

СОСТОЯНИЕ ПИГМЕНТНОГО КОМПЛЕКСА ОДУВАНЧИКА ЛЕКАРСТВЕННОГО (*TARAXACUM OFFICINALE* L.) КАК БИОИНДИКАТОРА АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ ТЕРРИТОРИИ НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА АРХАНГЕЛЬСКА

STATE OF THE PIGMENT COMPLEX OF *TARAXACUM OFFICINALE* L. AS A BIOINDICATOR OF THE ANTHROPOGENIC LOAD OF THE TERRITORY ON THE EXAMPLE OF THE CITY OF ARKHANGELSK

**N. Bebyakova
S. Levitsky
E. Zhibort
E. Kubasova
A. Sumarokova**

Summary. Anthropogenic environmental pollution causes significant disruptions in the functioning of the pigment complex of photosynthetic plants, which is expressed in a decrease in the content of chlorophylls *a*, *b* and carotenoids, shifts in the structure of chloroplast membranes and a decrease in the intensity of photosynthesis. The content of chlorophyll *a* and *b*, carotenoids in leaves of *Taraxacum officinale* L. growing in different anthropogenic load areas of Arkhangelsk was determined. This species is widespread in urban agglomerations of all natural zones of Russia and is actively used not only as a source of medicinal raw materials, but also as a bioindicator plant in monitoring the anthropogenic load on the territory. The quantitative content of pigments was evaluated by spectrophotometric method in the visible region of the spectrum. A reliable decrease in the concentration of all studied pigments in the leaves of plants with increasing anthropogenic load was found. Under these conditions, not only absolute indices of the pigment complex changed, but also such markers of anthropogenic impact on the environment as ratios: $C_{chl\ a} / C_{chl\ b}$ and $(C_{chl\ a} + C_{chl\ b}) / C_{carotenoids}$. The results obtained are also of interest in assessing the quality of herbal raw materials.

Keywords: bioindication, anthropogenic load, dandelion (*Taraxacum officinale* L.), chlorophyll, carotenoids.

Бебякова Наталья Александровна

д.б.н., профессор, Северный государственный
медицинский университет, г. Архангельск
nbebyakova@mail.ru

Левицкий Сергей Николаевич

к.б.н., доцент, Северный государственный
медицинский университет, г. Архангельск
sergeylevitski@yandex.ru

Жиборт Екатерина Леонидовна

к.б.н., доцент, Северный государственный
медицинский университет, г. Архангельск
zhibort71@yandex.ru

Кубасова Елена Дмитриевна

к.б.н., доцент, Северный государственный
медицинский университет, г. Архангельск
lapkino@mail.ru

Сумарокова Алина Владимировна

к.б.н., доцент, Северный государственный
медицинский университет, г. Архангельск
arh.alina@gmail.com

Аннотация. Антропогенное загрязнение окружающей среды вызывает существенные нарушения функционирования пигментного комплекса фотосинтезирующих растений, что выражается в уменьшении содержания хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов, сдвигах в структуре мембран хлоропластов и снижении интенсивности фотосинтеза. Определено содержание хлорофилла *a* и *b*, каротиноидов в листьях одуванчика лекарственного (*Taraxacum officinale* L.), произрастающего в различных по степени антропогенной нагрузки районах г. Архангельска. Данный вид широко распространен в городских агломерациях всех природных зон России и активно используется не только как источник лекарственного сырья, но и в качестве растения — биоиндикатора при проведении мониторинга антропогенной нагрузки на территорию. Количественное содержание пигментов оценивали спектрофотометрическим методом в видимой области спектра. Установлено достоверное снижение концентрации всех изучаемых пигментов в листьях растений при усилении антропогенной нагрузки. В данных условиях изменялись не только абсолютные показатели пигментного комплекса, но и такие маркеры антропогенного воздействия на окружающую среду как отношения: $C_{chl\ a} / C_{chl\ b}$ и $(C_{chl\ a} + C_{chl\ b}) / C_{кар}$. Полученные результаты представляют интерес и при оценке качества лекарственного растительного сырья.

