

СОДЕРЖАНИЕ ПИГМЕНТОВ В ЛИСТЯХ ИНВАЗИОННОГО ВИДА – БОРЩЕВИКА СОСНОВСКОГО В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЁННОСТИ ПОЧВ ПОДВИЖНЫМИ ФОРМАМИ СВИНЦА

© 2025

Сивухин А.Н., Борисова Е.А.

Ивановский государственный университет (г. Иваново, Российская Федерация)

Аннотация. Статья посвящена изучению фотосинтетических пигментов в листьях инвазивного вида – борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.). Приводятся данные о содержании хлорофиллов (Chl *a* и Chl *b*), а также каротиноидов (Car) в листьях борщевика Сосновского в экотопах с разной степенью загрязнённости почвы подвижными формами свинца на территории Ивановской области. В результате анализа полученных данных было установлено, что концентрация пигментов в листьях борщевика Сосновского варьирует в широком диапазоне (концентрация Chl *a* – от 1,32 до 6,98 мг/г; концентрация Chl *b* – от 0,46 до 2,72 мг/г, концентрация каротиноидов – от 0,37 до 1,45 мг/г). Содержание хлорофиллов и каротиноидов в листьях борщевика в целом снижается при увеличении концентрации подвижных форм свинца в почве, а величина соотношения количества Chl *a*/Chl *b* повышается. Величина соотношения суммы хлорофиллов (Chl *a* + Chl *b*) к содержанию каротиноидов (Car) остаётся стабильной. Полученные материалы могут служить основой для дальнейшего изучения пигментов фотосинтетического аппарата инвазивного растения – борщевика Сосновского в условиях разной степени антропогенного воздействия на территории Ивановской области и смежных регионов.

Ключевые слова: пигменты фотосинтеза; хлорофиллы; каротиноиды; борщевик Сосновского; *Heracleum sosnowskyi*; тяжёлые металлы; подвижные формы свинца в почве; инвазивные виды растений; Ивановская область.

PIGMENT CONTENT IN LEAVES OF AN INVASIVE SPECIES – SOSNOWSKI'S HOGWEED UNDER CONDITIONS OF SOIL CONTAMINATION WITH MOBILE FORMS OF LEAD

© 2025

Sivukhin A.N., Borisova E.A.

Ivanovo State University (Ivanovo, Russian Federation)

Abstract. The article is devoted to the study of photosynthetic pigments in leaves of the invasive species *Heracleum sosnowskyi* Menden. The data on the content of chlorophylls (Chl *a* and Chl *b*) and carotenoids (Car) in leaves of Sosnowski's hogweed in ecotopes with different degrees of soil contamination with mobile forms of lead in the territory of Ivanovo Region are presented. As a result of the analysis of the obtained data it was found that the concentration of pigments in leaves of Sosnowsky's hogweed varies in a wide range (concentration of Chl *a* – from 1,32 to 6,98 mg/g; concentration of Chl *b* – from 0,46 to 2,72 mg/g, concentration of carotenoids – from 0,37 to 1,45 mg/g). The content of chlorophylls and carotenoids in leaves of *Heracleum sosnowskyi* generally decreases with increasing concentration of mobile forms of lead in soil, and the value of the ratio of the amount of Chl *a*/Chl *b* increases. The value of the ratio of the sum of chlorophylls (Chl *a* + Chl *b*) to the content of carotenoids (Car) remains stable. The obtained materials can serve as a basis for further study of the photosynthetic apparatus pigments of the invasive plant – Sosnowsky's hogweed under conditions of different degrees of anthropogenic impact in the Ivanovo Region and adjacent regions.

Keywords: photosynthetic pigments; chlorophylls; carotenoids; Sosnowski's hogweed; *Heracleum sosnowskyi*; heavy metals; mobile forms of lead in soil; invasive plant species; Ivanovo Region.

Введение

Фотосинтезирующий аппарат растений способен реагировать на неблагоприятные факторы внешней среды изменяя содержание пигментных комплексов. Содержание хлорофиллов считаются одним из самых информативных показателей, характеризующих состояние фотосинтезирующего аппарата растений [1; 2]. Данные о количестве и соотношении хлорофиллов *a* и *b* и другие изменения пигментной системы являются чувствительным показателем физиологического состояния растений, а также позволяют выявить особенности адаптации видов, обеспечивающие их успешное существование в антропогенно нарушенных местообитаниях, приближающихся к экстремальным

[3; 4]. Изучение содержания фотосинтезирующих пигментов различных видов растений относится к актуальным исследованиям и активно проводятся в нашей стране [5–10].

