок [6].

Опытными объектами исследований были выбраны групповые насаждения пихты одноцветной, расположенные в различных зонах г. Минска, отличающихся по фактору техногенной нагрузки: в Центральном ботаническом саду (ЦБС НАН Беларуси), Киевском сквере и посадки по ул. Сурганова. Насаждения пихты одноцветной в Киевском сквере находятся на внешней границе сквера, на расстоянии 3–5 м от дорожного полотна, на ул. Сурганова – на расстоянии 15–20 м от проезжей части.

Определение морфометрических параметров. Длину хвои измеряли при помощи миллиметровой линейки. Толщину и ширину на поперечных срезах, сделанных посередине хвои, под микроскопом – МБС-9. Площадь поверхности хвои рассчитывали по формуле Тирена:

$$S = \frac{\pi \cdot l \cdot (1,13b + r) \cdot 0,9}{2},$$

где l , b , r – длина хвои (в см), ее ширина (в мм) и толщина (в мм). Коэффициент 0,9 вводится в связи с тем, что толщина и ширина хвоинки неодинакова по ее протяженности, тогда как замеряют их лишь в середине хвоинки, где они наибольшие [10].

Исследования проводили на хвое 4 лет жизни. Повторность измерений морфометрических показателей – 30-кратная. Кроме того, в 10-кратной повторности подсчитывали число хвоинок на 10 см побега разных лет. Если побег меньше 10 см, подсчет вели по существующей длине и переводили на 10 см. При подсчете количества хвои на побеге мы принимали во внимание не только растущую хвою, но и листовые следы, как это рекомендовано [10].

Определение содержания основных пигментов фотосинтетического аппарата проводили в ацетоновом экстракте на спектрофотометре при соответствующих длинах волн, а затем вычисляли содержание пигментов в растительном материале, мг/г сырой массы по следующим формулам (Wettstein, 1957):

$$C_{\text{хла}}, \text{ мг/л} = 9,784 \cdot D_{662} - 0,990 \cdot D_{644},$$

$$C_{\text{хлб}}, \text{ мг/л} = 21,426 \cdot D_{644} - 4,650 \cdot D_{662},$$

$$C_{\text{хла+хлб}}, \text{ мг/л} = 5,134 \cdot D_{662} + 20,436 \cdot D_{644},$$

$$C_{\text{кар}}, \text{ мг/л} = 4,695 \cdot D_{440,5} - 0,268 \cdot C_{\text{хла+хлб}},$$

где C – концентрация, D – оптическая плотность [15].

Определение содержания различных групп фенольных соединений проводили спектрофотометрически следующим образом.

Количественное определение суммарной фракции флавоноидов (FS) измеряли при длине волны 410 нм, а содержание суммы флавоноидов в процентах (X) в пересчете на гликозиды кверцетина в абсолютно сухом сырье вычисляли следующим образом:

$$X = \frac{A \cdot V_1 \cdot V_2 \cdot 100}{V_3 \cdot m \cdot (100 - W) \cdot \sum_{1 \text{ см}}^{1\%}},$$

где A – оптическая плотность исследуемого раствора; V_1 – объем экстракта, мл; V_2 – объем раствора для спектрофотометрирования, мл; V_3 – объем экстракта, взятый для определения, мл; $E_{1 \text{ см}}^{1\%}$ – удельный показатель поглощения гликозидов кверцетина в комплексе с алюминия хлоридом в этаноле при длине волны 410 нм, равный 330; m – масса сырья в граммах; W – потеря в массе при высушивании сырья в процентах [9].

Количественное определение суммы фенольных соединений (FS) в хвое определяли при длине волны 765 нм, а содержание суммы фенольных соединений в процентах (X) в пересчете на галловую кислоту в абсолютно сухом сырье вычисляли по формуле:

$$X = \frac{A \cdot V_1 \cdot V_2 \cdot 100}{V_3 \cdot m \cdot (100 - W) \cdot \sum_{1 \text{ см}}^{1\%}},$$

где A – оптическая плотность исследуемого раствора; V_1 – объем экстракта, мл; V_2 – объем раствора для спектрофотометрирования, мл; V_3 – объем экстракта, взятый для определения, мл; $E_{1 \text{ см}}^{1\%}$ – удельный показатель поглощения галловой кислоты в комплексе с реактивом Фолина-Чиокальтеу при длине волны 765 нм, равный 90; m – масса сырья в граммах; W – потеря в массе при высушивании сырья в процентах [9].