Ключевые слова: биоиндикация, антропогенная нагрузка, одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale* L.), хлорофилл, каротиноиды.

Проблема высокой антропогенной нагрузки на территорию урбанизированных районов является чрезвычайно актуальной. В настоящее время существуют экологические проблемы городов, которые связаны с чрезмерной концентрацией на сравнительно небольших территориях населения, транспорта и промышленных предприятий, с образованием антропогенных ландшафтов, очень далеких от состояния экологического равновесия [1].

В пределах архангельской агломерации расположены крупные предприятия ТЭК, деревообрабатывающей промышленности, предприятия машиностроения и металлоконструкций, комбинат строительных конструкций и материалов, а также предприятия автомобильного, железнодорожного и водного транспорта, два аэропорта.

Для ранней диагностики изменения качества окружающей среды под воздействием антропогенной нагрузки целесообразно использовать методы биоиндикации и биотестирования, основанные на показателях, непосредственно или опосредованно характеризующих нарушение протекания различных метаболических процессов у различных групп живых организмов, в том числе и у высших фототрофов [2]. Общеизвестным является положение о том, что растения первыми улавливают изменения качества окружающей среды по сравнению с животными [3].

Одним из показателей биоиндикации, используемых для оценки загрязнений окружающей среды, является содержание хлорофилла и других пигментов, которые обуславливают потенциал фотосинтетической способности растений и регулирует количество поглощенной световой энергии. Содержание хлорофиллов и каротиноидов в норме стабильно, но быстро реагирует на изменение качества окружающей среды.

Исследования показывают, что подавление или стимуляция фотосинтеза является одной из характеристик ответной реакции организма на действие токсиканта, а также на нарушение тонкой структуры хлоропластов. Подобные изменения в плазмемной мембране могут быть причиной сдвигов в фотосинтезе и синтезе пигментов [4], а каротиноиды могут выполнять антиоксидантные функции, защищая клетки от повреждений, снижение их количества напрямую связано с расходом их на восстановительные процессы в клетках [5].

Целью работы являлось определение содержания пигментного комплекса (хлорофилла *a* и *b*, каротиноидов) в листьях растений одуванчика лекарственного (*Taraxacum officinale* L.), произрастающих в различных по степени антропогенной нагрузки районах г. Архангельска с целью их дальнейшего использования в качестве растительного сырья для лекарственных целей.

Объектом исследования был выбран одуванчик лекарственный, поскольку указанный вид растения хорошо изучен [6, 7], широко распространен, произрастает в различных условиях антропогенной нагрузки, в том числе и в условиях высоких широт [8–10] и может быть использован в качестве растения — биоиндикатора в городских агломерациях.

Одновременно одуванчик лекарственный относится к пляде лекарственных растений и его сырье используется для заготовки на условно чистых территориях. При этом важно и на таких территориях проводить мониторинг по возможному накоплению экотоксикантов в растительном сырье с целью формирования потенциального сырьевого источника заготовки.

Материалы и методы

Пигментный комплекс может служить маркером антропогенного загрязнения окружающей среды. При техногенной нагрузке наблюдается существенное изменение в содержании хлорофилла и каротиноидов в растительном сырье в сторону понижения, а также фиксируются сдвиги в структуре мембран хлоропластов и снижение интенсивности фотосинтеза [11, 12].

Сбор растительного материала (листья) осуществляли в июне 2023 года в фенологической фазе цветения в связи с наибольшим содержанием биоактивных веществ в этот период. Фаза вегетации также влияет на уровень хлорофилла и каротиноидов в листьях [13].

Листья собирали в трех точках города Архангельска с различной степенью антропогенной нагрузки. Точка 1 характеризовалась наличием вблизи крупного промышленного объекта (ТЭЦ) и автомагистрали с высокой интенсивностью движения. Точка 2 находилась на расстоянии 3 км от точки 1 (окрестность города с малой интенсивностью автотранспорта). Точка «контроль» характеризовалась значительной удаленностью от крупных промышленных объектов города и от крупных автомагистралей.

