

БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ**BIOLOGICAL RESOURCES****БІАЛАГІЧНЫЯ РЭСУРСЫ**

УДК 543.632.22:635.052

Е. Г. Тюлькова¹, А. А. Карпиченко²

¹Белорусский торгово-экономический университет потребительской кооперации, Гомель, Беларусь, e-mail: tut-3@mail.ru

²Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь, e-mail: karpi@bsu.by

**ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УСЛОВИЙ РАЗВИТИЯ
И АДАПТАЦИЯ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ К ТЕХНОГЕННУМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ
(НА ПРИМЕРЕ г. ГОМЕЛЯ)**

Аннотация. Одной из наиболее уязвимых систем растительной клетки при действии различных стрессовых факторов является фотосинтетический аппарат. Растения выполняют ряд важных функций, таких как рекреационная, санитарно-гигиеническая и др., поэтому мониторинг состояния условий их развития обеспечивает основу для прогнозирования последствий техногенного воздействия на изменения параметров их жизнедеятельности. Кроме того, изучение адаптационных реакций растений к техногенным условиям является одной из ключевых проблем ландшафта. По результатам эколого-геохимической оценки условий произрастания растительности на территории г. Гомеля можно отметить техногенное загрязнение тяжелыми металлами почв промышленных зон на западе и севере города, имеющее точечный характер с единичными случаями превышения ПДК/ОДК, что может привести к негативно-му влиянию на древесную растительность. В восточной и южной частях города содержание исследуемых элементов снижено, при этом местами растения могут испытывать недостаток микроэлементов (Cu, Mn, Ni, Cr). При исследовании содержания фотосинтетических пигментов в листьях березы повислой *Betula pendula* Roth., произрастающей вблизи ОАО «ГЗЛиН» и ТЭЦ-2, получено, что представители возрастной категории до 20 лет характеризовались тенденцией повышенного количества хлорофиллов и каротиноидов по сравнению с группой после 30 лет в мае и сентябре, тогда как в июле происходило снижение их количества. Кроме того, представители группы до 20 лет характеризовались повышенным количеством пигментов в мае по сравнению с сентябрем, а группы после 30 лет, наоборот, в сентябре по сравнению с маем. В целом в большинстве вариантов наблюдалось более низкое содержание пигментов фотосинтеза по сравнению с контрольной территорией в пробах, отобранных вблизи ОАО «ГЗЛиН». С учетом отсутствия превышений тяжелых металлов ПДК/ОДК на данной территории можно предположить, что негативное влияние на состояние растительности оказывают выбросы в атмосферный воздух, содержащие в своем составе такие летучие органические соединения, как ксилолы и бутилацетат.

Ключевые слова: тяжелые металлы, береза повислая *Betula pendula* Roth., почвы, фотосинтетические пигменты

E. G. Tyulkova¹, A. A. Karpichenko²

¹Belarusian Trade and Economic University of Consumer Cooperatives, Gomel, Belarus, e-mail: tut-3@mail.ru

²Belarusian State University, Minsk, Belarus e-mail: karpi@bsu.by

**ECOLOGICAL-GEOCHEMICAL ASSESSMENT OF THE DEVELOPMENT CONDITIONS
AND ADAPTATION OF WOOD PLANTS TO TECHNOGENIC EFFECTS (ON EXAMPLE OF THE CITY OF GOMEL)**

Abstract. One of the most vulnerable plant cell systems under various stress factors is the photosynthetic apparatus. Plants perform a number of important functions, such as recreational, sanitary and hygienic, so monitoring the state of their development conditions provides a basis for predicting the consequences of technogenic effects on changes in their vital parameters. In addition, the study of plant adaptation reactions to technogenic conditions is one of the key problems of landscape geochemistry. In this regard, the aim of the work was to study the ecological-geochemical situation in the city (on the example of Gomel) and to compare the content of photosynthetic pigments in the leaves of wood plants of different age groups growing at its individual sites. According to the results of ecological-geochemical assessment of vegetation growing conditions in the territory of Gomel, it is possible to note technogenic contamination by heavy metals of soils of industrial zones in the west and north of Gomel city, which has a point character with isolated cases of excess of MPC/ODC, which can lead to negative impact on wood vegetation. In the eastern and southern parts of the city, the content of the studied elements is reduced, and in some places the plants may lack trace elements (Cu, Mn, Ni, Cr). In the study of photosynthetic pigment content in birch *Betula pendula* Roth. leaves, growing near plant produce agricultural machines and thermal power plant, it was found that members of the age category under 20 years of age showed a tendency of increased amount of chlorophylls and carotenoids compared to the group after 30 years in May and September, while in July their amount decreased. In addition, members of the group under 20 were characterized by an increased amount of pigments in May compared to September, and groups after 30 years, on the contrary, in September compared to May.

