

УДК 581.1:574.24

Е.Г. Тюлькова*канд. биол. наук, доц., доц. каф. товароведения**Белорусского торгово-экономического университета потребительской кооперации**e-mail: tut-3@mail.ru*

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ УСЛОВИЙ НА СОДЕРЖАНИЕ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ В ЛИСТЬЯХ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ РАЗЛИЧНЫХ ВОЗРАСТНЫХ ГРУПП

*Представленные в статье результаты определения содержания фотосинтетических пигментов в листьях древесных растений различных возрастных групп, произрастающих в техногенных и фоновых условиях (на примере города Гомеля), свидетельствуют о том, что содержание хлорофилла и каротиноидов в листьях березы повислой *Betula pendula* Roth. и клена остролистного *Acer platanoides* L. в фоновых условиях меньше по сравнению с техногенной зоной. Тополь пирамидальный *Populus pyramidalis* Roz. и липа мелколистная *Tilia cordata* Mill. характеризуются неустойчивой тенденцией изменения концентрации фотосинтетических пигментов в зависимости от условий произрастания, что требует более глубоких исследований в этом направлении. В результате эксперимента с вытяжками хлорофилла при добавлении половины, одной и пяти доз ПДК свинца, меди, никеля и хрома выявлено не только снижение оптической плотности вытяжек в ряде случаев, но и ее увеличение, что в дальнейшем влияет на концентрацию фотосинтетических пигментов растений при их произрастании в техногенных условиях.*

Введение

Процесс фотосинтеза и его интенсивность на протяжении многих лет привлекает внимание исследователей по многим причинам. Это связано с тем, что фотосинтетическая деятельность растений обеспечивает накопление биомассы, запасание солнечной энергии, адаптивные свойства растения при произрастании в неблагоприятных условиях среды и т.д. [1–3].

В стрессовых условиях растениями используется большое количество органических веществ, в накоплении которых значительная роль принадлежит фотосинтетической системе, которая компенсирует стрессовое состояние растений, при этом увеличивая общую концентрацию пигментов фотосинтеза [4]. Однако интенсивное воздействие антропогенных факторов на растительный покров также может привести к снижению интенсивности фотосинтеза растений, так как токсическое действие техногенных элементов в растениях связано с нарушениями большинства физиологических и биохимических процессов, сдвигами в структуре мембран хлоропластов [5–8]. Поэтому изучение состояния пигментной системы листьев древесных растений актуально для оценки степени техногенного влияния выбросов промышленных предприятий на рост и развитие растений с учетом их возраста, понимания механизмов защитной адаптации растений к действию химических загрязнителей, выбора наиболее устойчивых средообразующих пород древесных растений в качестве городских зеленых насаждений, а также нормирования и прогнозирования техногенных нагрузок в условиях промышленных мегаполисов и их окружении. Такие исследования важны также и по причине накопления данных о реакции растительных организмов в условиях снижения объемов выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, что в последние годы наблюдается в Республике Беларусь [9].

В связи с этим целью исследований явилось изучение содержания фотосинтетических пигментов в листьях древесных растений различных возрастных групп, произрастающих в условиях техногенного воздействия, а также оценка влияния отдельных техногенных элементов на пигментный состав древесных растений в условиях эксперимента.

Материал и методы исследований

В качестве объектов для определения концентрации хлорофилла и каротиноидов были выбраны листья ряда видов местных древесных растений: береза повислая *Betula pendula* Roth., клен остролистный *Acer platanoides* L., тополь пирамидальный *Populus pyramidalis* Roz. и липа мелколистная *Tilia cordata* Mill.

Пробы листьев отбирали в окружении наиболее крупных промышленных предприятий г. Гомеля – ОАО «Гомельский химический завод» и ОАО «Гомельстекло». Основной областью деятельности химического завода является производство удобрений и отдельных химических соединений. ОАО «Гомельстекло» – крупнейшее предприятие в Республике Беларусь по производству стекла, которое осуществляет выпуск современного листового термополированного стекла большого формата для производства строительных светопрозрачных конструкций, стекла с покрытием, низкоэмиссионных и солнцезащитных стекол, автомобильного и безопасного стекла, изделий из стекла для мебели, стеклопакетов и многих других видов специального стекла.

Фоновым условием стала часть территории Национального парка Припятский (Хобненское лесничество), максимально приближенная к г. Гомелю и свободная от влияния промышленной деятельности и интенсивного транспорта.

