ЭКОЛОГИЯ/ECOLOGY

DOI: https://doi.org/10.23649/JAE.2023.40.15

ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА СОДЕРЖАНИЕ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ В ЛИСТЬЯХ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ

Научная статья

Уромова И.П.[1], Штырлина О.В.[2], Дедюра И.С.[3, *]
[1] ORCID : 0000-0003-1000-3603;
[3] ORCID : 0000-0001-9397-4434;
[1, 2, 3] Нижегородский государственный педагогический университет им. К. Минина, Нижний Новгород, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (bibichkina[at]gmail.com)

Аннотация

В статье представлены результаты содержания фотосинтетических пигментов (хлорофилл a, хлорофилл b, каротиноиды) в листьях древесных растений (*Tilla Cordata Mill*., *Popolus balsamifera*, *Acer platanoides Acer negundo L*., *Betula pendula*) в условиях города Нижнего Новгорода. Результаты исследований фотосинтетических пигментов в листовых пробах изучаемых растений показали, что в сравнении с контрольными вариантами (сквер) уменьшается содержание хлорофилла a на 1,7-14,8% у всех изучаемых растений, увеличивается содержание хлорофилла b на 3,1-7,3% у всех растений, за исключением *Tilla Cordata Mill*. и повышается содержание каротиноидов на 4,6-22,4%, соответственно. Показатель отношения хорофиллов a/b, характеризующий высокую фотосинтетическую активность листьев соответствовал отношению ½ у вида *Tilla Cordata Mill*. в контрольном варианте. Таким образом, можно предположить, что изменение содержания пигментного состава растения зависит от биологической характеристики вида и приспособленности растений к местопроизрастанию с определенной характеристикой окружающей среды.

Ключевые слова: хлорофилл a, хлорофилл b, каротиноиды, антропогенные факторы, листья древесных растений.

EFFECT OF ANTHROPOGENIC FACTORS ON THE CONTENT OF PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS IN THE LEAVES OF WOODY PLANTS UNDER URBAN CONDITIONS

Research article

Uromova I.P.[1], Shtirlina O.[2], Dedyura I.S.[3, *]
[1] ORCID : 0000-0003-1000-3603;
[3] ORCID : 0000-0001-9397-4434;
[1, 2, 3] Minin Nizhny Novgorod State Pedagogical University, Nizhny Novgorod, Russian Federation

* Corresponding author (bibichkina[at]gmail.com)

Abstract

The article presents the results of the content of photosynthetic pigments (chlorophyll a, chlorophyll b, carotenoids) in the leaves of woody plants (*Tilla Cordata Mill*., *Popolus balsamifera*, *Acer platanoides Acer negundo L*., *Betula pendula*) in the conditions of Nizhny Novgorod. The results of studies of photosynthetic pigments in leaf samples of the studied plants showed that in comparison with control variants (public garden) the content of chlorophyll a decreases by 1.7-14.8% in all studied plants, the content of chlorophyll b increases by 3.1-7.3% in all plants, except for *Tilla Cordata Mill*, and the content of carotenoids increases by 4.6-22.4%, respectively. The index of chorophyll a/b ratio characterizing high photosynthetic activity of leaves corresponded to the ratio ½ in *Tilla Cordata Mill*. in the control variant. Thus, it can be assumed that the change in the content of pigment composition of the plant depends on the biological characteristic of the species and adaptation of plants to the habitat with a certain characteristic of the environment.

Keywords: chlorophyll a, chlorophyll b, carotenoids, anthropogenic factors, leaves of woody plants.

Введение

Листья – это основные органы древесных растений, которые способны осуществлять фотосинтез [13]. Фотосинтетическая деятельность является основным процессом метаболизма в растениях, который непосредственно проявляется в росте и развитии древесных растений. Поэтому ассимиляционный аппарат способен реагировать на неблагоприятные факторы внешней среды некоторыми физиолого-биохимическими изменениями, связанными с содержанием пигментного комплекса. В связи с этим, исследование пигментного комплекса древесных растений является актуальным, так как зеленые насаждения в условиях города выполняют в основном защитную роль, которая непосредственно связана с эффективным функционированием фотосинтетических пигментов.