Повторность измерений трехкратная. Полученные результаты обрабатывались с использованием компьютерной программы М. Excel. Величины расхождения между исследуемыми данными в выборке и генеральной совокупности рассчитывали с использованием статистической ошибки для среднего.

Результаты исследования. Результаты, полученные по изучению морфометрических параметров пихты одноцветной представлены на рисунке 1. Исследовали пара-

метры хвои в возрасте от 1 до 4 лет. В ходе исследований установлено, что наиболее четко изменения параметров длины хвои в зависимости от условий произрастания прослеживаются на молодой хвое первого–второго года жизни. Максимальная длина хвои отмечалась на однолетних побегах у растений Ботанического сада (56 мм). У пихты одноцветной вблизи автомобильных трасс длина хвои на побегах 1–2 года достоверно сокращалась и составляла 49–50 мм. Показатели длины хвои 3–4 года не обнаружили существенной вариабельности и достоверных

различий по точкам отбора проб. Их значения по всем обследованным участкам оставались практически одинаковыми и составляли 51,1–51,8 мм. Ширина хвои разных лет у пихты одноцветной различалась незначительно и сокращалась в последовательности: Ботанический сад (2,25–2,33 мм), ул. Сурганова (2,10–2,20), Киевский сквер (2,00–2,10). Более существенная разница отмечалась при измерении толщины хвои. Последовательность уменьшения данного параметра по точкам отбора проб сохранялась, а разница выражалась более заметно (рисунок 1).