Отбор листьев проводили в течение вегетационного периода (июль 2018 г.) с отдельно стоящих деревьев (не менее 3–5 в каждой точке), находящихся в примерно сходных климатических условиях произрастания, с высоты 1,5 м.

Возраст исследуемых деревьев оценивали путем определения диаметра ствола, который делили на среднегодовой прирост.

Для определения концентрации хлорофилла *a*, *b*, каротиноидов листовых пластинок древесных растений использовали спектрофотометр *Cary Eclipse*. С этой целью были приготовлены вытяжки из навески сырых листьев массой 100–150 мг в 100 %-м ацетоне [4–5].

Среднюю концентрацию хлорофилла *a*, *b* и каротиноидов (использовали по три параллельных определения) вычисляли по формулам 1–4:

$$C_a = 9,784D_{662} - 0,99D_{644} \quad (1)$$

$$C_b = 21,426D_{644} - 4,650D_{662} \quad (2)$$

$$C_a + C_b = 5,134D_{662} + 20,436D_{644} \quad (3)$$

$$C_k = 4,695D_{440,5} - 0,268C_{a+b} \quad (4)$$

где C_a , C_b , C_k – средняя концентрация хлорофилла *a*, *b* и каротиноидов в вытяжке сырых листьев объектов исследования (мг/дм³); $D_{440,5}$, D_{644} , D_{662} – оптическая плотность при длинах волн 440,5, 644 и 662 нм.

С целью выявления влияния техногенных элементов на изменение оптической плотности растворов пигментов древесных растений в условиях эксперимента в вытяжки хлорофилла вводили соли свинца, меди, никеля и хрома. Эти техногенные элементы были выбраны потому, что по результатам предварительно проведенного почвенного анализа на территории г. Гомеля по ним было установлено превышение ПДК.

В качестве экспериментальных вытяжек хлорофилла были использованы вытяжки, приготовленные из листьев древесных растений, произрастающих в фоновых условиях (березы повислой *Betula pendula* Roth., клена остролистного *Acer platanoides* L., тополя пирамидального *Populus pyramidalis* Roz.).

Техногенные элементы вводились в растворы хлорофилла в виде следующих солей: свинец – $PbCl_2$, медь – $CuSO_4 \times 5H_2O$, никель – $NiCl_2 \times 2H_2O$, хром – $Cr(NO_3)_3$.

Количество вводимых солей рассчитывалось исходя из величин ПДК этих техногенных элементов в почве: свинца – 32 мг/кг, меди – 33 мг/кг, никеля – 20 мг/кг, хрома – 100 мг/кг [10]. Для выявления влияния техногенных элементов на изменение оптической плотности растворов пигментов древесных растений в условиях эксперимента вводили 0,5 ПДК, одну и пять доз ПДК свинца, меди, никеля и хрома.

Результаты исследований и их обсуждение

Результаты определения содержания фотосинтетических пигментов в листьях древесных растений исследуемых возрастных групп, произрастающих в техногенных и фоновых условиях, представлены в таблице 1.

Характер и уровень содержания хлорофилла и каротиноидов в пробах листьев древесных растений, как показано в таблице 1, находится в определенной зависимости от их возраста. Кроме того, неравномерно распределенные по территории, имеющие различный характер и интенсивность источники техногенных элементов в виде промышленных предприятий создают достаточно пеструю картину загрязнения окружающей среды как по составу загрязнителей, так и по их концентрации. Это порождает ряд научных проблем, среди которых главными являются выяснение влияния тяжелых металлов в окружающей среде на пигментный состав растений, возможности использования живых организмов для целей биоиндикации, а также оценка последствий токсического воздействия, возможных критических и летальных доз техногенных элементов.

Данные таблицы 1 свидетельствуют о том, что концентрация хлорофилла и каротиноидов в пробах листьев березы повислой *Betula pendula* Roth. и клена остролистного *Acer platanoides* L. в фоновых условиях меньше по сравнению с пробами деревьев, произрастающих в окружении ОАО «Гомельский химический завод» и ОАО «Гомельстекло». В данном случае техногенное влияние выбросов промышленных предприятий способствует тому, что адаптивная реакция древесных растений проявляется в форме компенсации фотосинтетической системой стрессового воздействия путем увеличения концентрации пигментов фотосинтеза.

