

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ У ХВОЙНЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Аннотация.

Актуальность и цели. В озеленении г. Йошкар-Олы основную долю составляют такие виды лиственных древесно-кустарниковых насаждений, как береза повислая, липа сердцелистная, сирень обыкновенная, клен американский, тополь пирамидальный и т.д. Хвойные растения используются в озеленении данного города не так часто, как лиственные виды. При этом большинство из них относятся к группе вечнозеленых растений и выполняют роль зеленых насаждений круглый год. В связи с высокой чувствительностью к газообразным загрязняющим веществам городов возникает проблема их использования в озеленении городов. Но такие виды интродуцированных хвойных растений, как ель колючая, туя западная, можжевельник казацкий, отличаются значительной устойчивостью к техногенному загрязнению.

Материалы и методы. Исследования проводились в течение 2018 г. в трех районах г. Йошкар-Олы с различной степенью антропогенной нагрузки (рекреационная, селитебная, промышленная). Объектами исследования являлись ель колючая, туя западная и можжевельник казацкий. Изучали содержание фотосинтетических пигментов (хлорофиллов *a* и *b*, каротиноидов) в хвое второго года жизни в сезонной динамике (май, июль, октябрь, декабрь).

Результаты. В ходе исследования выяснили, что по мере увеличения антропогенной нагрузки количественное содержание фотосинтетических пигментов уменьшалось в хвое интродуцированных видов растений. Хвоя ели колючей характеризовалась наибольшим содержанием исследуемых видов пигментов.

Выводы. Полученные данные расширяют представление о пигментном составе хвойных растений, произрастающих в условиях городской среды. Количество содержания фотосинтезирующих пигментов зависит от видовых особенностей, сезона года, района произрастания.

Ключевые слова: хлорофилл *a*, хлорофилл *b*, каротиноиды, хвойные растения, хвоя, *Picea pungens* Engelm., *Thuja occidentalis* L., *Juniperus sabina* L., мониторинг окружающей среды.

Е. А. Starikova, O. L. Voskresenskaya

SEASONAL DYNAMICS OF THE CONTENT OF PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS IN CONIFEROUS PLANTS UNDER THE CONDITIONS OF THE URBAN ENVIRONMENT

Abstract.

Background. The main share in the landscaping of the city of Yoshkar-Ola is made up of such deciduous woody and shrub plantings such as *Betula pendula*

© Старикова Е. А., Воскресенская О. Л., 2020. Данная статья доступна по условиям всемирной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая дает разрешение на неограниченное использование, копирование на любые носители при условии указания авторства, источника и ссылки на лицензию Creative Commons, а также изменений, если таковые имеют место.

Roth., *Tilia cordata* Mill., *Syringa vulgaris* L., *Acer negundo* L., *Populus pyramidalis* Salisb., etc. Coniferous plants are not so usually used as often as deciduous plants in landscaping urban areas. However, most of them belong to the group of evergreens and play the role of green spaces all year round. In spite of the high sensitivity to gaseous pollutants in cities, the problem arises using of it in urban landscaping. But such species of introduced conifers as *Picea pungens* Engelm., *Thuja occidentalis* L., *Juniperus sabina* L. are notable for their significant resistance to technogenic pollution.

Materials and methods. The studies were conducted during 2018 in three different zones of Yoshkar-Ola which differ with degrees of anthropogenic load (recreational, residential, industrial). The objects of the study were *Picea pungens* Engelm., *Thuja occidentalis* L., *Juniperus sabina* L. The content of photosynthetic pigments (chlorophyll *a* and *b*, carotenoids) was studied in the needles of the second year of life in seasonal dynamics (May, July, October, December).

Results. The study found that with an increasing of anthropogenic load, the quantitative content of photosynthetic pigments decreased in the needles of introduced plant species. Needle *Picea pungens* Engelm. was characterized by the highest content of the studied types of pigments.

Conclusions. The obtained data expand the idea of the pigment composition of conifers growing in urban environment. The quantitative content of photosynthetic pigments depends on the species, season of the year and place where it grows.

Keywords: chlorophyll *a*, chlorophyll *b*, carotenoids, conifers, needles, *Picea pungens* Engelm., *Thuja occidentalis* L., *Juniperus sabina* L., environmental monitoring.

Введение

Хвоя и листья – основные и наиболее чувствительные ассимилирующие органы растений. Обладая большей ассимиляционной поверхностью и находясь в постоянном контакте с окружающей средой, они недостаточно надежно защищены от воздействия неблагоприятных факторов окружающей среды. Поэтому они чаще, чем другие органы растений, подвергаются различного рода повреждениям и преждевременно отмирают. Поэтому физиолого-биохимические свойства ассимилирующих органов могут служить для ранней диагностики состояния растений в целом [1–3].

