

# Содержание пигментов фотосинтеза и спектры флуоресценции хлорофилла травянистых растений в условиях техногенного воздействия окружающей среды

Е.Г. Тюлькова

Учреждение образования

«Белорусский торгово-экономический университет потребительской кооперации»

*В статье рассматриваются и анализируются в сравнительном аспекте особенности содержания хлорофилла а, b и каротиноидов в листовых пластинках наиболее распространенных травянистых растений, произрастающих в промышленных зонах и фоновых условиях, а также спектры флуоресценции хлорофилла как критерии адаптации растительности к техногенным условиям произрастания.*

*Цель исследования – установить характер изменения концентраций фотосинтетических пигментов травянистых растений и спектров флуоресценции хлорофилла как показателей адаптации растений к техногенным условиям и биоиндикаторов загрязнения среды их обитания.*

*Материал и методы.* Материал исследования – наиболее распространенная травянистая растительность техногенных и фоновых условий. Определение концентрации фотосинтетических пигментов и интенсивности флуоресценции хлорофилла осуществляли с помощью спектрофлуориметра СМ 2203. Математическую обработку цифрового материала выполняли в Excel.

*Результаты и их обсуждение.* Установлено, что стратегия адаптации травянистых растений к произрастанию в техногенной среде связана с тем, что их фотосинтетический аппарат стремится частично компенсировать незначительное содержание зольных элементов более высокой концентрацией фотосинтетических пигментов. Среди представителей семейства Астровые *Asteraceae*, Бобовые *Fabaceae*, Злаки *Gramineae* и Капустные *Brassicaceae* клевер луговой *Trifolium pratense* (семейство Бобовые *Fabaceae*) характеризуется самым высоким содержанием пигментов фотосинтеза по сравнению с другими исследуемыми видами травянистых растений как в техногенных, так и в фоновых условиях. Спектры флуоресценции хлорофилла всех рассматриваемых травянистых растений в отличие от древесных характеризуются наличием не двух, а только одного пика в области 670–685 нм, что требует более глубоких и детальных дальнейших исследований в этом направлении.

*Заключение.* В условиях влияния техногенных элементов выбросов промышленных предприятий травянистые растения могут проявлять тенденцию более интенсивной деятельности фотосинтетического аппарата, что позволяет им адаптироваться к стрессовым условиям окружающей среды.

*Ключевые слова:* травянистые растения, хлорофилл, флуоресценция, техногенное влияние, адаптация.

## The Content of Photosynthesis Pigments and Chlorophyll Fluorescence Spectra of Herbaceous Plants in Technogenic Environmental Impact Conditions

E.G. Tyulkova

Educational Establishment «Belarusian Trade and Economic University of Consumer Cooperatives»

*This article discusses and analyzes in a comparative aspect features of chlorophyll a, b and carotenoid content in leaf blades of most common herbaceous plants growing in industrial areas and background conditions, as well as chlorophyll fluorescence spectra as criteria of vegetation adaptation to growing in industrial conditions.*

The research purpose is to establish the behavior of the herbaceous plants photosynthetic pigment concentrations and chlorophyll fluorescence spectra as parameters of plant adaptation to the technogenic conditions and environment pollution bioindicators.

**Material and methods.** The object of the research is the most common herbaceous vegetation of technogenic and background conditions. Determination of photosynthetic pigments concentration and chlorophyll fluorescence intensity was carried out using the spectrofluorimeter CM 2203. Mathematical processing of the digital material was carried out in Excel.

**Findings and their discussion.** It is established that the strategy of grassy plants adaptation to growth in the technogenic environment is connected with the fact that their photosynthetic apparatus seeks to compensate partially the insignificant content of cindery elements by photosynthetic pigments of higher concentration. Among representatives of the family of Asteraceae, Fabacea, Gramineae and Brassicaceae red clover *Trifolium pratense* (Fabaceae family) has the highest content of photosynthetic pigments in comparison with other kinds of herbaceous plants studied both in technogenic and background conditions. Chlorophyll fluorescence spectra of all the studied herbaceous plants unlike wood are characterized by the presence of not two but only one peak in the region of 670–685 nm, which requires deeper and detailed further investigations in this direction.