Борщевик Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden) – чужеродный вид, который входит в перечень самых опасных инвазивных видов России, представляющих угрозу для природных экосистем и здоровья населения [11]. Вид характеризуется высокой экологической пластичностью, способен обитать в широком диапазоне экологических условий, активное и стремительное распространения в России приравняется к экологическому бедствию [12]. В Ивановской области борщевик Сосновского стал выращиваться

как силосная культура с первой половины 1970-х гг., в конце 1980-х гг. началось его активное распространение. В последнее десятилетие он встречается во всех муниципальных районах области в различных типах антропогенных экотопов, а также в природных сообществах [13], в том числе активно заселяет местообитания, почвы которых содержат тяжёлые металлы. Исследования загрязнённости почв тяжёлыми металлами, проводимые в 2012–2020 гг. позволили установить загрязнённые участки региона [14; 15]. Наиболее опасными загрязнителями среди тяжёлых металлов считаются ртуть, свинец, кадмий, цинк, но т.к. свинец имеет наибольший период выведения из системы «почва–растение», вопрос изучения его влияния на растения является наиболее актуальным [16]. Степень накопления свинца в почвах и растениях оказывает влияния на биохимические процессы, ионы свинца подавляют рост растений, нарушают поглощение минеральных элементов, водный баланс, воздействуют на структуру и проницаемость мембран, интенсивность фотосинтеза [17; 18].

Целью данных исследований явилось изучение содержания пигментов (хлорофиллов и каротиноидов) в листьях борщевика Сосновского в зависимости от загрязнения почв подвижными формами свинца.

Методика работы

Полевые исследования проводились в июне 2024 г. в различных природных и антропогенных местообитаниях с участием борщевика Сосновского, на участках с почвами, загрязненными подвижными формами свинца. На основании исследований прошлых лет [15; 16] было выбрано 8 площадок, с почвами, загрязненными подвижными формами свинца, на которых были заросли борщевика Сосновского: сбитый луг у д. Белино – **Б**; пустырь в центральной части г. Иваново – **К**; придорожная луговина у ж.-д. переезда ст. Текстильный – **Ж**; старые зарастающие золоотвалы ТЭЦ-2 в г. Иваново – **З**; поляна в смешанном лесу в окрестностях с. Якишино – **Я**; поляна в смешанном лесу близ Уводского водохранилища – **У**; гра-

ница пашни у пос. Чернореченский – **Ч**; залежь у д. Шульгино – **Ш**.

В каждом участке были отобраны листья борщевика Сосновского для лабораторных экспериментов, которые проводились на базе кафедры биологии ИВГУ. Оптическую плотность пигментов определяли на спектрофотометре (КФК-3-«ЗОМЗ», Россия) в спиртовых вытяжках с длинами волн: 665 нм (Chl a), 649 нм (Chl b), 470 нм (Car), каждое измерение проводилось 3-кратной последовательности. Затем рассчитывали концентрацию и содержание каждого пигмента по формулам (*C* – концентрация, *D* – оптическая плотность):

$$Ca \text{ mg/l} = 13,7 D_{665} - 5,76 D_{649}$$

$$Cb \text{ mg/l} = 25,8 D_{649} - 7,6 D_{665}$$

$$Ccar \text{ mg/l} = (1000 D_{470} - 3,27 Ca - 100 Cb) / 229$$

После установления концентрации пигментов в экстракте, рассчитывали их количественное содержание в листьях (*A*, мг/г) по формуле:

$$A = VC/1000P,$$

где *V* – объем спиртового экстракта, мл; *C* – концентрация пигмента в спиртовом растворе, мг/л; *P* – навеска, г.

Полученные данные были обработаны статистически с использованием пакетов компьютерных программ OpenOffice и Jamovi.

Результаты исследований и их обсуждение

Результаты определения содержания пигментов в листьях борщевика Сосновского на 8 исследованных площадках, загрязненных подвижными формами свинца приведены в табл. 1. Концентрация подвижных форм свинца в почве (Pb_{mov}, мг/кг) ни на одной из площадок не превысило ПДК (6 мг/кг), но разница между данными на площадках значительна и составляет более чем двукратную между наименее и наиболее загрязнённой.