В качестве одного из критериев функционального состояния древесных растений в условиях городской среды служит состояние чувствительного к внешним воздействиям фотосинтетического аппарата растительного организма – содержание пигментов. Пигментный состав растений – информативный и широко применяемый показатель, определяющий работу фотосинтетического аппарата растений. Загрязняющие вещества атмосферного воздуха могут снизить количество фотосинтезирующих пигментов (хлорофиллов и каротиноидов) и изменить структуру мембран хлоропластов, что отрицательно влияет на фотосинтез [1, 4, 5].

Фотосинтетический аппарат хвойных растений большую часть года испытывает неблагоприятное воздействие низкой температуры, нередко в сочетании с высокой инсоляцией. Особое значение в его устойчивости придается фотосинтетическим пигментам [6].

Цель нашего исследования заключалась в выявлении изменения содержания фотосинтетических пигментов (хлорофиллов *a* и *b*, каротиноидов)

в хвое интродуцированных видов хвойных растений, произрастающих в условиях г. Йошкар-Олы в сезонной динамике.

Материалы и методы исследования

Исследования проведены на территории г. Йошкар-Олы в столице Республики Марий Эл. Объектами исследования служили хвойные виды растений, используемые в озеленении г. Йошкар-Олы – ель колючая (*Picea pungens* Engelm.), туя западная (*Thuja occidentalis* L.) и можжевельник казацкий (*Juniperus sabina* L.). Исследуемые виды произрастают в различных районах г. Йошкар-Олы: рекреационная – ЦПКиО имени XXX-летия ВЛКСМ, селитебная зона города – бульвар Чавайна, промышленная зона – улица Строителей.

Для изучения содержания фотосинтетических пигментов со средневозрастных генеративных растений собирали хвою второго года жизни весной (май), летом (июль), осенью (октябрь) и зимой (декабрь). Количество хлорофиллов *a* и *b*, каротиноидов определяли спектрофотометрическим методом (спектрофотометр ПЭ-5400 ВИ) в ацетоновой вытяжке при длинах волн: для хлорофиллов – 662 и 644 нм, для каротиноидов – 440,5 нм. Для расчета концентрации пигментов использовали формулы Хольма – Ветштейна для 100 % ацетона [7]. Полученные данные были обработаны статистически с помощью программы “STATISTICA 6.0”. В работе использовались следующие статистические характеристики: среднее арифметическое, ошибка среднего арифметического, минимальные и максимальные значения в выборке, одно- и трехфакторный дисперсионный анализ.

Результаты и обсуждение

Количественное содержание фотосинтетических пигментов в течение периода вегетации является динамичным показателем [8]. Абсолютное содержание пигментов и их соотношение у любого вида растения – величина непостоянная. Она может значительно варьировать в зависимости от экологических условий, интенсивности и качества света, структурных особенностей листовой пластинки, антропогенных и других факторов [9].

Сезонная динамика содержания пигментов в хвое вечнозеленых растений, произрастающих в рекреационной зоне. ЦПКиО имени XXX-летия ВЛКСМ представляет собой городской парк ландшафтного типа площадью 0,271 км². Данный парк является местом пересечения двух природно-экологических планировочных осей и в то же время зеленым ядром исторического центра города Йошкар-Олы [10].

Наиболее высокое содержание хлорофилла *a* у ели колючей и туи западной было обнаружено в мае и июле (0,86 мг/г сырой массы) (рис. 1). В октябре в хвое ели колючей произошло его снижение на 12 %, а в декабре – на 34,5 % ($p < 0,05$), по сравнению с весенне-летним периодом. У растений туи западной в осенне-зимний период содержание хлорофилла *a* снизилось на 18 %. Статистически значимых различий по изменению содержания хлорофилла *a* в хвое можжевельника казацкого, произрастающих в рекреационной зоне, в различные сезоны года не выявлено ($p > 0,05$).