В настоящее время среди ученых исследователей нет единого мнения относительно изменений в составе пигментного комплекса в ответ на действия антропогенных факторов. В одних случаях, авторы отмечают [10], что в листьях древесных растений в условиях города в связи с увеличивающейся антропогенной нагрузкой происходит повышение содержания каротиноидов. Другие авторы отмечают в своих исследованиях повышение содержания суммы хлорофиллов у одних растений (листья тополя), а у других (листья березы) количество хлорофилла a, наоборот снижается, а увеличивается содержание хлорофилла b и каротиноидов [2], [3]. Отмечается также, что характер изменения пигментного состава чаще всего связан с биологической характеристикой вида [1].

Целью нашей работы было изучить содержание фотосинтетических пигментов древесных растений в зависимости от антропогенных факторов в городской среде.

Методы и принципы исследования

Объектами исследования служили древесные растения 5 видов: липа мелколистная (*Tilla cordata Mill.*), тополь бальзамический (*Populus balsamitera L.*), клен остролистный (*Acer platanoides*), клен американский (*Acer negundo L.*), береза повислая (*Betula pendula*). Данные виды древесных растений входят в основной состав насаждений и активно участвуют в сохранении окружающей природной среды и защите человека от негативных антропогенных воздействий [7]. Изучаемые виды произрастают в составе различных насаждений: на территории сквера (контрольный вариант) и вдоль автомагистрали по ул. С. Акимова Канавинского района города Нижний Новгород (опытный вариант).

Листья для лабораторного эксперимента отбирали с 10 деревьев каждого изучаемого вида (по 30 штук с дерева). Отбиралась для исследования средняя листовая проба, лабораторный анализ проводился в четырехкратной повторности.

Концентрацию пигментов (хлорофилл a, хлорофилл b, каротиноиды) определяли на спектрофотометре (спектрофотометр ПЭ-5400 ВИ, Россия) в ацетоновых вытяжках с длинами волн 662, 644, 440,5 нм. и рассчитывали по уравнениям Холма-Веттштейна. После установления концентрации пигментов в экстракте рассчитывали их количественное содержание (X, мг/г) по формуле:

$$X = V \cdot C \cdot 100/m \cdot 1000 \text{ ,}$$

где V – объем спиртового экстракта, мл;

C – концентрация пигмента в спиртовом растворе, мг/л;

m – навеска, г. [4].

Полученные данные были обработаны статистически с использованием компьютерных программ MicrosoftExcel [5].

Основные результаты и обсуждения

Наиболее значимыми физиологическими показателями, характеризующими фотосинтетический процесс исследуемых древесных растений в условиях города Нижнего Новгорода являются пигменты (хлорофилл a, b, каротиноиды) (табл. 1).

Таблица 1 - Влияние антропогенных факторов на содержание фотосинтетических пиментов в листьях древесных растений

DOI: https://doi.org/10.23649/JAE.2023.40.15.1

Вид древесного растения	Вариант	Содержание пигментов, мг/г		
		хлорофилл a	хлорофилл b	каротиноиды
Липа мелколистная *(Tilia cordata Mill.)*	сквер	1,89	0,91	9,41
	вдоль автотрассы	1,67	1,68	10,9
Тополь бальзамический *(Popolus balsamifera)*	сквер	1,81	1,80	10,7
	вдоль автотрассы	1,60	1,67	11,2
Клен остролистный (*Acer platanoides)*	сквер	1,82	1,99	11,31
	вдоль автотрассы	1,60	1,89	11,92
Клен американский *(Acer negundo L.)*	сквер	1,83	1,96	12,17
	вдоль автотрассы	1,56	1,90	12,41
Береза повислая (*Betula pendula*)	сквер	1,70	1,85	9,01
	вдоль автотрассы	1,63	1,78	11,03
$НСР_{05\ (вид)}$		*0,05*	*0,04*	*0,31*
$НСР_{05\ (вариант)}$		*0,08*	*0,05*	*0,68*

В опыте установлено, что наиболее высокое содержание хлорофилла a обнаружено у липы мелколистной в контрольном варианте. Достоверное превышение по данному показателю составило 4,3-10,1%, соответственно к изучаемым видам растений (рис. 1).