**Conclusion.** Under the influence of emissions by industrial enterprises of technogenic elements, herbaceous plants may tend to intensify photosynthetic activity, which allows them to adapt to stressful environmental conditions.

**Key words:** herbaceous plants, chlorophyll, fluorescence, technogenic influence, adaptation.

Ключевым компонентом в решении проблемы обеспечения качества условий для роста и развития растений является использование методов биологического мониторинга, позволяющих получить интегральную оценку последствий воздействия комплекса всех внешних факторов на представителей флоры [1; 2]. Одним из направлений фитоиндикации выступает определение экологически значимых техногенных нагрузок на основе реакций растительных организмов, произрастающих в данной среде, и оценка степени последствий таких нагрузок. Воздействие атмосферного воздуха промышленных предприятий и автотранспорта – причина адаптации и трансформации травяного покрова, связанная со способностью растений изменять (снижать или повышать) концентрацию пигментов фотосинтеза, активизировать работу системы биохимической защиты и компенсировать стрессовое состояние растений [2–4].

В настоящее время наибольшее развитие получили люминесцентные и спектральные методы, которые перспективны для диагностики состояния клеток растений в условиях техногенного загрязнения их среды обитания [5–8]. Это связано с тем, что хлорофилл – своеобразный природный датчик состояния клеток растений, из-за чего какое-либо негативное влияние вызывает изменения его оптических свойств. В результате возможна трансформация спектров поглощения хлорофилла, которые с помощью люминесцентных методов реально регистрировать даже на начальных этапах внешнего воздействия [9].

Цель исследования – установить характер изменения концентраций фотосинтетических пигментов травянистых растений и спектров флуоресценции хлорофилла как показателей адаптации растений к техногенным условиям и биоиндикаторов загрязнения среды их обитания.

**Материал и методы.** В качестве материалов травянистых растений использовались тысячелистник обыкновенный *Achillea millefolium*, клевер луговой *Trifolium pratense*, ежа сборная *Dactylis glomerata*, икотник серый *Berteroa incana* как наиболее распространенные и часто встречающиеся виды травянистых растений на изучаемых территориях. Пробы листьев отбирали в окружении отдельных промышленных предприятий города Гомеля – ОАО «Гомельстекло» и ОАО «Гомельдрев», которые различаются спецификой промышленного производства и, соответственно, уровнем техногенного влияния на состояние атмосферного воздуха. Кроме того, выбор данных промышленных территорий для отбора проб травянистых растений также связан с тем, что по результатам проведенных исследований здесь отмечена самая высокая и пониженная средняя зольность указанных выше травянистых растений. Средняя зольность находилась с учетом зольности отдельных частей растений – цветка, листа, стебля и корня – методом озоления предварительно высушенных образцов в муфельной печи.

С целью проведения сравнительной оценки концентрации фотосинтетических пигментов использовались фоновые условия, в качестве которых выступила пригородная зона города Гомеля (смешанный лес), свободная от влияния промышленной деятельности и интенсивного транспорта.

Для определения концентрации хлорофилла *a*, *b*, каротиноидов и оценки интенсивности флуоресценции хлорофилла листовых пластинок травянистых растений применяли спектрофлуориметр CM 2203. С этой целью были приготовлены вытяжки из навески сырых листьев массой 100–150 мг в 100 % ацетоне [10].

Среднюю концентрацию хлорофилла *a*, *b* и каротиноидов (использовали 10 параллельных определений) определяли по формулам 1, 2, 3 и 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 ( $\text{мг/дм}^3$ );  $D_{440,5}$ ,  $D_{644}$ ,  $D_{662}$  – оптическая плотность при длинах волн 440,5 нм, 644 нм и 662 нм.

