Химия растительного сырья. 2026. №3. С. 192–201.
Khimiya rastitel'nogo syr'ya, 2026, no. 3, pp. 192–201.
DOI: 10.14258/jcprm.20260318982

УДК 634.0.813.2

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И НЕПОЛЯРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ КОРНЕЙ БОРЩЕВИКА СОСНОВСКОГО

© ***А.Ф. Репнин, Д.С. Миксон*, Е.Н. Васильева, В.Д. Липкан, В.И. Рощин***

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, Институтский пер., 5, Санкт-Петербург, 194021, Россия, ms.mikson@mail.ru

Изучен химический состав корней борщевика Сосновского. По содержанию основных структурных компонентов – целлюлозы и лигнина – корни разного периода вегетации практически не различаются, доля целлюлозы – 29.5–30.4% (% от сух. сырья), лигнина – 11.5–12.7%. Вещества, извлекаемые горячей водой, составили 17.6% в корнях летнего сбора и 38.3% – в корнях осеннего.

Групповой состав липофильных соединений (3.9% от массы сух. сырья) изопропанольного экстракта (ИП) содержал 62.5% нейтральных веществ и 10.9% свободных кислот. Свободные кислоты состояли из насыщенных и ненасыщенных высших жирных кислот: основные компоненты – линолевая (36.62%) и пальмитиновая (16.26%) кислоты. Идентифицированы ароматические кислоты – 2-метоксикумаровая (0.68%), феруловая (2.85%) и диметоксиферуловая (1.19%), а также фурокумарины (13.8% от фракции кислот).

Нейтральные вещества хроматографировали на колонке с силикагелем на фракции – углеводороды (34% от нейтральных веществ), сложные эфиры (5%) и триацилглицерины (30%). Во фракции углеводородов основные соединения – *n*-цимен (14.77% от фракции углеводородов), терпинолен (12.31%), бициклоэлемен (4.50%) и бициклогермакрен (16.75%). После щелочного гидролиза сложных эфиров установлено, что неомыляемые вещества состоят из тритерпеновых спиртов и стеринов с преобладанием β-ситостерина (65.6%). «Связанные» кислоты состояли из жирных кислот. Преобладала пальмитиновая кислота (38.62%) во фракции сложных эфиров. Ее содержание в кислотах из триациглицеринов ниже в 2.7 раза. Линолевая кислота доминировала (46.75%) в кислотах из триацилглицеринов, во фракции сложных эфиров ее содержание в 8 раз ниже.

Ключевые слова: корни, *Heracleum Sosnovskyi* Manden, экстрактивные вещества, химический состав, углеводороды, жирные кислоты, стерины.

Для цитирования: Репнин А.Ф., Миксон Д.С., Васильева Е.Н., Липкан В.Д., Рощин В.И. Химический состав и неполярные соединения корней борщевика Сосновского // Химия растительного сырья. 2026. №3. С. 192–201. https://doi.org/10.14258/jcprm.20260318982.

Введение

Борщевик Сосновского (лат. *Heracléum sosnówskyi* Manden) – растение семейства зонтичных, вид с высокой адаптационной изменчивостью, коротким периодом вегетации, приспособленностью к короткому световому дню, повышенной радиации и гипоксии, среди борщевиков других видов он выделяется размерами. Генеративный побег борщевика Сосновского поднимается от 2–3 до 5–6 м в высоту, диаметр главного зонтика достигает 1–1.3 м, диаметр розетки листьев доходит до 3 м, одно хорошо развитое растение способно давать от 70 000 до 100 000 (150 000) плодов [1–3]. В СССР и в Ленинградской области борщевик Сосновского стали культивировать с 1951 г. как кормовую культуру для скота. Однако практически сразу проявился негативный эффект – ухудшение самочувствия животных, снижения качества молочной продукции. Присутствие фурокумаринов в соке борщевика делает его непригодным для использования в сельском хозяйстве, а также опасным для здоровья человека и млекопитающих, поскольку после контакта с ним на коже остаются серьезные ожоги. Кроме этого, борщевик угнетает и уничтожает другие растения, заполоняя практически все территории собой и выпуская токсичные вещества в почву [3–5].

Уничтожение борщевика Сосновского человеком ведется, главным образом, за счет бюджета субъектов РФ, а также гражданских инициатив. При этом для уничтожения растения используются

* Автор, с которым следует вести переписку.

механические (обрезка цветов, скашивание, сжигание), агротехнические (выкапывание, вспашка, замещающие посадки) и химические методы (обработка гербицидами).

Несмотря на высокие расходы региональных бюджетов на борьбу с растением, в частности финансирование борьбы в Ленинградской области (ежегодно от 40 до 70 млн рублей), темпы уничтожения очень низкие. Согласно прогнозам опубликованного исследования Сколковского института науки и технологий, при текущем уровне результативности уничтожения к 2040–2060 гг. данное растение займет всю территорию европейской части России.

В то же время борщевик Сосновского содержит в своем составе вещества, которые обладают цитотоксической, антиоксидантной и противомикробной активностью. Также растение имеет большую вегетативную массу, являющуюся ценным сырьем и обладающую потенциалом к использованию в различных отраслях. В частности, проводились исследования получения из зеленой массы полуфабриката для использования в ЦБП, эфирных масел из семян и плодов, источника сырья для получения биоэтанола, а также производства бытового древесного угля [6–9]. Химический анализ растительного сырья и фундаментальные знания о составе экстрактивных веществ являются важной задачей для определения перспектив использования или дальнейшей борьбы с борщевиком Сосновского.

Методическая часть

Корни борщевика Сосновского были отобраны в октябре 2019 г. и в июне 2020 г. в районе г. Пушкин. Вид борщевика определен сотрудниками СПбГАУ. Собранное сырье летом хранили в холодильных камерах при температуре -18 °С. Осеннее сырье с высокой влажностью (дожди) сушили в течение 2 суток при комнатной температуре. Перед проведением анализов сырье измельчали до размера 1–2 мм и определяли влажность на автоматическом измерителе влажности.