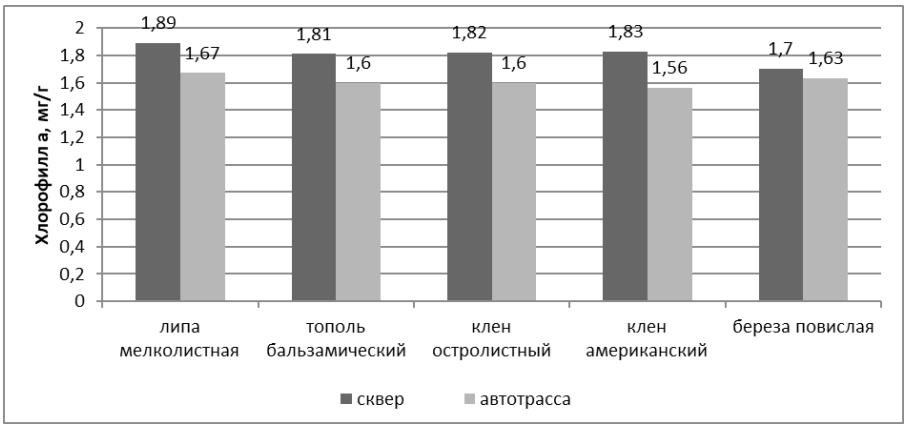

Рисунок 1 - Влияние антропогенных факторов на содержание хлорофилла а в листьях древесных растений
DOI: https://doi.org/10.23649/JAE.2023.40.15.2

Есть мнение, что под влиянием антропогенных факторов в условиях города происходит уменьшение содержания хлорофиллов а и b в составе пигментного комплекса. Причем, авторы отмечают более сильное снижение хлорофилла а, по сравнению с хлорофиллом b [10]. Результаты нашего лабораторного исследования подтверждают данное предположение вышеназванных исследователей. В опыте было отмечено уменьшение содержания хлорофилла а у всех изучаемых видов растений, по сравнению с контрольными вариантами на 0,07-0,22 мг/г сухого вещества, соответственно. Однако, снижение хлорофилла а у вида Betulla pendula было несущественным, в пределах ошибки опыта. Таким образом, результаты показали, что под влиянием антропогенных факторов у липы мелколистной, тополя бальзамического, клена остролистного и клена американского произошло заметное снижение хлорофилла а, что предопределяет его адаптационные возможности. Об этом свидетельствуют и данные исследователей [3], [8], которые в своих статьях отмечают, что некоторые лиственные растения в неблагоприятных антропогенных городских условиях испытывают снижение концентрации хлорофилла а в листьях.

Наибольшее содержание хлорофилла b было отмечено у клена остролистного и клена американского в контрольном варианте (рис. 2). Абсолютные показатели содержания хлорофилла b в листовых пробах клена американского ниже, чем у клена остролистного, т.е. разница не превышает ошибку опыта. Превышение по данному показателю составило 7,1-45,7%, соответственно по видам растений.

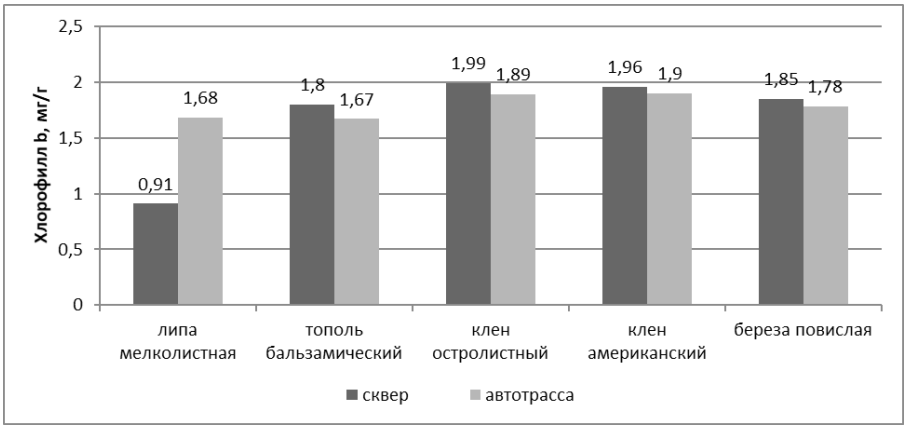

Рисунок 2 - Влияние антропогенных факторов на содержание хлорофилла b в листьях древесных растений
DOI: https://doi.org/10.23649/JAE.2023.40.15.3

Известно, что высокое содержание хлорофилла b обеспечивает некоторую устойчивость видам растений и, видимо способно выполнять защитную функцию, заключающуюся в предотвращении разрушения хлорофилла а [9], [10].