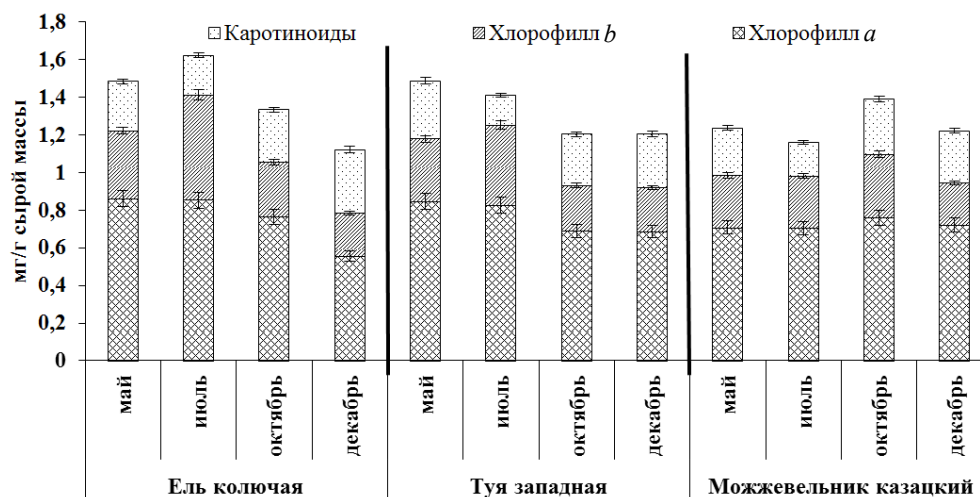


Рис. 1. Сезонная динамика содержания пигментов в хвое вечнозеленых растений, произрастающих в рекреационной зоне г. Йошкар-Олы

В целом содержание хлорофилла *b* было значительно меньше, чем хлорофилла *a* в хвое исследуемых видов. Так, максимальное содержание этого пигмента (0,56 мг/г сырой массы) в хвое ели колючей наблюдалось в июле. Далее в осенне-зимний период произошло его снижение: в октябре в 1,9 раза ($p < 0,05$), в декабре в 2,5 раза ($p < 0,05$) (см. рис. 1). Наибольшее содержание данного хлорофилла в хвое туи западной приходилось также на июль (0,43 мг/г сырой массы). В осенне-зимний период, как и у ели колючей, его содержание снизилось: в октябре на 43,7 % ($p < 0,05$), в декабре на 46,5 % ($p < 0,05$), по сравнению с июлем. Содержание хлорофилла *b* в весенне-летний период в хвое особей можжевельника казацкого составило 0,28 мг/г сырой массы. В октябре произошло его увеличение на 20 %, в декабре снизилось в 1,5 раза, по сравнению с октябрём ($p < 0,05$).

Обязательными компонентами пигментной системы растений являются каротиноиды. Они принимают участие в стабилизации мембран хлоропластов и белков антенных комплексов; поглощают и рассеивают энергию возбуждения, работая фотопротекторами фотосинтетического аппарата; являются потенциальными тушителями опасного триплетного хлорофилла и синглетного кислорода [11].

У растений ели колючей, произрастающих в рекреационной зоне, наименьшее содержание каротиноидов было в июле (0,21 мг/г сырой массы). Затем с июля по декабрь происходило постепенное его накопление с максимумом в декабре (0,34 мг/г сырой массы). В зимний период пигментный аппарат ели колючей характеризовался более высокими показателями содержания каротиноидов в 1,3 раза больше ($p < 0,05$), чем в весенне-летний период.

При анализе содержания каротиноидов в хвое особей туи западной было обнаружено, что количество желтых пигментов сезонно изменялось. Наибольшей величиной данного параметра характеризовалась хвоя, собранная в мае (0,31 мг/г сырой массы). В июле содержание желтых пигментов снизилось в 1,9 раза ($p < 0,05$). Содержание каротиноидов в осенне-зимнее время было на одном уровне (0,27–0,29 мг/г сырой массы).

Характер содержания каротиноидов в хвое особой можжевельника казацкого был следующим: в мае наблюдали пик содержания пигментов (0,38 мг/г сырой массы), в июле исследуемый показатель снизился на 42 % ($p < 0,05$), в октябре увеличился на 24 % ($p < 0,05$) по сравнению с летними данными, а в декабре составил 0,27 мг/г сырой массы ($p < 0,05$).

Результаты исследований авторов подтверждаются данными других исследований. Так, в результате проведенных исследований М. С. Титовой [8] и Е. А. Тишкиной [12] по сезонной динамике фотосинтезирующей активности хвои хвойных растений в условиях естественных биотопов выяснили, что наибольшее накопление зеленых пигментов наблюдалось в летние месяцы, а затем в осенне-зимний период происходило постепенное снижение содержания хлорофиллов *a* и *b*, а содержание каротиноидов зимой, наоборот, увеличивалось.

