



## Фитохимический профиль биомассы борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) как основа для рационального использования

Т. В. Бомбела<sup>1</sup> , Е. С. Сурбеева<sup>1</sup> , К. Е. Якушина<sup>2</sup> , Е. В. Вишняков<sup>1</sup> ,  
И. И. Тернинко<sup>1</sup> , С. В. Кривошеков<sup>3</sup> , М. В. Белоусов<sup>3</sup> , В. Г. Лужанин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации (ФГБОУ ВО СПХФУ Минздрава России). 197022, Россия, г. Санкт-Петербург, вн. тер. г. муниципальный округ Аптекарский остров, ул. Профессора Попова, д. 14, лит. А

<sup>2</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермская государственная фармацевтическая академия» Министерства здравоохранения Российской Федерации (ФГБОУ ВО ПГФА Минздрава России). 614990, Россия, Пермский край, г. Пермь, ул. Полевая, д. 2

<sup>3</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации (ФГБОУ ВО СибГМУ Минздрава России). 634050, Россия, Томская область, г. Томск, Московский тракт, д. 2

✉ **Контактное лицо:** Бомбела Татьяна Владимировна. **E-mail:** tatyana.bombela@yandex.ru

✉✉ **Контактное лицо:** Сурбеева Елизавета Сергеевна. **E-mail:** bazanova.elizaveta@pharminnotech.com

### Резюме

**Введение.** Борщевик Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) – опасный инвазивный вид-трансформер, широко распространенный на территории европейской части России. Включение растения с 2026 года в перечень опасных инвазивных видов и реализуемые региональные программы борьбы с ним обуславливают необходимость рационального вовлечения биомассы в хозяйственный оборот. Ключевым условием является детальное изучение фитохимического профиля для обоснования перспектив переработки.

**Цель.** Изучение фитохимического профиля биомассы *H. sosnowskyi*, включая выделение фуранокумаринов, полисахаридов и эфирных масел, представляющих фармацевтическую ценность, для научного обоснования рационального использования данного инвазивного вида.

**Материалы и методы.** Объекты исследования – трава и плоды *H. sosnowskyi*, заготовленные в Пермском крае и Ленинградской области в 2024 г. Фуранокумарины экстрагировали *n*-гексаном (аппарат Сокслета), очищали препаративной ВЭЖХ; структуру подтверждали УФ-, ЯМР- и масс-спектроскопией. Полисахаридные фракции (водорастворимые – ВРПС, пектиновые вещества – ПВ, гемицеллюлозы) получали последовательной экстракцией водой, оксалатом аммония и щелочью, очищали методом Севага. Выход оценивали гравиметрически, мономерный состав – ВЭТСХ, структурные особенности – ИК-спектроскопией, молекулярные массы – эксклюзионной хроматографией. Эфирное масло из плодов получали гидродистилляцией (аппарат Клевенджера), компонентный состав анализировали хромато-масс-спектрометрией.

**Результаты и обсуждение.** Из надземной части *H. sosnowskyi* выделены и идентифицированы пять фуранокумаринов: ксантотоксин, псорален, ангелицин, изопимпинеллин и бергаптен. Суммарное содержание полисахаридов в траве составило 4,1 %, выход фракции ПВ –  $2,3 \pm 0,2$  %, ВРПС –  $1,8 \pm 0,1$  %. Доминирующий моносахар в обеих фракциях – арабиноза. Среднемассовая молекулярная масса ВРПС составила ~160 кДа, ПВ – ~193 кДа. Выход эфирного масла из плодов –  $1,01 \pm 0,03$  %; основной компонент – октилацетат (61,8 %), также идентифицированы гексиловый эфир масляной кислоты (6,4 %), 2-метилгексиловый эфир масляной кислоты (6,0 %) и гексилизобутират (5,5 %).

**Заключение.** Биомасса *H. sosnowskyi* – перспективный многокомпонентный источник БАВ. Предложенный подход к комплексной переработке позволяет последовательно выделять из травы фуранокумарины (5 соединений) и полисахариды (4,1 %), а плоды использовать для получения эфирного масла с высоким содержанием октилацетата. Результаты создают научную основу для рационального использования данного инвазивного вида в фармацевтических целях.

© Бомбела Т. В., Сурбеева Е. С., Якушина К. Е., Вишняков Е. В., Тернинко И. И., Кривошеков С. В., Белоусов М. В., Лужанин В. Г., 2026

© Издатель ООО «Центр Фармацевтической Аналитики», 2026

© Bombela T. V., Surbeeva E. S., Yakushina K. E., Vishnyakov E. V., Terninko I. I., Krivoshchekov S. V., Belousov M. V., Luzhanin V. G., 2026

© Publisher LLC "Center of Pharmaceutical Analytics", 2026

**Ключевые слова:** *Heracleum sosnowskyi*, фуранокумарины, полисахариды, пектины, эфирное масло, октилацетат, комплексная переработка

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Вклад авторов.** Т. В. Бомбела, Е. С. Сурбеева, К. Е. Якушина, Е. В. Вишняков, И. И. Тернинко, С. В. Кривошеков, М. В. Белоусов выполняли экспериментальную часть и интерпретировали результаты. В. Г. Лужанин осуществлял руководство научным исследованием. Все авторы участвовали в обсуждении результатов и написании статьи.

**Финансирование.** Исследование выполнено при финансировании Автономной некоммерческой организации «Пермский научно-образовательный центр» (АНО «Пермский НОЦ»).

**Для цитирования:** Бомбела Т. В., Сурбеева Е. С., Якушина К. Е., Вишняков Е. В., Тернинко И. И., Кривошеков С. В., Белоусов М. В., Лужанин В. Г. Фитохимический профиль биомассы борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) как основа для рационального использования. *Разработка и регистрация лекарственных средств*. 2026;15(3):51–63. <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2026-15-3-2371>

**Поступила в редакцию:** 13.05.2026

**Поступила после рецензирования:** 15.06.2026

**Принята к публикации:** 21.08.2026

## Phytochemical profile of *Heracleum sosnowskyi* Manden. biomass as a basis for rational use

Tatyana V. Bombela<sup>1</sup> , Elizaveta S. Surbееva<sup>1</sup> , Karolina E. Yakushina<sup>2</sup> ,  
Evgeniy V. Vishnyakov<sup>1</sup> , Inna I. Terninko<sup>1</sup> , Sergei V. Krivoshchekov<sup>3</sup> ,  
Mikhail V. Belousov<sup>3</sup> , Vladimir G. Luzhanin<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Saint Petersburg State Chemical and Pharmaceutical University (SPCPU). 14A, Professora Popova str., Aptekarsky Ostrov Municipal Okrug, Saint Petersburg, 197022, Russia

<sup>2</sup> Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Perm State Pharmaceutical Academy" of the Ministry of Health of the Russian Federation. 2, Polevaya str., Perm, Perm Krai, 614990, Russia

<sup>3</sup> Siberian State Medical University (SSMU). 2, Moskovsky trakt, Tomsk, Tomsk Region, 634050, Russia

 **Corresponding author:** Tatyana V. Bombela. **E-mail:** tatyana.bombela@yandex.ru

  **Corresponding author:** Elizaveta S. Surbееva. **E-mail:** bazanova.elizaveta@pharminnotech.com

### Abstract

**Introduction.** *Sosnowsky's hogweed* (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) is a dangerous invasive transformer species widespread in the European part of Russia. The inclusion of the plant in the list of hazardous invasive species from 2026 and the ongoing regional control programs necessitate the rational utilization of its biomass. A detailed study of the phytochemical profile is a key prerequisite for justifying processing prospects.

**Aim.** To study the phytochemical profile of *H. sosnowskyi* biomass, including the isolation of furanocoumarins, polysaccharides, and essential oils of pharmaceutical value, to provide a scientific basis for the rational use of this invasive species.

**Materials and methods.** The objects of the study were the herb and fruits of *H. sosnowskyi* collected in Perm Krai and Leningrad Oblast in 2024. Furanocoumarins were extracted with *n*-hexane (Soxhlet apparatus), purified by preparative HPLC; structures were confirmed by UV, NMR, and high-resolution mass spectrometry. Polysaccharide fractions (water-soluble polysaccharides – WSP, pectic substances – PS, hemicelluloses) were obtained by sequential extraction with water, ammonium oxalate, and alkali, then purified using the Sevag method. Yield was assessed gravimetrically, monosaccharide composition by HPTLC, structural features by IR spectroscopy, and molecular weights by size-exclusion chromatography. Essential oil from the fruits was obtained by hydrodistillation (Clevenger apparatus), and its component composition was analyzed by GC-MS.