Химический состав обессмоленного сырья определяли по стандартным методикам: зольность – сжиганием в муфельной печи, содержание целлюлозы – азотно-спиртовым методом по Кюршнеру, лигнин – в модификации Комарова с 72% серной кислотой, пентозаны – бромид-броматным методом, легкогидролизумые полисахариды с определением РВ по методу Макэна-Шоорля [10].

Для определения содержания экстрактивных веществ (ЭВ) в средней пробе (метод квартавания), извлекаемых органическими растворителями, использовали метод экстракции в аппарате Сокслета (объем – 50 мл). В качестве экстрагентов использовали петролейный эфир (ПЭ), диэтиловый эфир (ДЭ), этилацетат (ЭА), пропан-2-ол (ИПС) [10, 11]. Водорастворимые вещества определяли методом экстракции в горячей воде [10].

Наработку экстрактивных веществ проводили в аппарате Сокслета объемом 1 л, с использованием ИПС. Время экстракции с момента закипания растворителя – 16 ч. Из полученного экстракта отбирали аликвотную пробу (для определения содержания ЭВ в ИП-экстракте), выпаривали в фарфоровой чаше на песчаной бане, высушивали и взвешивали. Из ИП-экстракта удаляли спирт на роторном испарителе на 3/4 от общего объема в колбе. Для выделения неполярной группы веществ ИП-экстракт исчерпывающе экстрагировали порциями ПЭ (40–70 °С) с обратным холодильником на водяной бане, контроль осуществляли с помощью тонкослойной хроматографии (ТСХ). После отстаивания содержимое разделяли на два слоя: верхний – вещества, растворимые в ПЭ, и нижний – вещества, не растворимые в ПЭ. Из ПЭ-экстракта отгоняли растворитель, высушивали до постоянной массы. Из веществ, не растворимых в ПЭ, исчерпывающе экстрагировали ДЭ более полярную группу соединений аналогичным образом. Из остатка веществ ИП-экстракта, не растворимых в ДЭ, исчерпывающе извлекали полярные соединения ЭА [11].

Групповой состав ПЭ-экстракта определяли по кислотно-щелочной схеме. Навеску ЭВ растворяли в ДЭ и переносили в делительную воронку, в которую предварительно было налито 50 мл дистиллированной воды. ЭВ промывали небольшими порциями водного раствора щелочи (3% NaOH) с получением солей кислот. Водный раствор солей кислот переносили в отельную колбу, а оставшиеся в делительной воронке нейтральные вещества в ДЭ промывали водой до pH=7. Нейтральные вещества в ДЭ переносили в сухую колбу, добавляли Na_2SO_4 безв. и оставляли на несколько часов, а затем на роторном испарителе отгоняли эфир. Соли свободных кислот переносили в делительную воронку, добавляли ДЭ и подкисляли содержимое 15% H_2SO_4 до pH=3, встряхивали и оставляли в покое для разделения содержимого на два слоя. После отстаивания нижний слой сливали, верхний промывали водой до pH=7 и сливали в чистую колбу. Затем нижний слой вновь переносили в делительную воронку и исчерпывающе экстрагировали ДЭ повторно для

полного отделения кислот. Первую и вторую фракцию объединяли, сушили Na_2SO_4, а затем на роторном испарителе отгоняли эфир [11, 12].

Свободные кислоты метилировали диазометаном и анализировали методом хроматомасс-спектрометрии. Нейтральные вещества хроматографировали на колонке с силикагелем. В качестве элюентов использовали пентан, ПЭ, смесь ПЭ и ДЭ с градиентным увеличением доли ДЭ. Контроль за хроматографическим разделением осуществляли с помощью тонкослойной хроматографии. В качестве метчиков использовали сквален и триацилглицерины, выделенные из растительного масла [12].

Фракции, содержащие сложные эфиры и триацилглицерины, омылили 0.5 н раствором КОН и разделили по кислотно-щелочной схеме с получением продуктов гидролиза сложных эфиров – неомыляемых веществ и «связанных» кислот.

Анализ фракций проводили на газовом хроматографе фирмы «Agilent Technologies 6850C» с квадрупольным масс-спектрометром «Agilent Technologies 5973N», стандартная кварцевая капиллярная колонка HP-5MS длиной 30 м и с внутренним диаметром 0.25 мм, толщина пленки неподвижной фазы (5% фенилметил-силоксан) – 0.25 мкм. Разделение потока – 1 : 100. Температурный режим колонки: для метиловых эфиров кислот – от 150 до 280 °С с программированием температуры 5 °С/мин, для неомыляемых веществ – от 100 до 280 °С. Идентификацию соединений проводили сравнением масс-спектров полученных на хроматограмме пиков соединений с масс-спектрами банка данных NIST0.5.L. и WILLEY275.L.

Экспериментальная часть

Влажность исходного сырья составила 7.3% для корней осеннего сбора и 25.0% – для летнего сбора. Химический состав исходных образцов представлен в таблице 1.

Доля минеральных веществ в образцах практически не изменяется, несмотря на разные фазы роста растения в период сбора. Корни обоих сборов растения содержат одинаковое количество целлюлозы. В сравнении с другим растительным сырьем, например, мыльным корнем (22.4%, здесь и далее содержание целлюлозы) и солодковым корнем (19.3%) корни борщевика Сосновского доминируют по содержанию целлюлозы, но достаточно близки к мискантусу *Miscanthus* (28–43%), багассе *Saccrarum officinarum* (30.2%) и бамбуку *Dendrocalamus strictus* (26–43%) [13, 14].

Корни содержат достаточно большое количество гемицеллюлоз, как в тростнике обыкновенном [15] и вегетативной части топинамбура [16], о чем свидетельствует высокое содержание ЛГП, особенно в период начала вегетации и бутонизации, используемые для роста корня и растения. Содержание лигноподобных веществ в обессмоленных корнях составляет 12–13% от сух.с., что значительно ниже, чем в традиционном растительном сырье [10]. Характеристика ЭВ, извлекаемых органическими растворителями, представлена в таблице 2.