Липа мелколистная *Tilia cordata* Mill. в возрасте более 30 лет демонстрирует противоположный результат отрицательного влияния выбросов техногенных элементов в виде снижения концентрации хлорофилла и каротиноидов в пробах из промышленных зон по сравнению с фоновыми условиями. Что касается остальных исследуемых возрастных групп липы мелколистной *Tilia cordata* Mill., то в пробах, отобранных в окрестностях ОАО «Гомельстекло», содержание пигментов фотосинтеза выше, чем в фоновых условиях, а вблизи ОАО «Гомельский химический завод» – ниже по сравнению с фоновой территорией. Возможно, это связано с тем, что только очень сильное стрессовое влияние способствует снижению концентрации фотосинтетических пигментов, а небольшое токсическое воздействие не оказывает такого эффекта. Также, вероятно, на эффективность функционирования ассимиляционного аппарата могут влиять индивидуальные особенности организма.

Тополь пирамидальный *Populus pyramidalis* Roz. с учетом места отбора проб аналогично липе мелколистной *Tilia cordata* Mill. характеризуется неоднозначной тенденцией изменения содержания хлорофилла и каротиноидов.

Представители более возрастной группы (более 30 лет) отмечались повышенным содержанием пигментов в пробах с территории ОАО «Гомельский химический завод» и пониженным – с территории ОАО «Гомельстекло», тогда как в пробах растений возраста 20–30 лет концентрация пигментов была пониженной по сравнению с фоновыми условиями.

Таблица 1. – Содержание фотосинтетических пигментов в листьях древесных растений, произрастающих в техногенных и фоновых условиях

Исследуемые древесные растения	Возраст, лет	Место отбора проб														
		Гомельский химический завод					Гомельстекло									
		концентрация фотосинтетических пигментов, мг/г сырой массы														
		Хл <i>a</i>	Хл <i>b</i>	Хл (<i>a+b</i>)	<i>Car</i>	Хл <i>a</i>	Хл <i>b</i>	Хл (<i>a+b</i>)	<i>Car</i>	Хл <i>a</i>	Хл <i>b</i>	Хл (<i>a+b</i>)	<i>Car</i>			
Береза повислая <i>Betula pendula</i> <i>Roth.</i>	более 30	0,924 ± 0,0003	0,226 ± 0,0001	1,150 ± 0,0007	0,600 ± 0,0001	1,076 ± 0,0002	0,401 ± 0,0001	1,477 ± 0,0008	0,627 ± 0,0005	0,775 ± 0,0005	0,146 ± 0,0002	0,921 ± 0,0005	0,741 ± 0,0005			
	20–30	0,878 ± 0,0002	0,198 ± 0,0001	1,076 ± 0,0001	0,623 ± 0,0002	1,326 ± 0,0002	0,536 ± 0,0002	1,862 ± 0,0009	0,771 ± 0,0006	0,456 ± 0,0004	0,070 ± 0,0003	0,526 ± 0,0004	0,481 ± 0,0003			
	до 20	0,534 ± 0,0001	0,113 ± 0,0002	0,647 ± 0,0003	0,476 ± 0,0001	1,060 ± 0,0004	0,321 ± 0,0001	1,382 ± 0,0007	0,595 ± 0,0002	0,345 ± 0,0003	0,078 ± 0,0004	0,423 ± 0,0006	0,375 ± 0,0002			
Клен остролистный <i>Acer platanoides L.</i>	более 30	1,406 ± 0,0005	0,428 ± 0,0004	1,834 ± 0,0005	0,762 ± 0,0003	1,666 ± 0,0001	0,668 ± 0,0002	2,335 ± 0,0009	1,056 ± 0,0001	0,924 ± 0,0007	0,295 ± 0,0005	1,218 ± 0,0002	0,598 ± 0,0004			
	20–30	1,872 ± 0,0002	0,787 ± 0,0005	2,659 ± 0,0006	1,041 ± 0,0001	2,324 ± 0,0005	0,927 ± 0,0005	3,252 ± 0,0009	1,484 ± 0,0001	1,046 ± 0,0008	0,271 ± 0,0006	1,317 ± 0,0001	0,720 ± 0,0002			
	до 20	1,977 ± 0,0001	0,796 ± 0,0004	2,773 ± 0,0001	1,037 ± 0,0002	2,458 ± 0,0004	1,001 ± 0,0008	3,459 ± 0,0008	1,424 ± 0,0002	1,290 ± 0,0008	0,526 ± 0,0004	1,816 ± 0,0002	0,772 ± 0,0002			
Тополь пирамидальный <i>Populus pyramidalis</i> <i>Roz.</i>	более 30	0,391 ± 0,0002	0,134 ± 0,0001	0,525 ± 0,0003	0,319 ± 0,0004	0,164 ± 0,0001	0,073 ± 0,0001	0,237 ± 0,0001	0,114 ± 0,0002	0,346 ± 0,0001	0,102 ± 0,0001	0,448 ± 0,0003	0,312 ± 0,0001			
	20–30	0,293 ± 0,0002	0,106 ± 0,0004	0,399 ± 0,0005	0,207 ± 0,0002	образцы отсутствуют							0,338 ± 0,0004	0,121 ± 0,0001	0,459 ± 0,0001	0,276 ± 0,0003
	до 20	образцы отсутствуют												0,292 ± 0,0001	0,112 ± 0,0002	0,405 ± 0,0001
Липа мелколистная <i>Tilia cordata Mill.</i>	более 30	0,718 ± 0,0003	0,220 ± 0,0005	0,938 ± 0,0006	0,387 ± 0,0001	1,538 ± 0,0008	0,752 ± 0,0002	2,290 ± 0,0009	0,848 ± 0,0002	1,861 ± 0,0007	2,530 ± 0,0008	4,391 ± 0,0005	0,890 ± 0,0002			
	20–30	0,327 ± 0,0004	0,126 ± 0,0006	0,453 ± 0,0001	0,227 ± 0,0002	1,520 ± 0,0007	0,705 ± 0,0003	2,225 ± 0,0008	0,775 ± 0,0005	0,621 ± 0,0004	0,174 ± 0,0001	0,795 ± 0,0004	0,364 ± 0,0001			
	до 20	0,688 ± 0,0004	0,186 ± 0,0003	0,874 ± 0,0007	0,349 ± 0,0001	1,218 ± 0,0008	0,568 ± 0,0004	1,786 ± 0,0007	0,619 ± 0,0006	1,287 ± 0,0008	0,496 ± 0,0002	1,783 ± 0,0001	0,650 ± 0,0003			