**Results and discussion.** Five furanocoumarins – xanthotoxin, psoralen, angelicin, isopimpinellin, and bergapten – were isolated from the aerial part of *H. sosnowskyi* and identified. The total polysaccharide content in the herb was 4.1 %, with the yield of the PS fraction at  $2.3 \pm 0.2$  % and the WSP fraction at  $1.8 \pm 0.1$  %. The dominant monosaccharide in both fractions was arabinose. The average molecular weight of WSP was ~160 kDa, and PS was ~193 kDa. The yield of essential oil from the fruits was  $1.01 \pm 0.03$  %; the main component was octyl acetate (61.8 %), along with hexyl butyrate (6.4 %), 2-methylhexyl butyrate (6.0 %), and hexyl isobutyrate (5.5 %).

**Conclusion.** *H. sosnowskyi* biomass is a promising multicomponent source of biologically active compounds. The proposed integrated processing approach allows the sequential isolation of furanocoumarins (5 compounds) and polysaccharides (4.1 %) from the herb, while the fruits serve as a source of essential oil with high octyl acetate content. These results provide a scientific basis for the rational use of this invasive species for pharmaceutical purposes.

**Keywords:** *Heracleum sosnowskyi*, furanocoumarins, polysaccharides, pectins, essential oil, octyl acetate, integrated processing

**Conflict of interest.** The authors declare that they have no obvious or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

**Contribution of the authors.** Tatyana V. Bombela, Elizaveta S. Surbeeva, Karolina Ye. Yakushina, Evgeniy V. Vishnyakov, Inna I. Terninko, Sergei V. Krivoshchekov, Mikhail V. Belousov performed the experimental work and interpreted the results. Vladimir G. Luzhanin supervised the research. All authors participated in discussing the results and writing the article.

**Funding.** The study was funded by the Autonomous Non-Profit Organization "Perm Research and Educational Center".

**For citation:** Bombela T.V., Surbeeva E.S., Yakushina K.E., Vishnyakov E.V., Terninko I.I., Krivoshchekov S.V., Belousov M.V., Luzhanin V.G. Phytochemical profile of *Heracleum sosnowskyi* Manden. biomass as a basis for rational use. *Drug development & registration*. 2026;15(3):51–63. <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2026-15-3-2371>

**Received:** 13.05.2026

**Revised:** 15.06.2026

**Accepted:** 21.08.2026

## ВВЕДЕНИЕ

Борщевик Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) относится к семейству сельдерейных (*Apiaceae* Lindl.). На территории европейской части России этот вид был преднамеренно интродуцирован в середине XX века в качестве силосной культуры [1]. В настоящее время он превратился в злостный сорняк, относящийся к видам-трансформерам, способным существенно изменять структуру естественных экосистем [2]. Высокая семенная продуктивность является одной из ключевых причин его неконтролируемого распространения [3]. Правовой статус растения в настоящее время претерпел изменения: с декабря 2015 года *H. sosnowskyi* включен в Отраслевой классификатор сорных растений РФ [4], с 1 марта 2026 года законодательство относит его к опасным инвазивным видам<sup>1</sup>, наносящим значительный экологический и экономический ущерб и представляющим угрозу для здоровья человека.

В последние годы многие регионы России разрабатывали и осуществляют системные меры по борьбе с *H. sosnowskyi* [5, 6]. Ряд регионов, включая Пермский край, реализует комплексную стратегию, сочетая три направления: научно-исследовательские разработки по переработке сырья, внедрение инновационных методов биоремедиации и системные меры на муниципальном уровне [7].

Важным направлением является научно обоснованное вовлечение биомассы *H. sosnowskyi* в хозяйственный оборот. Однако для рационального использования данного сырья необходимо детальное изучение его фитохимического профиля, в первую оче-

редь таких групп биологически активных соединений, которые определяют потенциальную ценность растения для фармацевтической промышленности, а также его токсические свойства.

Основной группой БАВ, провоцирующей развитие фитофотодерматита при контакте с соком борщевика, являются фуранокумарины: псорален, изопсорален и их производные [8]. При этом, согласно научной литературе, данные соединения обладают противоопухолевой активностью в отношении клеток линии KB, KBv200, K562, K562/ADM [9], противовоспалительным и эстрогеноподобным действием [10]. В связи с высоким накоплением производных кумарина в сырье борщевика (от 3 до 11 % в зависимости от органа растения [11]) и наличием цитостатического эффекта у его извлечений [12] перспективной является разработка оптимальной технологии экстракции данной группы БАВ из сырья.

Растительные полисахариды – перспективные лекарственные кандидаты для терапии и профилактики различных заболеваний, в том числе инфекций и нарушений метаболизма [13], – также являются одной из мажоритарных групп БАВ сырья борщевика. Согласно литературным данным, выход пектиновых веществ из надземной части *H. sosnowskyi* составил порядка 17 % [14]; также получен патент на способ получения суммы пектиновых полисахаридов из сухого растительного сырья [15], однако описанная технология позволяет выделить только порядка 7 % целевого БАВ, характеризуется весьма длительным временем экстракции (несколько суток) и позволяет получить только одну фракцию полисахаридов.

В настоящее время со стороны научного сообщества наблюдается интерес к изучению эфирного масла *H. sosnowskyi*. Так, учеными из Москвы [9] проведен сравнительный анализ количественного содержания эфирного масла в разных частях борщевика (стебли – 0,57–0,67 %, плоды – 0,98–1,38 %, листья – 0,87–0,93 %), а научная группа из Перми [17] получила

<sup>1</sup> Федеральный закон от 31.07.2025 № 294-ФЗ «О внесении изменений в Земельный кодекс Российской Федерации и отдельные законодательные акты Российской Федерации». Доступно по: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202507310026?index=2> Ссылка активна на 13.05.2026.

патент на способ получения эфирного масла плодов борщевика Сосновского, обладающего противогрибковой активностью (выход эфирного масла составил порядка 4%). Согласно литературным данным, эфиромасличный состав борщевика представлен монотерпенами, сесквитерпенами и сложными эфирами (алкилалканоатами) [18].

Таким образом, сырье *H. sosnowskyi* характеризуется сложным многокомпонентным составом биологически активных соединений различных классов, отличающихся по механизмам биосинтеза, физико-химическим свойствам и спектру биологического действия. Высокая инвазивность и значительные площади распространения данного вида на территории РФ определяют актуальность его переработки как с экологической, так и с практической точки зрения.

**Целью работы** является изучение фитохимического профиля биомассы *H. sosnowskyi*, включая выделение ключевых групп биологически активных соединений (фуранокумарины, полисахариды, эфирные масла), представляющих фармацевтическую ценность, для научного обоснования его рационального использования.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве исследуемого материала выступали трава и плоды борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi*). Траву заготавливали в период цветения (июнь – август 2024 г.) на территории питомника ПГФА (г. Пермь, Свердловский район, 57.953007°, 56.332927°); собирали прикорневые листья и верхушки стеблей. Плоды убрали при 70 % побурении зонтиков в сентябре 2024 г. в питомнике СПХФУ (Ленинградская область, Всеволожский район, пос. Лемболово, 60.389368°, 30.275313°). Сушили сырье под навесами воздушно-теневым способом. Высушенную надземную часть измельчали до прохождения через сито 5 мм.

Гербарные образцы хранятся на кафедре ботаники и фармацевтической биологии ФГБОУ ВО ПГФА Минздрава России, где также была проведена идентификация сырья (родовая и видовая принадлежность).

**Методика выделения фуранокумаринов:** навеску воздушно-сухой измельченной надземной части *H. Sosnowskyi* (300 г) загружали в аппарат Сокслета и непрерывно экстрагировали 1,2 л *n*-гексана в течение 48 ч. Полученный экстракт концентрировали (упаривали) досуха и соединяли со щелочным раствором, приготовленным растворением 5,0 г NaOH в 150 мл дистиллированной воды. Реакционную смесь кипятили в колбе с обратным холодильником 6 ч. Водно-щелочную фазу отделяли от органической, затем доводили pH до 2–3 добавлением 20%-й серной кислоты. Подкисленный раствор подвергали экстракции *n*-гексаном. Органический слой упаривали, сухой остаток растворяли в 96%-м этано-

ле и помещали в холодильник. Образовавшийся осадок и надосадочную жидкость использовали для последующего препаративного выделения индивидуальных компонентов.