Таблица 1 – Концентрация пигментов в листьях борщевика Сосновского на исследованных площадках

Площадки	Концентрация пигментов, мг/г							Pb _{mov} , мг/кг
	Chl a	Chl b	Car	Chl (a + b)	Chl (a + b) + Car	Chl a / Chl b	Chl (a + b) / Car	
Ч	1,32 ± 0,08 1,16–1,48	0,46 ± 0,03 0,40–0,52	0,37 ± 0,02 0,33–0,41	1,80 ± 0,11	2,17 ± 0,13	2,83 ± 2,6	4,85 ± 0,11	0,16 ± 0,01
Я	6,64 ± 0,71 6,21–9,07	2,72 ± 0,19 2,338–3,10	1,94 ± 0,18 1,57–2,31	9,37 ± 0,905	11,31 ± 1,08	2,81 ± 0,37	4,81 ± 0,91	0,17 ± 0,01
У	3,68 ± 0,20 3,26–4,09	1,45 ± 0,08 1,27–1,62	0,91 ± 0,07 0,76–1,05	5,13 ± 0,21	6,04 ± 0,28	2,53 ± 0,23	5,65 ± 0,21	0,19 ± 0,01
Ш	4,49 ± 0,30 3,89–5,09	1,29 ± 0,10 1,08–1,51	1,39 ± 0,08 1,22–1,57	5,79 ± 0,41	7,19 ± 0,49	3,46 ± 0,3	4,14 ± 0,41	0,22 ± 0,01
Б	2,15 ± 0,18 1,78–2,52	0,54 ± 0,03 0,48–0,60	0,81 ± 0,07 0,66–0,95	2,70 ± 0,218	3,51 ± 0,31	3,96 ± 0,080	3,33 ± 0,21	0,24 ± 0,02
З	2,54 ± 0,16 2,22–2,86	0,86 ± 0,06 0,72–0,99	0,63 ± 0,04 0,5–0,7	3,41 ± 0,23	4,04 ± 0,27	2,95 ± 0,58	5,33 ± 0,23	0,27 ± 0,01
К	1,69 ± 0,16 1,364–2,02	0,51 ± 0,03 0,45–0,58	0,55 ± 0,03 0,48–0,61	2,21 ± 0,2	2,76 ± 0,234	3,27 ± 0,49	4,01 ± 0,2	0,31 ± 0,02
Ж	4,98 ± 0,43 5,10–6,85	2,33 ± 0,12 2,09–2,58	1,45 ± 0,09 1,25–1,64	7,32 ± 0,56	8,77 ± 0,65	2,55 ± 0,28	5,05 ± 0,56	0,35 ± 0,02
V%	53,57	67,51	53,29	56,85	55,97	20,29	16,487	28,35

Примечание. V% – коэффициент вариации.

В результате анализа полученных данных было установлено, что концентрация пигментов в листьях борщевика Сосновского варьирует в широком диапазоне. Концентрация Chl *a* варьирует от 1,32 до 6,98 мг/г; концентрация Chl *b* – от 0,46 до 2,72 мг/г, концентрация каротиноидов – от 0,37 до 1,45 мг/г. Причем рассчитанные коэффициенты вариации показывают более значительную изменчивость концентрации хлорофилла *b* (Chl *b*). Концентрации пигментов хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов в листьях борщевика Сосновского на 8 изученных площадках наглядно показано на рисунке 1.

Общее значение суммы хлорофиллов Chl (*a* + *b*) оказываются более стабильными, для всех показателей характерна умеренная изменчивость. Величина отношения содержания хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* (Chl *a* / Chl *b*) характеризуется низкой изменчивостью, значений, на всех площадках значения этого показателя близки к среднему (рис. 2).

Определение отношения сумм хлорофиллов и каротиноидов важно при характеристике работы фотосинтетического аппарата, этот показатель чутко реагирует на изменения условий и указывает на степень приспособленности растений к неблагоприятным факторам [6; 8].

Полученные значения отношений суммы содержания хлорофиллов к содержанию каротиноидов (Chl (*a* + *b*) / Car) в листьях борщевика Сосновского на исследуемых площадках варьируют незначительно (от 3,33 мг/г до 5,65 мг/г). Это свидетельствует о хорошей адаптации фотосинтетического аппарата данного вида к условиям среды с повышенным содержанием свинца в почвах.