При этом следует отметить, что в наших исследованиях пробы тополя пирамидального *Populus pyramidalis* Roz. удалось отобрать не в полном объеме, поэтому применительно к этому объекту, вероятно, требуются дальнейшие более детальные исследования применительно к другим промышленным предприятия Гомельского Полесья.

Результаты исследований свидетельствуют, что содержание фотосинтетических пигментов у представителей различных возрастных групп несколько различается как в фоновых условиях, так и при произрастании в окружении промышленных предприятий. При этом все исследуемые представители древесных растений, за исключением клена остролистного *Acer platanoides* L., в большинстве случаев демонстрируют тенденцию роста концентрации хлорофилла и каротиноидов по мере увеличения возраста растения. Возможно, это связано с формированием более выраженных и интенсивных защитных механизмов у растений с возрастом.

Что касается клена остролистного *Acer platanoides* L., то можно предположить, что в результате наличия крупной листовой пластинки молодые растения отличаются повышенным содержанием фотосинтетических пигментов.

Достоверность различий между содержанием фотосинтетических пигментов в листовых пластинках древесных растений, произрастающих вблизи промышленных предприятий и фоновых условиях, оценивалась с помощью дисперсионного анализа.

Результаты анализа дисперсионных комплексов, включающих концентрацию хлорофилла и каротиноидов проб древесных растений, произрастающих на территориях с техногенной нагрузкой и фоновых условиях, свидетельствуют о том, что значение F-критерия превышают F-критическое для всех исследованных образцов во всех случаях (для березы повислой *Betula pendula* Roth. $F_{\text{факт.}} = 15,23$; для клена остролистного *Acer platanoides* L. – 18,99; для тополя пирамидального *Populus pyramidalis* Roz. – 34,06; для липы мелколистной *Tilia cordata* Mill. – 2,76; $F_{\text{крит.}}(11, 24) = 2,22$ при $p \leq 0,05$).