Аналитические хроматограммы и УФ-спектры регистрировали на системе Prominence LC-20, оснащенной диодно-матричным детектором SPD-M20A (Shimadzu Corporation, Япония). Использовали колонку Supelcosil LC-18 (250 × 4,6 мм, 5 мкм). Препаративное разделение выполняли на хроматографе Knauer Smartline с УФ-детектором и колонкой Kromasil C18 (250 × 30 мм, 5 мкм). Все растворители и реактивы квалификации «х.ч.» приобретали у АО «Вектон».

Условия препаративной ВЭЖХ: элюент А – 0,1%-я трифторуксусная кислота (ТФУ) в воде (хроматографическая чистота); элюент В – 0,1%-я ТФУ в ацетонитриле; скорость потока – 40 мл/мин; градиентная программа: 0–5 мин – 5 % В, 5–35 мин – линейно до 100 % В, 35–40 мин – 100 % В, 40–41 мин – возврат к 5 % В, 41–45 мин – изократически 5 % В.

Установление строения выделенных соединений проводили методами ЯМР-спектроскопии (Bruker Avance III 400 NMR Spectrometer, США; обработка данных – программный пакет MestReNova 14.1.2) и масс-спектрометрии высокого разрешения (Bruker Micro-mass Q-TOF spectrometer, США).

**Методика выделения, очистки и анализ полисахаридных фракций:** измельченное сырье *H. sosnowskyi* обезжиривали хлороформом (1:4) в экстракторе Сокслета. Низкомолекулярные примеси удаляли кипячением с 80%-м этанолом (1:10, водяная баня, 1 ч). Высушенный остаток последовательно экстрагировали водой и смесью 0,5%-го оксалата аммония с щавелевой кислотой (1:1) при гидромодуле 1:10, 85–95 °С и перемешивании при 300 об/мин (Heidolph Instruments GmbH & Co KG, Германия); каждый растворитель брали дважды. Объединенные вытяжки упаривали, осаждали трехкратным объемом 96%-го этанола, фильтровали и сушили, получая фракции ВРПС и ПВ. Для выделения гemicеллюлоз (ГЦ) остаток шрота настаивали с 1%-м NaOH (24 ч). Очистку проводили методом Севага [19] с последующей лиофилизацией (Labconco, США).

Количественное содержание полисахаридных фракций в траве борщевика Сосновского определяли методом гравиметрии [20].

Гидролиз проводили 1%-й H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Моносахариды идентифицировали методом ВЭТСХ на системе CAMAG HPTLC visionCATS (Швейцария) по методике [21]. Пластины Merck (силикагель 60 F<sub>254</sub>) активировали смесью «метанол – вода» (6:1) и обрабатывали фосфатным буфером (pH 6,8). Элюенты: 1) ацетонитрил – пентанол – вода (4:4:1), 2) ацетонитрил – бутанол – вода (4:3,5:1,5). Детекция – дифениламиноновый реагент, визуализация – CAMAG TLC Visualizer 2. Идентификацию выполняли в сравнении со стандартами (глюкоза, галактоза, манноза, арабиноза, рамноза, ксилоза, фруктоза; 1 мг/мл).

Спектры регистрировали на Spectrum 3 (Perkin-Elmer, США), интерпретацию – по литературным данным [22–26].

Молекулярные массы определяли методом эксклюзионной хроматографии (ЖХ-301, рефрактометрический детектор). Колонка Ultrahydrogel 250 (7,8 × 300 мм, 250 Å), подвижная фаза – 0,01 М NaNO<sub>3</sub> + 0,1%-й NaN<sub>3</sub>, 0,5 мл/мин. Калибровка по пуллуланам (342–200 000 Да).

**Получение и анализ эфирного масла:** из плодов *H. sosnowskyi* по ОФС.1.5.3.0010 «Определение содержания эфирного масла в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах» (метод 2, аппарат Клевенджера).

Компонентный состав эфирного масла анализировали методом хромато-масс-спектрометрии (газовый хроматограф Clarus 600T с квадрупольным масс-детектором, PerkinElmer, США). Условия разделения: капиллярная колонка Elite-5ms (30 м × 0,25 мм × 0,25 мкм), газ-носитель – гелий (1 мл/мин), режим программирования температуры: термостат колонки 0 мин – 50–130 °C, 2 °C/мин; 15 мин – 280 °C, 10 °C/мин. Ионизация – электронная (70 эВ), диапазон сканирования *m/z*: 50–500. Идентификацию компонентов проводили с использованием библио-

теки масс-спектров NIST-20 (совпадение не менее 900). Количественное содержание выражали в процентах от суммы идентифицированных компонентов методом внутренней нормализации.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

### Исследование фуранокумаринов

В результате ВЭЖХ-анализа установлено, что осадок и надосадочная жидкость представляют собой сумму фуранокумаринов с разным соотношением компонентов. В осадке доминирует один компонент, тогда как надосадочная жидкость содержит четыре мажорных пика (рисунок 1), вследствие этого оба продукта выбраны для выделения индивидуальных веществ.

В результате препаративной ВЭЖХ были выделены ксантотоксин (1), псорален (2); ангелицин (3), изопимпинеллин (4), бергаптен (5) (рисунок 2).

Для всех выделенных соединений (1–5) характерна принадлежность к классу производных фуранокумаринов, что подтверждается наличием двух максимумов поглощения в УФ-спектре (EtOH), а также характерными сигналами ароматических протонов в <sup>1</sup>H-ЯМР-спектрах (таблица 1).

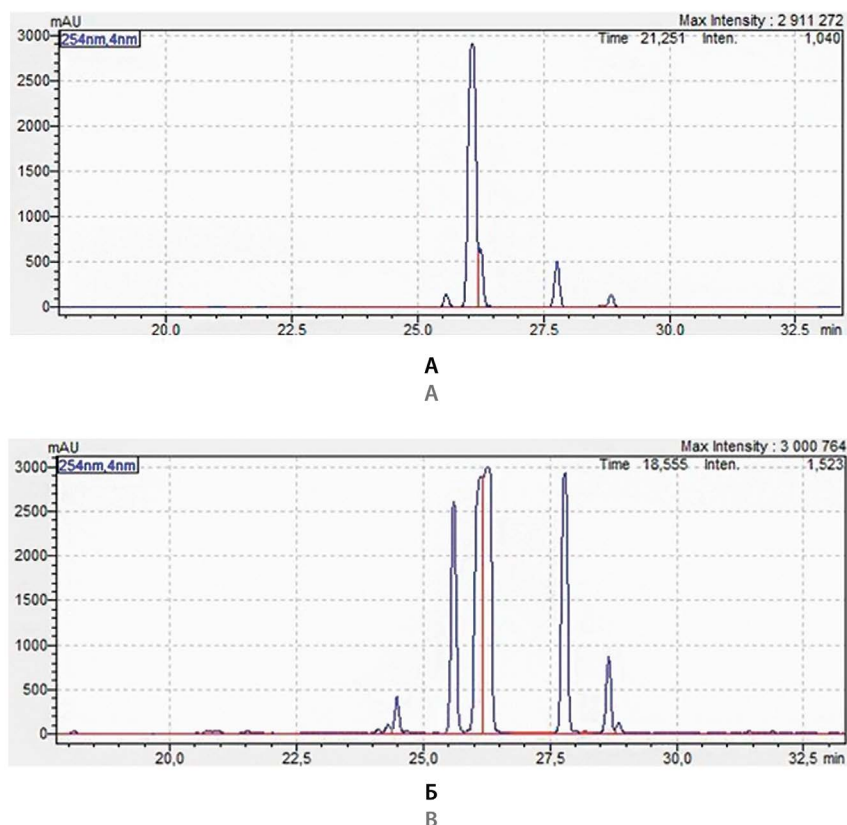


Рисунок предоставлен авторами  
The figure was provided by the authors

**Рисунок 1.** Хроматограмма осадка (А) и надосадочной жидкости (Б) из суммы фуранокумаринов *H. sosnowskyi*  
**Figure 1.** Chromatogram of the precipitate (A) and supernatant (B) from the total furanocoumarins of *H. sosnowskyi*