**Результаты и их обсуждение.** В настоящее время известно, что очень важным показателем функционального состояния растений выступает их ассимиляционная активность. При этом техногенное воздействие может быть причиной как более высокой концентрации хлорофилла, увеличения активности фотосинтеза и более интенсивного синтеза органических веществ, так и резкого снижения данных показателей [2–4]. В наших исследованиях концентрация хлорофилла  $a$ ,  $b$  и каротиноидов в пробах травянистых растений, отобранных в окружающей промышленности предприятий, по сравнению с фоновыми условиями оказалась значительно ниже (табл. 1). Исключение составил хлорофилл  $a$  и  $b$  икотника серого *Berteroa incana*, произрастающего вблизи ОАО «Гомельдрев», и хлорофилл  $b$  клевера лугового *Trifolium pratense* с территории ОАО «Гомельстекло».

Для выявления различий между исследуемыми параметрами в техногенных и фоновых условиях осуществлялся  $t$ -тест на проверку равенства средних значений (табл. 2). Так как полученные  $p$ -значения меньше 0,05, гипотеза о достоверности различий между концентрацией хлорофилла и каротиноидов в техногенных и фоновых условиях подтверждается на всех территориях для всех представителей.

Если сравнить концентрацию хлорофилла всех исследуемых травянистых растений, то клевер луговой *Trifolium pratense* (семейство Бобовые *Fabaceae*) характеризуется самым высоким содержанием пигментов фотосинтеза по сравнению с другими видами травянистых растений как в техногенных, так и в фоновых условиях (табл. 1). Минимальная концентрация фотосинтетических пигментов отмечена у икотника серого *Berteroa incana* (семейство Капустные *Brassicaceae*).

С целью проведения сравнительного анализа тенденции изменения концентрации хлорофилла и каротиноидов в техногенных условиях с учетом зольности растений использовали среднее значение накопления зольных элементов исследуемыми частями растений на изучаемых территориях (табл. 3). При этом максимальная средняя зольность тысячелистника обыкновенного *Achillea millefolium* и клевера лугового *Trifolium pratense* приходилась на территорию ОАО «Гомельдрев», минимальная – ОАО «Гомельстекло»; тогда как у ежи сборной *Dactylis glomerata* наблюдалась противоположная тенденция. Минимальная зольность икотника серого *Berteroa incana* приходилась на территорию ОАО «Гомельстекло», тогда как по максимальному содержанию зольных элементов для данного представителя травянистых растений не прослеживалась тенденция накопления в пределах рассматриваемых территорий.

При использовании показателя зольности выявлено, что у тысячелистника обыкновенного *Achillea millefolium* (семейство Астровые *Asteraceae*) и клевера лугового *Trifolium pratense* (семейство Бобовые *Fabaceae*) на территории ОАО «Гомельстекло» наблюдается более высокое содержание фотосинтетических пигментов при минимальной зольности (табл. 1, 3). Ежа сборная *Dactylis glomerata* (семейство Злаки *Gramineae*) при несколько пониженной зольности проб на территории ОАО «Гомельдрев» также характеризуется более высокой концентрацией хлорофилла и каротиноидов. Возможно, таким образом проявляется стратегия адаптации травянистых растений к произрастанию в техногенной среде, связанная с высоким содержанием хлорофилла и каротиноидов при незначительной концентрации зольных элементов. Что касается икотника серого *Berteroa incana*, то здесь при более высокой зольности (территория ОАО «Гомельдрев») содержание хлорофилла и каротиноидов также повышается, тогда как на фоне низкой зольности (территория ОАО «Гомельстекло») концентрация пигментов фотосинтеза также понижена. Это свидетельствует о том, что у отдельных представителей травянистых растений в качестве результата влияния техногенных элементов выбросов промышленных предприятий на рост и развитие возможны пониженное накопление зольных элементов и снижение концентрации фотосинтетических пигментов.