По содержанию экстрактивных веществ, извлекаемых ПЭ, корни борщевика Сосновского наиболее близки к хвое лиственницы сибирской, в которой содержится около 3–4% неполярных соединений [11]. Корни борщевика, собранные в начале и в конце вегетационного периода, существенно не различаются по содержанию экстрактивных веществ, растворимых в ПЭ, ДЭ и ИПС. Исключение составляют экстрактивные вещества, растворимые в ЭА – в летний период их содержание в 2.5 раза ниже, чем по окончании роста растения. Возможно, это связано с начальным этапом вегетации и большим расходом экстрактивных веществ корней, запасенных в летне-осенний период предыдущего года. Для фундаментального исследования было принято решение работать с корнями осеннего сбора, поскольку вегетационный период закончен и растение запасло ЭВ в полном объеме. В таблице 3 представлены результаты экстракции различными растворителями из ИП-экстракта при наработке ЭВ.

Видно, что наибольшую долю составил неполярный экстракт, извлекаемый ПЭ (19.4% от ИП-экстракта и 4.4% в пересчете на сухое сырье), чуть меньше – выход фенольных соединений (17.4 и 3.9% соответственно), ЭА составил наименьший процент при данном способе экстракции.

Неполярная группа – растворимые в ПЭ вещества ИП-экстракта – состояли из нейтральных соединений (62.5%) и свободных кислот (10.9%). Состав свободных кислот (табл. 4) определяли методом ГХ-МС с предварительным метилированием.

Свободные кислоты представлены насыщенными и ненасыщенными жирными кислотами, а также фурокумаринами. Основные кислоты – полиненасыщенная омега-6 жирная кислота линолевая (36.62%) и гексадекановая (16.26%) – являющаяся первичным продуктом, образующимся под действием синтетазы

жирных кислот, и источником биосинтеза других насыщенных и мононенасыщенных кислот (например, олеиновой) [17]. В составе фракции кислот идентифицированы ароматические кислоты – 2-метоксикумаровая (0.68%), феруловая (2.85%) и диметоксиферуловая (1.19%). Наличие диметоксиферуловой кислоты возможно связано с проводимым метилированием триметилсиллилдиазометаном фракции кислот перед анализом ГХ-МС. Вероятно, часть феруловой кислоты в условиях метилирования взаимодействует с карбоксильной группой и частично с фенольным гликозидом. Присутствие фурокумаринов во фракции свободных кислот можно объяснить тем, что при действии щелочи лактонное кольцо кумаринов раскрывается с образованием солей кислот, а затем при воздействии минеральной кислоты закрывается обратно. Ранее в работах [18–21] уже сообщалось, что в корнях борщевика Сосновского присутствуют сфондин, пимпинеллин и изопимпинеллин.

Нейтральные вещества хроматографировали на колонке с силикагелем на фракции, различающие по полярности соединений (табл. 5). Первая элюированная из колонки фракция состояла из углеводородов. Фракцию элюировали пентаном для лучшего отделения углеводородов, а затем смесью ПЭ и ДЭ с постепенной добавкой ДЭ до 1.5%. Во фракцию отбирались соединения значения *Rf* которых на ТСХ было выше или равно значению *Rf* сквалена. Состав фракции углеводородов устанавливали методом ГХ-МС (табл. 6). На хроматограмме присутствовало более 80 соединений.

Таблица 1. Химический состав корней борщевика Сосновского

Показатель	Осенние корни	Летние корни
Зольность	10.5	14.6
Целлюлоза	29.5	30.4
Лигноподобные вещества	12.7	11.5
Пентозаны	8.9	10.8
ЛГП	27.7	25.8
Водорастворимые вещества	38.3	17.6

Таблица 2. Содержание ЭВ в осенних и летних корнях борщевика Сосновского

Экстрагент	Выход, % от сухого сырья	
	Осенние корни	*Летние корни*
ПЭ	3.9	3.8
ДЭ	5.7	5.8
ЭА	14.2	5.3
ИПС	17.6	14.2

Таблица 3. Выход экстрактивных веществ из ИП-экстракта осенних корней

Экстрагент	Содержание, %	
	от ИП-экстракта	от сухого сырья
ПЭ	19.4	4.4
ДЭ	17.4	3.9
ЭА	5.9	1.3

Таблица 4. Состав свободных кислот корней осеннего сбора

№	Кислота	Содержание, % от свободных кислот	№	Кислота	Содержание, % от свободных кислот
1	2-метоксикумаровая	0.68	13	Олеиновая	7.83
2	Миристиновая	следы	14	10-октадеценовая	0.80
3	Изопсорален	0.90	15	Изопимпинеллин	4.80
4	13-метил-тетрадекановая	следы	16	Стеариновая	1.14
5	Пентадекановая	0.90	17	Пимпинеллин	2.25
6	Феруловая	2.85	18	Бегеновая	2.31
7	Диметоксиферуловая	1.19	19	Трикозановая	1.40
8	Пальмитиновая	16.34	20	Тетракозановая	3.00
9	Бергаптен	0.96	21	2-гидрокситрикозановая	0.52
10	Метоксален	2.80	22	Пентакозановая	0.55
11	Сфондин	2.07	23	2-гидрокситетракозановая	1.31
12	Линолевая	36.62	24	Гексакозановая	0.64

Таблица 5. Результаты колоночной хроматографии нейтральных веществ

№ п/п	Элюент ПЭ : ДЭ	Группа соединений	Содержание, % от нейтральных веществ	Метод отнесения
1	Пентан, 0.5 : 1.5%	Углеводороды	34.0	ТСХ (сквален)
2	1.5–7.0%	Сложные эфиры	5.0	ТСХ (триацилглицерины)
3	7.0–15.0%	Триацилглицерины	30.0	ТСХ (триацилглицерины)

Таблица 6. Состав углеводородов нейтральных веществ корней борщевика Сосновского осеннего сбора

