

Особенности содержания фотосинтетических пигментов в хвое сосны обыкновенной в разных экологических условиях

Алина Петровна Дегтярева , e-mail: ali.serdyukova@yandex.ru, м.н.с. лаборатории экологической генетики, ORCID 0000-0001-9583-2368 – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии», e-mail: ilgis@lesgen.vrn.ru, ул. Ломоносова, д.105, г. Воронеж, Россия

С каждым годом в России увеличиваются темпы хозяйственной деятельности человека. Данный факт приводит к ухудшению природной среды и, как следствие, к снижению продуктивности лесных биоценозов. Сосна обыкновенная является одной из главных лесообразующих пород, имеет широкое распространение и является биоиндикационным видом: способна реагировать на изменение условий мест произрастания. В статье проанализировано два насаждения сосны обыкновенной, произрастающих на разных экологических территориях: в относительно чистой природной среде и в условиях антропогенного воздействия. Нами проведены измерения содержания фотосинтетических пигментов в хвое исследуемых деревьев с целью выявления реакции сосны на загрязнение окружающей среды. Установлено, что в хвое сосны обыкновенной из неблагоприятной экологической территории количество хлорофилла *b* выше на 31%, а сумма хлорофиллов *a+b* выше на 15%, чем в насаждении из экологически чистой местности. Данный факт может носить адаптивный характер к воздействию неблагоприятных условий окружающей среды. Также выявлено уменьшение соотношения хлорофиллов *a/b* на 16% в условиях антропогенной нагрузки, что указывает на снижение активности фотосинтетического аппарата сосны. Таким образом, в загрязнённых условиях среды отмечен рост содержания хлорофилла *b* и суммы хлорофиллов *a+b*, а также снижение соотношения хлорофиллов *a/b*.

Ключевые слова: контрастные экологические условия, антропогенная нагрузка, сосна обыкновенная, фотосинтетические пигменты, хлорофилл *a*, хлорофилл *b*.

Поступила в редакцию: 18.07.2022

Принята к печати: 01.09.2022

На сегодняшний день существуют серьёзные глобальные экологические проблемы мирового характера, связанные с изменением климата, сокращением биоразнообразия, воздействием загрязняющих веществ на атмосферные, водные и почвенные ресурсы, опустыниванием крупных территорий и так далее [6]. Все эти проблемы являются, главным образом, следствием антропогенной деятельности и могут быть решены только путём скоординированного действия стран всей планеты [8]. С каждым годом отмечается повсеместное увеличение темпов хозяйственной деятельности человека. В Центрально-Чернозёмном районе одной из главных отраслей хозяйства является сельское хозяйство. В результате длительного сельскохозяйственного использования изменяется химический состав почв региона из-за интенсификации земледелия, вследствие развития животноводства происходит загрязнение атмосферного воздуха, также интенсивно происходит загрязнение водной среды [1]. Загрязняющие вещества способны накапливаться во всех частях растений, что приводит к нарушениям их физиолого-биохимических процессов, ослаблению, развитию болезней, активизации деятельности различных вредителей и, в конечном счёте, к дальнейшей гибели [3].

Лесные насаждения способствуют разрешению ряда экологических проблем, их роль в жизни всей планеты невозможно переоценить. Леса содействуют сохранению богатства почв, препятствуют

её эрозии: защищают от водного и ветрового разрушения. Также с целью сохранения комфортных климатических условий и для препятствия глобальному потеплению, которое в последние годы вызывает острый серьёзный интерес у учёных всего мира, необходимо развивать лесную растительность [9]. В Центрально-Чернозёмном районе основной лесообразующей породой является сосна обыкновенная. Для эффективного лесовыращивания данной породы необходимо изучить особенности её произрастания на антропогенно загрязнённой территории [15].