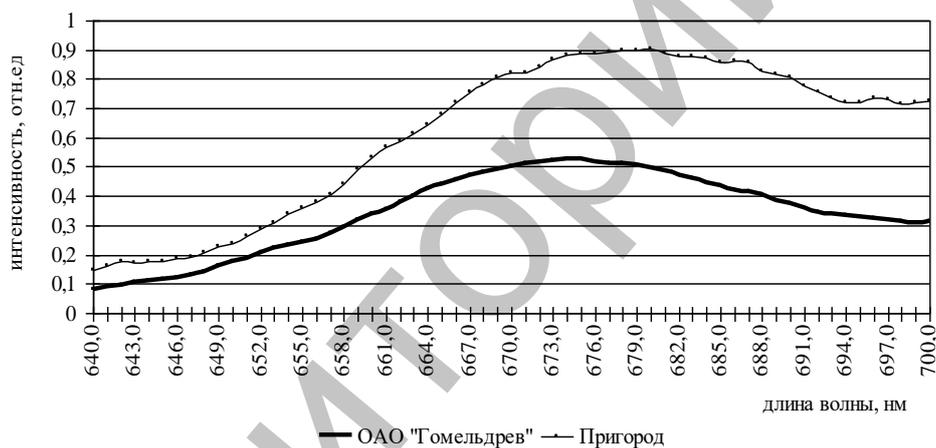
Как уже отмечалось, преимущество люминесцентных и спектральных методов заключается в том, что они достаточно эффективны для диагностики состояния клеток растений в условиях техногенного загрязнения их среды обитания уже на ранних этапах негативных проявлений. В этом направлении полученные нами результаты определения максимальной флуоресценции хлорофилла свидетельствуют о том, что все исследуемые представители независимо от концентрации хлорофилла характеризуются максимальной величиной флуоресценции хлорофилла в фоновых условиях по сравнению с техногенной зоной вблизи ОАО «Гомельдрев» (рис. 1а). Тогда как при произрастании в окружении ОАО «Гомельстекло» хлорофилл листовых пластинок флуоресцирует более интенсивно в промышленной зоне по сравнению с фоновыми условиями (рис. 1б).

Если учитывать, что максимальная интенсивность флуоресценции хлорофилла зависит от интенсивности возбуждения светом, обусловлена количеством возбужденных молекул хлорофилла и отражает динамическое равновесие процесса восстановления первичного акцептора в фотосистеме 2 и его очередного окисления следующими переносчиками электронов, то в конечном итоге этот показатель характеризует эффективность использования света в фотосинтезе. Таким образом, в техногенных условиях травянистые растения в одних случаях (тысячелистник обыкновенный *Achillea millefolium*, клевер луговой *Trifolium pratense*) проявляют тенденцию частичной компенсации незначительного содержания фотосинтетических пигментов более эффективным использованием