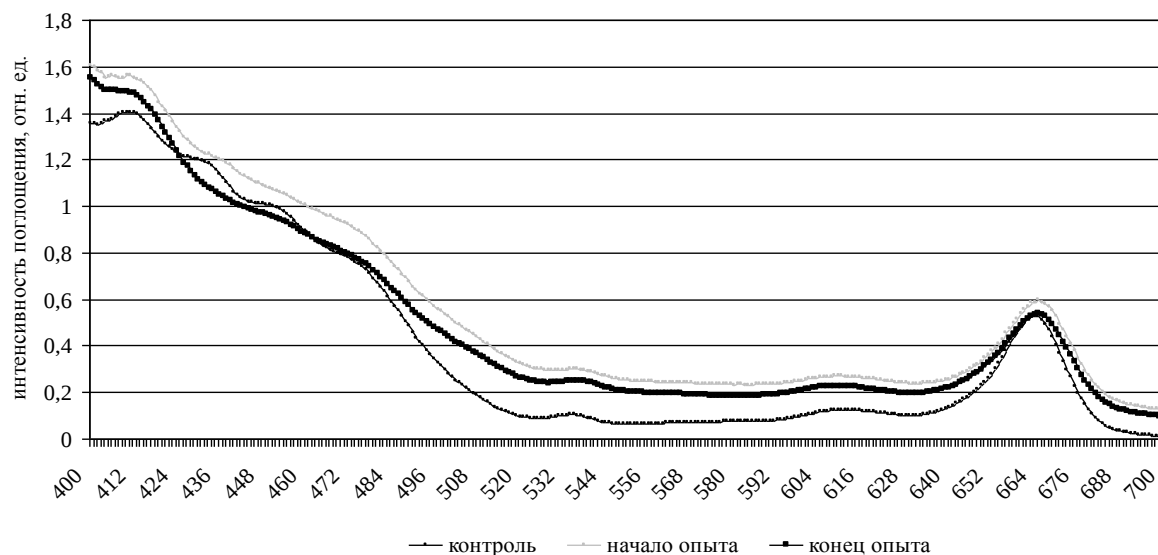
Таким образом, концентрация пигментов фотосинтеза древесных растений статистически достоверно различается при действии техногенного загрязнения и в фоновых условиях.

На современном уровне развития экспериментальной техники представляется возможным исследование состояние молекул фотосинтетических пигментов и тех превращений, которые они претерпевают при поглощении кванта света или влиянии техногенных элементов. Это способствует более глубокому пониманию механизма фотосинтеза, накоплению данных о спектральных изменениях фотосинтетических пигментов в различных областях спектра, которые происходят в результате воздействия на них каких-либо внешних факторов.

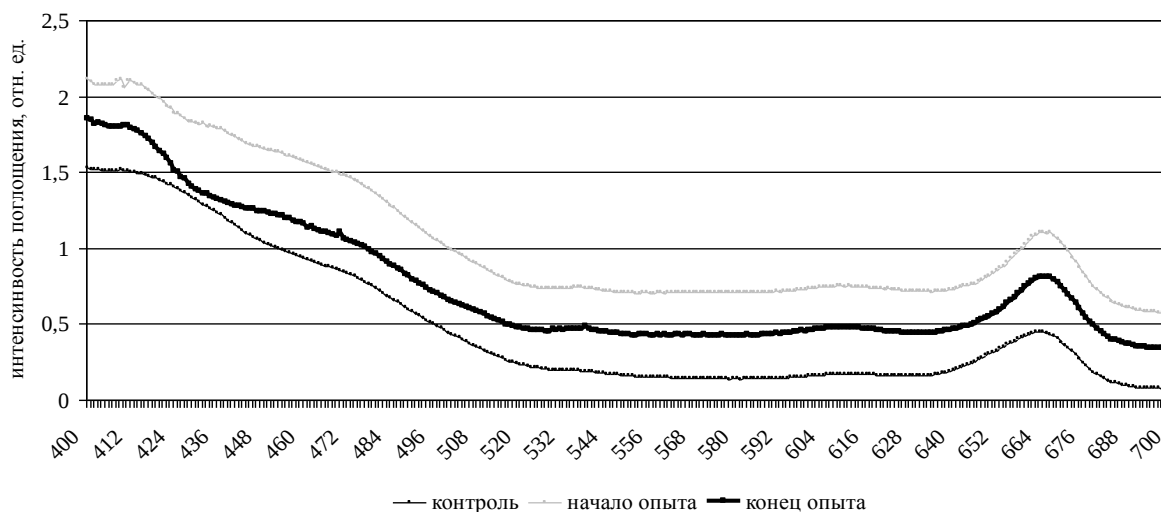
В этой связи для интерпретации данных по изменению содержания хлорофилла и каротиноидов, полученных в сравнительном аспекте от древесных растений трех возрастных групп из различных условий произрастания, и изучения природы пигментных превращений актуально исследовать их поведение в модельной системе. С этой целью в вытяжки пигментов, выделенных из проб древесных растений фоновых условий, вводили растворы техногенных элементов в количестве половины, одной и пяти ПДК этих элементов в почве. Далее проводили анализ изменения спектров поглощения и величины оптической плотности вытяжек хлорофилла и каротиноидов в течение 30 мин. после введения свинца, меди, никеля и хрома в сравнении с контрольным раствором (вытяжка без добавления техногенного элемента). Спектры поглощения регистрировались в диапазоне от 400 до 700 нм.