№	Компонент	Содержание, % от суммы углеводородов	№	Компонент	Содержание, % от суммы углеводородов
1	Туйен-3	следы	30	β-Фанебрен	0.08
2	α-Пинен	0.28	31	*цис*-α-Бергамотен	0.73
3	Камфен	0.04	32	γ-Элемен	0.40
4	Бензен-1,2,3-триметил	0.52	33	Аромадендрен	1.84
5	β-Пинен	0.23	34	$C_{15}H_{24}$	0.31
6	3-Карен	0.04	35	(*Z*)-β-Фарнезен	1.02
7	*п*-Цимен	14.77	36	*алло*-Аромадендрен	0.30
8	β-фелландрен	0.07	37	Бициклосесквифелландрен	0.17
9	Лимонен	0.61	38	$C_{15}H_{24}$	0.16
10	*транс*-β-оцимен	2.07	39	Пентадек-4,10-диен	0.35
11	γ-Терпинен	3.00	40	Гермакрен-Д	0.28
12	*п*-Цименен	0.80	41	*п*-Цимендиметил-аллил	1.20
13	Терпинолен	12.31	42	Пентадек-7-ен	0.70
14	(*E*)-Нона-1,3,7-триен-4,8-диметил	0.12	43	Пентадек-1-ен	0.50
15	*нео-алло*-Цимен	0.05	44	Леден	1.62
16	(*E,E*)-2,6-Диметил-1,3,5,7-октатетраен	0.04	45	Бициклогермакрен	16.75
17	Додек-6-ен*	0.07	46	Пентадекан	0.22
18	Тридек-6-ен	0.55	47	β-Бизаболен	1.56
19	Тридек-1-ен	0.26	48	$C_{15}H_{24}$	0.31
20	Тридекан	0.51	49	Сесквифелландрен	0.14
21	Бициклоэлемен	4.50	50	δ-Кадинен	0.14
22	α-Кубебен	0.40	51	(*E*)-γ-Бизаболен	0.34
23	α-Копаен	1.10	52	Селина-3,7(11)-диен	0.17
24	Дауцен	0.07	53	Гексадекан	следы
25	$C_{15}H_{24}$	0.10	54	Ненасыщенные алкены C_{17} (Σ)	1.80
26	β-Элемен	0.80	55	3-Гептадекен-5-ин	1.30
27	Тетрадек-1-ен	0.70	56	Октадек-1-ен	0.90
28	α-Цедрен	0.13	57	Насыщенные *н*-алканы C_{20}–C_{29}(Σ)	0.52
29	$C_{15}H_{24}$	0.13	58	α-Гурджюнен	0.18

Среди монотерпенов основными соединениями являются *п*-цимен (14.77%) и терпинолен (12.31%). Впервые идентифицированы среди монотерпенов корней Борщевика Сосновского α-туйен, β-фелландрен, п-цименен, нона-1,3,7-триен-4,8-диметил. Весьма разнообразен по типам скелетов состав сесквитерпенов. Бициклоэлемен и бициклогермакрен – основные соединения среди сесквитерпенов с преобладанием бициклогермакрена (16.75%). Исходя из состава соединений, можно предположить, что одним из основных направлений циклизации фарнезил-пирофосфата в корнях Борщевика Сосновского является образование гермакрена D→ бициклогермакрен, последний претерпевает дальнейшую циклизацию с образованием пяти и семичленного скелета ряда гурджюнена, аромадендрена и ледена. Следует отметить, что высокое содержание бициклогермакрена было отмечено ранее в работе [22], где авторы исследовали эфирное масло, выделенное из листьев *Heracleum sprengelianum,* и его биологическую активность. Авторы провели исследования на токсичность эфирного масла из листьев *Heracleum sprengelianum* (*Apiaceae*) и его основных компонентов в отношении личинок третьего возраста малярийного комара *Anopheles subpictus*, арбовирусного комара *Aedes albopictus* и японского энцефалитного комара *Culex tritaeniorhynchus*. По данным ГХ-МС, основные компоненты эфирного масла из листьев были лавандулилацетат (17.8%) и бициклогермакрен (12.9%). Эфирное масло было токсично для *A. subpictus*, *A. albopictus* и *C tritaeniorhynchus*, LC50 составляла 33.4, 375 и 40.9 мкг/мл соответственно. Лавандулилацетат был более токсичен для личинок комаров, чем бициклогермакрен. Их LC50 составили 4.17 и 10.3 мкг/мл для A. subpictus, 4.60 и 11.1 мкг/мл для *A. albopictus*, 5.11 и 12.5 мкг/мл для *C tritaeniorhynchus*. Примечательно, что эфирное масло и его основные

соединения были менее опасны для трех видов комаров-хищников, не являющихся переносчиками инфекции: *Anisops bouvieri, Diplonychus indicus* и *Gambusia affinis*, с показателем LC50 от 206 до 4219 мкг/мл.

Фракции, содержащие сложные эфиры и триацилглицерины, после щелочного гидролиза разделили по кислотно-щелочной схеме с получением продуктов гидролиза сложных эфиров – неомыляемых веществ (56.0%) и «связанных» кислот (41.0%). Состав соединений устанавливали методом ГХ-МС. Неомыляемые вещества из сложных эфиров состояли из тритерпеновых спиртов и стеринов (табл. 7) с преобладанием β-ситостерина (65.6% от фракции неомыляемых веществ). Фитостерины являются биологически активными компонентами многих видов растений, а именно клеточных мембран растительных тканей. Преобладающими среди свободных стеринов высших растений являются β-ситостерин, стигмастерин и кампестерин. Выраженным фармакологическим действием обладает β-ситостерин – гипохолестеринемическим, снижает риск возникновения рака толстой кишки, молочной железы, желудка, легких, влияет на патологические воспалительные реакции [23].