In general, in most variants there was a lower content of photosynthesis pigments compared to the control area in samples taken near plant produce agricultural machines. Given the absence of excess heavy metals of MPC/ODC in the area, emissions to atmospheric air containing volatile organic compounds such as xylols and butylacetate had a negative effect on vegetation.

Keywords: heavy metals, drooping birch *Betula pendula* Roth., soils, photosynthetic pigments

А. Р. Цюлькова¹, А. А. Карпічэнка²

¹Беларускі гандлёва-эканамічны ўніверсітэт спажывецкай кааперацыі, Гомель, Беларусь,
e-mail: tut-3@mail.ru

²Беларускі дзяржаўны ўніверсітэт, Мінск, Беларусь, e-mail: karpi@bsu.by

ЭКОЛАГА-ГЕАХІМІЧНАЯ АЦЭНКА УМОЎ РАЗВІЦЦЯ І АДАПТАЦЫІ ДРАЎНЯНЫХ РАСЛІН ДА ТЭХНАГЕННАГА ЎЗДЗЕЯННЯ (НА ПРЫКЛАДЗЕ г. ГОМЕЛЯ)

Аннотацыя. Адною з найбольш уразлівых сістэм расліннай клеткі пры дзеянні розных стрэсавых фактараў з'яўляецца фотасінтэтычны апарат. Расліны выконваюць шэраг важных функцый, такіх як рэкрэацыйная, санітарна-гігіенічная і інш., таму маніторынг стану ўмоў іх развіцця забяспечвае аснову для прагназіравання наступстваў тэхнагеннага ўздзеяння на змяненне параметраў іх жыццядзейнасці. Акрамя таго, вывучэнне адаптацыйных рэакцый раслін да тэхнагенных умоў з'яўляецца адной з ключавых праблем геахіміі ландшафту. Па выніках экалага-геахімічнай ацэнкі ўмоў росту расліннасці на тэрыторыі г. Гомеля можна адзначыць тэхнагеннае забруджванне цяжкімі металамі глебаў прамысловых зон на захадзе і поўначы горада, якое мае кропкавы характар з адзінкавымі выпадкамі перавышэння ПДК/АДК, што можа прывесці да негатыўнага ўплыву на драўняную расліннасць. Ва ўсходняй і паўднёвай частках горада ўтрыманне доследных элементаў паніжана, пры гэтым месцамі расліны могуць адчуваць недахоп мікраэлементаў (Cu, Mn, Ni, Cr). Пры даследаванні ўтрымання фотасінтэтычных пігментаў у лісцях бярозы павіслай *Betula pendula* Roth., якая расце паблізу завода ліцця і нармалей і ТЭЦ-2, атрымана, што прадстаўнікі ўзроставай катэгорыі да 20 гадоў характарызаваліся тэндэнцыяй павышанай колькасці хларафіла і караціноідаў у параўнанні з групай пасля 30 гадоў у маі і верасні, тады як у ліпені адбывалася зніжэнне іх колькасці. Акрамя таго, прадстаўнікі групы да 20 гадоў характарызаваліся павышанай колькасцю пігментаў у маі ў параўнанні з вераснем, а групы пасля 30 гадоў, наадварот, у верасні ў параўнанні з маем. У цэлым у большасці варыянтаў назіралася больш нізкае ўтрыманне пігментаў фотасінтэзу ў параўнанні з кантрольнай тэрыторыяй у пробах, адабраных паблізу завода ліцця і нармалей. З улікам адсутнасці перавышэння цяжкіх металаў ПДК/АДК на дадзенай тэрыторыі можна меркаваць, што негатыўны ўплыў на стан расліннасці аказваюць выкіды ў атмасфернае паветра, якія змяшчаюць у сваім складзе такія лятучыя арганічныя злучэнні, як ксіполы і бутылацэтат.

Ключавыя словы: цяжкія металы, бяроза павіслая *Betula pendula* Roth., глебы, фотасінтэтычныя пігменты