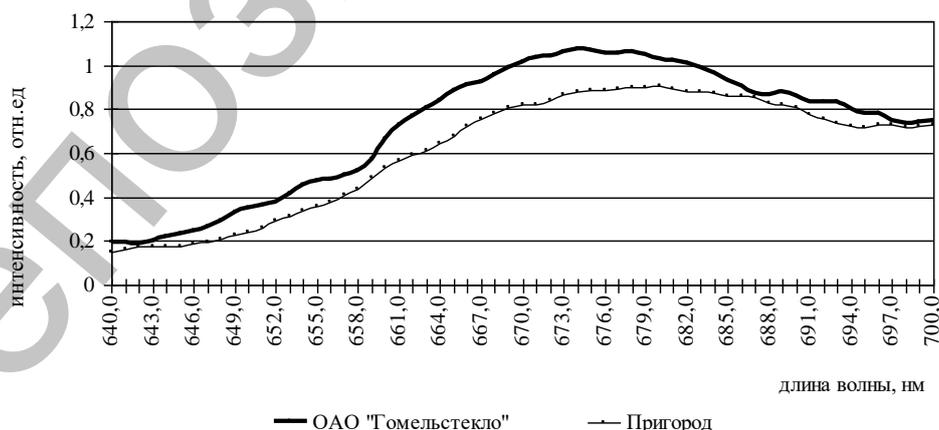
энергии света для фотосинтеза и накоплением зольных элементов (пробы с территории ОАО «Гомельдрев»); в других – ежа сборная (*Dactylis glomerata*) – при низкой зольности повышают концентрацию хлорофилла, каротиноидов и интенсивность фотосинтеза (пробы с территории ОАО «Гомельдрев»), что позволяет растениям адаптироваться к произрастанию в условиях воздействия техногенных элементов выбросов промышленных предприятий. Также возможно угнетение роста и развития растений (на примере икотника серого *Berteroa incana*), когда при низкой концентрации пигментов фотосинтеза, зольных элементов и интенсивной флуоресценции хлорофилла происходит снижение эффективности использования световой энергии в процессе фотосинтеза (территория ОАО «Гомельстекло»). «Идеальным» вариантом в наших исследованиях явились пробы икотника серого *Berteroa incana*, отобранные в окружении ОАО «Гомельдрев», в которых концентрация хлорофилла, каротиноидов и величина зольности достаточно высокие, а флуоресценция хлорофилла ниже по сравнению с фоновыми условиями, что свидетельствует о благоприятных условиях для роста и развития данного представителя.

Следует отметить, что в отличие от литературных данных, полученных для древесных растений [8], в наших исследованиях спектры флуоресценции хлорофилла всех рассматриваемых травянистых растений характеризуются наличием не двух, а только одного пика в области 670–685 нм (рис.). Полученные результаты требуют более глубоких и детальных исследований спектров флуоресценции хлорофилла травянистых растений в более широком волновом диапазоне и на данном этапе не позволяют в сравнительном плане проанализировать интенсивность функционирования фотосистемы 1 и фотосистемы 2.

В табл. 4 представлены результаты определения интенсивности флуоресценции хлорофилла и индекса жизнеспособности растений (отношение  $F_{\text{макс}}/F_{\text{стац}}$ ) в промышленной зоне и фоновых условиях.



а)



б)

Рис. Спектры флуоресценции хлорофилла листовых пластинок тысячелистника обыкновенного *Achillea millefolium* в техногенной зоне и фоновых условиях (остальные представители – аналогично)

Таблица 1

Содержание фотосинтетических пигментов в листовых пластинках травянистых растений

Место отбора проб	Содержание фотосинтетических пигментов, мг/л															
	тысячелистник обыкновенный <i>Achillea millefolium</i>				клевер луговой <i>Trifolium pratense</i>				ежа сборная <i>Dactylis glomerata</i>				икотник серый <i>Berteroa incana</i>			
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a+b</i>	каротиноиды	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a+b</i>	каротиноиды	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a+b</i>	каротиноиды	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a+b</i>	каротиноиды
ОАО «Гомель-Древ»	4,35±0,05	0,75±0,03	5,09±0,09	2,14±0,02	11,01±0,15	2,14±0,02	13,15±0,13	2,83±0,03	8,80±0,12	2,31±0,01	11,10±0,11	2,27±0,03	7,45±0,06	1,78±0,05	9,23±0,11	2,66±0,03
ОАО «Гомель-стекло»	5,38±0,06	1,71±0,02	7,10±0,08	1,97±0,02	12,45±0,24	2,59±0,03	15,04±0,21	3,67±0,06	8,35±0,08	2,20±0,05	10,55±0,13	2,78±0,03	3,25±0,04	1,00±0,04	4,25±0,08	1,60±0,02
Пригород	13,14±0,22	2,38±0,01	15,52±0,23	4,34±0,06	22,12±1,08	2,57±0,38	24,69±0,70	5,96±0,19	13,56±0,16	2,67±0,02	16,23±0,18	4,80±0,05	5,48±0,06	1,31±0,05	6,79±0,11	4,73±0,03