При опытах на цыплятах и крысах в работах [24, 25] было показано, что потребление повышенных количеств растительных стеринов, наряду со снижением алиментарной гиперхолестеринемией, ведет к снижению проявлений экспериментального атеросклероза. Позднее холестерин-снижающее действие растительных стеринов было продемонстрировано в клиническом исследовании у людей с гиперхолестеринемией [26]. Показано, что потребление человеком растительного ситостерина в количестве всего 3 г/сут приводит к снижению уровня холестерина в сыворотке крови примерно на 10% [27]. Стигмастерол оказывает противоопухолевое действие, способствуя апоптозу опухолевых клеток, подавляя пролиферацию и метастазирование, а также вызывая аутофагию в опухолевых клетках [28]. У растений накопление стигмастерола наблюдается в ответ на различные стрессовые факторы. Характерной структурной особенностью растительных стеролов является наличие метильных или этильных групп в положении С24 боковой цепи. По этому признаку растительные стеролы делятся на 24-метил- и 24-этилстеролы, где β-ситостерол и стигмастерол являются этилстеролами, а кампестерол – метилстеролом. Изменения в соотношении 24-метил- и 24-этилстеролов происходят в ответ на воздействие стрессовых факторов [29–31]. Точные механизмы участия стигмастерола в стрессовых реакциях растений остаются пока недостаточно изученными. «Связанные» кислоты метилировали и анализировали методом ГХ-МС (табл. 8). Среди насыщенных кислот в наибольшем количестве преобладала гексадекановая кислота (38.62%) во фракции сложных эфиров, ее содержание в 2.7 раза ниже в кислотах триациглицеринов. Линолевая кислота доминировала в кислотах триацилглицеринов, во фракции сложных эфиров ее содержание ниже практически в 8 раз.

Таблица 7. Состав неомыляемых веществ фракции сложных эфиров

№	Компонент	Содержание, % от неомыляемых веществ
1	кампестерин	3.4
2	стигмастерол	8.0
3	β-ситостерин	65.6
4	стигмаста-5,24(28)-диен-3-ол	6.6
5	циклоартенол	1.5
6	стигмаста-3,5-диен-7-он	1.3
7	24-метиленциклоартанол	2.3

Таблица 8. Состав «связанных» кислот фракций сложных эфиров и триацилглицеринов

№	Кислота	Содержание, % от фракции кислот	
		сложных эфиров	триациглицеринов
1	Азелаиновая	–	0.80
2	Лауриновая	1.45	–
3	Миристиновая	3.67	0.62
4	Пентадекановая	3.01	2.24
5	Пальмитиновая	41.25	15.62
6	Маргариновая	–	0.90
7	(*Z*)-13-Октадеценовая	–	2.63
8	Линолевая	5.95	46.70
9	Олеиновая	10.72	10.73
10	Эйкозановая	11.98	0.91
11	Бегеновая	–	0.62
12	Тетракозановая	–	0.44

Идентифицирована олеиновая кислота в количестве 10.7% в обеих фракциях. Олеиновая кислота благодаря своей структуре легко встраивается в липидный слой, обеспечивая правильную работу мембранных рецепторов. Она также участвует в управлении экспрессией генов, регулирующих метаболизм жиров и углеводов, иммунные процессы, развитие клеток. В митохондриях олеиновая кислота окисляется с образованием энергии. Она обеспечивает топливо для тканей с высокой активностью – в первую очередь мышц и сердца. Исследования показывают, что олеиновая кислота участвует в сложных цепочках внутриклеточной сигнализации, которые определяют рост клеток, их выживание и даже способность бороться со стрессом [17, 32].

Выводы

Определен химический состав корней борщевика Сосновского летнего и осеннего сборов. По содержанию основных структурных компонентов – целлюлозы и лигнина образцы существенно не различались, содержание целлюлозы составило 29.5–30.4%, лигнина – 11.5–12.7%. Содержание ЛГП и пентозанов также достаточно близко – 25.8–27.7% доля ЛГП, пентозанов – 8.9–10.8. Исключение составляют водорастворимые вещества, содержание которых в осенних корнях (38.3%) практически в два раза выше, чем в летних корнях (17.6%). Корни борщевика, собранные в начале и в конце вегетационного периода, существенно не различаются по содержанию экстрактивных веществ, растворимых в ПЭ, ДЭ и ИПС. Исключение составляют экстрактивные вещества, растворимые в ЭА – в летний период их содержание в 2.5 раза ниже, чем по окончании роста растения.

Из ИП-экстракта после экстракции осенних корней группа липофильных компонентов, извлекаемая ПЭ, составила 4.4% в пересчете на сух. сырье и 19.4% от ИП-экстракта. Установлен групповой состав липофильных компонентов. Содержание нейтральных веществ в ПЭ-экстракте – 62.5%, свободных кислот – 10.9%. В составе кислот преобладали насыщенные и ненасыщенные жирные кислоты – омега-6 жирная линолевая кислота (36.62%) и гексадекановая (16.26%). Идентифицированы ароматические кислоты – 2-метоксикумаровая (0.68%), феруловая (2.85%) и диметоксиферуловая (1.19%), а также группы фурокумаринов, содержание которых в сумме составило 14.74% от фракции кислот.

Нейтральные вещества состояли на 34.0% из углеводородов и 30.5% из триацилглицеринов. В составе углеводородов преобладали моно- и сесквитерпены. Среди монотерпенов основными соединениями являются *п*-цимен (14.77%) и терпинолен (12.31%). Весьма разнообразен состав сесквитерпеноидов по типам скелетов. Бициклоэлемен и бициклогермакрен – основные соединения среди сесквитерпенов с преобладанием бициклогермакрена (16.75%). Исходя из состава соединений, можно предположить, что одним из основных направлений циклизации фарнезил-пирофосфата в корнях Борщевика Сосновского является образование гермакрена D→бициклогермакрена.

В продуктах гидролиза сложных эфиров – неомыляемых веществах, идентифицированы тритерпеновые спирты и стерины, основной компонент β-ситостерин (65.0%). Среди кислотной составляющей сложных эфиров и триацилглицеринов наблюдаются различия в соотношении отдельных кислот. Среди насыщенных кислот в наибольшем количестве преобладала гексадекановая кислота (38.62%) во фракции сложных эфиров, ее содержание ниже в 2.7 раза в кислотах триациглицеринов. Линолевая доминировала в кислотах триацилглицеринов, во фракции сложных эфиров ее содержание ниже практически в восемь раз.