Сезонная динамика содержания пигментов в хвое вечнозеленых растений, произрастающих в селитебной зоне. Бульвар Чавайна является главным линейным планировочным элементом зеленой системы города, соединяя правобережную и левобережную части г. Йошкар-Олы [10].

Согласно полученным данным, максимальное накопление хлорофилла *a* наблюдали в весенне-летний период (0,83 мг/г сырой массы) (рис. 2). В декабре содержание хлорофилла *a* уменьшилось в 1,6 раза ($p < 0,05$), по сравнению с весенне-летними показателями. У туи западной наибольшее содержание хлорофилла *a* было обнаружено в мае и июле (0,81 мг/г сырой массы); в октябре содержание данного показателя снизилось на 20 % ($p < 0,05$); в декабре – уменьшилось в 1,4 раза, по сравнению с июлем ($p < 0,05$). У растений можжевельника казацкого по изученному параметру статистически значимых различий не обнаружено ($p > 0,05$).

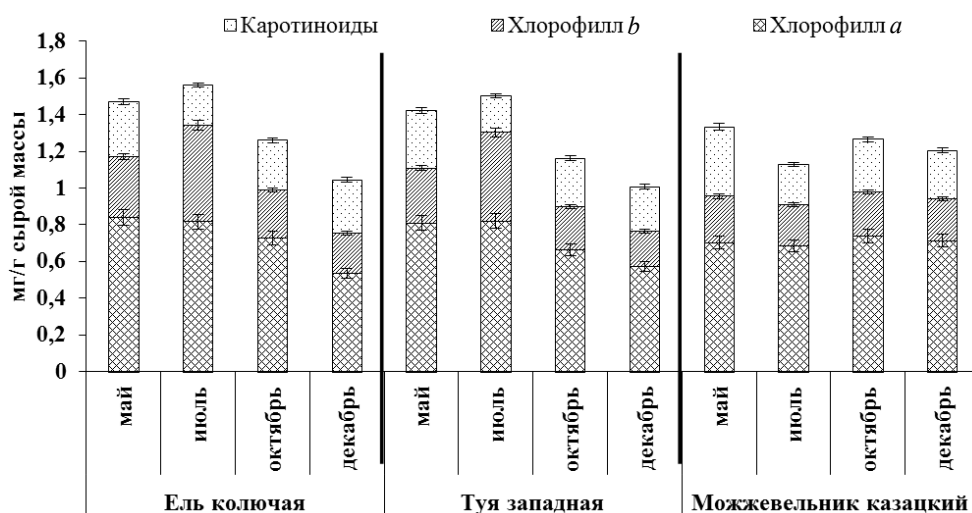


Рис. 2. Сезонная динамика содержания пигментов в хвое вечнозеленых растений, произрастающих в селитебной зоне г. Йошкар-Олы

Как видно из рис. 2, у растений ели колючей, произрастающих в селитебной зоне, наибольшее содержание хлорофилла *b* отмечено в июле (0,53 мг/г сырой массы). В декабре произошло уменьшение количественного состава

данного пигмента в 2,4 раза, по сравнению с июлем ($p < 0,05$). Максимальное содержание хлорофилла *b* у растений туи западной отмечалось в июле (0,48 мг/г сырой массы). В осенне-зимний период содержание изученного параметра снизилось: в октябре в 2,1 раза ($p < 0,05$), в декабре в 2,5 раза ($p < 0,05$). По содержанию хлорофилла *b* у растений можжевельника казацкого, произрастающих в селитебной зоне, в зависимости от месяца исследования статистически значимых отличий не выявлено ($p > 0,05$).

Как было показано в исследованиях М. С. Титовой [8], с началом зимы, когда устанавливается отрицательный температурный режим, в хвое голосеменных растений хлоропласты группируются у клеточных стенок, около ядра, и синтез пигментов при этом сводится к минимуму.

Содержание каротиноидов в хвое особей ели колючей, произрастающих в селитебной зоне, имело два пика – в мае и декабре (0,29 мг/г сырой массы). Летом наблюдали снижение данного пигмента в 1,4 раза ($p < 0,05$). Максимум накопления каротиноидов в хвое туи западной также был в мае (0,31 мг/г сырой массы), в июле его содержание уменьшилось в 1,6 раза ($p < 0,05$), а осенью, наоборот, увеличилось в 1,3 раза ($p < 0,05$), зимой количество каротиноидов незначительно уменьшилось. Содержание каротиноидов в хвое особей можжевельника казацкого было следующим: в мае наблюдался пик накопления пигментов – 0,38 мг/г сырой массы; в июле показатель снизился на 42 % ($p < 0,05$); в октябре увеличилось на 24 % ($p < 0,05$), по сравнению с летними данными, а в декабре составило 0,27 мг/г сырой массы.