Таблица 1. Спектральные характеристики соединений 1–5

Table 1. Spectral characteristics of compounds 1–5

| Соединение<br>Compound | Внешний вид<br>Appearance                  | УФ-спектры (EtOH), нм<br>UV spectra (EtOH), nm | Характерные сигналы<br>¹H-ЯМР<br>(ароматическая<br>область)<br>Characteristic ¹H NMR<br>signals (aromatic<br>region)                                                                                                                                                               | Дополнительные<br>сигналы (δH, м.д.)<br>Additional signals<br>(δH, ppm)                                                                                                                                                                    | Идентификация<br>Identification  |
|------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| 1                      | Бесцветные кристаллы<br>Colorless crystals | 248, 301                                       | 6,45 (1H, д, J=9,6, H-3);<br>8,15 (1H, д, J=9,6, H-4);<br>7,69 (1H, с, H-5);<br>8,14 (1H, д, J=2,4, H-2');<br>7,12 (1H, д, J=2,4, H-3')<br>6,45 (1H, д, J=9,6, H-3);<br>8,15 (1H, д, J=9,6, H-4);<br>7,69 (1H, с, H-5);<br>8,14 (1H, д, J=2,4, H-2');<br>7,12 (1H, д, J=2,4, H-3') | H-3 (6,45, д, J=9,6);<br>H-4 (8,15, д, J=9,6);<br>H-5 (7,69, с);<br>H-2' (8,14, д, J=2,4);<br>H-3' (7,12, д, J=2,4)<br>H-3 (6,45, д, J=9,6);<br>H-4 (8,15, д, J=9,6);<br>H-5 (7,69, с);<br>H-2' (8,14, д, J=2,4);<br>H-3' (7,12, д, J=2,4) | Ксантотоксин<br>Xanthotoxin      |
| 2                      | Белые кристаллы<br>White crystals          | 245, 293                                       | 6,45 (1H, д, J=9,6, H-3);<br>8,15 (1H, д, J=9,6, H-4);<br>7,69 (1H, с, H-5);<br>8,14 (1H, д, J=2,4, H-2');<br>7,12 (1H, д, J=2,4, H-3')<br>6,45 (1H, д, J=9,6, H-3);<br>8,15 (1H, д, J=9,6, H-4);<br>7,69 (1H, с, H-5);<br>8,14 (1H, д, J=2,4, H-2');<br>7,12 (1H, д, J=2,4, H-3') | 4,19 (3H, с, 8-OCH <sub>3</sub> )<br>4,19 (3H, с, 8-OCH <sub>3</sub> )                                                                                                                                                                     | Псорален<br>Psoralen             |
| 3                      | Белые кристаллы<br>White crystals          | 247, 299                                       | 6,47 (1H, д, J=9,6, H-3);<br>8,19 (1H, д, J=9,6, H-4);<br>7,66 (2H, м, H-4/H-5);<br>8,18 (1H, м, H-2');<br>7,30 (1H, д, J=2,4, H-3')<br>6,47 (1H, д, J=9,6, H-3);<br>8,19 (1H, д, J=9,6, H-4);<br>7,66 (2H, м, H-4/H-5);<br>8,18 (1H, м, H-2');<br>7,30 (1H, д, J=2,4, H-3')       | –                                                                                                                                                                                                                                          | Ангелицин<br>Angelicin           |
| 4                      | Белые кристаллы<br>White crystals          | 251, 306                                       | 6,35 (1H, д, J=9,6, H-3);<br>8,13 (1H, д, J=9,6, H-4);<br>8,09 (1H, м, H-2');<br>7,40 (1H, д, J=2,4, H-3')<br>6,35 (1H, д, J=9,6, H-3);<br>8,13 (1H, д, J=9,6, H-4);<br>8,09 (1H, м, H-2');<br>7,40 (1H, д, J=2,4, H-3')                                                           | 4,18 (3H, с, OCH <sub>3</sub> );<br>4,04 (3H, с, OCH <sub>3</sub> )<br>4,18 (3H, с, OCH <sub>3</sub> );<br>4,04 (3H, с, OCH <sub>3</sub> )                                                                                                 | Изопимпинеллин<br>Isopimpinellin |
| 5                      | Белые кристаллы<br>White crystals          | 248, 268,<br>312                               | 6,33 (1H, д, J=9,8, H-3);<br>8,22 (1H, д, J=9,6, H-4);<br>7,37 (1H, с, H-8);<br>8,05 (1H, д, J=2,4, H-2');<br>7,42 (1H, д, J=2,4, H-3')<br>6,33 (1H, д, J=9,8, H-3);<br>8,22 (1H, д, J=9,6, H-4);<br>7,37 (1H, с, H-8);<br>8,05 (1H, д, J=2,4, H-2');<br>7,42 (1H, д, J=2,4, H-3') | 4,28 (3H, с, 5-OCH <sub>3</sub> )<br>4,28 (3H, с, 5-OCH <sub>3</sub> )                                                                                                                                                                     | Бергаптен<br>Bergapten           |

Таблица предоставлена авторами  
The table was provided by the authors

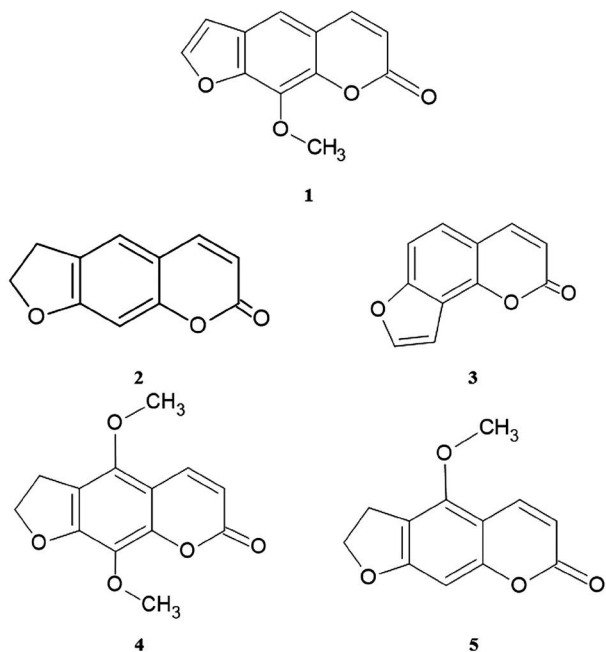


Рисунок предоставлен авторами  
The figure was provided by the authors

**Рисунок 2. Структурные формулы соединений 1–5**  
**Figure 2. Structural formulas of compounds 1–5**

### Исследование полисахаридов

Количественная оценка полученных полисахаридных фракций из травы борщевика и их органолептические характеристики приведены в таблице 2.

Как следует из полученных данных, в исследуемом сырье *H. sosnowskyi* преобладают фракции ПВ и ВРПС. Выход ГЦ был незначителен и составил менее 0,5 %, в связи с чем было принято решение отказаться от дальнейшего изучения данной фракции. Используемый способ очистки фракций по методу Севага привел к существенному улучшению как органолептических, так и технологических характеристик фракций.

Хроматографический анализ гидролизатов ВРПС и ПВ показал, что мономерный профиль полисахаридных фракций борщевика существенно отличается (рисунок 3).

Пектиновые вещества представлены тремя моносахарами: преимущественно арабинозой, тогда как ксилоза и галактоза содержатся в следовых количествах. ВРПС включают достаточно широкий состав мономеров: галактозу, глюкозу, арабинозу, ксилозу и рамнозу. Важно отметить, что исходя из интенсивности пятен преобладающим компонентом исследованных фракций является арабиноза.

**Таблица 2. Характеристика полисахаридных фракций *H. sosnowskyi***

**Table 2. Characteristics of polysaccharide fractions of *H. sosnowskyi***

| Показатель<br>Parameter                    | Фракция<br>Fraction                                                        | Этап<br>Stage                       | Характеристика<br>Description                                                                                                                             |
|--------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Внешний вид и запах<br>Appearance and odor | Водорастворимые полисахариды (ВРПС)<br>Water-soluble polysaccharides (WSP) | До очистки<br>Before purification   | Светло-серый порошок с мелкими кристаллами, едва уловимый сладкий запах<br>Light-gray powder with fine crystals, barely perceptible sweet odor            |
|                                            |                                                                            | После очистки<br>After purification | Порошок аморфной структуры, коричневатосветлый, запах слабый<br>Amorphous powder of light-brownish color, faint odor                                      |
|                                            | Пектиновые вещества (ПВ)<br>Pectic substances (PS)                         | До очистки<br>Before purification   | Кристаллический порошок коричневого цвета (+ серые кристаллы), запах сладковатый<br>Crystalline powder of brown color (with gray crystals), sweetish odor |
|                                            |                                                                            | После очистки<br>After purification | Беловато-бежевый аморфный порошок, отчетливый сладкий аромат<br>Amorphous powder of white-beige color, distinct sweet odor                                |
| Выход (%)<br>Yield (%)                     | ВРПС<br>WSP                                                                | До/После<br>Before/After            | 3,8 ± 0,2 / 1,8 ± 0,1                                                                                                                                     |
|                                            | ПВ<br>PS                                                                   | До/После<br>Before/After            | 4,4 ± 0,3 / 2,3 ± 0,2                                                                                                                                     |