Введение. Несмотря на актуальность химических и физических анализов, обеспечивающих получение базовой информации о концентрации различных токсикантов в окружающей среде, биологическая оценка состояния среды является актуальной проблемой, поскольку обеспечивает возможность интегральной характеристики качества среды. Древесные и травянистые растения выполняют ряд важных функций, таких как рекреационная, санитарно-гигиеническая и др., поэтому мониторинг состояния условий их развития обеспечивает основу для прогнозирования последствий техногенного воздействия на растительные сообщества [1–5]. Состояние растительности городов в заметной мере зависит от эколого-геохимической обстановки, формирующейся под влиянием техногенеза на природную компоненту урболандшафтов, в результате в них могут формироваться различные геохимические аномалии, проявляющиеся главным образом в накоплении ряда технофильных элементов в депонирующих средах [6]. Изучение адаптационных реакций растений к техногенным условиям – одна из ключевых проблем дендрозоологии и, в частности, геохимии ландшафта. Адаптацию растений следует понимать в широком диапазоне. Прежде всего растения приспосабливаются к климатическим условиям (температуре и осадкам) – климатическая адаптация, к условиям питания – агрохимическая адаптация, к загрязнению среды – геохимическая адаптация. Каждый из этих видов адаптации при экстремальных условиях может приводить к изменению в растениях физиологического, биохимического и морфологического механизма. Нами рассматривается геохимическая адаптация древесных растений в условиях урболандшафтов, связанная со специфическим загрязнением промышленного генеза. В качестве индикаторов загрязнения среды в ходе геохимических исследований возможно использование морфологических и физиолого-биохимических параметров растений. В наших исследованиях было использовано содержание фотосинтетических пигментов. В связи с этим цель работы – исследование эколого-геохимической обстановки на территории города (на примере г. Гомеля) и сравнительная оценка содержания фотосинтетических пигментов в листьях древесных растений различных возрастных групп, произрастающих на отдельных его участках.

Материалы и методы исследования. При изучении эколого-геохимической обстановки в г. Гомеле основное внимание уделялось накоплению тяжелых металлов в верхних горизонтах почвенного покрова, как наиболее подверженных техногенному влиянию. С этой целью в 2015–2019 гг. на всей территории города была отобрана 71 смешанная проба почвы с глубины 5–15 см, которые в дальнейшем высушивали до воздушно-сухого состояния. Высушенные пробы просеивали через сито диаметром 1 мм, взвешивали и озоляли в муфельной печи при температуре 440–450 °С, после чего пробы охлаждали и определяли потерю при прокаливании. В дальнейшем пробы растирали до пудрообразного состояния, производили анализ на атомно-эмиссионном спектрометре ЭМАС-200ДДМ. В пробе определяли валовое содержание следующих элементов: Cu, Pb, Mn, Ni, Sn, Ti и Cr.

Выбор березы повислой *Betula pendula* Roth. в качестве исследуемого растительного объекта обусловлен широкой распространенностью растения в городских условиях. Пробы листьев березы повислой *Betula pendula* Roth. отбирали в окружении отдельных промышленных предприятий г. Гомеля, различающихся спецификой промышленного производства и соответственно уровнем техногенного влияния на состояние атмосферного воздуха. Такими предприятиями явились ОАО «Гомельский завод литья и нормалей» (ОАО «ГЗЛиН») и Гомельская ТЭЦ-2, в выбросах которых содержатся ксилолы, сложные эфиры, бенз(а)пирен. Контрольными условиями явилась 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 2018 и 2019 гг. с отдельно стоящих деревьев (не менее 10 на каждой исследуемой территории) приблизительно одного возраста с высоты 1,5 м. Возраст деревьев оценивали путем определения диаметра ствола, который делили на среднегодовой прирост.

Для определения содержания хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов в листовых пластинках березы повислой использовали спектрофотометр Shimadzu UV-2401 PC («Shimadzu», Япония). Для экстракции фотосинтетических пигментов применяли навески листьев, сырая масса которых составляла 30–40 мг. Экстракцию хлорофиллов и каротиноидов производили 99,5 %-ным ацетоном в трех биологических повторностях. Содержание пигментов в экстрактах рассчитывали с помощью коэффициентов экстинкции для соответствующего растворителя по формулам [7]:

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

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

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

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

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

Для пересчета содержания фотосинтетических пигментов на сырую массу использовали сырую массу навесок листьев и объем полученного фильтрата пигментов. Содержание пигментов представлено в мг/г сырой массы.

Результаты и их обсуждение. Результаты анализа на содержание тяжелых металлов в почве показали очень высокую вариабельность накопления Cu, Pb, Mn, Ni, Sn, Ti и Cr (табл. 1), коэффициенты вариации практически всех исследуемых элементов, за исключением Ti, превышают 100 % и могут характеризоваться как аномальные.

Подобная картина наблюдается за счет редких одиночных пиков накопления элементов, характерных в основном для промышленных зон, что указывает на вероятные источники загрязнения, достигающих почти 8-кратного превышения ПДК для Cr. Такая же ситуация отмечалась для почв г. Гомеля и другими исследователями [8]. В связи с наличием подобных

Таблица 1. Валовое содержание Cu, Pb, Mn, Ni, Sn, Ti и Cr в верхних горизонтах почв г. Гомеля