Проведенный корреляционный анализ демонстрирует статистически достоверные отрицательные связи между концентрацией изучаемых пигментов и концентрацией подвижных форм свинца в почве. При повышении в почве подвижных форм свинца, концентрация всех пигментов (Chl *a*, Chl *b*, Car) в листьях борщевика Сосновского на изученных площадках снижается ($p < 0,01$). Для более детальных оценок концентраций пигментов и их соотношений, были построены групповые гистограммы с графиком накопления концентрации подвижных форм свинца в почве (рис. 3, 4).

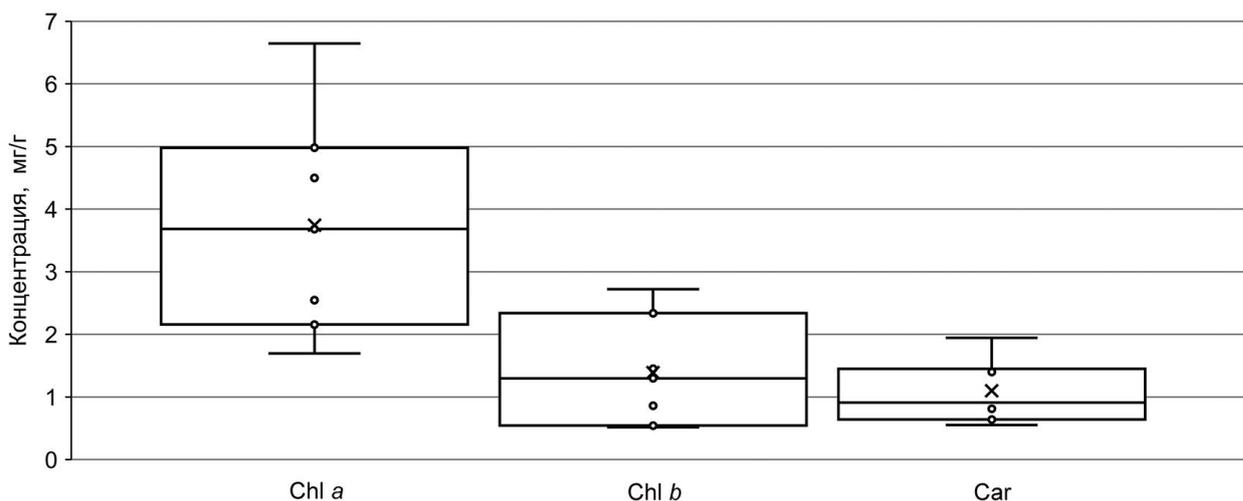


Рисунок 1 – Концентрации хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов листьев борщевика Сосновского на 8 изученных площадках

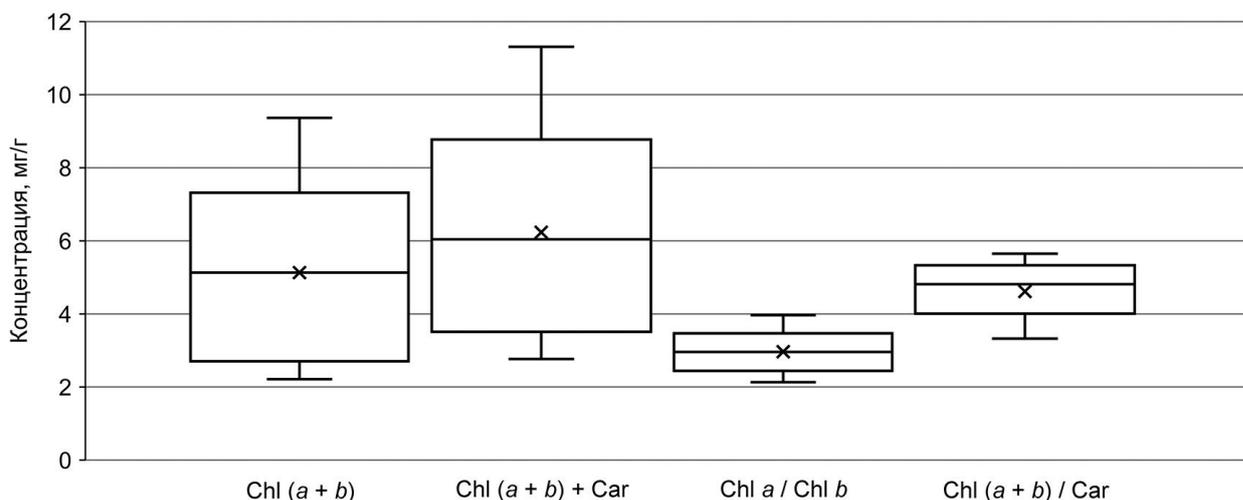


Рисунок 2 – Общее содержание хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов в листьях борщевика Сосновского на 8 изученных площадках