Таблица 2

p-значения при двухвыборочном t-тесте содержания фотосинтетических пигментов в листовых пластинках травянистых растений

Место отбора проб	p-значения при двухвыборочном t-тесте															
	тысячелистник обыкновенный <i>Achillea millefolium</i>				клевер луговой <i>Trifolium pratense</i>				ежа сборная <i>Dactylis glomerata</i>				икотник серый <i>Berteroa incana</i>			
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a+b</i>	каротиноиды	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a+b</i>	каротиноиды	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a+b</i>	каротиноиды	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a+b</i>	каротиноиды
ОАО «Гомель-Древ»	3,10x10 <sup>-24</sup>	6,50x10 <sup>-23</sup>	2,30x10 <sup>-26</sup>	5,40x10 <sup>-20</sup>	3,21x10 <sup>-25</sup>	9,10x10 <sup>-13</sup>	1,20x10 <sup>-27</sup>	5,20x10 <sup>-23</sup>	9,35x10 <sup>-23</sup>	2,80x10 <sup>-13</sup>	2,50x10 <sup>-23</sup>	1,70x10 <sup>-20</sup>	4,41x10 <sup>-21</sup>	4,60x10 <sup>-18</sup>	5,70x10 <sup>-22</sup>	1,70x10 <sup>-18</sup>
ОАО «Гомельстекло»	1,05x10 <sup>-23</sup>	1,0x10 <sup>-15</sup>	5,50x10 <sup>-27</sup>	1,20x10 <sup>-20</sup>	7,92x10 <sup>-27</sup>	0,003	9,80x10 <sup>-27</sup>	5,90x10 <sup>-21</sup>	7,65x10 <sup>-24</sup>	2,90x10 <sup>-12</sup>	1,50x10 <sup>-26</sup>	5,30x10 <sup>-22</sup>	1,04x10 <sup>-20</sup>	4,20x10 <sup>-13</sup>	1,40x10 <sup>-21</sup>	3,30x10 <sup>-25</sup>

Таблица 3

**Средняя зольность травянистых растений**

Место отбора проб	Средняя зольность, %			
	тысячелистник обыкновенный <i>Achillea millefolium</i>	клевер луговой <i>Trifolium pratense</i>	ежа сборная <i>Dactylis glomerata</i>	икотник серый <i>Berteroa incana</i>
1	4,0±0,020	5,3±0,007	5,4±0,004	7,5±0,013
2	8,9±0,009	5,8±0,007	4,3±0,005	5,4±0,002
3	3,5±0,007	4,4±0,011	5,3±0,016	5,4±0,018
4	3,0±0,010	4,0±0,008	6,8±0,011	4,8±0,011
5	4,3±0,013	4,6±0,013	7,9±0,013	5,8±0,007
6	4,4±0,008	4,6±0,013	4,0±0,015	6,8±0,011
7	4,5±0,010	4,4±0,011	5,0±0,008	5,1±0,008
8	3,0±0,011	3,4±0,009	3,1±0,013	3,5±0,008

**Примечание:** 1 – ОАО «Гомельский химический завод», 2 – ОАО «Гомельдрев», 3 – ОАО «Гомельский завод литья и нормалей», 4 – ОАО «Гомельстекло», 5 – объездная дорога, 6 – селитебная зона (частная застройка), 7 – селитебная зона (многоэтажная застройка), 8 – пригород (прилегающая территория).