Показатель	Химические элементы, мг/кг воздушно-сухой почвы						
	Cu	Pb	Mn	Ni	Sn	Ti	Cr
Среднее	12,7	11,3	269	3,5	1,5	988	37,8
Разброс значений	1,7–164,9	2,6–81,9	58–2372	0,4–26,8	0,16–30,91	203–2812	8,2–788,1
Среднее геометрическое	7,3	8,4	205	2,5	0,82	828	22,4
Медиана	6,0	7,6	225	2,3	0,87	921	21,4
Коэффициент вариации, %	194,9	116,1	111,1	123,1	246,9	60,0	257,2
ОАО «ГЗЛиН»	6,8	9,4	188,0	3,1	1,2	1091,0	24,2
ТЭЦ-2	4,1	4,9	263,0	2,2	0,5	1142,0	14,7
Фон [8]	13	12	247	20	–	1562	36
ПДК/ОДК [12]	33	32	1000	20	–	–	100

пиков, сильно выделяющихся из общего фона, отмечена высокая положительная асимметрия распределения всех элементов, поэтому среднее арифметическое для данной выборки не является достаточно характерным и для усреднения значений лучше использовать среднее геометрическое или медиану. Похожее расхождение отмечалось для почв других городов, где наблюдалось техногенное загрязнение почвенного покрова [9–11]. Для эколого-геохимической оценки техногенного накопления исследуемых элементов производилось сравнение с фоновыми значениями для почв Беларуси и с величинами ПДК/ОДК [12], для Cu и Ni в качестве ОДК принимался показатель для песчаных и супесчаных почв, суглинков среди отобранных образцов не обнаружено, помимо этого для титана и олова отсутствуют утвержденные величины ПДК/ОДК, а для олова не установлены данные по фону.

Среднее содержание меди в почвах г. Гомеля (12,7 мг/кг) очень близко к фоновому для почв республики (13 мг/кг), однако медианное (6,0) значение более чем в два раза ниже, показывая более реальное фоновое значения для города, что обусловлено распространением рыхлых аллювиальных и водно-ледниковых пород в пределах города, которые обычно обеднены микроэлементами. Превышение ОДК установлено для 7 % проб, наблюдается в западной и северной частях города. Для свинца (как и для меди) среднее содержание по городу (11,3 мг/кг) близко к фоновому (12 мг/кг), но медианное значение заметно ниже (7,6). Превышение величины ПДК установлено лишь в двух случаях и имеет явный техногенный характер, география накопления также схожа с медью.

Распределение марганца в почвах г. Гомеля отличается неравномерностью, среднее значение несколько превышает фоновое для республики, а медианное и среднее геометрическое, наоборот, меньше фонового, но различия между данными показателями заметно меньше, чем для Cu и Pb. Отмечено одиночное превышение ПДК на западе города.

Почвы г. Гомеля отличаются небольшим валовым содержанием никеля (в среднем 3,5 мг/кг), однако для двух проб (вблизи ОАО «Гомельский литейный завод «Центролит» и РУП «Гомсельмаш») отмечено превышение ОДК, в целом в промышленных зонах его содержание более высокое, чем в жилых, характер накопления несколько схож со свинцом, что может указывать на влияние автотранспорта на загрязнение почв данным элементом.

Олово является явным технофильным элементом, однако отсутствие утвержденных нормативных документов затрудняет проведение эколого-геохимической оценки накопления данного элемента, при этом вполне очевидно, что высокие пики накопления в западной части города (30,9 и 9,18 мг/кг при среднем 1,5 мг/кг для города) имеют техногенную природу. Накопление хрома имеет определенное сходство с оловом, средняя концентрация (37,8 мг/кг) близка к фоновой для республики (36 мг/кг), однако медианное значение существенно ниже (21,4), что наблюдалось и для Cu и Pb, в двух пробах отмечено превышение ПДК, доходящее до 7,9 раза, накопление отмечается в западной части города вблизи промышленных объектов.

Для титана наблюдается принципиально иная картина накопления в почвах г. Гомеля, варьирование его содержания заметно меньше, среднее содержание ниже фонового для Беларуси. Элемент отличается заметной инертностью и низким влиянием на растительность, распреде-

ление его мозаичное и менее подвержено техногенному влиянию, чем у остальных исследуемых элементов. Содержание рассматриваемых элементов в почвах, отобранных в окружении ОАО «ГЗЛИН» и ТЭЦ-2, не превышало ПДК/ОДК; по марганцу вблизи ТЭЦ-2 – несколько превышало фоновую величину.

В стрессовых условиях растениями используется большое количество органических веществ, в накоплении которых большая роль принадлежит фотосинтетической системе. Система компенсирует стрессовое состояние растений, увеличивая при этом содержание пигментов фотосинтеза [13–15]. Наряду с увеличением содержания фотосинтетических пигментов при техногенном воздействии имеются данные результатов исследований о резком снижении их количества в клетках растений [16–25]. В наших исследованиях получено, что характер и уровень содержания хлорофиллов и каротиноидов в пробах листьев березы повислой, как показано в табл. 2 и 3, находится в определенной зависимости от их возраста.

Т а б л и ц а 2. Содержание фотосинтетических пигментов в листьях березы повислой *Betula pendula* Roth. (материал 2018 г.)