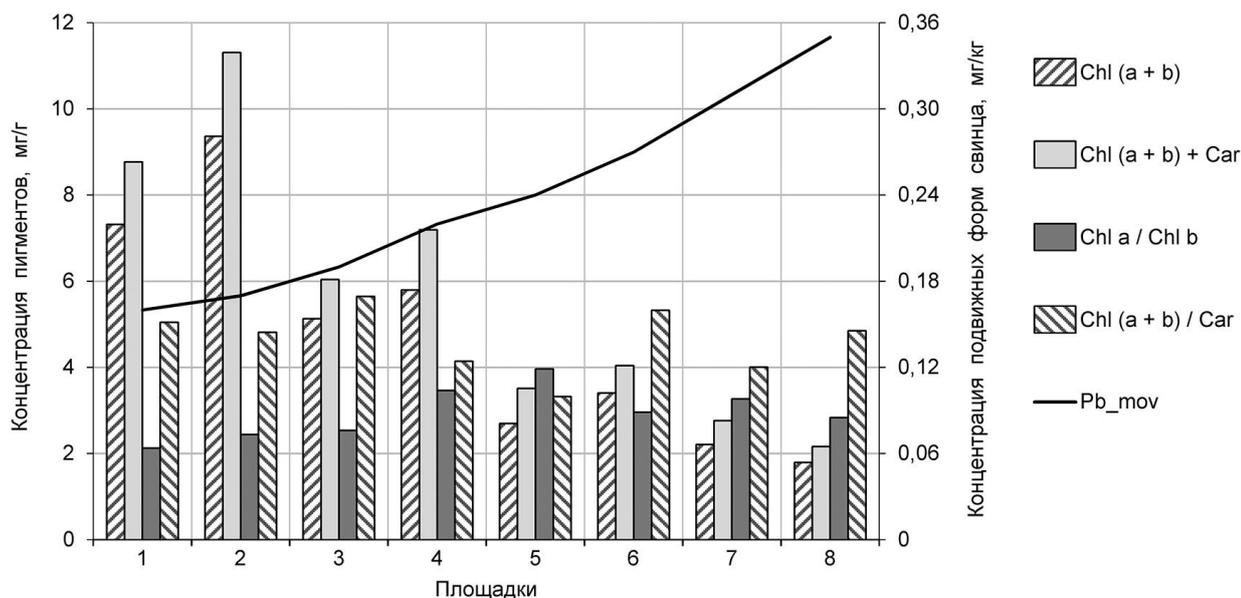


Рисунок 3 – Распределение концентраций хлорофилла *a*, *b* и каротиноидов в листьях у борщевика Сосновского в соответствии с содержанием подвижных форм свинца в почве на 8 изученных площадках