Сезонная динамика содержания пигментов в хвое вечнозеленых растений, произрастающих в промышленной зоне. Улица Строителей находится в южной части города, где расположены основные предприятия города (ОАО ОКТБ «Кристалл», ЗАО «СБК Хроматэк», ООО «Гардиан ДОЗ» и т.д.) и наблюдается высокий поток автотранспорта. Значительный вклад в загрязнение атмосферного воздуха г. Йошкар-Олы вносит автотранспорт. Наиболее распространенными загрязняющими веществами являются пыль (взвешенные вещества различной природы), диоксид серы, оксид азота, оксида углерода, углекислый газ [10].

У растений ели колючей, произрастающих в промышленной зоне, содержание хлорофилла *a* было наибольшим в мае (0,79 мг/г сырой массы), в летне-осенний период произошел спад на 24 % ($p < 0,05$) (рис. 3). В декабре содержание данного пигмента уменьшилось в 1,5 раза, по сравнению ($p < 0,05$), с весенне-летним периодом. Сходная динамика содержания хлорофилла *a* наблюдается у растений туи западной (рис. 3). У особей можжевельника казацкого по содержанию хлорофилла *a* в хвое статистически значимых различий не обнаружено ($p > 0,05$).

У растений ели колючей снижение хлорофилла *b* наблюдалось от 0,19 до 0,35 мг/г сырой массы. Также максимальное содержание хлорофилла *b* наблюдалось в весенне-летний период, но у растений, произрастающих в промышленной зоне, произошло снижение уровня исследуемого хлорофилла в 1,6 раза ($p < 0,05$), по сравнению со значениями в других зонах города. В хвое туи западной максимум содержания хлорофилла *b* наблюдалось в мае (0,31 мг/г сырой массы). Начиная с июля происходило уменьшение содержания этого пигмента и в декабре снизилось в 2,5 раза ($p < 0,05$). Минимальное содержание хлорофилла *b* у можжевельника казацкого наблюдалось в июле

(0,19 мг/г сырой массы), в октябре произошло его увеличение в 1,5 раза ($p < 0,05$), а в декабре опять снизилось до 0,21 мг/г сырой массы.

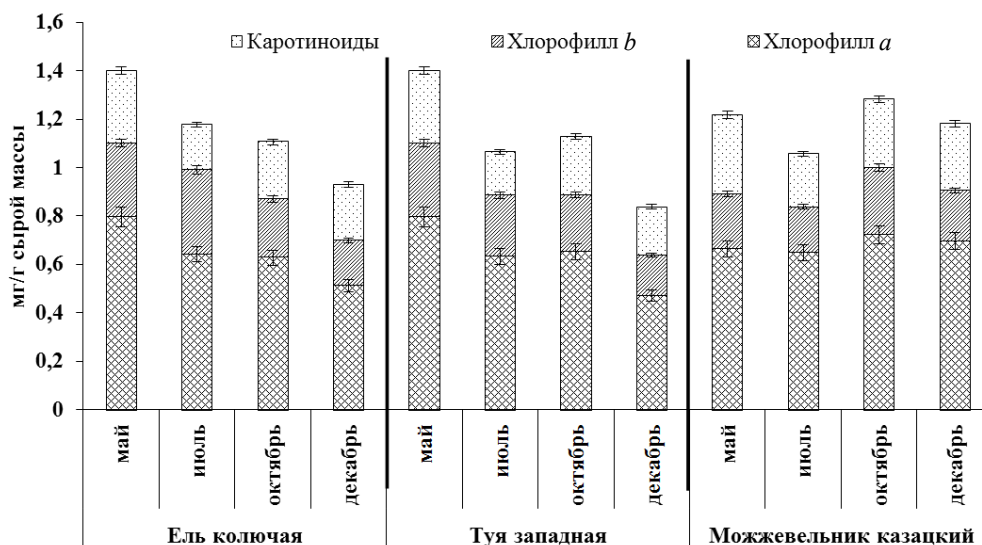


Рис. 3. Сезонная динамика содержания пигментов в хвое вечнозеленых растений, произрастающих в промышленной зоне г. Йошкар-Олы

У особей ели колючей наибольшее содержание каротиноидов наблюдалось в мае, в июле их содержание снизилось в 1,6 раза ($p < 0,05$). В осенне-зимний период содержание каротиноидов составило 0,23 мг/г сырой массы. В хвое растений туи западной максимум накопления приходился на май (0,8 мг/г сырой массы). Количество каротиноидов в летнее время снизилось в 1,7 раза ($p < 0,05$). В осенне-зимний период их содержание увеличилось на 18 %, по сравнению с летними значениями. У растений можжевельника казацкого так же, как и у особей туи западной, наибольшее содержание каротиноидов было в мае (0,33 мг/г сырой массы), в июле снизилось в 1,5 раза, а в осенне-зимний период увеличилось в 1,3 раза.