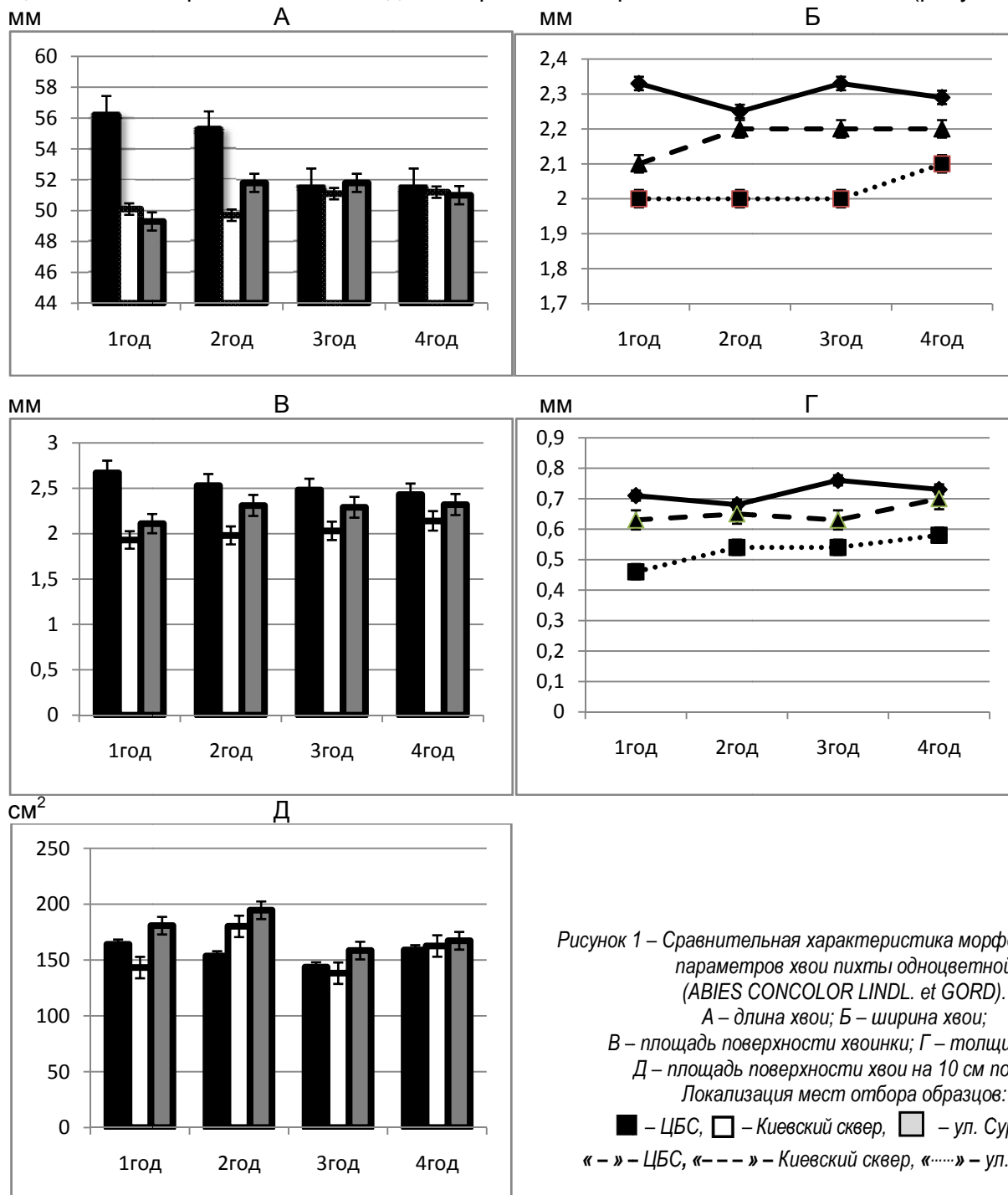


Рисунок 1 – Сравнительная характеристика морфометрических параметров хвои пихты одноцветной (ABIES CONCOLOR LINDL. et GORD).
 А – длина хвои; Б – ширина хвои;
 В – площадь поверхности хвоинки; Г – толщина хвои;
 Д – площадь поверхности хвои на 10 см побега.
 Локализация мест отбора образцов:
 ■ – ЦБС, □ – Киевский сквер, □ – ул. Сурганова.
 «-» – ЦБС, «- - -» – Киевский сквер, «.....» – ул. Сурганова.

Наиболее значимые различия по толщине хвои характерны для более молодой хвои 1-го года жизни. Уменьшение толщины хвои идет параллельно с сокращением ее ширины. Колебания средних значений размеров толщины хвои на побегах 1–4 лет составили по точкам: Ботанический сад – 0,68–0,76, ул. Сурганова – 0,63–0,70, Киевский сквер – 0,46–0,58 мм.

Важным фактором продукционного процесса являются размеры фотосинтезирующей поверхности хвои. Измеренные величины были использованы для расчета такого параметра как площадь поверхности хвои. Значительные различия по площади поверхности хвои характерны для более молодой хвои 1–2 года. Самые высокие показатели этого параметра отмечены у пихты одноцветной произрастающей на территории Центрального Ботанического сада. Наименьшие – у растений на территории Киевского сквера.

Важным показателем жизнедеятельности растений является количество хвои и суммарная площадь хвои на 10 см побега (плотность охвоения побегов). Количество хвои на 10 см побега у растений вблизи автомобильных трасс увеличивается и сохраняются на протяжении четырех лет жизни хвои. Плотность охвоения побегов разного года у пихты одноцветной на территории Центрального Ботанического сада варьирует в незначительных пределах 58 до 66 хвоинок на 10 см. У растений Киевского сквера и на ул. Сурганова разброс значений иного показателя по годам несколько шире – от 68 до 91 штук и 69–86 штук соответственно.

Увеличение плотности охвоения побегов в неблагоприятных условиях отмечалось и для других видов хвойных пород [14]. Эти изменения, с одной стороны, можно объяснить ухудшением роста побегов и сближением хвоинок на 1 см побега, с другой – позволяют растению поддерживать необходимую для жизнедеятельности фотосинтезирующую поверхность ассимиляционного аппарата и могут рассматриваться как один из путей реализации защитно-приспособительных возможностей растений в неблагоприятных условиях.