Таблица 4

**Характеристика флуоресценции хлорофилла травянистых растений**

Место отбора проб	Исследуемые травянистые растения							
	тысячелистник обыкновенный <i>Achillea millefolium</i>		клевер луговой <i>Trifolium pratense</i>		ежа сборная <i>Dactylis glomerata</i>		икотник серый <i>Berteroa incana</i>	
	$F_{max}$	$F_{max}/F_{стац.}$	$F_{max}$	$F_{max}/F_{стац.}$	$F_{max}$	$F_{max}/F_{стац.}$	$F_{max}$	$F_{max}/F_{стац.}$
ОАО «Гомельдрев»	0,526	2,35	0,412	1,96	0,545	2,08	0,495	2,16
ОАО «Гомельстекло»	1,077	1,44	1,096	1,39	1,144	1,52	1,270	1,69
Пригород	0,903	1,24	0,823	1,16	0,954	1,28	0,996	1,41

Данные табл. 4 свидетельствуют о том, что травянистые растения в фоновых условиях при незначительной зольности и максимальной концентрации хлорофилла характеризуются самым низким индексом жизнеспособности, тогда как в техногенной зоне они отличаются более высокой величиной данного показателя. При этом все пробы, отобранные в окружении ОАО «Гомельдрев», отличаются наиболее высоким значением индекса жизнеспособности при самой низкой величине максимальной интенсивности флуоресценции хлорофилла. Это указывает на реализацию адаптивных стратегий растений в виде наиболее интенсивного использования света в процессе фотосинтеза, наличия значительных различий между максимальным и стационарным уровнем флуоресценции хлорофилла и характеризует обозначенную территорию как более благоприятную для произрастания травянистых растений по сравнению с ОАО «Гомельстекло».

**Заключение.** В техногенных условиях травянистые растения в одних случаях (тысячелистник обыкновенный *Achillea millefolium*, клевер луговой *Trifolium pratense*) проявляют тенденцию частичной компенсации незначительного содержания фотосинтетических пигментов более эффективным использованием энергии света для фотосинтеза и накоплением зольных элементов (пробы с территории ОАО «Гомельдрев»); в других – ежа сборная (*Dactylis glomerata*) – при низкой зольности повышают концентрацию хлорофилла, каротиноидов и интенсивность фотосинтеза (пробы с территории ОАО «Гомельдрев»), что позволяет растениям адаптироваться к произрастанию в условиях воздействия техногенных элементов выбросов промышленных предприятий. Также возможно угнетение роста и развития растений (на примере икотника серого *Berteroa incana*), когда при низкой концентрации пигментов фотосинтеза, зольных элементов и интенсивной флуоресценции хлорофилла происходит снижение эффективности использования световой энергии в процессе фотосинтеза. Клевер луговой

*Trifolium pratense* (семейство Бобовые *Fabaceae*) характеризуется самым высоким содержанием пигментов фотосинтеза по сравнению с другими исследуемыми видами травянистых растений как в техногенных, так и в фоновых условиях. Спектры флуоресценции хлорофилла всех рассматриваемых травянистых растений характеризуются наличием не двух, а только одного пика в области 670–685 нм, что требует более глубоких и детальных исследований в этом направлении. Все пробы, отобранные в окружении ОАО «Гомельдрев», отличаются наиболее высоким значением индекса жизнеспособности при самой низкой величине максимальной интенсивности флуоресценции хлорофилла, что характеризует эту территорию как более благоприятную для произрастания травянистых растений по сравнению с ОАО «Гомельстекло».