Место отбора проб	Время отбора проб	Содержание пигментов, мг/г сырой массы			хлорофилл а хлорофилл b	хлорофилл (a + b) каротиноиды
		хлорофилл а	хлорофилл b	каротиноиды		
До 20 лет						
Контроль	май	1,81±0,09	0,78±0,04	1,12±0,05	2,32	2,31
	июль	1,91±0,09	0,89±0,03	1,24±0,05	2,15	2,26
	сент.	1,74±0,08	0,62±0,02	1,19±0,06	2,81	1,98
ОАО «ГЗЛИН»	май	1,55±0,07*	0,59±0,02*	1,01±0,04*	2,63	2,12
	июль	1,26±0,05*	0,39±0,01*	0,81±0,03*	3,23	2,04
	сент.	1,65±0,07*	0,60±0,03	1,07±0,04*	2,75	2,10
ТЭЦ-2	май	1,90±0,08*	0,93±0,04	1,15±0,05*	2,04	1,71
	июль	1,17±0,05*	0,38±0,01*	0,79±0,03*	3,08	1,96
	сент.	1,87±0,08*	0,75±0,03*	1,15±0,05*	2,49	2,28
20–30 лет						
Контроль	май	1,78±0,08	0,68±0,02	1,12±0,05	2,62	2,20
	июль	1,89±0,07	0,82±0,03	1,15±0,04	2,30	2,36
	сент.	1,79±0,09	0,62±0,03	1,05±0,03	2,89	2,30
ОАО «ГЗЛИН»	май	1,34±0,06*	0,49±0,01*	0,94±0,04*	2,73	1,95
	июль	1,55±0,07*	0,59±0,02*	0,96±0,03*	2,63	2,23
	сент.	1,44±0,06*	0,45±0,01*	0,91±0,04*	3,20	2,08
ТЭЦ-2	май	1,62±0,07*	0,57±0,02*	1,01±0,04*	2,84	2,17
	июль	1,34±0,06*	0,53±0,02*	0,80±0,04*	2,53	2,34
	сент.	1,40±0,05*	0,57±0,03*	1,01±0,04*	2,46	1,95
Более 30 лет						
Контроль	май	1,58±0,07	0,64±0,02	1,02±0,04	2,47	2,18
	июль	1,94±0,08	0,92±0,04	1,19±0,05	2,11	2,40
	сент.	1,61±0,06	0,59±0,02	1,12±0,05	2,73	1,96
ОАО «ГЗЛИН»	май	1,18±0,06*	0,39±0,02*	0,78±0,03*	3,03	2,01
	июль	1,60±0,07*	0,61±0,02*	1,02±0,04*	2,62	2,17
	сент.	1,25±0,05*	0,40±0,02*	0,75±0,03*	3,13	2,20
ТЭЦ-2	май	1,10±0,06*	0,32±0,02*	0,68±0,03*	3,44	2,77
	июль	1,40±0,05*	0,54±0,02*	0,87±0,02*	2,59	2,23
	сент.	1,34±0,06*	0,49±0,01*	0,85±0,03*	2,73	2,15

Примечание. Здесь и далее в табл. 3 достоверные значения исследуемых показателей при $p \leq 0,05$ обозначены звездочкой (*).

Так, в листьях березы повислой, произрастающей в окружении ОАО «ГЗЛиН», на протяжении 2018 г. наблюдалась тенденция повышенного содержания пигментов фотосинтеза у представителей до 20 лет в мае и сентябре по сравнению с группой после 30 лет (табл. 2). В июле содержание пигментов, наоборот, было выше у представителей возрастной группы более 30 лет. Аналогичной особенностью характеризовалась береза повислая в зоне влияния промышленных выбросов ТЭЦ-2 и контроле (табл. 2). Это свидетельствует о том, что в начале вегетационного периода и при его завершении наиболее активные процессы образования фотосинтетических пигментов происходили у представителей возрастной группы до 20 лет. В середине периода вегетации, на этапе максимальной физиологической активности растений этот процесс был более интенсивным в группе деревьев, которым более 30 лет. Возможно это связано с более стабильной фотосинтетической активностью хлоропластов у растений этой возрастной категории.

В 2019 г. сезонная динамика содержания пигментов фотосинтеза в листьях березы повислой, произрастающей на исследуемых территориях, характеризовалась различными направлениями: у деревьев, произрастающих в окружении ОАО «ГЗЛиН», в мае наблюдалось повышенное содержание пигментов в возрастной группе до 20 лет по сравнению с группой после 30 лет, а далее – в июле и сентябре происходило снижение уровня пигментов у молодых представителей (табл. 3).

Т а б л и ц а 3. Содержание фотосинтетических пигментов в листьях березы повислой *Betula pendula* Roth. (материал 2019 г.)