Содержание хлорофиллов *a* и *b*, каротиноидов определяли методом фотометрии в видимой области спектра на спектрофотометре ПЭ-5400ВИ с использованием стеклянных кювет с толщиной поглощающего слоя 10 мм. Измерение проводили при двух длинах волн 665 и 649 нм, соответствующих максимумам поглощения хлорофилла *a* и *b*. Количественное содержание каротиноидов определяли по адсорбционному максимуму при длине волны 470 нм.

Для определения содержания пигментов в растительном сырье получали извлечение путем растирания 40 мг свежих листьев одуванчика лекарственного в фар-

форовой ступке с последующим добавлением 10 мл 96 % спирта этилового. Извлечение оставляли на 48 часов в защищенном от света месте до полного выхода пигментов из растительного сырья [9].

Расчет содержания пигментов производили по формулам:

$$C_{\text{хл а}} = [(13,95 \cdot D_{665} - 6,88 \cdot D_{649}) \cdot V] / m \quad (1),$$

$$C_{\text{хл б}} = [(24,96 \cdot D_{649} - 7,32 \cdot D_{665}) \cdot V] / m \quad (2),$$

$$C_{\text{кар}} = [1000 \cdot D_{470} \cdot V / m - 2,05 \cdot C_{\text{хл а}} - 114,8 \cdot C_{\text{хл б}}] / 245 \quad (3),$$

где $C_{\text{хл а}}$, $C_{\text{хл б}}$, $C_{\text{кар}}$ — количество хлорофилла *a*, *b* и каротиноидов, выраженное в мг/г сырого вещества;

D_{665} , D_{649} и D_{470} — оптическая плотность спиртового извлечения пигментов при соответствующих длинах волн (нм);

m — масса взятой навески, мг;

V — объём этанола в пробирке, мл.

Результаты проведенного исследования представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Содержание пигментов (мг/г сырого вещества) в листьях одуванчика лекарственного *Taraxacum officinale* L., произрастающих в различных районах г. Архангельска

Показатели	хлорофилл а	хлорофилл б	каротиноиды
Контроль	5,7149±0,2528	4,1331±1,4719	1,7177±0,0739
Точка 1	5,1009±0,7354*	5,4222±3,0321**	1,5416±0,2061***
Точка 2	5,7058±0,6923	5,4383±2,2568	1,6673±0,1347

Примечание: * — $p=0,0121$, ** — $p=0,0345$, *** — $p=0,0073$ по сравнению с контролем.

Результаты проведенного исследования показали, что в точке 1 статистически достоверные различия наблюдались между всеми изученными показателями фотосинтетического аппарата растений, в точке 2 статистически достоверных различий не наблюдалось. При сравнении полученных результатов с подобными исследованиями в других регионах, содержание пигментов в растительном сырье одуванчика лекарственного находилось несколько ниже [10]. Низкие абсолютные показатели содержания хлорофиллов *a* и *b* в листьях растений, собранных на территории г. Архангельска, по сравнению с таковыми для растений, произрастающих в центральных и южных регионах страны, вероят-

но, связаны с климато-географическими особенностями региона произрастания (низкие температуры в летний период, непродолжительный вегетационный период, переувлажнение почв в результате обильных осадков). Указанные факторы существенно оказывают влияние на работу фотосинтетического аппарата.

Следует отметить, что абсолютные концентрации изучаемых пигментов не всегда дают представление о степени антропогенной нагрузки на окружающую среду территории. Для ее определения используют маркеры функционирования фотосинтетического аппарата растений, которые определяются как отношение концентрации хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* ($C_{\text{хл а}} / C_{\text{хл б}}$) и отношение концентрации суммы хлорофиллов *a* и *b* к концентрации каротиноидов $(C_{\text{хл а}} + C_{\text{хл б}}) / C_{\text{кар}}$. При загрязнении окружающей среды первый показатель, как правило, уменьшается, а второй — увеличивается [8, 9, 14, 15].