Результаты изменения величины оптической плотности вытяжек хлорофилла и каротиноидов и отдельные спектры поглощения в модельном эксперименте при введении свинца, меди, никеля и хрома представлены на рисунке 1 и в таблицах 2 и 3.

Результаты эксперимента свидетельствуют о том, что снижение оптической плотности вытяжки пигментов фотосинтеза в течение 30 мин. наблюдалось в случае введения свинца в количестве одной и пяти доз ПДК у всех исследуемых представителей, за исключением тополя пирамидального *Populus pyramidalis* Roz. с одной дозой ПДК элемента; меди – в количестве одной и пяти доз ПДК в пробах хлорофилла и каротиноидов березы повислой *Betula pendula* Roth.; никеля и хрома – в количестве пяти доз ПДК в пробах пигментов березы повислой *Betula pendula* Roth. (рисунок 1, таблица 1).



а) снижение оптической плотности вытяжки хлорофилла при введении 5 ПДК свинца



б) снижение оптической плотности вытяжки хлорофилла при введении 5 ПДК хрома

Рисунок 1. – Спектры поглощения образцов хлорофилла березы повислой *Betula pendula* Roth. в эксперименте по введению свинца и хрома

Снижение величины оптической плотности вытяжки под влиянием техногенных элементов обуславливает впоследствии уменьшение концентрации пигмента, что может негативно сказываться на эффективности функционирования процесса фотосинтеза растений при произрастании в техногенных условиях.

Что касается характера спектров поглощения, то данные рисунка 1 свидетельствуют о наличии одного пика в красной области 650–680 нм, причем такая форма сохра-

нялась после введения в вытяжку техногенного элемента. На начальных этапах эксперимента происходил рост оптической плотности исследуемых вытяжек. Далее добавление пяти доз ПДК хрома приводило к более резкому снижению оптической плотности по сравнению со свинцом; в сине-фиолетовом диапазоне 420–460 нм для обоих элементов и в красной области 650–680 нм для свинца оптическая плотность экспериментальных вытяжек пигментов наиболее приближалась к контрольному раствору, а в случае со свинцом была даже ниже контрольного значения. Можно предположить, что с течением времени уменьшение оптической плотности будет прогрессировать, что в итоге будет обуславливать падение концентрации фотосинтетических пигментов под влиянием таких техногенных элементов, как свинец и хром.

Таблица 2. – Снижение оптической плотности вытяжки хлорофилла древесных растений в эксперименте по введению свинца и меди

Длина волн, нм	Исследуемые пигменты	Величина оптической плотности в процессе эксперимента							
		контроль	начало	через 5 мин.	через 10 мин.	через 15 мин.	через 20 мин.	через 25 мин.	через 30 мин.
Вытяжка хлорофилла клена остролистного <i>Acer platanoides</i> L. с добавлением 5 ПДК свинца									
440,5	Car	1,0714	1,1919	1,1926	1,1933	1,1921	1,1917	1,1895	1,1378
644	Хл b	0,3151	0,3737	0,3732	0,3710	0,3702	0,3697	0,3598	0,3458
662	Хл a	0,8239	0,8283	0,8252	0,8178	0,8154	0,8012	0,7911	0,7801
Вытяжка хлорофилла тополя пирамидального <i>Populus pyramidalis</i> Roz. с добавлением 5 ПДК свинца									
440,5	Car	0,4034	0,4426	0,4413	0,4394	0,4322	0,4337	0,4292	0,4283
644	Хл b	0,0845	0,1117	0,1130	0,1118	0,1082	0,1098	0,1081	0,1089
662	Хл a	0,2197	0,2273	0,2277	0,2256	0,2226	0,2226	0,2213	0,2103
Вытяжка хлорофилла березы повислой <i>Betula pendula</i> Roth. с добавлением 5 ПДК меди									
440,5	Car	0,8594	1,1667	1,1562	1,1431	1,1331	1,1243	1,1162	1,1063
644	Хл b	0,1356	0,3297	0,3514	0,3629	0,3684	0,3729	0,3797	0,3783
662	Хл a	0,4416	0,4677	0,4667	0,4647	0,4609	0,4583	0,4533	0,4518