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дроздова, Н.И. Изучение особенностей накопления тяжелых металлов в системе «почва–растения» в условиях промышленных зон г. Гомеля / Н.И. Дроздова, Т.В. Макаренко // Экологический вестник. – 2015. – № 4(34). – С. 96–102.
2. Сергейчик, С.А. Эколого-физиологический мониторинг устойчивости ассимиляционного аппарата сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) в техногенной среде / С.А. Сергейчик // Экологический вестник. – 2013. – № 1. – С. 89–97.
3. 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.
4. 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; ФГОУ ВПО «Ижевская гос. с.-х. академия». – Уфа, 2009. – 21 с.
5. Рубин, А.Б. Биофизические методы в биологическом мониторинге / А.Б. Рубин // Соросовский образовательный журнал. – 2000. – № 4. – С. 7–13.
6. Использование переменной флуоресценции хлорофилла для оценки физиологического состояния фотосинтетического аппарата растений / В.Н. Гольцев [и др.] // Физиология растений. – 2016. – № 6. – С. 881–901.
7. Кузнецова, Е.А. Исследование флуоресценции листьев растений при повышенных температурах / Е.А. Кузнецова // Лесной вестник. – 2000. – № 2. – С. 127–139.
8. Флуоресценция хлорофилла растений как показатель экологического стресса: теоретические основы применения метода / В.С. Лысенко [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 4. – С. 112–120.
9. Фатеева, Н.Л. Дистанционная диагностика состояния растений на основе метода лазерно-индуцированной флуоресценции: автореф. ... канд. физ.-мат. наук: 01.04.05 / Н.Л. Фатеева; Ин-т оптики атмосферы им. В.Е. Зуева, Сибир. отд-ние РАН. – Новосибирск, 2007. – 19 с.
10. Шубина, А.Г. Содержание хлорофилла и каротиноидов в листьях одуванчика лекарственного (*Taraxacum officinale*) и березы повислой (*Betula pendula* Roth.), растущих в г. Тамбове / А.Г. Шубина // Вестник ТГУ. – 2011. – Вып. 1. – С. 353–355.

## REFERENCES

1. Drozdova N.I., Makarenko T.V. *Ekologichski vestnik* [Ecological Bulletin], 2015, 4(34), pp. 96–102.
2. Sergeichik S.A. *Ekologichski vestnik* [Ecological Bulletin], 2013, 1, pp. 89–97.
3. Savintseva L.S. *Ekologicheskii analiz adaptivnykh mekhanizmov rastenii v urbanizirovannoi srede: avtoref. ... kand biol. nauk* [Ecological Analysis of Plants Adaptive Mechanisms in Urban Environment: PhD (Biology) Dissertation Summary], Vyat. gos. s-kh akad., Petrozavodsk, 2015, 23 p.
4. Dvoeglazova A.A. *Ekologo-biologicheskiye osobennosti drevesnykh i travianistykh rastenii v nasazhdeniyakh urbanoekosistemi krupnogo promyshlennogo tsentra (na primere g. Izhevsk): avtoref. ... kand biol. nauk* [Ecological and Biological Features of Wood and Herbaceous Plants in Plantations of a Large Industrial Centre Urban Ecosystem (the City of Izhevsk): PhD (Biology) Dissertation Summary], Izhevsk State Academy of Agricultural Sciences, Ufa, 2009, 21 p.
5. Rubin A.B. *Sorosaovski obrazovatelni zhurnal* [Soros Education Journal], 2000, 4, pp. 7–13.
6. Goltsev V.N. *Fiziologiya rastenii* [Plant Physiology], 2016, 6, pp. 881–901.
7. Kuznetsova E.A. *Lesnoi vestnik* [Bulletin of Flattering], 2000, 2, pp. 127–139.
8. Lyenko V.S. *Fundamentalniye issledovaniya* [Fundamental Research], 2013, 4, pp. 112–120.
9. Fateyeva N.L. *Dstantsionnaya diagnostika sostoyaniya rastenii na osnove metoda lazerno-indutsirovannoi fluorestsentsii: avtoref. ... kand. f.-m. nauk* [PhD (Physics and Mathematics) Dissertation Summary] [Remote Diagnostics of Plant Condition Based on the Method of Laser-Induced Fluorescence: PhD (Physics and Mathematics) Dissertation Summary], Institut optiki atmosferi imeni V.E. Zueva, Novosibirsk, 2007, 19 p.
10. Shubina A.G. *Vestnik TGU* [Journal of TSU], 2011, 1, pp. 353–355.

Поступила в редакцию 13.02.2018

Адрес для корреспонденции: e-mail: tut-3@mail.ru – Тюлькова Е.Г.