Таблица предоставлена авторами  
The table was provided by the authors

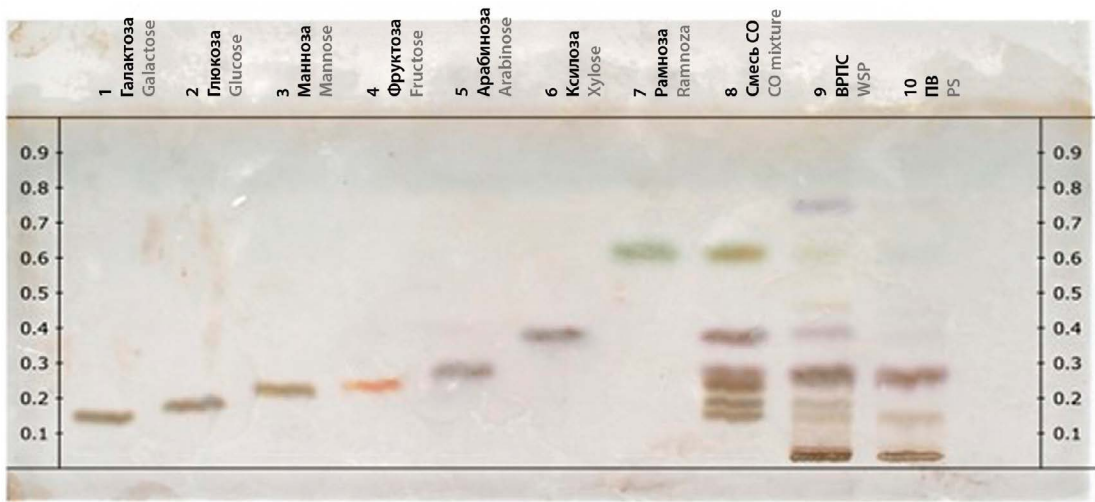


Рисунок предоставлен авторами  
The figure was provided by the authors

**Рисунок 3.** Хроматограмма СО моносахаров (треки 1–7), смеси СО (трек 8) и мономерного состава гидролизатов ВРПС и ПВ *H. sosnowskyi* (треки 9–10)  
**Figure 3.** Chromatogram of monosaccharide reference standards (tracks 1–7), reference standard mixture (track 8), and monosaccharide composition of hydrolysates of WSP and PS of *H. sosnowskyi* (tracks 9–10)

Установлено, что молекулы ВРПС и ПВ являются полидисперсными, среднемассовая молекулярная масса фракции ВРПС составляет около 160 кДа, а фракция ПВ – около 193 кДа (таблица 3, рисунок 4).

**Таблица 3.** Молекулярно-массовые характеристики полисахаридных фракций *H. sosnowskyi*

**Table 3.** Molecular weight characteristics of polysaccharide fractions of *H. sosnowskyi*

| Образец<br>Sample | $M_w$ , кДа<br>$M_w$ , kDa | $M_n$ , кДа<br>$M_n$ , kDa | P<br>PDI |
|-------------------|----------------------------|----------------------------|----------|
| ВРПС<br>WSP       | $160,3 \pm 7,7$            | $54,5 \pm 2,4$             | 2,94     |
| ПВ<br>PS          | $193,3 \pm 8,3$            | $68,3 \pm 3,0$             | 2,83     |

Таблица предоставлена авторами  
The table was provided by the authors

Наблюдается бимодальное распределение фракций. Отсутствие пиков с временем удерживания более 18 мин говорит об отсутствии во фракциях примесей моносахаров.

Анализ ИК-спектров очищенных полисахаридных фракций *H. sosnowskyi* показал наличие колебаний, характерных для связанных и свободных гидроксильных групп ( $3210 \text{ см}^{-1}$  и  $3272 \text{ см}^{-1}$ ), карбоксильной группы ( $1595 \text{ см}^{-1}$ ), а также альфа-конфигурации гликозидной связи, что позволяет сделать выводы относительно структуры выделенных веществ (таб-

лица 4, рисунок 5). В области «отпечатков пальцев» наблюдаются характерные полосы колебания C1- $\alpha$ -конформации галактурановой кислоты ( $\sim 760 \text{ см}^{-1}$ ) во фракциях ВРПС и ПВ.

**Таблица 4.** Характеристики ИК-спектров полисахаридных фракций (ВРПС и ПВ) *H. sosnowskyi*

**Table 4.** Characteristics of IR spectra for WSP and PS fractions from *H. sosnowskyi*

| Фракция<br>Fraction                             | $\nu(\text{OH})$<br>(3650–3200) | $\nu(\text{C-H})$<br>(2962–2926 /<br>2872–2853) | $\nu(\text{C=O})$ COOH<br>(1730–1690) | $\nu(\text{COO}^-)$<br>(1610–1550) | $\nu(\text{C-O-C})$<br>(1200–1000) |
|-------------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| ВРПС, $\text{см}^{-1}$<br>WSP, $\text{см}^{-1}$ | 3272                            | 2937                                            | 1733                                  | 1595                               | 1011                               |
| ПВ, $\text{см}^{-1}$<br>PS, $\text{см}^{-1}$    | 3210                            | –                                               | 1722                                  | 1595                               | 1013                               |

Таблица предоставлена авторами  
The table was provided by the authors

### Исследование эфирного масла

Количественное содержание эфирного масла в плодах *H. sosnowskyi* определяли в трех параллельных отгонах; полученные данные представлены в таблице 5. Типичные хроматограммы эфирного масла приведены на рисунке 6.