Исходя из состава соединений неполярной части экстрактивных веществ можно предположить, что борщевик Сосновского является сырьем для получения биологически активных веществ с использованием их в медицинской и косметической промышленности. Фундаментальные знания о химическом составе и составе соединений ЭВ позволят расширить знания о данном инвазивном виде и найти варианты для эффективной борьбы с ним или разработке технологии по переработке биомассы борщевика Сосновского.

Финансирование

Исследование выполнено в рамках Гранта трансграничного сотрудничества между Финляндией и Россией. «Изучение состава и разработка технологии использования борщевика Сосновского для получения БАВ и биотоплива». KS11157 “Prevention and utilisation of Invasive Alien Species – PURE” 2021–2022 г.

Конфликт интересов

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Открытый доступ

Эта статья распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), которая разрешает неограниченное использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии, что вы предоставите соответствующие ссылки на автора(ов), источник и Лицензию Creative Commons и укажете, были ли внесены изменения.

Список литературы

1. Манденова И.П. Новые таксоны рода *Heracleum* // Заметки по систематики и географий растений. 1970. №28. С. 21–24.
2. Гельтман Д.В. Состав и эколого-фитоценотические особенности сообществ с участием инвазионного вида *Heracleum Sosnowskyi* (Apiaceae) на северо-западе Европейской России // Растительные ресурсы. 2009. №3. С. 68–75.
3. Ткаченко К.Г. Особенности цветения и семенная продуктивность некоторых видов *Heracleum* L., выращенных в Ленинградской области. // Растительные ресурсы. 1989. Т. 25, №1. С. 52–61.
4. Вавилов П.П., Кондратьев А.А. Новые кормовые культуры. М., 1975. 340 с.
5. Пименов М.Г. Перечень растений – источников кумариновых соединений. Л., 1971. 200 с.
6. Ткаченко К.Г., Краснов А.А. Борщевик Сосновского: экологическая проблема или сельскохозяйственная культура будущего? // Бюллетень Ботанического сада-института ДВО РАН. 2018. №20. С. 1–22. https://doi.org/10.17581/bbgi2002.
7. Возняковский А.П., Карманов А.П., Неверовская А.Ю. Возняковский А.А., Кочева Л.С., Кидалов С.В. Биомасса борщевика Сосновского как сырье для получения 2D углеродных наноструктур // Химия растительного сырья. 2020. №4. С. 83–92. https://doi.org/10.14258/jcprm.2020047739.
8. Волкова Е.Н. Борщевик Сосновского как сырье для переработки // Главный агроном. 2022. №3.
9. Лукашов Р.И., Гурина Н.С., Терлецкая В.А., Лавровский А.В., Дорошенко Т.М., Портянко А.С., Клемпер А.В., Повыдыш М.Н. Цитостатический эффект извлечений из борщевика Сосновского // Разработка и регистрация лекарственных средств. 2025. Т. 14(1). С. 39–53. https://doi.org/10.33380/2305-2066-2025-14-1-1978.
10. Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леонович А.А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы. М., 1991. С. 75–164.
11. Миксон Д.С., Рощин В.И. Групповой состав и кислоты хвои лиственницы сибирской разного периода вегетации // Химия растительного сырья. 2019. №4. С. 207–214. https://doi.org/10.14258/jcprm.2019045477.
12. Миксон Д.С., Рощин В.И. Углеводороды и сложные эфиры экстрактивных веществ хвои лиственницы сибирской // Известия вузов. Лесной журнал. 2021. №3. С. 170–185. https://doi.org/10.37482/0536-1036-2021-3-170-185.
13. Джуманова З.К., Отажанов С.Р., Жугинисов Б.Б. Химический состав и строения лигнинов травянистых растений // Universum: химия и биология. 2021. №4(82). URL: https://7universum.com/ru/nature/archive/item/11454.
14. Карелина А.А., Алашкевич Ю.Д., Кожухов В.А. Недревесное сырье как источник целлюлозных волокон. Перспективы использования, проблемы и решения (обзор) // Химия растительного сырья. 2024. №2. С. 55–75. https://doi.org/10.14258/jcprm.202402134O1.
15. Количественный химический анализ растительного сырья / ред. В.И. Шарков, И.И. Куйбина, Ю.П. Соловьева, Т.А. Павлова. М., 1976. С. 63–64.
16. Емелина Т.Н., Рязанова Т.В Чупрова Н.А. Получение углеводсодержащих субстратов из вегетативной части топинамбура // Химия растительного сырья. 2002. №2. С. 117–119.
17. Кольман Я., Рэм К-Г. Наглядная биохимия. М., 2000. 469 с.
18. Комиссаренко Н.Ф. и др. Кумарины плодов борщевиков и таксономия // Биохимия. 1961. Т. 26, №6. С. 980–983.
19. Абышев А.З., Денисенко П.П. О кумариновом составе *Heracleum sosnowskyi* // Химия природных соединений. 1973. №4. С. 550–551.
20. Сацыперова И.Ф., Комиссаренко Н.Ф. Хемосистематика рода *Heracleum* L. флоры СССР // Растительные ресурсы. 1978. Т. 14, №3. С. 333–337.
21. Юрлова Л.Ю., Черняк Д.М., Кутовая О.П. Фурокумарины *Heracleum sosnowskyi* и *Heracleum moellendorffii* // Тихоокеанский медицинский журнал. 2013. №2. С. 91–93.
22. Govindarajan M., Benelli G. Eco-friendly larvicides from Indian plants: Effectiveness of lavandulyl acetate and bicyclogermacrene on malaria, dengue and Japanese encephalitis mosquito vectors // Ecotoxicol Environ Saf. 2016. Vol. 133. Pp. 395–402. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.07.035.
23. Круглякова А.А., Раменская Г.В. Бета-ситостерин: свойства, подходы к количественному определению // Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н.И. Пирогова. 2016. Т. 11, №4. С. 35–38.
24. Peterson D.W. Effect of soybean in the diet on plasma and liver cholesterol in chickens // Proc. Soc. Exp. Biol. Med. 1951. Vol. 78. Pp. 143–147.
25. Sugano M.F., Kamo I., Ikeda I. et al. Lipid-lowering activity of fitostanols in rats // Atherosclerosis. 1976. Vol. 24. Pp. 301–309.
26. Lees A.M., Mok H.Y., Lees R.S. et al. Plant sterols as cholesterol-lowering agents: clinical trials in patients with hypercholesterolemia and studies of sterol balance // Atherosclerosis. 1977. Vol. 28. Pp. 325–328.
27. Grundy S.M., Mok H.Y. Effect of low dose phytosterols on cholesterol absorption in man // Lipoprotein Metabolism. Berlin, 1976. Pp. 112–118.
28. Li K., Yuan D., Yan R. et al. Stigmasterol exhibits potent antitumor effects in human gastric cancer cells mediated via inhibition of cell migration, cell cycle arrest, mitochondrial mediated apoptosis and inhibition of JAK/STAT signalling pathway // J. buon. 2018. Vol. 23(5). Pp. 1420–1425.
29. Valitova J.N., Sulkarnayeva A.G., Minibayeva F.V. Plant sterols: Diversity, biosynthesis, and physiological functions // Biochemistry. 2016. Vol. 81. Pp. 819–834. https://doi.org/10.1134/S0006297916080046.