В опыте также было выявлено достоверное повышение хлорофилла b в контрольных вариантах у тополя бальзамического, клена остролистного, клена американского и березы повислой. Превышение по данному показателю составило 3,1-7,3%, соответственно. Исключение составляет липа мелколистная. В этом случае содержание хлорофилла b уменьшилось в контрольном варианте на 84,6%, по сравнению с данным показателем у растений, произрастающих вдоль автомагистрали. Кроме этого, одним из важных показателей является соотношение зеленых пигментов, так как возрастающее влияние антропогенных факторов в той или иной степени изменяют оптимальное соотношение данных пигментов, тем самым снижается продуктивность фотосинтеза [2], [3].

По мнению некоторых исследователей, отношение хлорофиллов а/ b у растений показывает высокую потенциальную фотосинтетическую активность. В ходе опыта было установлено, что отношение 1:2 характерно только для липы мелколистной в контрольном варианте. У остальных растений произошло снижение данного

показателя, что, видимо, связано с нарушением анатомо-фотосинтетических функций хлоропластов и отдельных клеточных компонентов [10], [11], [12].

Результаты исследований показали, что наибольше содержание каротиноидов было обнаружено у клена американского на 4,1-13,8% на опытном варианте, и на 7,6-35,1% в контрольном варианте, по сравнению с другими видами растений (рис. 3).

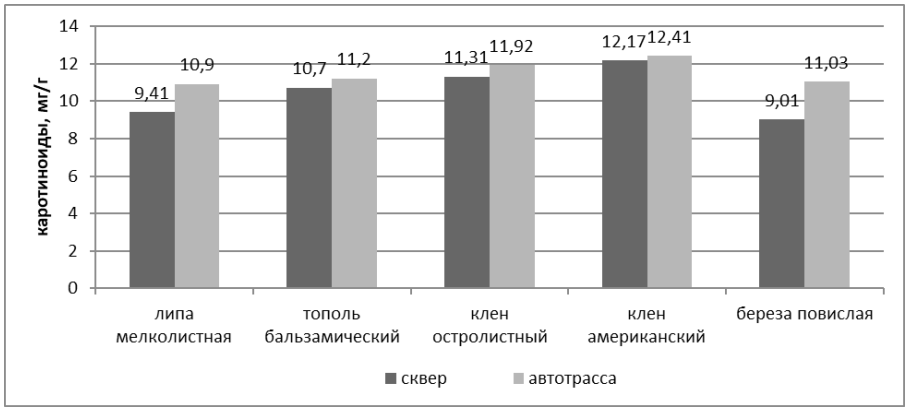

Рисунок 3 - Влияние антропогенных факторов на содержание каротиноидов в листьях древесных растений
DOI: https://doi.org/10.23649/JAE.2023.40.15.4

В результате эксперимента по исследованию пигментов произошло увеличение содержания каротиноидов у всех исследуемых видов растений, произрастающих в насаждениях вдоль автомагистрали. Причем, достоверное увеличение содержания каротиноидов было отмечено лишь у липы мелколистной (на 15,8%) и березы повислой (на 22,4%), по сравнению с контрольными вариантами. Есть мнение, что каротиноиды в условиях антропогенного загрязнения компенсируют недостаток хлорофилла а [6], другие авторы не отмечают его защитных свойств для стабилизации хлорофилла [11], [12], поэтому явной закономерности выявить не представляется возможным.

Заключение

Установлено, что в сравнении с контрольными вариантами (сквер) уменьшается содержание хлорофилла а на 1,7-14,8% у всех изучаемых растений, увеличивается содержание хлорофилла b на 3,1-7,3 % у всех растений, за исключением *Tilla Cordata Mill*. и повышается содержание каротиноидов на 4,6-22,4 %, соответственно. Показатель отношения хорофиллов a/b, характеризующий высокую фотосинтетическую активность листьев соответствовал отношению ½ у вида *Tilla Cordata Mill*. в контрольном варианте.