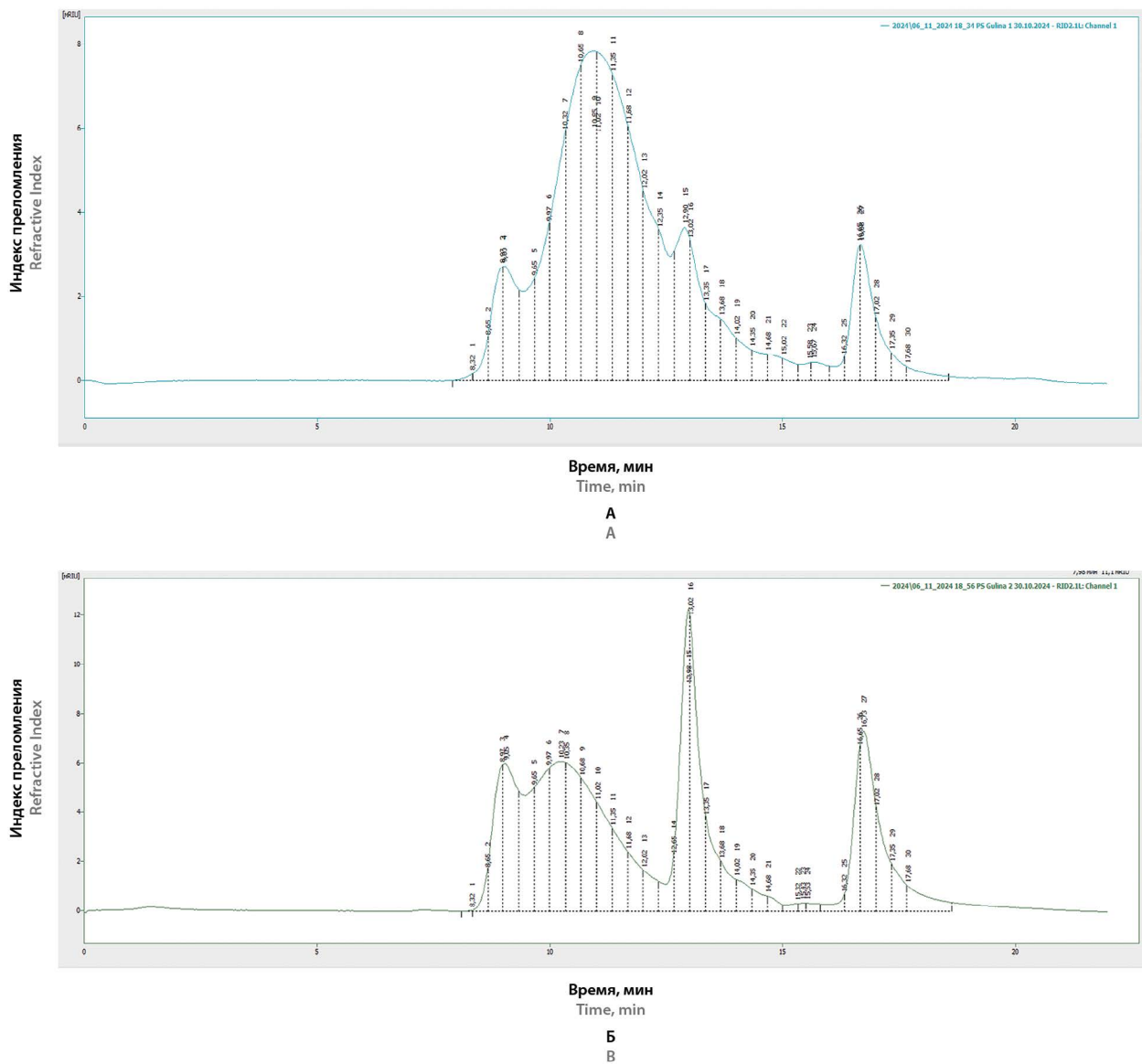


Рисунок предоставлен авторами  
The figure was provided by the authors

**Рисунок 4.** Репрезентативная хроматограмма фракций ВРПС (А) и ПВ (Б) *H. sosnowskyi*

**Figure 4.** Representative chromatogram of WSP (A) and PS (B) fractions of *H. sosnowskyi*

**Таблица 5. Содержание (выход) эфирного масла в плодах *H. sosnowskyi***

**Table 5.** Content (yield) of essential oil in the fruits of *H. sosnowskyi*

| № отгона<br>Distillation<br>No. | V, мл<br>V, mL | a, г<br>a, g | W, %<br>W, % | X, %<br>X, % | Среднее, %<br>Mean, % |
|---------------------------------|----------------|--------------|--------------|--------------|-----------------------|
| 1                               | 0,30           | 30,00        | 1,2          | 1,01         | 1,01 ± 0,03           |
| 2                               | 0,30           | 29,66        | 1,2          | 1,02         |                       |
| 3                               | 0,30           | 30,96        | 1,2          | 0,98         |                       |

Таблица предоставлена авторами  
The table was provided by the authors

Анализ компонентного состава показал, что эфирное масло характеризуется специфическим профилем, основу которого составляют органические сложные эфиры, что согласуется с литературными данными [27, 28]. Доминирующими компонентами являются октилацетат (61,8 %), гексиловый эфир масляной кислоты (6,4 %), 2-метилгексиловый эфир масляной кислоты (6,0 %) и гексилизобутират (5,5 %). Таким образом, эфиромасличная фракция исследуемого сырья отличается высоким содержанием алифатических сложных эфиров, что определяет ее потенциальную биологическую активность и перспективность дальнейшего изучения.

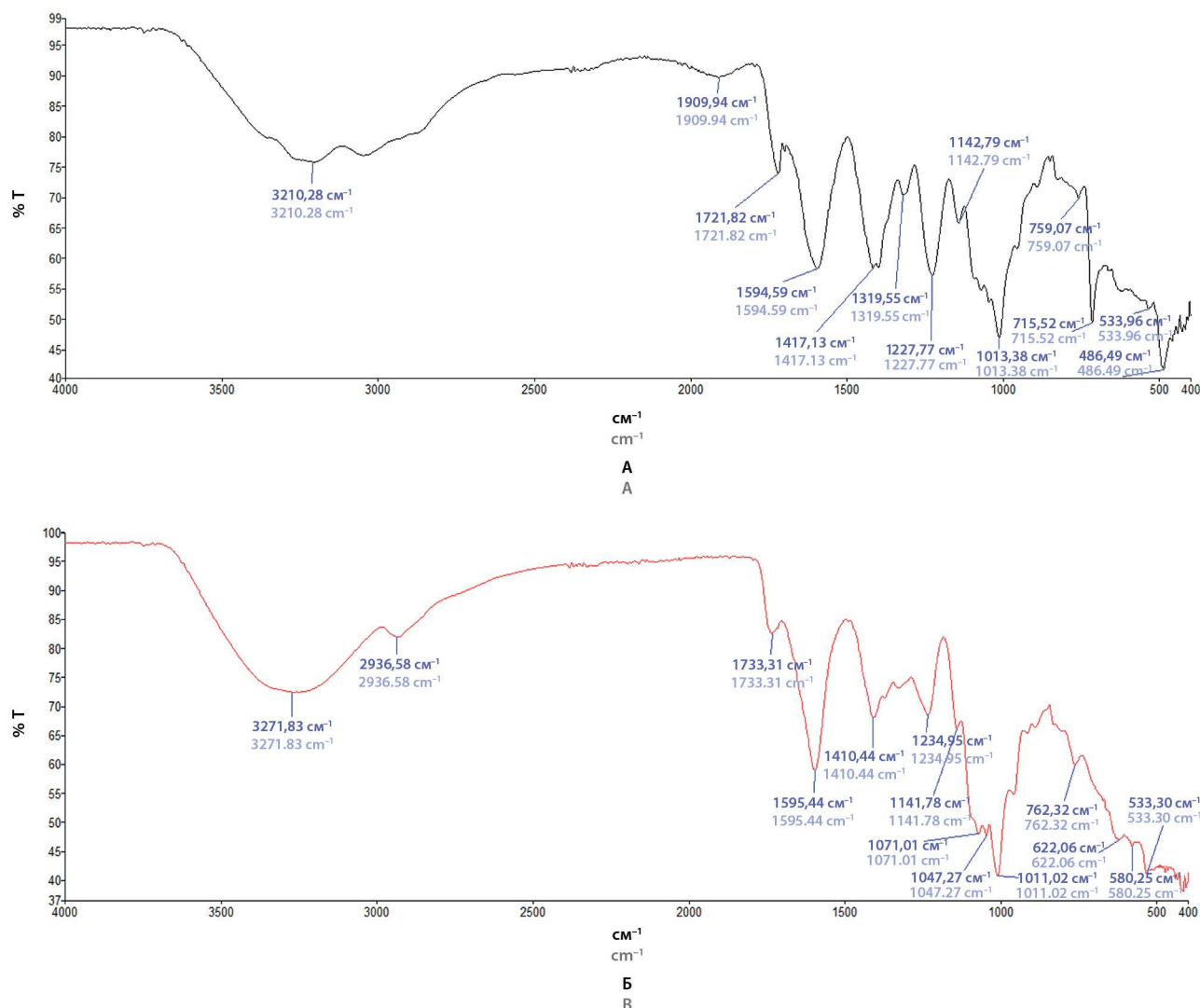


Рисунок предоставлен авторами  
The figure was provided by the authors

**Рисунок 5.** ИК-спектры фракций ВРПС (А) и ПВ (Б) *H. sosnowskyi*  
**Figure 5.** IR spectra of WSP (A) and PS (B) fractions of *H. sosnowskyi*

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Борщевик Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) является одним из наиболее агрессивных инвазивных видов на территории Российской Федерации. Его широкое распространение, включение в перечень опасных инвазивных растений на законодательном уровне, а также реализуемые в ряде регионов программы по сдерживанию численности делают актуальным не только уничтожение, но и рациональное вовлечение биомассы этого растения в хозяйственный оборот. Ключевым условием для этого выступает детальное изучение фитохимического профиля *H. sosnowskyi*, позволяющее обосновать перспективные направления его переработки.

В ходе данной работы реализован подход к комплексной переработке борщевика Сосновского, предполагающий ступенчатое выделение различных групп биологически активных веществ из разных частей растения. Надземная часть *H. sosnowskyi* является эффективным источником фуранокумаринов: из нее выделены ксантотоксин, псорален, ангелицин, изопимпинеллин и бергаптен.