Некоторые авторы отмечают [2, 13], что в условиях техногенного загрязнения происходит уменьшение содержания количества зеленых пигментов, причем максимально разрушается хлорофилл *a*, а в меньшем количестве – хлорофилл *b*. Так, например, исследования, проведенные Г. Н. Чупахиной и др. [14], показывают, что высокий уровень выбросов автотранспорта приводит к снижению процессов накопления фотосинтетических пигментов у ели обыкновенной (*Picea abies* (L.) Karst.), липы сердцевидной (*Tilia cordata* Mill.), а также к ослаблению процессов накопления хлорофилла *b* в большей степени, чем хлорофилла *a*, увеличению соотношения *a/b* и снижению величины отношения суммы зеленых пигментов к сумме желтых.

Степень сформированности фотосинтетического аппарата проявляется в соотношении хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* (*a/b*), что связано с активностью хлорофилла *a*. Чем оно больше, тем интенсивнее фотосинтез. В норме этот показатель должен соответствовать 2,2–3,0 [8].

В хвое исследованных видов, произрастающих в рекреационной зоне, соотношение *a/b* изменялось следующим образом: у ели колючей – от 1,54

(июль) до 2,87 (декабрь); у туи западной – от 2,06 (июль) до 2,97 (декабрь), у можжевельника казацкого – от 2,66 (июль) до 3,27 (декабрь) (табл. 1).

Таблица 1

Сезонная динамика изменения соотношения хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* в хвое вечнозеленых растений, произрастающих в условиях г. Йошкар-Олы

Район исследования	Месяц исследования	Исследуемые виды		
		Ель колючая	Туя западная	Можжевельник казацкий
Рекреационная зона	май	2,46 ± 0,101	2,69 ± 0,133	2,76 ± 0,149
	июль	1,54 ± 0,044	2,06 ± 0,125	2,66 ± 0,160
	октябрь	2,62 ± 0,049	2,88 ± 0,050	2,83 ± 0,209
	декабрь	2,87 ± 0,165	2,97 ± 0,049	3,27 ± 0,058
Селитебная зона	май	2,56 ± 0,059	2,75 ± 0,082	2,85 ± 0,120
	июль	1,56 ± 0,050	1,86 ± 0,157	3,28 ± 0,258
	октябрь	2,49 ± 0,253	2,89 ± 0,056	3,07 ± 0,059
	декабрь	2,83 ± 0,041	3,01 ± 0,091	3,17 ± 0,075
Промышленная зона	май	2,69 ± 0,111	2,87 ± 0,048	2,94 ± 0,059
	июль	1,91 ± 0,076	2,96 ± 0,259	3,41 ± 0,034
	октябрь	2,42 ± 0,205	2,92 ± 0,080	2,87 ± 0,164
	декабрь	2,79 ± 0,039	2,79 ± 0,127	3,34 ± 0,052

У растений ели колючей и туи западной, произрастающих в селитебной зоне, наблюдалась аналогичная тенденция, что и в рекреационной зоне. У особей можжевельника казацкого в этой зоне данный показатель менялся от 2,85 (май) до 3,28 (июль).

У растений ели колючей, произрастающих в промышленной зоне, соотношение хлорофиллов *a/b* менялось, как и у растений, произрастающих в рекреационной зоне. У растений туи западной в промышленной зоне статистически значимых различий по изменению отношения хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* в различные сезоны года не выявлено ($p > 0,05$). У особей можжевельника казацкого наибольшие значения данного соотношения были в июле и декабре (3,4), а наименьшие – в мае и октябре (2,9).

В целом динамика соотношения хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* у растений ели колючей и туи западной в различные сезоны года и в зависимости от районов исследования города имела сходную тенденцию (см. табл. 1), а у особей можжевельника казацкого исследуемый показатель был более стабильным.

Заключение

Таким образом, в результате проведенных исследований выяснили, что содержание фотосинтетических пигментов в хвое изученных видов растений, произрастающих в условиях г. Йошкар-Олы, зависит от видовых особенностей, района исследования и сезона года.