Место отбора проб	Время отбора проб	Содержание пигментов, мг/г сырой массы			хлорофилл <i>a</i> хлорофилл <i>b</i>	хлорофилл (<i>a + b</i>) каротиноиды
		хлорофилл <i>a</i>	хлорофилл <i>b</i>	каротиноиды		
До 20 лет						
Контроль	май	2,34±0,10	0,61±0,01	1,32±0,05	3,80	2,08
	июль	1,75±0,08	0,87±0,03	1,26±0,05	2,02	2,08
	сент.	2,27±0,10	0,95±0,04	1,13±0,05	2,38	2,84
ОАО «ГЗЛиН»	май	1,60±0,07*	0,68±0,02*	1,01±0,03*	2,35	2,26
	июль	1,27±0,05*	0,41±0,01*	0,80±0,03*	3,10	2,10
	сент.	1,51±0,07*	0,52±0,03*	0,86±0,03*	2,90	2,36
ТЭЦ-2	май	1,85±0,08*	0,77±0,02*	1,20±0,05*	2,40	2,18
	июль	1,58±0,07*	0,56±0,03*	1,06±0,04*	2,82	2,02
	сент.	1,84±0,08*	0,72±0,04*	1,18±0,05*	2,56	2,48
20–30 лет						
Контроль	май	1,63±0,06	0,40±0,01	0,96±0,04	4,07	1,78
	июль	2,14±0,10	0,90±0,03	1,16±0,05	2,39	1,15
	сент.	2,04±0,09	0,86±0,03	1,19±0,05	2,39	2,44
ОАО «ГЗЛиН»	май	1,44±0,06*	0,76±0,03*	0,87±0,03*	1,89	2,53
	июль	1,25±0,05*	0,40±0,01*	0,75±0,03*	3,13	2,20
	сент.	1,38±0,06*	0,40±0,01*	0,74±0,03*	3,41	2,41
ТЭЦ-2	май	1,44±0,06*	0,59±0,02	0,89±0,03*	2,46	2,27
	июль	1,41±0,06*	0,54±0,01*	0,92±0,05*	2,61	2,12
	сент.	1,61±0,07*	0,58±0,02*	0,96±0,04*	2,77	2,31
Более 30 лет						
Контроль	май	1,65±0,05	0,78±0,03	1,05±0,04	2,13	2,30
	июль	1,86±0,08	0,83±0,03	0,81±0,02	2,38	2,35
	сент.	1,85±0,08	0,75±0,03	1,06±0,04	2,46	2,45
ОАО «ГЗЛиН»	май	1,37±0,06*	0,51±0,02*	0,85±0,08*	2,66	2,21
	июль	1,54±0,07*	0,53±0,02*	1,01±0,04*	2,91	1,11
	сент.	1,63±0,07*	0,49±0,01*	0,82±0,03*	3,32	2,59
ТЭЦ-2	май	1,40±0,06*	0,56±0,02*	0,89±0,03*	2,50	2,20
	июль	1,32±0,06*	0,49±0,02*	0,88±0,03*	2,69	2,06
	сент.	1,02±0,04*	0,28±0,01*	0,68±0,02*	3,64	3,09

Можно предположить, что на уровень фотосинтетических пигментов этой возрастной категории в течение периода вегетации оказало влияние более высокое содержание бутилацетата в выбросах ОАО «ГЗЛиН» в 2019 г. по сравнению с 2018 г.

У березы повислой, произрастающей в окружении ТЭЦ-2 и в контроле, наблюдалось повышенное содержание хлорофиллов и каротиноидов в листьях представителей возрастной группы до 20 лет на протяжении всего периода вегетации, за исключением контрольной территории в июле 2019 г. Такая закономерность повышенного количества пигментов фотосинтеза в листьях березы повислой возрастной категории до 20 лет в мае и сентябре 2019 г. была аналогичной тенденции, которая наблюдалась в 2018 г. на изучаемых территориях.

Что касается изменений в содержании пигментов фотосинтеза на протяжении вегетационного периода с мая по сентябрь, то в 2018 г. у березы повислой возрастной группы после 30 лет наблюдалась тенденция роста содержания пигментов в сентябре по сравнению с маем на всех исследуемых территориях. В 2019 г. представители группы до 20 лет характеризовались повышенным количеством пигментов в мае по сравнению с сентябрем, что можно объяснить естественным разрушением пигментов по мере старения листьев. В остальных вариантах для какой-либо одной возрастной группы на всех исследуемых территориях такая тенденция выявлена не была.