Сосна обыкновенная может выступать в качестве биоиндикатора, так как способна реагировать на изменения экологической обстановки мест произрастания. О степени загрязнения территории может говорить пигментный состав хвои. При накоплении токсических веществ в хлоропластах, происходит их деструкция и распад пигментов, в частности, хлорофиллов. Уровень хлорофиллов *a* и *b* может быть использован у растений в качестве одного из показателей его устойчивости к неблагоприятным факторам среды. У сосны обыкновенной содержание разных форм хлорофиллов может изменяться под влиянием внешних факторов: экологии мест произрастания, антропогенной нагрузки. Пигментный состав хвои может являться маркером состояния окружающей среды и степени адаптации растений к изменяющимся условиям, так как загрязняющие вещества могут накапливаться в разных частях растений и препятствовать

нормальному функционированию деревьев [2]. В литературе отмечается снижение количества хлорофиллов а и b, а также суммы хлорофиллов под воздействием загрязняющих веществ окружающей среды [5].

Актуальность исследования обусловлена необходимостью оценки и мониторинга деградации сосновых насаждений под воздействием антропогенных факторов, негативно влияющих на состояние природной среды.

Целью исследования являлось количественное определение и сравнительная характеристика содержания фотосинтетических пигментов (хлорофиллов а и b) в хвое сосны обыкновенной, произрастающей в относительно экологически чистой среде и на антропогенно загрязненной территории.

Материалы и методика исследования. Исследования проводили в Воронежской области – крупном аграрном регионе Центрального Черноземья. Сбор материалов осуществляли в 2020 году в Кан-

темировском районе, на юге области. Координаты изучаемых объектов: насаждение 1 – 49.666508, 39.749812; насаждение 2 – 49.680931, 39.855078.

Для сравнительной оценки содержания фотосинтетических пигментов в зависимости от экологических условий мест произрастания выбрано два насаждения сосны обыкновенной (рис.1). Насаждение 1 – лесные культуры сосны, произрастают по склонам оврагов и балок, защищают местность от дальнейшего оврагообразования и разрушения почвенного покрова. Насаждение расположено в относительно экологически чистой местности: в отдалении от городской среды и автодорог. Насаждение 2 – сосна обыкновенная, произрастающая в городской черте. Рядом с насаждением расположена автотрасса, высоковольтные линии электропередач, сельскохозяйственные поля, завод и животноводческая ферма, которая не функционирует в настоящее время, но оказывала негативное влияние на экологическую обстановку местности во время закладки насаждения.



Рисунок 1. Общий вид изучаемых популяций, где А – лесные культуры сосны обыкновенной; Б – сосна обыкновенная из антропогенной среды

С каждой изучаемой популяции была отобрана случайная выборка из 30 деревьев. Сбор хвои производили со средней части кроны дерева в зимний период, когда деревья находились в состоянии покоя.

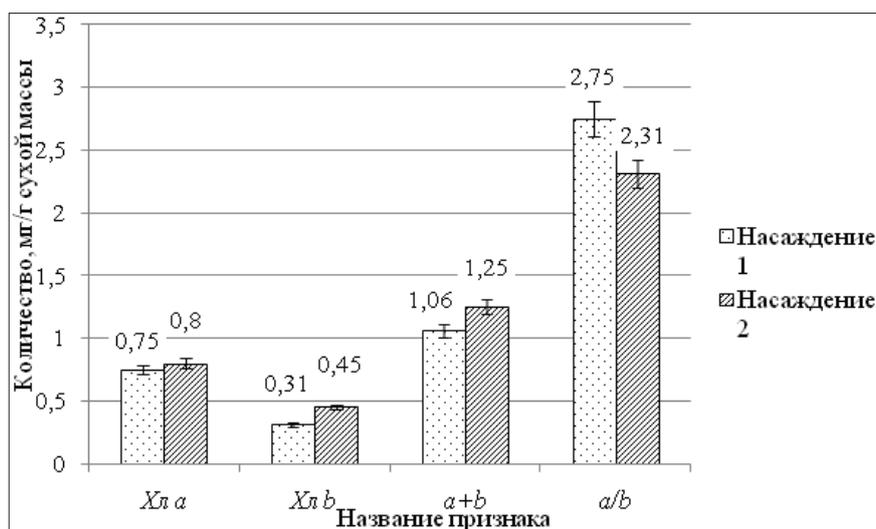
Выделение фотосинтетических пигментов из растительных тканей осуществляли по стандартной методике [9] путём экстракции хвои в этиловом спирте [4].