В остальных случаях аналогично добавлению половины дозы ПДК свинца, меди, никеля и хрома наблюдалось увеличение оптической плотности вытяжек хлорофилла исследуемых древесных растений. Вероятно, это связано с возможным хелатированием элементов молекулами хлорофилла, что является следствием роста величины оптической плотности вытяжек (таблица 3).

Таблица 3. – Увеличение оптической плотности вытяжки хлорофилла древесных растений в эксперименте по введению меди и никеля

Длина волны, нм	Исследуемые пигменты	Величина оптической плотности в процессе эксперимента							
		контроль	начало	через 5 мин.	через 10 мин.	через 15 мин.	через 20 мин.	через 25 мин.	через 30 мин.
Вытяжка хлорофилла клена остролистного <i>Acer platanoides</i> L. с добавлением 5 ПДК меди									
440,5	Car	1,106	1,2414	1,2833	1,3131	1,3344	1,3562	1,3665	1,3851
644	Хл b	0,3334	0,3609	0,4927	0,5589	0,5974	0,6326	0,6396	0,6516
662	Хл a	0,8334	0,8084	0,8294	0,8329	0,8351	0,8364	0,8334	0,8337
Вытяжка хлорофилла клена остролистного <i>Acer platanoides</i> L. с добавлением 5 ПДК никеля									
440,5	Car	1,0899	1,2060	1,2156	1,2339	1,2506	1,2527	1,2525	1,2547
644	Хл b	0,3261	0,3362	0,3430	0,3539	0,3651	0,3714	0,3750	0,3802
662	Хл a	0,8237	0,8273	0,8365	0,8431	0,8503	0,8521	0,8574	0,8585
Вытяжка хлорофилла березы повислой <i>Betula pendula</i> Roth. с добавлением 1 ПДК меди									
440,5	Car	1,0016	1,0947	1,1231	1,0661	1,0586	1,062	1,0787	1,0581
644	Хл b	0,1441	0,1701	0,2712	0,2926	0,314	0,3333	0,3547	0,3714
662	Хл a	0,4322	0,4568	0,4999	0,4925	0,5026	0,5064	0,5151	0,5223

Увеличение оптической плотности вытяжек хлорофилла и каротиноидов при расчете их концентраций в итоге приводит к возрастанию содержания фотосинтетических пигментов в пробах, отобранных при произрастании в условиях влияния техногенных элементов. Так, полученные в ходе эксперимента результаты могут быть использованы для интерпретации наших данных натурных наблюдений, когда концентрация хлорофилла и каротиноидов в пробах листьев березы повислой *Betula pendula* Roth. и клена остролистного *Acer platanoides* L. в фоновых условиях оказалась меньше по сравнению с пробами деревьев, произрастающих в окрестностях ОАО «Гомельский химический завод» и ОАО «Гомельстекло». Однако численное увеличение концентрации фотосинтетических пигментов под влиянием техногенных условий не всегда однозначно свидетельствует о том, что процесс фотосинтеза протекает более интенсивно.

Предварительные собственные данные по изучению флуориметрических показателей молекул пигментов в пробах из окружения промышленных предприятий указывают на пониженные значения показателя фотохимического тушения и более высокие нефотохимическое тушение и флуоресценцию молекул хлорофилла, что в комплексе с исследованием сезонной динамики содержания хлорофилла и каротиноидов в пробах древесных растений найдет отражение в наших дальнейших исследованиях.

Заключение

Результаты определения содержания фотосинтетических пигментов в листьях древесных растений исследуемых возрастных групп, произрастающих в техногенных и фоновых условиях, свидетельствуют о том, что концентрация хлорофилла и каротиноидов в пробах листьев березы повислой *Betula pendula* Roth. и клена остролистного *Acer platanoides* L. в фоновых условиях достоверно меньше по сравнению с пробами деревьев, произрастающих вблизи ОАО «Гомельский химический завод» и ОАО «Гомельстекло». В данном случае адаптивная реакция древесных растений проявляется в форме компенсации фотосинтетической системой стрессового воздействия путем увеличения концентрации пигментов фотосинтеза.