В результате сравнения данных по содержанию фотосинтетических пигментов в листьях березы повислой из контрольных условий и исследуемых промышленных предприятий получено, что в большинстве вариантов количество пигментов в контроле достоверно выше. Исключение составило содержание хлорофилла *a* и *b* в возрастной группе до 20 лет в условиях воздействия выбросов ТЭЦ-2 в сентябре 2018 г. и каротиноидов – в 2019 г., а также всех пигментов – в мае 2018 г. При этом наиболее интенсивное превышение содержания пигментов контрольных значений (в 1,26 раза) было характерно для хлорофилла *b* в мае 2019 г. у березы в группе до 20 лет, произрастающей вблизи ТЭЦ-2. Максимальное снижение содержания пигментов по сравнению с контролем в 1,56–2,68 раза наблюдалось в сентябре 2019 г. у березы повислой в группе после 30 лет вблизи ТЭЦ-2, а минимальное – в 1,10–1,26 раза в мае 2019 г. в группе до 20 лет на этой же территории.

Результаты дисперсионного анализа свидетельствуют о наличии достоверных различий между выборками значений количества пигментов березы повислой в контроле и вблизи промышленных предприятий ($F_{\text{фактич}}(1, 16) = 23,14 \div 421,78$; $F_{\text{критич}}(1, 16) = 4,49$ при $p \leq 0,05$).

В целом если сравнивать условия произрастания древесных растений на двух исследуемых территориях, то за исследуемый период у березы повислой в большинстве вариантов наблюдалось более низкое содержание пигментов фотосинтеза по сравнению с контрольной территорией в пробах, отобранных вблизи ОАО «ГЗЛиН». С учетом отсутствия превышений тяжелых металлов ПДК/ОДК на данной территории, можно предположить, что негативное влияние на состояние растительности оказывают выбросы в атмосферный воздух, содержащие в своем составе такие летучие органические соединения, как о-ксилол и бутилацетат.

Выводы. По результатам эколого-геохимической оценки условий произрастания растительности на территории г. Гомеля можно отметить техногенное загрязнение тяжелыми металлами почв промышленных зон на западе и севере г. Гомеля, имеющее точечный характер с единичными случаями превышения ПДК/ОДК, что может привести к негативному влиянию на древесную растительность. В восточной и южной частях города содержание исследуемых элементов пониженное, при этом местами растения могут испытывать недостаток микроэлементов (Cu, Mn, Ni, Cr).

При исследовании содержания фотосинтетических пигментов в листьях березы повислой *Betula pendula* Roth., произрастающей вблизи ОАО «ГЗЛиН» и ТЭЦ-2, получено, что представители возрастной категории до 20 лет характеризовались тенденцией повышенного количества хлорофиллов и каротиноидов по сравнению с группой после 30 лет в мае и сентябре, тогда как в июле происходило снижение их количества. Кроме того, представители группы до 20 лет характеризовались повышенным количеством пигментов в мае по сравнению с сентябрем, а груп-

пы после 30 лет, наоборот, в сентябре по сравнению с маем. В целом в большинстве вариантов наблюдалось более низкое содержание пигментов фотосинтеза по сравнению с контрольной территорией в пробах, отобранных вблизи ОАО «ГЗЛиН». С учетом отсутствия превышений тяжелых металлов ПДК/ОДК на данной территории, можно предположить, что негативное влияние на состояние растительности оказывают выбросы в атмосферный воздух, содержащие в своем составе такие летучие органические соединения, как о-ксилон и бутилацетат. Полученные результаты подтверждают возможность использования содержания фотосинтетических пигментов отдельных древесных растений для индикации загрязнения атмосферного воздуха.