Результаты нашего исследования (табл. 2) показывают, что по сравнению с контролем отношение $C_{\text{хл а}} / C_{\text{хл б}}$ уменьшилось на 31,9 % в точке 1 и на 23,9 % в точке 2, а отношение $(C_{\text{хл а}} + C_{\text{хл б}}) / C_{\text{кар}}$ увеличилось на 19,2 % и 16,6 % соответственно. Полученные показатели согласуются с результатами других исследователей [6, 14, 16].

Таблица 2.

Соотношения $C_{\text{хл а}} / C_{\text{хл б}}$, $(C_{\text{хл а}} + C_{\text{хл б}}) / C_{\text{кар}}$ в листьях одуванчика лекарственного *Taraxacum officinale* L., произрастающих в различных районах г. Архангельска

Показатели	$C_{\text{хл а}} / C_{\text{хл б}}$	$(C_{\text{хл а}} + C_{\text{хл б}}) / C_{\text{кар}}$
Контроль	1,38	5,73
Точка 1	0,94	6,83
Точка 2	1,05	6,68

Таким образом, состояние пигментного комплекса (содержанию хлорофилла *a* и *b*, каротиноидов) в экстрактах листьев одуванчика лекарственного может принято в качестве маркера для оценки степени антропогенного влияния на экосистему.

Содержание хлорофиллов и каротиноидов в листьях *Taraxacum officinale* L. является информативным, а сам вид удобным тест — объектом для применения его в качестве биоиндикатора. Подобные исследования позволяют не только оценить антропогенную нагрузку на окружающую среду территории, но и определиться с возможной сырьевой базой для заготовки лекарственного растительного сырья.