Сырье после удаления фуранокумаринов используется для выделения полисахаридных фракций. Гравиметрическая оценка показала, что суммарное содержание полисахаридов достигает 4,1 %, при этом наибольший выход ( $2,3 \pm 0,2$  %) характерен для фракции пектиновых веществ. Методом ВЭТСХ установлено, что во всех фракциях доминирующим мономером

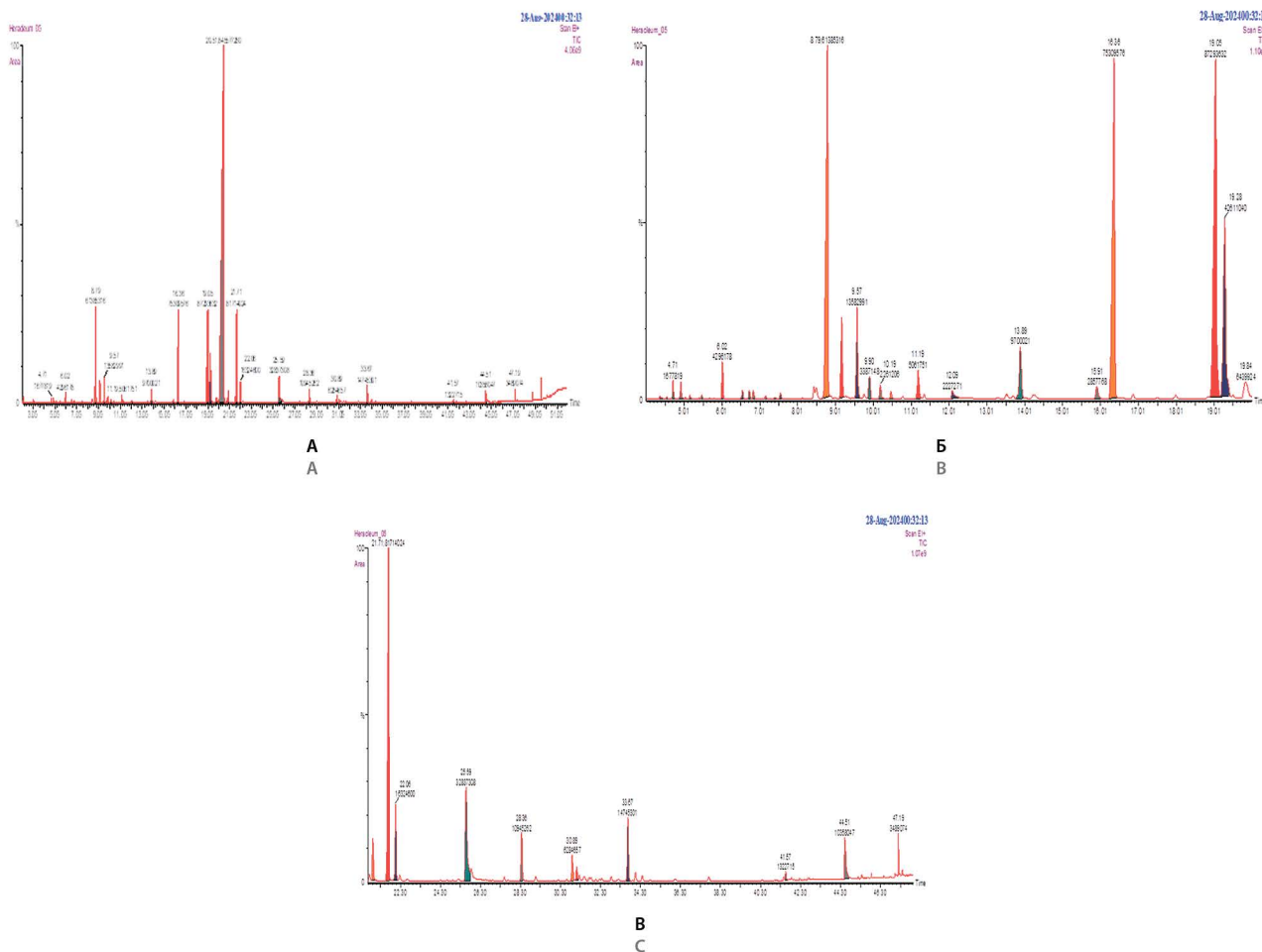


Рисунок предоставлен авторами  
The figure was provided by the authors

#### Рисунок 6. Хроматограммы эфирного масла плодов борщевика:

А – 3–52 мин; Б – 3–20 мин; В – 21–52 мин

#### Figure 6. Chromatograms of essential oil from *H. sosnowskyi* fruits:

А – 3–52 min; Б – 3–20 min; В – 21–52 min

является арабиноза. Данные ИК-спектроскопии подтвердили наличие структурных фрагментов, характерных для полисахаридов, что позволяет рассматривать эти фракции как потенциальные компоненты для разработки лекарственных средств.

Использование плодов для получения эфирного масла приобретает дополнительное значение, их сбор препятствует семенному размножению и снижает инвазивный потенциал вида. Выход эфирного масла из плодов борщевика, определенный методом дистилляции, составил в среднем 1 %. Компонентный анализ эфирного масла показал, что его основу составляют сложные эфиры органических кислот (преимущественно уксусной и масляной); преобладающим компонентом является октилацетат (61,8 % от суммы идентифицированных соединений).

Таким образом, результаты работы подтверждают, что биомасса борщевика Сосновского является перспективным многокомпонентным источником биологически активных веществ различных классов. Продemonстрированный подход к комплексной переработке позволяет последовательно выделять из травы растения фуранокумарины и полисахариды, а плоды служат источником эфирномасличных соединений, что создает основу для рационального использования данного инвазивного вида.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сацыперова И. Ф. Борщевика флоры СССР – новые кормовые растения. М: Наука; 1984. 223 с.
2. Виноградова Ю. К. Черная книга флоры Тверской области. М.: Товарищество научных изданий КМК; 2011. 292 с.

3. Черняк Д. М. Изучение семенной продуктивности *Heracleum sosnowskyi* Manden в условиях юга Приморского края. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2018;8(74):92–95. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.74.8.019>
4. Отраслевой классификатор сорных растений. М.: ФГБНУ «Росинформагротех»; 2018. 52 с.
5. Бообеков Д. Р. Разработка интеллектуальной информационной системы по выявлению пораженных участков Борщевиком Сосновского. *Парадигма*. 2025;6(1):3–15.
6. Кузнецов Т. А. Разработка предложений по совершенствованию государственного регулирования в сфере сельского хозяйства (на примере Краснодарского края). *Вестник Академии знаний*. 2024;6(65):930–934.
7. Подкина Е. М. Программы государственной поддержки АПК. Этапы развития. *Трибуна ученого*. 2020;12:312–318.
8. Климкина Е. А., Околелова М. С., Смирнова Е. С. Анализ данных о фитофотодерматите, вызванном контактом с соком растений рода Борщевик (*Heracleum* L.). *Известия Российской военно-медицинской академии*. 2024;43(2):183–192. <https://doi.org/10.17816/rmmar624470>
9. Wang Y., Hong C., Zhou C., Xu D., Qu H.-B. Screening Antitumor Compounds Psoralen and Isopsoralen from *Psoralea corylifolia* L. Seeds. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. 2011;2011:363052. <https://doi.org/10.1093/ecam/nen087>
10. Li H., Xu J., Li X., Hu Y., Liao Y., Zhou W., Song Z. Anti-inflammatory activity of psoralen in human periodontal ligament cells via estrogen receptor signaling pathway. *Scientific Reports*. 2021;11:8754. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-85145-1>
11. Andreeva L. V. Content of Coumarins in Various Organs of Sosnovsky's Hogweed (*Heracleum Sosnowskyi* Manden.). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;852(1):012006. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/852/1/012006>
12. Лукашов Р. И., Гурина Н. С., Терлецкая В. А., Лавровский А. В., Дорошенко Т. М., Портянко А. С., Клеппер А. В., Повыдыш М. Н. Цитостатический эффект извлечений из борщевика Сосновского. *Разработка и регистрация лекарственных средств*. 2025;14(1):39–53. <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2025-14-1-1978>
13. Durairajan M. B., Thangaraj P. Exploring the immunomodulatory effects of polysaccharides in the management of inflammatory bowel disease: a review. *Journal of Herbal Medicine*. 2024;48:100932. <https://doi.org/10.1016/j.hermed.2024.100932>
14. Шахматов Е. Г., Михайлова Е. А., Макарова Е. Н. Структурно-химическая характеристика и биологическая активность полисахаридов *Heracleum sosnowskyi* Manden. *Химия растительного сырья*. 2015;4(4):15–22. <https://doi.org/10.14258/jcprm.201504878>
15. Головченко В. В., Патова О. А., Оводова Р. Г., Витязев Ф. В. Способ получения суммы пектиновых полисахаридов из сухого растительного сырья. Патент РФ на изобретение № RU2636764C2. Доступно по: <https://patents.google.com/patent/RU2636764C2/ru> Ссылка активна на 19.04.2026.
16. Нестерова Н. В., Жильков Ю. А., Ермакова В. Ю. Оценка количественного содержания эфирного масла в разных частях растения борщевик Сосновского. *Фармацевтическое дело и технология лекарств*. 2020;(3):52–57. <https://doi.org/10.33920/med-13-2003-04>
17. Лисовенко Н. Ю., Баландина С. Ю., Касьянов З. В., Мащенко П. С., Фомин Д. С. Способ получения эфирного масла плодов борщевика Сосновского, обладающего противогрибковой активностью. Патент РФ на изобретение № 2835487C1. Доступно по: <https://patents.google.com/patent/RU2835487C1/ru> Ссылка активна на 19.04.2026.
18. Кушакова А. С., Ткаченко К. Г., Зенкевич И. Г. Определение компонентного состава эфирных масел борщевиков *Heracleum* с использованием хромато-распределительного метода. *Химия растительного сырья*. 2010;(4):111–114.
19. Thuy H. L. T., Bao C. H., Phuong T. V. T., Lap D. B., Hai N. T. V., Minh H. D., Tien T. N. Deproteinization in purification of exopolysaccharide from *Ophiocordyceps sinensis* olive oil – stimulated culture. *International Journal of Agricultural Technology*. 2018;14(7):2151–2162.
20. Бубенчикова В. Н., Степнова И. В., Шкабунова М. В. Разработка методики количественного определения полисахаридов в траве горюхих ястребинковой. *Фармация*. 2018;67(5):19–23. <https://doi.org/10.29296/25419218-2018-05-04>
21. Oberlerchner J. T., Böhmendorfer S., Rosenau T., Potthast A. A matrix-resistant HPTLC method to quantify monosaccharides in wood-based lignocellulose biorefinery streams. *Holzforschung*. 2018;72(8):645–652. <https://doi.org/10.1515/hf-2017-0170>
22. Тюкавкина Н. А., Белобородов В. Л., Зурабян С. Э., Селиванова И. А., Лузин А. П., Артемьева Н. Н. Органическая химия. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2015. 640 с.
23. Купцов А. Х., Жижин Г. Н. Фурье-КР и Фурье-ИК спектры полимеров. М.: Техносфера; 2013. 696 с.
24. Казицына Л. А., Куплетская Н. Б. Применение УФ-, ИК-, ЯМР-спектроскопии в органической химии. М.: Высшая школа; 1968. 829 с.
25. Hong T., Yin J.-Y., Nie S.-P., Xie M.-Y. Applications of infrared spectroscopy in polysaccharide structural analysis: Progress, challenge and perspective. *Food Chemistry: X*. 2021;12:100168. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2021.100168>
26. Mohanta B., Sen D. J., Mahanti B., Nayak A. K. Antioxidant potential of herbal polysaccharides: An overview on recent researches. *Sensors International*. 2022;3:100158. <https://doi.org/10.1016/j.sintl.2022.100158>
27. Ткаченко К. Г. Эфирные масла плодов *Heracleum ponticum* (Lipsky) Schischk. и *H. sosnowskyi* Manden. *Научные ведомости БелГУ*. 2010;3(74):23–27.
28. Mishyna M., Laman N., Prokhorov V., Maninang J. S., Fujii Y. Identification of Octanal as Plant Growth Inhibitory Volatile Compound Released from *Heracleum sosnowskyi* Fruit. *Natural Product Communications*. 2015;10(5):771–774. <https://doi.org/10.1177/1934578x1501000518>