Список использованных источников

1. Неверова, О. А. Применение фитоиндикации в оценке загрязнения окружающей среды / О. А. Неверова // Биосфера. – 2009. – № 1. – С. 82–92.
2. Ларионова, Н. Л. Устойчивость растений к загрязнению почвы углеводородами и эффект фиторемедиации: автореф. ... канд. биол. наук: 03.00.16 / Н. Л. Ларионова; Казан. гос. ун-т им. В. И. Ульянова-Ленина. – Казань, 2005. – 24 с.
3. Терлеева, П. С. Индикаторная роль рудеральных растений в оценке антропогенной загрязненности урбанизированных территорий: автореф. ... канд. биол. наук: 03.02.08 / П. С. Терлеева; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2011. – 18 с.
4. Турмухаметова, Н. В. Особенности морфогенеза побегов и феноритмов *Betula pendula* Roth. и *Tilia cordata* Mill. в условиях городской среды: автореф. ... канд. биол. наук: 03.00.16 / Н. В. Турмухаметова; Марийский гос. ун-т. – Новосибирск, 2005. – 20 с.
5. Нефедова, Т. А. *Betula pendula* Roth. как объект биологического мониторинга городской среды: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16 / Т. А. Нефедова; МГУ им. М. В. Ломоносова. – М., 2003. – 132 л.
6. Zhoomar, P. The geochemistry of technogenic landscapes: theory and practice / P. Zhoomar, A. Karpichenka, M. Chartko // Methodology of landscape research: Dissertations Commission of Cultural Landscape. – Sosnowiec, 2008. – N 9. – P. 170–190.
7. Lichenthaler, H. K. Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. Current Protocols in Food Analytical Chemistry / H. K. Lichenthaler, C. Buschmann. – New York: John Wiley and Sons, 2001. – F 4.3.1–F 4.3.8.
8. Петухова, Н. Н. Кларкам микроэлементов в почвенном покрове Беларуси / Н. Н. Петухова, В. А. Кузнецов // Докл. Акад. наук Беларуси. – 1992. – Т. 26, № 5. – С. 461–465.
9. Хомич, В. С. Экогеохимия городских ландшафтов Беларуси / В. С. Хомич, С. В. Какарека, Т. И. Кухарчик. – Минск: Минсктиппроект, 2004. – 260 с.
10. Карпиченко, А. А. Геохимическая оценка почв и растительности г. Молодечно / А. А. Карпиченко, Н. К. Черток, А. С. Семенюк // Журн. Белорус. гос. ун-та. География. Геология. – 2018. – № 1. – С. 21–29.
11. Урболандшафты г. Пинска: классификация, эколого-геохимическая оценка, способы оптимизации / Г. И. Марцинкевич [и др.] // Вестн. Бел. гос. ун-та. Сер. 2. Химия. Биология. География. – 2015. – № 3. – С. 70–75.
12. Перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) химических веществ в почве. Гигиенические нормативы 2.1.7.12-1-2004. – Минск, 2004.
13. Реакция растений на комплексное воздействие природных и антропогенных стрессоров / П. Духовский [и др.] // Физиология растений. – 2003. – № 2. – С. 165–173.
14. Shashurin, M. M. Analysis of adaptive capacities of plants in zone of technogenic impact / M. M. Shashurin, A. N. Zhuravskaya // Rus. J. of Ecology. – 2007. – N 2. – P. 85–89.
15. Корнилов, А. Л. Биохимические показатели и содержание тяжелых металлов в растениях береговой линии водоемов г. Тюмени в условиях антропогенного загрязнения: автореф. ... канд. биол. наук: 03.02.08 / А. Л. Корнилов; Тюмен. гос. ун-т. – Тюмень, 2014. – 16 с.
16. Савинцева, Л. С. Экологический анализ адаптивных механизмов растений в урбанизированной среде: автореф. ... канд. биол. наук: 03.02.08 / Л. С. Савинцева; Вят. гос. с.-х. акад. – Петрозаводск, 2015. – 23 с.
17. Двоглазова, А. А. Эколого-биологические особенности древесных и травянистых растений в насаждениях урбаноэкосистемы крупного промышленного центра (на примере г. Ижевска): автореф. ... канд. биол. наук: 03.02.08 / А. А. Двоглазова; Ижевская гос. с.-х. акад. – Уфа, 2009. – 21 с.
18. Photosynthetic response of maize plants against cadmium and paraquat impact / Chaneva G. [et. al] // Water, Air and Soil Pollut. – 2010. – N 1–4. – P. 287–293.
19. Гулиев, Р. Б. Оценка содержания хлорофилла в растениях, подвергнутых антропогенному воздействию, спектрометрическим методом / Р. Б. Гулиев, Б. М. Азизов, А. А. Аббасзаде // Оптика и спектроскопия. – 2009. – № 3. – С. 514–517.
20. Заплатин, Б. П. Биотестирование атмосферных загрязнений по содержанию хлорофилла и активности полифенолоксидазы / Б. П. Заплатин // Изв. ПГПУ. – 2008. – № 10. – С. 82–87.
21. Effects of cadmium stress on photosynthetic leaf activity *Lemna minor* / Zhang Jian-ping [et al.] // J. Agro-Environ. Sci. – 2007. – N 6. – P. 2027–2032.
22. Effect of Pb, Zn and their interaction on chlorophyll content and antioxidant protective system in *Houttuynia cordata* / Li Zheng-Zheng [et al.] // Acta ecol. sin. – 2007. – N 12. – P. 5441–5446.
23. Shi-sheng Ki. Effect of copper on the photosynthesis and oxidative metabolism of *Amaranthus tricolor* seedlings / Ki Shi-sheng // Agr. Sci. China. – 2007. – N 10. – P. 1182–1192.
24. Терек, О. I. Фотосинтетичні пігменти рослин *Carex hirta* L. за умов нафтового забруднення ґрунту / О. I. Терек, Н. М. Джура, О. М. Цвілінюк // Физиол. и биохимия культ. р-ний. – 2008. – № 3. – С. 238–244.
25. Влияние тяжелых металлов на фотосинтетический аппарат и антиоксидантный статус элодеи / М. Г. Малева [и др.] // Физиология растений. – 2012. – № 2. – С. 216–224.

Поступила 28.05.2020