Считается, что пигментный комплекс растений относится к числу систем, отличающихся чувствительностью к изменяющимся условиям среды.

Вместе с тем некоторые исследователи [4;11] отмечают, что пигментный состав листьев и хвои растений является достаточно лабильным признаком не только в те-

чение вегетации, но и в течение одних суток, изменение пигментного состава растений под влиянием промышленных газов происходит неоднозначно в зависимости от концентрации и времени действия газа. Тем не менее Н.В. Гетко не отрицает возможности использования данных об изменении соотношения пулов фотосинтетических пигментов в целях биоиндикации загрязнения воздуха [4].

Исследования выявили наличие сезонной динамики содержания анализируемых пигментов (рисунок 2). Так, в весенне-зимний период в хвое наблюдается более низкое содержание хлорофиллов *a* и *b*, суммы каротиноидов по сравнению с осенне-летним периодом. Наиболее существенные сдвиги в сторону уменьшения содержания хлорофиллов и каротиноидов отмечены в феврале у хвои первого года и в апреле у хвои второго года.

Соотношение хлорофиллов и каротиноидов в хвое первого года пихты одноцветной увеличивалось в последовательности: ул. Сурганова, Центральный ботанический сад, Киевский сквер. Причем максимальное количество пигментов наблюдалось в октябре, а минимальное – в феврале и последовательность уменьшения данного параметра по точкам отбора проб сохранялась.

Количество хлорофиллов и каротиноидов в хвое второго года пихты одноцветной увеличивалось в последовательности: ул. Сурганова, Центральный ботанический сад, Киевский сквер. Причем максимальное содержание пигментов наблюдалось в июне по ул. Сурганова, в феврале в Центральном ботаническом саду и в октябре в Киевском сквере.

Таким образом, было обнаружено колебание уровня как хлорофилла *a* и *b*, так и суммы каротиноидов в течение года. Выявленное увеличение концентрации основных фотосинтетических пигментов в хвое 1–2 года в октябре – феврале в Киевском сквере, вероятно, связано с возросшей экологической нагрузкой на деревья пихты из-за отсутствия листвы у окружающих листопадных пород в этот период.

Учитывая тот факт, что значительный вклад в загрязнение воздушной среды г. Минска вносит аммиак и оксиды углерода, можно предположить, что увеличение содержания пластидных пигментов в зоне повышенного загрязнения воздуха может быть связано с использованием растениями газообразных соединений азота и углерода в качестве дополнительного источника минерального питания [12].