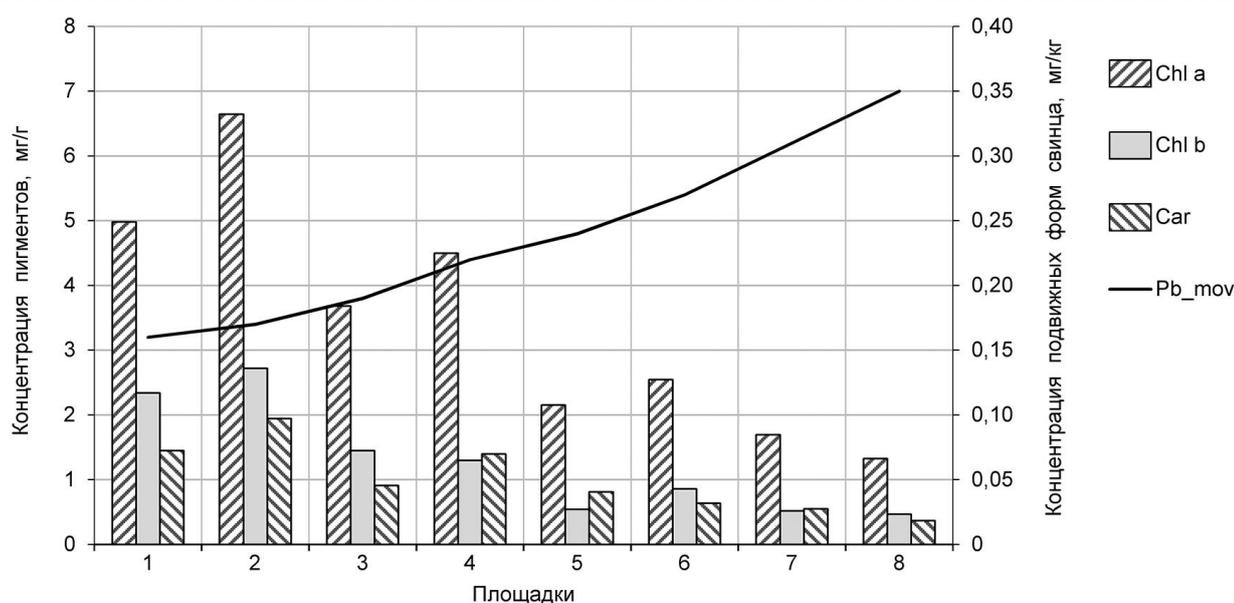


Рисунок 4 – Распределение концентраций суммы хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов в листьях борщевика Сосновского в соответствии с концентрацией подвижных форм свинца в почве на 8 изученных площадках

Показано, что экземпляры борщевика Сосновского, произрастающие на менее загрязнённых свинцом почвах, имеют более высокую концентрацию всех пигментов в листьях. Уменьшение общего содержания хлорофиллов под действием растворов свинца, концентрации которых превышали ПДК, установлено в экспериментах на примере некоторых культурных растений [16–18]. Однако, у некоторых у древесных растений в городской среде в условиях накопления в почвах тяжёлых металлов отмечено увеличение содержания хлорофиллов и каротиноидов в листьях [19; 20]. Специальные изучения содержания пигментов в листьях березы повислой не показали заметной корреляции их с содержанием свинца в городских условиях [21].

Величина отношения количества хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* ($Chl\ a / Chl\ b$) в листьях растений борщевика Сосновского на менее загрязнённых свинцом участках оказался ниже, чем у растений с повышенным содержанием свинца в почве. Хотя уменьшение величины ($Chl\ a / Chl\ b$) считается показателем стресса у растений [17; 22].

Статистически достоверной разницы значений отношения суммы концентраций хлорофиллов *a* и *b* к концентрации каротиноидов ($Chl\ (a + b) / Car$) не было выявлено. Возможно, это связано с высокой адаптационной способностью фотосинтетического аппарата борщевика Сосновского к подвижным формам свинца. Но возможно, при высоком содержании тяжёлых металлов в почвах ионы свинца накапливаются в

ризосфере или в корнях растений, поступление их в листья ограничивается специальными защитными механизмами. Также установлено, что часть подвижных форм тяжёлых металлов под действием корневых выделений может переходить в менее активное состояние [17; 18]. У некоторых природных видов, например, у осоки острой, установлено отрицательное влияние высоких концентраций свинца и кадмия на содержание пигментов фотосинтеза в листьях, что связано с наличием биохимического барьера, который позволяет этому виду не поглощать ионы свинца из почвы [23].

Исследования изучения пигментов листьев борщевика Сосновского следует продолжить, прежде всего, изучить концентрацию пигментов в листьях на участках, не загрязнённых тяжёлыми металлами. Полученные материалы могут служить основой для дальнейшего изучения пигментов фотосинтетического аппарата инвазионного растения – борщевика Сосновского в условиях разной степени антропогенного воздействия на территории Ивановской области и смежных регионов.