Оптическую плотность полученных экстрактов определяли на спектрофотометре UNICO 2800 в двукратной повторности. Концентрацию хлорофиллов вычисляли по формулам Винтерманса и Де Мотса [16]. Содержание хлорофиллов а и b рас-

считывали на массу сухого вещества.

Обработку данных проводили с использованием пакета программ Microsoft Office Excel. Проверка данных выборки на тип распределения проводилась с помощью показателей эксцесса и асимметрии. Оценку различий между выборками производили с помощью t-критерия Стьюдента. Полученные данные достоверны при $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение. На рисунке и в таблице показаны средние для изучаемых популяций полученные данные количественного измерения хлорофиллов а и b. Оценка вариабельности данных на рисунке дана в виде доверительного интервала.

Рисунок 2. Содержание хлорофиллов а и b в исследуемых популяциях *Pinus Sylvestris L.*

Из полученных результатов следует, что уровень хлорофилла а на антропогенно нарушенной территории выше на 0,05 и составляет 0,8 мг/г сухой массы, количество хлорофилла b также выше в насаждении 2 на 0,14 и составляет 0,45 мг/г сухой массы, чем в насаждении из экологически чистой зоны. Из таблицы видно, что коэффициент вариации хлорофилла b имеет высокое значение, что означает неоднородность данных по этому пара-

метру. Сумма хлорофиллов а+b также выше в насаждении 2 на 0,19 и составила 1,25 мг/г сухой массы, однако соотношение хлорофиллов а/b выше в насаждении 1 из экологически благоприятной территории на 0,44 и составляет 2,75 мг/г сухой массы. Значения коэффициента вариации для хлорофилла а, суммы хлорофиллов а+b и отношения хлорофиллов а/b не превышают 33%, что говорит об однородности данных (таблица).

Таблица – Статистические показатели содержания хлорофиллов а и b в исследуемых популяциях *Pinus Sylvestris L.*

	X±Sx		Min		Max		R		Cv	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Хл а	0,75±0,05	0,80±0,04	0,32	0,38	1,29	1,33	0,97	0,95	33%	23%
Хл b	0,31±0,03	0,45±0,07	0,10	0,18	0,60	1,90	0,5	1,72	45%	84%
а+b	1,06±0,06	1,25±0,07	0,53	0,57	1,73	2,58	1,2	2,01	33%	31%
а/b	2,75±0,17	2,31±0,14	1,3	0,36	4,9	3,58	3,6	3,22	33%	32%

Примечание: 1 – насаждение 1; 2 – насаждение 2. X±Sx – среднее арифметическое ± стандартная ошибка; Min – минимальное значение; Max – максимальное значение; R – размах признака; Cv – коэффициент вариации.

Различия уровня хлорофилла а в исследуемых популяциях незначительны. Преобладание хлорофилла b на антропогенно нарушенной территории (показатель выше на 31%) может носить адаптивный характер. Из литературных данных известно, что при избыточном поступлении токсичных веществ, перегреве вегетативных органов растений и дефиците влаги образуется больше хлорофилла b. Хлорофилл а является менее стабильной формой [11,12].

Также известно, что в условиях антропогенного загрязнения среды, происходит разрушение фотосинтетических пигментов, при этом хлорофилл а больше подвержен разрушению, в следствии чего возрастает количество хлорофилла b в растениях [13, 14]. Данный факт прослеживается и в результатах нашего исследования: в насаждении 2 из

загрязнённых экологических условий количество хлорофилла b выше, чем в насаждении 1. Исходя из полученных результатов, сумма хлорофиллов а+b выше в насаждении из урбанизированной среды.