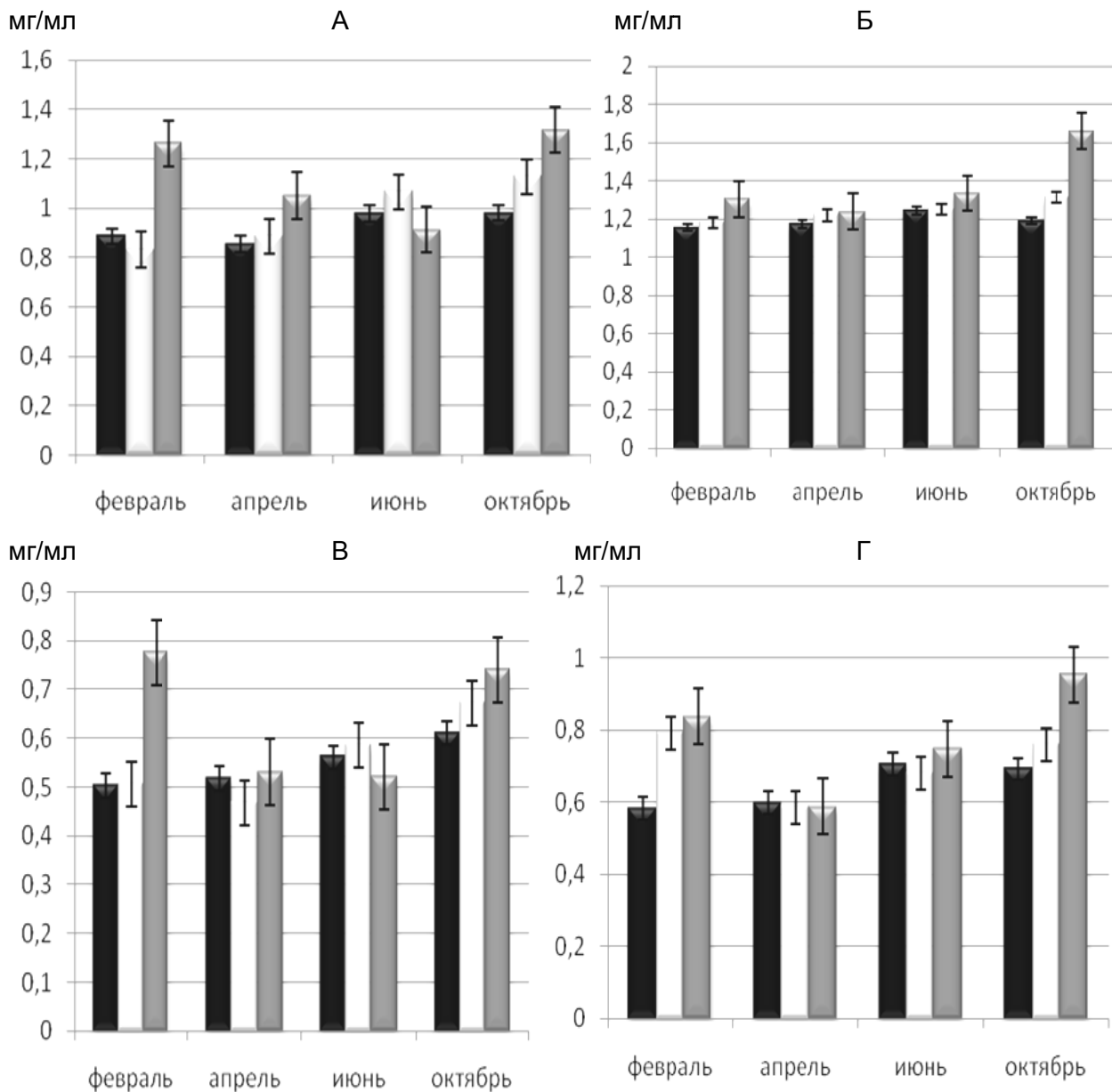


Рисунок 2 – Сравнительная характеристика динамики содержания пигментов хвои пихты одноцветной (*ABIES CONCOLOR LINDL. et GORD*). А – сумма хлорофиллов в хвое первого года; Б – сумма хлорофиллов в хвое второго года; В – сумма каротиноидов в хвое первого года; Г – сумма каротиноидов в хвое второго года.

Локализация мест отбора образцов: ■ – ЦБС, □ – Киевский сквер, ▒ – ул. Сурганова.

Была исследована динамика вторичных метаболитов в октябре 2010 года у пихты одноцветной (рисунок 3). Установлено, что соотношение количества флавонолов и фенольных веществ в хвое первого года жизни увеличивалось в последовательности: ул. Сурганова, ЦБС, Киевский сквер, а в хвое второго года жизни соотношение флавонолов и фенольных веществ увеличивалось в другой последовательности: ЦБС, ул. Сурганова, Киевский сквер, что можно объяснить меньшей функциональной нагрузкой хвои второго года по сравнению с хвоей первого года.

Рост количества фенольных веществ и флавонолов в листовом аппарате создает своеобразный природный фильтр, предохраняющий растения от загазованности, по-

вышает устойчивость растения к различным неблагоприятным условиям и является показателями состояния стресса [13].

Заключение. Учитывая возрастающее техногенное и рекреационное давление на окружающую среду, выявление различных уровней атмосферного загрязнения и изучение состояния городской растительности в этих условиях имеют важное значение для научно обоснованного подбора видов древесных растений с максимально выраженной газопоглотительной способностью, обладающих значительной биомассой ассимиляционного аппарата и различными сроками облиствения (появления листвы).