Заключение

Таким образом, изучение содержания фотосинтезирующих пигментов в листьях борщевика Сосновского в экотопах с разной степенью загрязнённости почвы подвижными формами свинца на территории Ивановской области позволило установить, что концентрация пигментов варьирует в широком диапазоне (концентрация $Chl\ a$ – от 1,32 до 6,98 мг/г; концентрация $Chl\ b$ – от 0,46 до 2,72 мг/г, концентрация каротиноидов – от 0,37 до 1,45 мг/г). Содержание хлорофиллов и каротиноидов в листьях борщевика в целом снижается при увеличении концентрации подвижных форм свинца в почве, а величина соотношения количества $Chl\ a / Chl\ b$ повышается. Величина соотношения суммы хлорофиллов ($Chl\ a + Chl\ b$) к содержанию каротиноидов (Car) остаётся стабильной. Статистически достоверной разницы значений отношения суммы концентраций хлорофиллов a и b к концентрации каротиноидов ($Chl\ (a + b) / Car$) не выявлено. Полученные данные в целом свидетельствуют о высокой адаптационной способности борщевика Сосновского к подвижным формам свинца в почве. Исследования следует продолжить, прежде всего, изучить концентрацию пигментов листьев борщевика Сосновского на участках, не загрязнённых тяжёлыми металлами.

Список источников:

1. Уромова И.П., Штырлина О.В., Дедюра И.С. Влияние антропогенных факторов на содержание фотосинтетических пигментов в листьях древесных растений в городских условиях // *Journal of Agriculture and Environment*. 2023. № 12 (40). DOI: 10.23649/jae.2023.40.15.
2. Турбина И.Н., Кукуричкин Г.М. Биохимические механизмы адаптации древесных растений семейства *Rosaceae* Juss. в условиях интродукции // *Труды по интродукции и акклиматизации растений*. Вып. 1 / под ред. А.В. Федорова. Ижевск, 2021. С. 623–629.
3. Тужилкина В.В. Реакция пигментной системы хвойных на длительное аэротехногенное загрязнение // *Экология*. 2009. № 4. С. 243–248.
4. Дымова О.В., Головкин Т.К. Фотосинтетические пигменты: функционирование, экология, биологическая ак-

тивность // *Известия Уфимского научного центра РАН*. 2018. № 3–4. С. 5–16.

5. Дымова О.В., Головкин Т.К. Фотосинтетические пигменты в растениях природной флоры таежной зоны европейского северо-востока России // *Физиология растений*. 2019. Т. 66, № 3. С. 198–206. DOI: 10.1134/s0015330319030035.

6. Сарсацкая А.С. Содержание фотосинтетических пигментов у древесных пород городских насаждений // *Вестник Кемеровского государственного университета*. Серия: Биологические, технические науки и науки о Земле. 2017. № 4 (4). С. 9–14. DOI: 10.21603/2542-2448-2017-4-9-14.

7. Петухов А.С., Христов Н.А., Петухова Г.А. Оценка содержания пигментов фотосинтеза у растений разных видов в условиях антропогенного стресса [Электронный ресурс] // *Международный студенческий научный вестник*. 2017. № 6. <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=17987>.

8. Иванов Л.А., Ронжина Д.А., Юдина П.К., Золотарева Н.В., Калашникова И.В., Иванова Л.А. Сезонная динамика содержания хлорофиллов и каротиноидов в листьях степных и лесных растений на уровне вида и сообщества // *Физиология растений*. 2020. Т. 67, № 3. С. 278–288. DOI: 10.31857/s0015330320030112.

9. Кравченко И.В., Кукуричкин К.М., Наконечный Н.В. Количественное содержание фотосинтетических пигментов у некоторых растений природного парка «Сибирские Увалы» // *Природопользование и охрана природы: Охрана памятников природы, биологического и ландшафтного разнообразия Томского Приобья и других регионов России: мат-лы IX всерос. с междунар. участием науч.-практ. конф. / под ред. Н.М. Семенович. Томск: Изд-во Томского государственного университета, 2020. С. 187–190. DOI: 10.17223/978-5-94621-954-9-2020-44.*

10. Синеговская В.Т., Низкий С.Е., Науменко Е.Е. Хлорофилл как критерий устойчивости растений сои к длительному затоплению почвы // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022. Т. 23, № 6. С. 788–795. DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.6.788-795.

11. Самые опасные инвазионные виды России (топ-100) / ред. Ю.Ю. Дгебуадзе, В.Г. Петросян, Л.А. Хляп. М.: Тов-во научных изданий КМК, 2018. 688 с.