С другой стороны, в условиях эксперимента по введению свинца, меди, никеля и хрома в вытяжки пигментов получено увеличение оптической плотности вытяжек хлорофилла и каротиноидов, что, возможно, происходит за счет хелатирования молекулами пигментов этих элементов. Такой результат при расчете концентраций фотосинтетических пигментов в итоге приводит к возрастанию их содержания в пробах, отобранных при произрастании в условиях влияния техногенных элементов.

Тополь пирамидальный *Populus pyramidalis* Roz. с учетом места отбора проб аналогично липе мелколистной *Tilia cordata* Mill. характеризуется неоднозначной тенденцией изменения содержания хлорофилла и каротиноидов, что требует более масштабных исследований и большего количества образцов.

Возрастные особенности исследуемых представителей древесных растений, за исключением клена остролистного *Acer platanoides* L., проявляются в тенденции роста концентрации хлорофилла и каротиноидов по мере увеличения возраста растения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кабашникова, Л. Ф. Фотосинтетический аппарат и потенциал продуктивности хлебных злаков / Л. Ф. Кабашникова. – Минск : Беларус. навука, 2011. – 327 с.
2. Оценка действия хлористого натрия, азотнокислого свинца, азотнокислого кадмия и удобрения «Геопродин» на синтез хлорофиллов в листьях пшеницы (*Triticum aestivum* L.) / С. Р. Аллахвердиев [и др.] // Успехи соврем. естествознания. – 2015. – № 1. – С. 436–438.

3. Харитонцев, Б. С. Влияние накопления тяжелых металлов на содержание пигментов фотосинтеза и фертильность пыльцевых зерен [Электронный ресурс] / Б. С. Харитонцев, А. А. Чемагин, Е. И. Попова // Современ. проблемы науки и образования : электрон. науч. журн. – 2016. – № 6. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=25527>.

4. Еськова, Е. Н. Влияние свинца на содержание хлорофилла в листьях ярового ячменя [Электронный ресурс] / Е. Н. Еськова. – Режим доступа: <http://www.kgau.ru>.

5. Калимова, И. Б. Токсическое действие тяжелых металлов и устойчивость к ним проростков злаков : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.16 / И. Б. Калимова ; Ботан. ин-т РАН им. В. Л. Комарова. – СПб., 2009. – 17 с.

6. Коротченко, И. С. Влияние тяжелых металлов на содержание фотосинтетических пигментов в листьях моркови / И. С. Коротченко // Вестн. КрасГАУ. – 2011. – № 4. – С. 86–91.

7. Легощина, О. М. Адаптивные реакции и фитоиндикационная способность древесных растений в условиях техногенного загрязнения : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.02.16 / О. М. Легощина ; Алтайс. гос. ун-т. – Томск, 2018. – 24 с.

8. Investigation of subcellular distribution, physiological, and biochemical changes in *Spirodela polyrhiza* as a function of cadmium exposure / Chunlei Su [et. al.] // Environmental and Experimental Botany. – 2017. – Vol. 142. – P. 24–33.

9. Охрана окружающей среды : стат. сб. – Минск : Нац. стат. ком. Респ. Беларусь, 2018. – 228 с.

10. Гигиенические нормативы «Перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) химических веществ в почве» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pravo.newsby.org>.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 29.09.2018

Tyulkova E.G. The Technogenic Conditions Influence on the Photosynthetic Pigments Content of Woody Plants Different Age Groups

*The results of photosynthetic pigments content determining in woody plants leaves of different age groups growing in technogenic and background conditions (on Gomel city example), presented in the article, indicate that the chlorophyll and carotenoids content in the of birch hanging *Betula pendula* Roth. and the maple *platanoides* *Acer platanoides* L. leaves in the background is less in comparison with the man-made zone; topol pyramidal *Populus pyramidalis* Roz. and small-leaved linden *Tilia cordata* Mill. they are characterized by an unstable tendency to change the photosynthetic pigments concentration of depending on the growing conditions, which requires more in-depth research in this direction. As a result of the experiment with chlorophyll extracts with the addition of 0,5; 1 and 5 doses permissible concentration of lead, copper, nickel and chromium not only a decrease in the optical density of extracts in some cases was revealed, but also its increase which further affects the plants photosynthetic pigments concentration during their growth in technogenic conditions.*