В итоге, можно предположить, что изменение содержания пигментного состава растения зависит от биологической характеристики вида и приспособленности растений к местопроизрастанию с определенной характеристикой окружающей среды.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Авдеева Е.В. Биоиндикация урбоэкосистем по морфологическим признакам хвойных растений / Е.В. Авдеева, А.И. Панов // Хвойные бореальной зоны. — 2017. — Т. XXXV. — № 1-2. — С. 7-14.
2. Бухарина И.Л. Городские насаждения: экологический аспект: монография / И.Л. Бухарина, А.Н. Журавлева, О.Г. Болышова. — Ижевск: Удмуртский университет, 2012. — 206 с.
3. Бухарина И.Л. Анализ содержания фотосинтетических пигментов в листьях древесных растений в условиях городской среды (на примере г. Набережные Челны) / И.Л. Бухарина, П.А. Кузьмин, И.И. Гибадулина // Вестник удмуртского Ун-та. Серия Биология. Науки о Земле. — 2013. — Вып. 1. — С. 20-25.
4. Гавриленко В.Ф. Большой практикум по фотосинтезу / В.Ф. Гавриленко, Т.В. Жигалова. — М.: Академия, 2003. — 256 с.
5. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. — М.: Альянс, 2011. — С. 165-202.
6. Калверт Т.М. Эколого-физиологические особенности древесных растений к условиям крупных промышленных центров / Т.М. Калверт // Лесоведение. — 2006. — №7. — С. 34-36.

7. Камерилова Г.С. Ландшафтно-экологический подход к организации научно-исследовательской деятельности студентов в вузе / Г.С. Камерилова, А.Е. Асташин, Н.И. Асташина // Вестник Мининского университета. — 2023. — № 11(2). — URL — https://www.minin-vestnik.ru/jour/article/view/1441/946 (дата обращения: 12.11.2023)

8. Кунина В.А. Состояние фотосинтетических пигментов листьев древесных растений в условиях городской среды / В.А. Кунина, О.Г. Белоус // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. — 2020. — Т. 6 (72). — № 2. — С. 108-118.

9. Параскевопуло М.Ф. Изучение пигментного состава некоторых видов древесных растений в условиях техногенного загрязнения города Красноярска / М.Ф. Параскевопуло // Хвойные бореальной зоны. — 2017. — Т. XXXV. — № 1-2. — С. 54-59.

10. Русак С.Н. Фотосинтетические пигменты сосны сибирской (Pinus sibirica DuTour) в биоиндикации условий окружающей среды / С.Н. Русак, И.И. Варлам, И.В. Кравченко [и др.] // Проблемы региональной экологии. — 2018. — № 3. — С. 6-11.

11. Соколова Г.Г. Динамика содержания пигментов в листьях клена ясенелистного (Acer negundo L.) в условиях города Барнаула / Г.Г. Соколова // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. — 2020. — Т.19. — № 1. — С. 229-235.

12. Соколова Г.Г. Влияние техногенного загрязнения на пигментный состав листьев березы повислой (Betula pendula Roth) в условиях города Барнаула / Г.Г. Соколова // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. — 2020. — Т.19. — № 1. — С. 223-228.

13. Старикова Е.А. Сезонная динамика содержания фотосинтетических пигментов у хвойных растений в условиях городской среды / Е.А. Старикова, О.Л. Воскресенская // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. — 2020. — №2 (30). — С. 32-42.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Avdeeva E.V. Bioindikacija urbojekosistem po morfologicheskim priznakam hvojnyh rastenij [Bioindication of Urban Ecosystems by Morphological Features of Coniferous Plants] / E.V. Avdeeva, A.I. Panov // Hvojnye boreal'noj zony [Coniferous Boreal Zones]. — 2017. — Vol. HHHV. — № 1-2. — P. 7-14. [in Russian]

2. Buharina I.L. Gorodskie nasazhdenija: jekologicheskij aspekt [Urban Plantings: Ecological Aspect]: monograph / I.L. Buharina, A.N. Zhuravleva, O.G. Bolyshova. — Izhevsk: Udmurt University, 2012. — 206 p. [in Russian]

3. Buharina I.L. Analiz soderzhanija fotosinteticheskih pigmentov v list'jah drevesnyh rastenij v uslovijah gorodskoj sredy (na primere g. Naberezhnye Chelny) [Analysis of the Content of Photosynthetic Pigments in the Leaves of Woody Plants in an Urban Environment (on the example of Naberezhnye Chelny)] / I.L. Buharina, P.A. Kuz'min, I.I. Gibadulina // Vestnik udmurtskogo Un-ta. Serija Biologija. Nauki o Zemle [Bulletin of the Udmurt University. Biology Series. Earth Sciences]. — 2013. — Iss. 1. — P. 20-25. [in Russian]

4. Gavrilenko V.F. Bol'shoj praktikum po fotosintezu [Big Workshop on Photosynthesis] / V.F. Gavrilenko, T.V. Zhigalova. — M.: Akademija, 2003. — 256 p. [in Russian]