12. Петрова И.Ф., Королева Е.Г. Оценка опасности распространения борщевика Сосновского в России // *Известия Российской академии наук. Серия географическая*. 2022. Т. 86, № 5. С. 788–798. DOI: 10.31857/s2587556622050090.

13. Borisova E.A. Patterns of invasive plants species distribution in the Upper Volga basin // *Russian Journal of Biological Invasions*. 2011. Vol. 2, № 1. DOI: 10.1134/s207511711010024.

14. Сивухин А.Н., Марков Д.С., Нода И.Б. Распределение уровней загрязнения почвы тяжёлыми металлами в Ивановской и Костромской областях // *Юг России: экология, развитие*. 2020. Т. 15, № 2 (55). С. 158–164. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-2-158-164.

15. Румянцев И.В., Дунаев А.М., Сивухин А.Н., Марков Д.С., Гриневич В.И. Эколого-гигиеническая оценка качества почв Ивановской области // *Безопасность в техносфере*. 2017. Т. 6, № 1. С. 31–37.

16. Еськова Е.Н. Влияние свинца на содержание хлорофилла в листьях ярового ячменя // *Проблемы современной аграрной науки: мат-лы междунар. заоч. науч. конф.* Красноярск: Краснояр. гос. аграр. ун-т, 2015. С. 21–22.

17. Кушнарева О.П., Перекрестова Е.Н. Влияние различных концентраций солей меди и свинца на содержание хлорофилла и содержание углерода в листьях рас-

тений // Вестник Оренбургского государственного университета. 2015. № 10 (185). С. 294–297.

18. Rout G.R., Das P. Effect of metal toxicity on plant growth and metabolism: I. Zinc // *Agronomie*. 2003. Vol. 23, № 1. P. 3–11. DOI: 10.1051/agro:2002073.

19. Коротченко И.С. Влияние тяжёлых металлов на содержание фотосинтетических пигментов в листьях моркови // Вестник КрасГАУ. 2011. Вып. 4 (55). С. 86–91.

20. Doganlar Z.B., Doganlar O., Erdogan S., Onal Yu. Heavy metal pollution and physiological changes in the leaves of some shrub, palm and tree species in urban areas of Adana, Turkey // *Chemical Speciation & Bioavailability*. 2012. Vol. 24, iss. 2. P. 65–78. DOI: 10.3184/095422912x13338055043100.

21. Петухов А.С., Кремлева Т.А., Петухова Г.А., Христовин Н.А. Биохимическая ответная реакция берёзы по-

вислой (*Betula pendula*) на накопление тяжёлых металлов в городской среде // Российский журнал прикладной экологии. 2023. № 3 (35). С. 56–64. DOI: 10.24852/2411-7374.2023.3.56.64.

22. Стасова В.В., Скрипальщикова Л.Н., Астраханцева Н.В., Барченков А.П. Фотосинтетические пигменты в листьях берёзы повислой при техногенном воздействии // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2023. № 3 (393). С. 35–47. DOI: 10.37482/0536-1036-2023-3-35-47.

23. Шепелева Л.Ф., Шепелев А.И., Кравченко И.В. Реакция среды и содержание тяжёлых металлов в аллювиальных почвах поймы реки Большой Юган // Вестник Нижневартковского государственного университета. 2017. № 1. С. 94–102.

Информация об авторе(-ах):	Information about the author(-s):
Сивухин Алексей Николаевич , старший преподаватель кафедры биологии; Ивановский государственный университет (г. Иваново, Российская Федерация). E-mail: ecobiota@mail.ru.	Sivukhin Alexey Nikolaevich , senior lecturer of Biology Department; Ivanovo State University (Ivanovo, Russian Federation). E-mail: ecobiota@mail.ru.
Борисова Елена Анатольевна , доктор биологических наук, доцент, заведующий кафедрой биологии; Ивановский государственный университет (г. Иваново, Российская Федерация). E-mail: floraea@mail.ru.	Borisova Elena Anatolyevna , doctor of biological sciences, associate professor, head of Biology Department; Ivanovo State University (Ivanovo, Russian Federation). E-mail: floraea@mail.ru.

Для цитирования:

Сивухин А.Н., Борисова Е.А. Содержание пигментов в листьях инвазионного вида – борщевика Сосновского в условиях загрязнённости почв подвижными формами свинца // Самарский научный вестник. 2025. Т. 14, № 1. С. 57–62. DOI: 10.55355/snv2025141108.