По сумме содержания фотосинтетических пигментов хвойные виды, произрастающие в г. Йошкар-Оле, располагаются в следующем убывающем порядке: ель колючая → туя западная → можжевельник казацкий.

С увеличением антропогенной нагрузки в хвое изученных видов хвойных растений, произрастающих в промышленной зоне г. Йошкар-Олы, содержание суммы зеленых и желтых пигментов уменьшалось, по сравнению с рекреационной и селитебной зонами. Возможно, и микроклиматические условия оказывают влияние на содержание фотосинтетических пигментов.

Библиографический список

1. **Николаевский, В. С.** Биологические основы газоустойчивости растений / В. С. Николаевский. – Новосибирск : Наука, 1979. – 280 с.
2. **Русак, С. Н.** Фотосинтетические пигменты сосны сибирской (*Pinus sibirica* DuRoi) в биоиндикации условий окружающей среды / С. Н. Русак, И. И. Варлам, И. В. Кравченко, К. В. Казарцева // Проблемы региональной экологии. – 2018. – № 3. – С. 6–11.
3. **Воскресенская, О. Л.** Эколого-физиологические адаптации туи западной (*Thuja occidentalis* L.) в городских условиях : монография / О. Л. Воскресенская, Е. В. Сарбаева. – Йошкар-Ола : МарГУ, 2006. – 130 с.
4. **Старикова, Е. А.** Изменение пигментного комплекса ели колючей в условиях городской среды / Е. А. Старикова, О. Л. Воскресенская, Е. В. Сарбаева // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 10 (52), ч. 4. – С. 46–48.
5. Ecological and biological features of Colorado Spruce (*Picea pungens* Engelm.) in urban environment / I. L. Bukharina, K. E. Vedernikov, A. A. Kamasheva, A. S. Alekseenko, E. V. Pashkov // Advances in Environmental Biology. – 2014. – № 8 (13). – P. 367–371.
6. **Головко, Т. К.** Сезонные изменения пигментного комплекса вечнозеленых растений бореальной зоны / Т. К. Головко, О. В. Дымова, Я. Н. Яцко // Вестник Института биологии Коми НЦ УрО РАН. – 2011. – № 1-2. – С. 22–27.
7. **Гавриленко, В. Ф.** Большой практикум по физиологии растений. Фотосинтез. Дыхание / В. Ф. Гавриленко, М. Е. Ладыгина, Л. М. Хандобина – Москва : Высш. шк., 1975. – 392 с.
8. **Титова, М. С.** Особенности фотосинтезирующей активности хвои интродуцированных видов *Picea A. Dietr.* в дендрарии горнотаежной станции / М. С. Титова // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 11. – С. 128–132.
9. **Воскресенская, О. Л.** Влияние ультрафиолетовой радиации и параметров микроклимата на содержание пигментов в листьях березы повислой, произрастающей в условиях города / О. Л. Воскресенская, В. С. Воскресенский, Е. В. Сарбаева, О. А. Ягдарова // Вестник Удмуртского университета. Биология. Науки о земле. – 2014. – № 3. – С. 39–45.
10. Информационный отчет «Проведение мониторинга состояния атмосферного воздуха на территории городского округа “Город Йошкар-Ола” за 2018 год». – Йошкар-Ола, 2018. – 46 с.
11. Структурно-функциональные изменения фотосинтетического аппарата у зимне-вегетирующих хвойных растений в различные сезоны года / Т. Г. Маслова, Н. С. Мамушина, О. А. Шерстнева, Л. С. Буболо, Е. К. Зубкова // Физиология растений. – 2009. – Т. 56, № 5. – С. 672–681.
12. **Тишкина, Е. А.** Изменчивость накопления пластидных пигментов в хвое можжевельника обыкновенного *Juniperus communis* L. / Е. А. Тишкина, Л. А. Семкина // Научные ведомости. Сер.: Естественные науки. – 2015. – № 21 (218), вып. 33. – С. 47–51.

13. **Тужилкина, В. В.** Влияние техногенного загрязнения на фотосинтетический аппарат сосны / В. В. Тужилкина, Н. В. Ладанова, С. Н. Плюснина // *Экология*. – 1998. – № 2. – С. 89–93.
14. **Чупахина, Г. Н.** Реакция пигментной и антиоксидантной систем растений на загрязнение окружающей среды г. Калининграда выбросами автотранспорта / Г. Н. Чупахина, П. В. Масленников, Л. Н. Скрыпник, М. И. Бессережнова // *Вестник Томского государственного университета. Биология*. – 2012. – № 2 (18). – С. 171–185.