В литературных источниках также описано, что при долгосрочном воздействии токсических веществ на природную среду, содержание пигментов в древесных растениях может увеличиваться. Это может быть связано с накоплением веществ, необходимых для синтеза пигментов: продуктов окисления углеводов, органических кислот, пролина, глицерина [7]. Что объясняет полученные результаты по увеличению количества хлорофиллов а и b в насаждении 2 из экологически неблагоприятной природной среды.

Отношение хлорофиллов а/b характеризует

показатель потенциальной активности фотосинтеза. По результатам нашего исследования можно сделать вывод, что несмотря на более высокий уровень содержания хлорофиллов в насаждении 2, потенциальная активность фотосинтеза выше в насаждении 1 из экологически чистой территории.

Заключение. Большее количество хлорофиллов в ассимиляционном аппарате сосны из городской среды можно расценивать как адаптационный признак к избыточному поступлению загрязняющих веществ и меньшему количеству освещенности, чему способствует более густая посадка деревьев в насаждении 2: количество хлорофилла а выше на 6%, количество хлорофилла b выше на 31%, а сумма хлорофиллов а+b выше на 15%.

В насаждении 1 из относительно экологически благоприятных условий, исходя из соотношения хлорофиллов а/b, показатель потенциальной активности фотосинтеза выше на 16 %, чем в насаждении 2.

Таким образом, из полученных данных можно сделать вывод, что природная среда оказывает влияние на пигментный состав хвои сосны обыкновенной. Изменение количества и соотношения фотосинтетических пигментов сосны обыкновенной носит адаптационный характер к экологическим условиям.

Литература:

1. Алмобарак Ф., Межова Л.А. Экологический анализ проблем сельскохозяйственного природопользования Центрального Черноземья // Самарский научный вестник. 2020. Т. 9. № 2(31). С. 10-14.
2. Григорьев Ю.С., Андреев Д.Н. К вопросу о Методике регистрации замедленной флуоресценции хлорофилла при биоиндикации загрязнения воздушной среды на хвойных // Естественные науки. 2012. № 2(39). С. 36-39.
3. Иванов В.П., Марченко С.И., Иванов Ю.В. Влияние погодных условий на женскую генеративную сферу сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2015. № 3 (31). С. 114-130.
4. Кальченко Л.И., Артымук С.Ю., Тараканов В.В., Игнатьев Л.А. Эколого-генетическая изменчивость содержания хлорофиллов «а» и «b» в хвое сосны обыкновенной // Хвойные бореальной зоны. 2007. Т. XXIV. № 2 – 3. С. 193-196.
5. Кулагин А.Ю., Шаяхметова Р.И. Особенности содержания фотосинтетических пигментов в хвое сосны

обыкновенной в условиях нефтяного загрязнения // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2016. Т. 18. № 2-2. С. 434-437.

6. Мохов И.И., Семенов В.А. Погодно-климатические аномалии в российских регионах и их связь с глобальными изменениями климата // Метеорология и гидрология. 2016. № 2. С. 16-28.

7. Овечкина Е.С., Шаяхметова Р.И. Влияние антропогенных факторов на содержание пигментов сосны обыкновенной в летне-зимний период на территории Нижневартовского района // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015. Т. 17. № 6. С. 236-241.

8. Саранкина Ю.А. Глобальные экологические проблемы современности: характеристика и основные направления преодоления // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Юридические науки. 2017. Т. 3 (69). № 3. С. 193-199.

9. Сердюкова А.П. Оценка состояния защитных лесных насаждений сосны обыкновенной в засуху 2019 года в степной зоне Воронежской области // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2020. № 4(63). С. 77-80.

10. Третьяков Н.Н., Карнаухова Т.В., Паничкин Л.А. и др. Практикум по физиологии растений. Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1990. 271 с.

11. Allen C.E., Good P., Davis H.F., Chisum P., Fowler S.D. Methodology for the separation of plant lipids and application to spinach leaf and chloroplast lamellae. *J. Amer. Oil Chem. Soc.* 1966. Vol. 43. № 4. pp. 223-231.