30. Grunwald C. Effects of free sterols, steryl ester, and steryl glycoside on membrane permeability // Plant Physiol. 1971. Vol. 48. Pp. 653–655.
31. Darnet S., Schaller H. Metabolism and Biological Activities of 4-Methyl-Sterols // Molecules. 2019. Vol. 24(3). 451. https://doi.org/10.3390/molecules24030451.
32. Bouvier F., Rahier A., Camara B. Biogenesis, molecular regulation and function of plant isoprenoids // Prog. Lipid Res. 2005. Vol. 44. Pp. 357–429. https://doi.org/10.1016/j.plipres.2005.09.003.

Поступила в редакцию 6 марта 2026 г.

После переработки 29 марта 2026 г.

Принята к публикации 21 мая 2026 г.

Repnin A.F., Mikson D.S.[*]*, Vasileva E.N., Lipkan V.D., Roshchin V.I.* CHEMICAL COMPOSITION AND LIPOPHILIC COMPOUNDS OF SOSNOVSKY'S HOGWOOD ROOTS

St. Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov, Institutskiy per., 5, St. Petersburg, 194021, Russia, ms.mikson@mail.ru

The chemical composition of roots was studied. Roots from different growing seasons showed no differences in their content of the main structural components – cellulose and lignin. Cellulose accounting for 29.5–30.4% (% of dry matter) and lignin for 11.5–12.7%. Extractive substances that were extracted with hot water, accounted for 17.6% of the summer roots and 38.3% of the autumn roots.

The group composition of lipophilic compounds (3.9% of the dry weight) of the isopropanol extract (IE) contained 62.5% neutral substances and 10.9% free acids. Free acids consisted of saturated and unsaturated higher fatty acids: the main components are linoleic (36.62%) and palmitic (16.26%) acids. Aromatic acids were identified – 2-methoxycoumaric (0.68%), ferulic (2.85%) and dimethoxyferulic (1.19%), as well as furocoumarins (13.8% of the acid fraction).

Neutral substances were chromatographed on a silica gel column – fractions of hydrocarbons (34% of neutral substances), esters (5%), and triacylglycerols (30%). The main compounds in the hydrocarbon fraction were p-cymene (14.77% of the hydrocarbon fraction), terpinolene (12.31%), bicycloelemene (4.5%), and bicyclogermacrene (16.75%). Alkaline hydrolysis of the esters revealed that the unsaponifiables consisted of triterpene alcohols and sterols, with β-sitosterol predominating (65.6%). The "bound" acids consisted of fatty acids. Palmitic acid predominated (38.62%) in the ester fraction. Its content in acids from triacylglycerols was 2.7 times lower. Linoleic acid was dominant (46.75%) in acids from triacylglycerols; in the ester fraction, its content was 8 times lower.

Keywords: roots, *Heracleum Sosnovskyi* Manden, extractive substances, chemical composition, hydrocarbons, fatty acids, sterols.

For citing: Repnin A.F., Mikson D.S., Vasileva E.N., Lipkan V.D., Roshchin V.I. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2026, no. 3, pp. 192–201. (in Russ.). https://doi.org/10.14258/jcprm.20260318982.

References

1. Mandenova I.P. *Zametki po sistematiki i geografiy rasteniy*, 1970, no. 28, pp. 21–24. (in Russ.).
2. Gel'tman D.V. *Rastitel'nyye resursy*, 2009, no. 3, pp. 68–75. (in Russ.).
3. Tkachenko K.G. *Rastitel'nyye resursy*, 1989, vol. 25, no. 1, pp. 52–61. (in Russ.).
4. Vavilov P.P., Kondrat'yev A.A. *Novyye kormovyye kul'tury*. [New Forage Crops]. Moscow, 1975, 340 p. (in Russ.).
5. Pimenov M.G. *Perechen' rasteniy – istochnikov kumarinovykh soyedineniy*. [List of plants – sources of coumarin compounds]. Leningrad, 1971, 200 p. (in Russ.).
6. Tkachenko K.G., Krasnov A.A. *Byulleten' Botanicheskogo sada-instituta DVO RAN*, 2018, no. 20, pp. 1–22. https://doi.org/10.17581/bbgi2002. (in Russ.).
7. Voznyakovskiy A.P., Karmanov A.P., Neverovskaya A.Yu. Voznyakovskiy A.A., Kocheva L.S., Kidalov S.V. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2020, no. 4, pp. 83–92. https://doi.org/10.14258/jcprm.2020047739. (in Russ.).
8. Volkova Ye.N. *Glavnyy agronom*, 2022, no. 3. (in Russ.).