ЛИТЕРАТУРА

1. Телекулова А.М., Дубовенко Ю.И., Витвинина С.Н., Хайрулина О.А. Влияние ионов кадмия на содержание фотосинтезирующих пигментов Одуванчика лекарственного (*Taraxacum officinale*) // Материалы VII Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум». Режим доступа: URL: <https://scienceforum.ru/2015/article/2015017173?ysclid=lotxew9gw259163> (дата обращения: 11.11.2023)
2. Иванцова Е.А., Постнова М.В., Сагалаев В.А., Матвеева А.А., Холоденко А.В. Экологическая оценка городских агломераций на основе индикаторов устойчивого развития // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 3, Экономика. Экология. — 2019. — Т. 21, № 2. — С. 143–156. Режим доступа: URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskaya-otsenka-gorodskih-aglomeratsiy-na-osnove-indikatorov-ustoychivogo-razvitiya> (дата обращения: 22.10.2023)
3. Шадрин Е.Г., Солдатов В.Ю., Макаров В.С. Биоиндикационная оценка качества среды. Новосибирск: Наука, 2017. — 240 с.
4. Медведев С.С. Физиология растений: учеб. / С.С. Медведев. — СПб. : изд-во СПб. ун-та. — 2004. — 336 с.
5. Семенова В.А., Николаев А.И. Влияние токсикантов на растения в придорожной зоне автотрассы «Тюмень — Петропавловск» // Лесхоз. информ.: электронный сетевой журнал. — 2020. — № 2. — С. 144–152. Режим доступа: URL: <http://hi.vniilm.ru/> (дата обращения: 20.09.2023)
6. Онистратенко Н.В., Рубанова К.И. Одуванчик лекарственный *Taraxacum officinale* L. Как перспективный инструмент биодиагностики состояния городской среды // Природные системы и ресурсы. — 2021. — Т. 11, № 3. — С. 14–21. Режим доступа: URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/oduvanchik-lekarstvennyy-taraxacum-officinale-l-kak-perspektivnyy-instrument-biodiagnostiki-sostoyaniya-gorodskoy-sredy> (дата обращения: 22.10.2023)
7. Сафонова В.Ю., Сафонова О.В., Абросимов С.С. О возможностях использования одуванчика лекарственного в качестве биоиндикатора // Алтай — трансграничный: природный, социально-экономический, культурный и рекреационный портал Евразии: Материалы II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Горно-Алтайск, 26–27 ноября 2020 года. — Горно-Алтайск: Горно-Алтайский государственный университет, 2020. — С. 135–140. Режим доступа: URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=45762096> (дата обращения: 12.07.2023)
8. Шмакова Н.Ю., Марковская Е.Ф., Ермолаева О.В., Морозова К.В. Фотосинтетический аппарат *TARAXACUM ARCTICUM* и *TARAXACUM OFFICINALE* (ASTERACEAE) на Западном Шпицбергене // Ботанический журнал. 2021. — Т. 106. — № 7. — С. 676–682
9. Шубина А.Г. Содержание хлорофилла и каротиноидов в листьях одуванчика лекарственного (*Taraxacum officinale*) и березы повислой (*Betula pendula* Roth.), растущих в г. Тамбове // Вестник ТГУ. 2011. — Т.16. — №1. — С. 353–355
10. Кириенко Н.Н., Терлеева П.С. Влияние техногенного загрязнения территории на содержание пигментов в листьях лекарственных растений. Режим доступа: URL: www.kgau.ru/img/konferenc/2009/22.doc (дата обращения: 02.06.2023)
11. Уразильдин Р.В., Кулагин А.Ю. Повреждения, адаптации, стратегии древесных видов в условиях техногенеза: структурно-функциональные уровни реализации адаптивного потенциала // Успехи современной биологии. 2022. — Т. 142. — № 1. — С. 52–69
12. Синютина С.Е., Шубина А.Г. Использование показателей фотосинтетической и ферментативной активности растений в биоиндикационных исследованиях. *Journal of Agriculture and Environment*. 2020. № 4. Режим доступа: URL: <https://doi.org/10.23649/jae.2020.4.16.3> (дата обращения: 11.07.2023)
13. Лозовицкий Д.А. Изучение липофильных веществ травы *Taraxacum officinale* wigg // Научные результаты биомедицинских исследований. 2017. №1. Режим доступа: URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izuchenie-lipofilnyh-veschestv-travy-taraxacum-officinale-wigg> (дата обращения: 11.11.2023)
14. Акатьева Т.Г. Оценка качества атмосферного воздуха вс. Армизонское Тюменской области методом биоиндикации // Вестник Нижневартковского государственного университета. — 2020. — №2. — С. 151–156. Режим доступа: URL: https://vestnik.nvsu.ru/2311-1402/article/view/49753/ru_RU (дата обращения: 12.10.2022)
15. Кириенко Н.Н., Терлеева П.С. Влияние техногенного загрязнения территории на содержание пигментов в листьях лекарственных растений. Режим доступа: URL: www.kgau.ru/img/konferenc/2009/22.doc (дата обращения: 06.08.2023)
16. Толкачёва Т.А., Володько А.С., Фомичёва Н.С. Содержание фотосинтетических пигментов и феноловых кислот в экстрактах, полученных из листьев дикорастущих растений // Вестник МДПУ імя І. П. Шамякіна. — 2021. — №2 (58). Режим доступа: URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/soderzhanie-fotosinteticheskikh-pigmentov-i-fenolovyh-kislot-v-ekstraktah-poluchennyh-iz-listiev-dikorastuschih-rasteniy> (дата обращения: 22.10.2023)

© Бебякова Наталья Александровна (nbebyakova@mail.ru); Левицкий Сергей Николаевич (sergeylevitski@yandex.ru);

Жиборт Екатерина Леонидовна (zhibort71@yandex.ru); Кубасова Елена Дмитриевна (lapkino@mail.ru);

Сумарокова Алина Владимировна (arh.alina@gmail.com)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»