12. Boardman N.K. In: *The Chlorophylls*. Ed by L.P. Vernon and G.R. Seely – Academic Press, New York, 1966. pp. 437-479.

13. Ensminger I., Sveshnikov D., Campbell D.A. Intermittent low temperatures constrain spring recovery of photosynthesis in boreal Scots pine forests. *Global Change Biology*. 2004. Vol. 10. pp. 1-14.

14. Martz F., Sutinen M.-L., Derome K. et. al. Effects of ultraviolet (UV) exclusion on the seasonal concentration of photosynthetic and UV-screening pigments in Scots pine needles. *Global Change Biology*. 2007. Vol. 13. pp. 252-265.

15. Serdyukova A.P. The state of Scots pine plantations in the steppe Voronezh region in drought conditions and under anthropogenic influence. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*: 9, Orenburg, 07-11.06.2021. Orenburg. 2021. P. 012098.

16. Wintermans J.E.G., De Mots A. Spectrophotometric Characteristics of Chlorophyll a and b and Their Phaeophytins in Ethanol. *Biochimica et Biophysica Acta*. 1965. №109. pp. 448-453.

DOI: 10.34736/FNC.2022.118.3.010.70-74

Features of Photosynthetic Pigments Content in the Pine Needles of the Scots Pine in Different Environmental Conditions

Alina P. Degtyareva[✉], Junior Researcher, e-mail: ali.serdyukova@yandex.ru, ORCID 0000-0001-9583-2368 – Laboratory of Ecological Genetics Federal State Budgetary Institution “All-Russian Research Institute of Forest Genetics, Breeding and Biotechnology”, 105 Lovonosov str, Voronezh, Russia

Abstract. Every year in Russia, the rate of human economic activity is increasing. This fact leads to a

deterioration of the natural environment and, as a consequence, to a decrease in the productivity of

forest biocenoses. The scots pine is one of the main forest-forming species, has a wide distribution and is a bioindicative species: it is able to respond to changes in the conditions of growing places. The article analyzes two stands of scots pine growing in different ecological territories: in a relatively clean natural environment and in conditions of anthropogenic impact. We have measured the content of photosynthetic pigments in the needles of the studied trees in order to identify the reaction of pine to environmental pollution. It was found that the amount of chlorophyll b in the pine's needles from an unfavorable ecological area is 31% higher, and the amount of chlorophylls a+b is 15% higher than in the planting from an ecologically clean area. This fact may be adaptive to the effects of adverse environmental conditions. A decrease in the ratio of chlorophylls a/b by 16% under anthropogenic load was also revealed, which indicates a decrease in the activity of the pine's photosynthetic apparatus. Thus, in polluted environmental conditions, an increase in the chlorophyll b content and the amount of chlorophylls a+b was noted, as well as a decrease in the ratio of chlorophylls a/b.

Keywords: contrasting environmental conditions, anthropogenic load, scots pine, photosynthetic pigments, chlorophyll a, chlorophyll b

Received: 18.07.2022

Accepted: 01.09.2022

Translation of Russian References:

1. Almobarak F., Mezхова L.A. *Ekologicheskiy analiz problem sel'skokhozyaystvennogo prirodopol'zovaniya Tsentral'nogo Chernozem'ya* [Ecological analysis of agricultural environmental management problems in the Central Chernozem region]. *Samarskiy nauchnyy vestnik* [Samara Journal of Science]. 2020. Vol. 9. No 2(31). pp. 10-14.
2. Grigoriev Yu.S., Andreev D. N. *K voprosu o Metodike registratsii zamedlennoy fluoretsentsii khlorofilla pri bioindikatsii zagryazneniya vozduшной среды na khvoynykh* [About the technique of the chlorophyll delayed fluorescence registration at bioindication of the air pollution on coniferous]. *Yestestvennyye nauki* [Natural Sciences]. 2012. 2 (39). pp. 36-39.
3. Ivanov V.P., Marchenko S.I., Ivanov Yu.V. *Vliyaniye pogodnykh usloviy na zhenskuyu generativnyuyu sferu sosny obyknovennoy (Pinus Sylvestris L.)* [Influence of weather conditions on the female generative sphere of scots pine (Pinus sylvestris L.)]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya*. [Tomsk State University Journal of

Biology]. 2015. 3 (31). pp. 114-130.