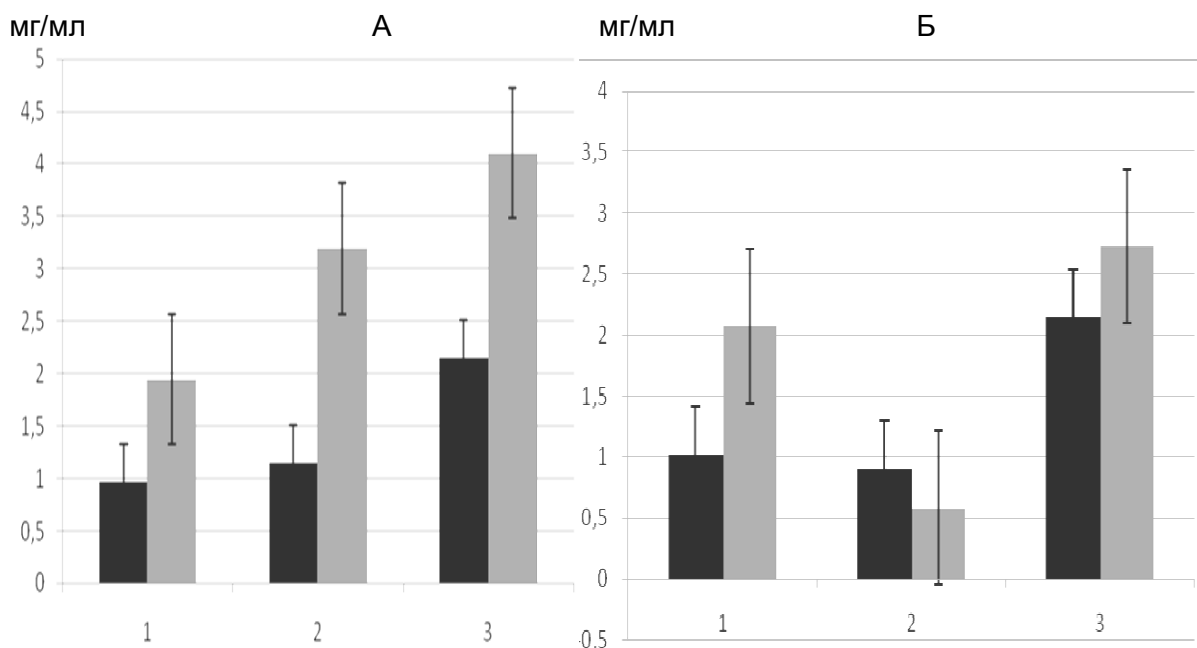


Рисунок 3 – Динамики содержания фенольных веществ в хвое пихты одноцветной (*ABIES CONCOLOR LINDL. et GORD*).

А – количество фенольных веществ в хвое первого года; Б – количество фенольных веществ в хвое второго года.

Локализация мест отбора образцов: 1– ЦБС, 2 – Киевский сквер, 3 – ул. Сурганова;

■ – сумма флавоноидов, □ – сумма фенольных соединений

Данные, полученные нами в ходе исследования, свидетельствуют о том, что пихта одноцветная обладает достаточной устойчивостью в городской среде и может удовлетворительно расти в зонах с постоянным присутствием техногенных транспортных эмиссий.

Однако необходимо иметь ввиду, что вследствие возрастающего с каждым годом уровня автомобилизации в г. Минске, существует опасность необратимого нарушения условий произрастания. Исследование изменения морфометрических характеристик, содержания основных фотосинтетических пигментов, особенно каротиноидов, а также уровня вторичных метаболитов может быть использовано в качестве одного из методов диагностики состояния растений в изменяющихся условиях внешней среды.

Таким образом, полученные результаты позволяют нам сделать следующие выводы:

- Наиболее значимые изменения морфометрических параметров хвои пихты одноцветной в зависимости от условий роста проявляются на хвое 1–2 года жизни.
- Увеличение плотности охвоения побегов под воздействием автотранспортных эмиссий может рассматриваться как способ поддержания фотосинтезирующей поверхности ассимиляционного аппарата пихты одноцветной в неблагоприятных условиях среды.
- В условиях хронического загрязнения промышленными и автомобильными выбросами в хвое пихты одноцветной происходят су-

щественные изменения метаболизма и сезонной динамики содержания пигментов.