5. Dospehov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoj obrabotki rezul'tatov issledovanij) [Methodology of Field Experience (with the basics of statistical processing of research results)] / B.A. Dospehov. — M.: Al'jans, 2011. — P. 165-202. [in Russian]

6. Kalvert T.M. Jekologo-fiziologicheskie osobennosti drevesnyh rastenij k uslovijam krupnyh promyshlennyh centrov [Ecological and Physiological Features of Woody Plants to the Conditions of Large Industrial Centers] / T.M. Kalvert // Lesovedenie [Forestry]. — 2006. — №7. — P. 34-36. [in Russian]

7. Kamerilova G.S. Landshaftno-jekologicheskij podhod k organizcii nauchno-issledovatel'skoj dejatel'nosti studentov v vuze [Landscape-ecological Approach to the Organization of Research Activities of Students at the University] / G.S. Kamerilova, A.E. Astashin, N.I. Astashina // Vestnik Mininskogo universiteta [Bulletin of Mininsky University]. — 2023. — № 11(2). — URL — https://www.minin-vestnik.ru/jour/article/view/1441/946 (accessed: 12.11.2023) [in Russian]

8. Kunina V.A. Sostojanie fotosinteticheskih pigmentov list'ev drevesnyh rastenij v uslovijah gorodskoj sredy [The State of Photosynthetic Pigments of Leaves of Woody Plants in an Urban Environment] / V.A. Kunina, O.G. Belous // Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Biologija. Himija [Scientific Notes of the V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry]. — 2020. — Vol. 6 (72). — № 2. — P. 108-118. [in Russian]

9. Paraskevopulo M.F. Izuchenie pigmentnogo sostava nekotoryh vidov drevesnyh rastenij v uslovijah tehnogennogo zagrjaznenija goroda Krasnojarska [The Study of the Pigment Composition of Some Species of Woody Plants in the Conditions of Technogenic Pollution of the City of Krasnoyarsk] / M.F. Paraskevopulo // Hvojnye boreal'noj zony [Coniferous Boreal Zones]. — 2017. — Vol. XXXV. — № 1-2. — P. 54-59. [in Russian]

10. Rusak S.N. Fotosinteticheskie pigmenty sosny sibirskoj (Pinus sibirica DuTour) v bioindikacii uslovij okruzhajushhej sredy [Photosynthetic Pigments of Siberian Pine (Pinus sibirica DuTour) in Bioindication of Environmental Conditions] / S.N. Rusak, I.I. Varlam, I.V. Kravchenko [et al.] // Problemy regional'noj jekologii [Problems of Regional Ecology]. — 2018. — № 3. — P. 6-11. [in Russian]

11. Sokolova G.G. Dinamika soderzhanija pigmentov v list'jah klena jasenelistnogo (Acer negundo L.) v uslovijah goroda Barnaula [Dynamics of Pigment Content in the Leaves of the Ash-leaved Maple (Acer negundo L.) in the Conditions of the City of Barnaul] / G.G. Sokolova // Problemy botaniki Juzhnoj Sibiri i Mongolii [Problems of Botany of Southern Siberia and Mongolia]. — 2020. — Vol.19. — № 1. — P. 229-235. [in Russian]

12. Sokolova G.G. Vlijanie tehnogennogo zagrjaznenija na pigmentnyj sostav list'ev berezy povisloj (Betula pendula Roth) v uslovijah goroda Barnaula [The Effect of Technogenic Pollution on the Pigment Composition of the Leaves of the Hanging Birch (Betula pendula Roth) in the Conditions of the City of Barnaul] / G.G. Sokolova // Problemy botaniki Juzhnoj

Sibiri i Mongolii [Problems of Botany of Southern Siberia and Mongolia]. — 2020. — Vol.19. — № 1. — P. 223-228. [in Russian]

13. Starikova E.A. Sezonnaja dinamika soderzhanija fotosinteticheskih pigmentov u hvojnyh rastenij v uslovijah gorodskoj sredy [Seasonal Dynamics of Photosynthetic Pigment Content in Coniferous Plants in Urban Environment] / E.A. Starikova, O.L. Voskresenskaja // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Povolzhskij region. Estestvennye nauki [News of Higher Educational Institutions. Volga Region. Natural Sciences]. — 2020. — №2 (30). — P. 32-42. [in Russian]