4. Kalchenko L.I., Artymuk S.Yu., Tarakanov V.V., Ignatiev L.A. *Ekologo-geneticheskaya izmenchivost' sodержaniya khlorofillov «a» i «b» v khvoe sosny obyknovennoy* [Ecological and genetic variability of the content of chlorophylls "a" and "b" in the needles of scots pine]. *Khvoynyye boreal'noy zony* [Conifers of the boreal area]. 2007. Vol. XXIV. 2 - 3. pp. 193-196.

5. Kulagin A.Yu., Shayakhmetova R.I. *Osobennosti sodержaniya fotosinteticheskikh pigmentov v khvoe sosny obyknovennoy v usloviyakh neftyanogo zagryazneniya* [Peculiarities of photosynthetic pigments content in the *Pinus sylvestris* (L.) needles in conditions of oil pollution]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* [Proceedings of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. 2016. Vol. 18. 2-2. pp. 434-437.

6. Mokhov I.I., Semenov V.A. *Pogodno-klimaticheskiye anomalii v Rossiyskikh regionakh i ikh svyaz' s global'nymi izmeneniyami klimata* [Weather and climate anomalies in Russian regions and their connection with global climate change]. *Meteorologiya i gidrologiya* [Meteorology and Hydrology]. 2016. 2. pp. 16-28.

7. Ovechkina Ye.S., Shayakhmetova R.I. *Vliyaniye antropogennykh faktorov na sodержaniye pigmentov sosny obyknovennoy v letne-zimniy period na territorii Nizhneartovskogo rayona* [Influence of anthropogenic factors on the pigments content of scots pine in summer-winter period on the territory of Nizhneartovsk region]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* [Proceedings of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. 2015. Vol. 17. 6. pp. 236-241.

8. Sarankina YU.A. *Global'nyye ekologicheskiye problemy sovremennosti: kharakteristika i osnovnyye napravleniya preodoleniya* [Global ecological problems of the present: the characteristic and the basic directions of overcoming]. *Uchenyye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Yuridicheskiye nauki* [Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Juridical science.]. 2017. Vol. 3 (69). 3. pp. 193-199

9. Serdyukova A.P. *Otsenka sostoyaniya zashchitnykh lesnykh nasazhdeniy sosny obyknovennoy v zasukhu 2019 goda v stepnoy zone Voronezhskoy oblasti* [Assessment of the protective forest plantations of scots pine state in the drought of 2019 in the steppe zone of the Voronezh region]. *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Michurinsky State Agrarian University]. 2020. 4(63). pp. 77-80.

10. Tret'yakov N.N., Karnaukhova T. V., Panichkin L. A. and other. *Praktikum po fiziologii rasteniy* [Practicum on plant physiology]. 3th edition, supplemented and revised. Moscow: Agropromizdat Publ. house, 1990. 271 p.

Цитирование. Дегтярева А.П. Особенности содержания фотосинтетических пигментов в хвое сосны обыкновенной в разных экологических условиях // Научно-агрономический журнал. 2022. №3(118). С. 70-74. DOI: 10.34736/FNC.2022.118.3.010.70-74

Авторский вклад. Автор настоящего исследования принимал непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования, ознакомился и одобрил представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Citation. Degtyareva A.P. Features of Photosynthetic Pigments Content in the Pine Needles of the Scots Pine in Different Environmental Conditions. *Scientific Agronomy Journal*. 2022. 3(118). pp. 70-74. DOI: 10.34736/FNC.2022.118.3.010.70-74

Author's contribution. Author of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. Author of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. Author declare no conflict of interest.