[*] Corresponding author.

9. Lukashov R.I., Gurina N.S., Terletskaya V.A., Lavrovskiy A.V., Doroshenko T.M., Portyanko A.S., Klemper A.V., Povydysh M.N. *Razrabotka i registratsiya lekarstvennykh sredstv*, 2025, vol. 14(1), pp. 39–53. https://doi.org/10.33380/2305-2066-2025-14-1-1978. (in Russ.).
10. Obolenskaya A.V., Yel'nitskaya Z.P., Leonovich A.A. *Laboratornyye raboty po khimii drevesiny i tsellyulozy*. [Laboratory Exercises in Wood and Cellulose Chemistry]. Moscow, 1991, pp. 75–164. (in Russ.).
11. Mikson D.S., Roshchin V.I. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2019, no. 4, pp. 207–214. https://doi.org/10.14258/jcprm.2019045477. (in Russ.).
12. Mikson D.S., Roshchin V.I. *Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal*, 2021, no. 3, pp. 170–185. https://doi.org/10.37482/0536-1036-2021-3-170-185. (in Russ.).
13. Dzhumanova Z.K., Otazhanov S.R., Zhuginisov B.B. *Universum: khimiya i biologiya*, 2021, no. 4(82). URL: https://7universum.com/ru/nature/archive/item/11454. (in Russ.).
14. Karelina A.A., Alashkevich Yu.D., Kozhukhov V.A. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2024, no. 2, pp. 55–75. https://doi.org/10.14258/jcprm.20240213401. (in Russ.).
15. *Kolichestvennyy khimicheskiy analiz rastitel'nogo syr'ya* [Quantitative Chemical Analysis of Plant Raw Materials], ed. V.I. Sharkov, I.I. Kuybina, Yu.P. Solov'yeva, T.A. Pavlova. Moscow, 1976, pp. 63–64. (in Russ.).
16. Yemelina T.N., Ryazanova T.V Chuprova N.A. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2002, no. 2, pp. 117–119. (in Russ.).
17. Kol'man YA., Rem K-G. *Naglyadnaya biokhimiya*. [Color Atlas of Biochemistry]. Moscow, 2000, 469 p. (in Russ.).
18. Komissarenko N.F. i dr. *Biokhimiya*, 1961, vol. 26, no. 6, pp. 980–983. (in Russ.).
19. Abyshev A.Z., Denisenko P.P. *Khimiya prirodnykh soyedineniy*, 1973, no. 4, pp. 550–551. (in Russ.).
20. Satsyperova I.F., Komissarenko N.F. *Rastitel'nyye resursy*, 1978, vol. 14, no. 3, pp. 333–337. (in Russ.).
21. Yurlova L.Yu., Chernyak D.M., Kutovaya O.P. *Tikhookeanskiy meditsinskiy zhurnal*, 2013, no. 2, pp. 91–93. (in Russ.).
22. Govindarajan M., Benelli G. *Ecotoxicol Environ Saf*., 2016, vol. 133, pp. 395–402. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.07.035.
23. Kruglyakova A.A., Ramenskaya G.V. *Vestnik Natsional'nogo mediko-khirurgicheskogo Tsentra im. N.I. Pirogova*, 2016, vol. 11, no. 4, pp. 35–38. (in Russ.).
24. Peterson D.W. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med*., 1951, vol. 78, pp. 143–147.
25. Sugano M.F., Kamo I., Ikeda I. et al. *Atherosclerosis*, 1976, vol. 24, pp. 301–309.
26. Lees A.M., Mok H.Y., Lees R.S. et al. *Atherosclerosis,* 1977, vol. 28, pp. 325–328.
27. Grundy S.M., Mok H.Y. *Lipoprotein Metabolism*. Berlin, 1976, pp. 112–118.
28. Li K., Yuan D., Yan R. et al. *J. buon*., 2018, vol. 23(5), pp. 1420–1425.
29. Valitova J.N., Sulkarnayeva A.G., Minibayeva F.V. *Biochemistry*, 2016, vol. 81, pp. 819–834. https://doi.org/10.1134/S0006297916080046.
30. Grunwald C. *Plant Physiol*., 1971, vol. 48, pp. 653–655.
31. Darnet S., Schaller H. *Molecules*, 2019, vol. 24(3), 451. https://doi.org/10.3390/molecules24030451.
32. Bouvier F., Rahier A., Camara B. *Prog. Lipid Res*., 2005, vol. 44, pp. 357–429. https://doi.org/10.1016/j.plipres.2005.09.003.

Received March 6, 2026

Revised March 29, 2026

Accepted May 21, 2026

Сведения об авторах

Репнин Алексей Федорович – студент, ms.mikson@mail.ru

Миксон Дарья Сергеевна – кандидат химических наук, доцент кафедры технологии химической переработки биомассы дерева, ms.mikson@mail.ru

Васильева Елена Николаевна – ассистент кафедры компьютерного моделирования, ms.mikson@mail.ru

Липкан Вадим Дмитриевич – магистрант, ms.mikson@mail.ru

Рощин Виктор Иванович – доктор химических наук, профессор кафедры технологии химической переработки биомассы дерева, ms.mikson@mail.ru

Information about authors

Repnin Aleksey Fedorovich – student, ms.mikson@mail.ru

Mikson Darya Sergeyevna – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Department of Wood Biomass Chemical Processing Technology, ms.mikson@mail.ru

Vasilyeva Elena Nikolaevna – Assistant Lecturer, Department of Computer Modeling, ms.mikson@mail.ru

Lipkan Vadim Dmitrievich – Master's student, ms.mikson@mail.ru

Roshchin Viktor Ivanovich – Doctor of Chemical Sciences, Professor, Department of Wood Biomass Chemical Processing Technology, ms.mikson@mail.ru