- Растения пихты одноцветной в районе Киевского сквера г. Минска характеризуются повышенным содержанием хлорофиллов и каротиноидов, а также флавоноидов и фенольных соединений по сравнению с растениями, произрастающими в других исследуемых зонах Минска: ЦБС и по ул. Сурганова. Это, вероятно, свидетельствует о более высоком уровне загрязнения воздушной среды в районе Киевского сквера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Илькун, Г.М. Загрязнители атмосферы и растений / Г.Н. Илькун. – Киев, 1987. – С. 173.
2. Ломагин, А.Г. Влияние света на устойчивость растительных клеток к повреждению / А.Г. Ломагин // Успехи современной биологии, 1969. – № 67. – С. 18–25.
3. Озолина, И.А. О защитной роли каротиноидных пигментов в растении / И.А. Озолина, А.И. Мочалкин // Изв. АН СССР. Биология. 1975. – № 3. – С. 387–397.
4. Гетко, Н.В. Растения в техногенной среде / Н.В. Гетко. – М.: Наука и техника, 1989. – С. 208.
5. Исаченко, Х.М. Влияние задымленности на рост и состояние древесной растительности / Х.М. Исаченко // Современная ботаника. 1938. – № 1. – С. 24–27.
6. Чаховский, А.А. Декоративная дендрология Белоруссии / А.А. Чаховский, Н.В. Шкутко. – М.: Ураджай, 1979. – С. 87.
7. Сергейчик, С.А. Экологическая физиология хвойных пород Беларуси в техногенной среде / С.А. Сергейчик, А.А. Сергейчик, Е.А. Сидорович. – М.: Белорус. Наука, 1998. – С. 199.
8. Бузук, Г.Н. Морфометрия лекарственных растений. *Vaccinium Myrtillus L.*: взаимосвязь размеров, формы и химического состава листьев / Г.Н. Бузук, О.А. Ершик // Вестник фармации. – Витебск, 2007. – С. 26–37.

9. *Запрометов, М.Н.* Биохимические методы анализа растений / Под ред. М.Н. Запрометова. – Москва: Изд-во иностранной литературы, 1960. – С. 592.
10. *Базилевич, Н.И.* Методы изучения биологического круговорота в различных природных зонах / Н.И. Базилевич, А.А. Титлянова, В.В. Смирнов, Л.Е. Родин, Н.Т. Нечаева и др. – М.: Мысль, 1978. – С. 184.
11. *Майснер, А.Д.* Жизнь растений в неблагоприятных условиях / А.Д. Майснер. – М.: Высшая школа, 1981. – С. 96.
12. *Барахтенова, Л.А.* Влияние сернистого газа на фотосинтез растений / Л.А. Барахтенов, В.С. Николаевский. – Новосибирск: Наука, 1988. – С. 85.
13. *Карабанов, И.А.* Флавоноиды в мире растений / И.А. Карабанов. – М.: Ураджай, 1981. – С. 25–37.
14. *Беляева, Л.В.* Биоиндикация загрязнения атмосферного воздуха и состояние древесных растений / Л.В. Беляева,

В.С. Николаевский // Научные труды МЛТИ, Вып. 222, 1989. – С. 39–47.

15. *Гавриленко, В.Ф.* Большой практикум по физиологии растений: учебно-метод. пособие / В.Ф. Гавриленко, М.Е. Ладыгина, Л.М. Хандобина. – М.: Высш. шк. – 1975. – С. 322.

SUMMARY

The change was morpho-biometric parameters of pine needles, the major fund of photosynthetic pigments, products of secondary metabolism in integrated exposure to toxic components of urban atmosphere on the example. The data obtained in the course of the study indicate that single-color fir tree has a sufficient stability in the urban environment and can grow satisfactorily in the areas with the constant presence of man-made vehicle emissions.

Поступила в редакцию 18.12.2010 г.