References

1. Nikolaevskiy V. S. *Biologicheskie osnovy gazoustoychivosti rasteniy* [Biological basis of plants' gas resistance]. Novosibirsk: Nauka, 1979, 280 p. [In Russian]
2. Rusak S. N., Varlam I. I., Kravchenko I. V., Kazartseva K. V. *Problemy regional'noy ekologii* [Issues of regional ecology]. 2018, no. 3, pp. 6–11. [In Russian]
3. Voskresenskaya O. L., Sarbaeva E. V. *Ekologo-fiziologicheskie adaptatsii tui zapadnoy (Thuja occidentalis L.) v gorodskikh usloviyakh: monografiya* [Ecological and physiological adaptations of thuja western (Thuja occidentalis L.) in urban conditions: monograph]. Yoshkar-Ola: MarGU, 2006, 130 p. [In Russian]
4. Starikova E. A., Voskresenskaya O. L., Sarbaeva E. V. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* [International scientific and research journal]. 2016, no. 10 (52), part 4, pp. 46–48. [In Russian]
5. Bukharina I. L., Vedernikov K. E., Kamasheva A. A., Alekseenko A. S., Pashkov E. V. *Advances in Environmental Biology*. 2014, no. 8 (13), pp. 367–371.
6. Golovko T. K., Dymova O. V., Yatsko Ya. N. *Vestnik Instituta biologii Komi NTs UrO RAN* [Bulletin of Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences]. 2011, no. 1-2, pp. 22–27. [In Russian]
7. Gavrilina V. F., Ladygina M. E., Khandobina L. M. *Bol'shoy praktikum po fiziologii rasteniy. Fotosintez. Dykhanie* [Big practical work on plant physiology. Photosynthesis. Breath]. Moscow: Vyssh. shk., 1975, 392 p. [In Russian]
8. Titova M. S. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental researches]. 2013, no. 11, pp. 128–132. [In Russian]
9. Voskresenskaya O. L., Voskresenskiy V. S., Sarbaeva E. V., Yagdarova O. A. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Biologiya. Nauki o zemle* [Bulletin of Udmurt University. Biology. Earth Science]. 2014, no. 3, pp. 39–45. [In Russian]
10. *Informatsionnyy otchet «Provedenie monitoringa sostoyaniya atmosfernogo vozdukh na territorii gorodskogo okruga "Gorod Yoshkar-Ola" za 2018 god»* [Information report "Conducting monitoring of the state of atmospheric air in the territory of the urban district "Yoshkar-Ola City" for 2018"]. Yoshkar-Ola, 2018, 46 p. [In Russian]
11. Maslova T. G., Mamushina N. S., Sherstneva O. A., Bubolo L. S., Zubkova E. K. *Fiziologiya rasteniy* [Plant physiology]. 2009, vol. 56, no. 5, pp. 672–681. [In Russian]
12. Tishkina E. A., Semkina L. A. *Nauchnye vedomosti. Ser.: Estestvennye nauki* [Scientific bulletin. Series: Natural sciences]. 2015, no. 21 (218), iss. 33, pp. 47–51. [In Russian]
13. Tuzhilkina V. V., Ladanova N. V., Plyusnina S. N. *Ekologiya* [Ecology]. 1998, no. 2, pp. 89–93. [In Russian]
14. Chupakhina G. N., Maslennikov P. V., Skrypnik L. N., Besserezhnova M. I. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya* [Bulletin of Tomsk State University. Biology]. 2012, no. 2 (18), pp. 171–185. [In Russian]

Старикова Екатерина Александровна
аспирант, Марийский государственный
университет (Россия, г. Йошкар-Ола,
площадь Ленина, 1)

Starikova Ekaterina Aleksandrovna
Postgraduate student, Mari State University
(1 Lenin square, Yoshkar-Ola, Russia)

E-mail: katya-starikova@mail.ru

Воскресенская Ольга Леонидовна

доктор биологических наук, профессор,
заведующий кафедрой экологии,
директор Института естественных наук и
фармации, Марийский государственный
университет (Россия, г. Йошкар-Ола,
площадь Ленина, 1)

E-mail: voskres2006@rambler.ru

Voskresenskaya Ol'ga Leonidovna

Doctor of biological sciences, professor,
head of the sub-department of ecology,
Director of the Institute of Natural Sciences
and Pharmacy, Mari State University
(1 Lenin square, Yoshkar-Ola, Russia)

Образец цитирования:

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. – DOI 10.21685/2307-9150-2020-2-4.