## REFERENCES

1. Satsyperova I. F. Hogweeds of the USSR flora – new forage plants. Moscow: Nauka; 1984. 223 p. (In Russ.)
2. Vinogradova Yu. K. Black Data Book of Tver Oblast Flora. Moscow: Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK; 2011. 292 p. (In Russ.)
3. Chernyak D. M. Study of Seed Productivity of *Heracleum sosnowskyi* Manden in the conditions of the south of the Primorsky Krai. *International Research Journal*. 2018;8(74):92–95. (In Russ.) <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.74.8.019>

4. Industry classifier of weed plants: information publication. M.: FGBNU «Rosinformagrotekh»; 2018. 52 p. (In Russ.)
5. Boobekov D.R. Development of an intelligent information system for the identification of affected areas by Sosnowsky's hogweed. *Paradigma*. 2025;6(1):3–15. (In Russ.)
6. Kuznetsov T.A. Development of proposals for improving state regulation in the field of agriculture (on the example of the Krasnodar territory). *Bulletin of the Academy of Knowledge*. 2024;6(65):930–934. (In Russ.)
7. Podkina E.M. Programs of state support of AIC: stages of development. *Tribune of scientists*. 2020;12:312–318. (In Russ.)
8. Klimkina E.A., Okolelova M.S., Smirnova E.S. Analysis of data on phytophotodermatitis caused by contact with the sap of plants of the genus Hogweed (*Heracleum* L.). *Russian Military Medical Academy Reports*. 2024;43(2):183–192. (In Russ.) <https://doi.org/10.17816/rmmar624470>
9. Wang Y., Hong C., Zhou C., Xu D., Qu H.-B. Screening Antitumor Compounds Psoralen and Isopsoralen from *Psoralea corylifolia* L. Seeds. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. 2011;2011:363052. <https://doi.org/10.1093/ecam/nen087>
10. Li H., Xu J., Li X., Hu Y., Liao Y., Zhou W., Song Z. Anti-inflammatory activity of psoralen in human periodontal ligament cells via estrogen receptor signaling pathway. *Scientific Reports*. 2021;11:8754. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-85145-1>
11. Andreeva L.V. Content of Coumarins in Various Organs of Sosnowsky's Hogweed (*Heracleum Sosnowskyi* Manden.). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;852(1):012006. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/852/1/012006>
12. Lukashou R.I., Gurina N.S., Terletskaia V.A., Laurouski A.V., Doroshenko T.M., Portyanko A.S., Klemper A.V., Povydysh M.N. Cytostatic effect of extracts from *Heracleum Sosnowskyi*. *Drug development & registration*. 2025;14(1):39–53. (In Russ.) <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2025-14-1-1978>
13. Durairajan M.B., Thangaraj P. Exploring the immunomodulatory effects of polysaccharides in the management of inflammatory bowel disease: a review. *Journal of Herbal Medicine*. 2024;48:100932. <https://doi.org/10.1016/j.hermed.2024.100932>
14. Shakhmatov E.G., Mihajlova E.A., Makarova E.N. Structural-chemical characteristics and biological activity of polysaccharides from *Heracleum sosnowskyi* Manden. *Chemistry of plant raw material*. 2015;(4):15–22. (In Russ.) <https://doi.org/10.14258/jcprm.201504878>
15. Golovchenko V.V., Patova O.A., Ovodova R.G., Vityazev F.V. Method for producing a sum of pectic polysaccharides from dry plant material. Patent RUS № RU2636764C2. Available at: <https://patents.google.com/patent/RU2636764C2/ru> Accessed: 19.04.2026. (In Russ.)
16. Nesterova N.V., Zhilkov Yu.A., Ermakova V.Yu. Assessment of the quantitative content of essential oil in different parts of the plant *Heracleum sosnowski*. *Pharmaceutical Business and Drug Technology*. 2020;(3):52–57. (In Russ.) <https://doi.org/10.33920/med-13-2003-04>
17. Lisovenko N.Yu., Balandina S.Yu., Kas'yanov Z.V., Mashchenko P.S., Fomin D.S. Method for obtaining essential oil from Sosnowsky's hogweed fruits with antifungal activity. Patent RUS № 2835487C1. Available at: <https://patents.google.com/patent/RU2835487C1/ru> Accessed: 19.04.2026. (In Russ.)
18. Kushakova A.S., Tkachenko K.G., Zenkevich I.G. Determination of the component composition of essential oils of hogweeds *Heracleum* using chromatographic distribution method. *Chemistry of plant raw material*. 2010;(4):111–114. (In Russ.)
19. Thuy H.L.T., Bao C.H., Phuong T.V.T., Lap D.B., Hai N.T.V., Minh H.D., Tien T.N. Deproteinization in purification of exopolysaccharide from *Ophiocordyceps sinensis* olive oil – stimulated culture. *International Journal of Agricultural Technology*. 2018;14(7):2151–2162.
20. Bubenchikova V.N., Stepnova I.V., Shkabunova M.V. Development of a procedure for quantification of polysaccharides in Hawkweed oxtongue (*Picris hieracioides*) herb. *Pharmacy*. 2018;67(5):19–23. (In Russ.) <https://doi.org/10.29296/25419218-2018-05-04>
21. Oberlerchner J.T., Böhmendorfer S., Rosenau T., Potthast A. A matrix-resistant HPTLC method to quantify monosaccharides in wood-based lignocellulose biorefinery streams. *Holzforschung*. 2018;72(8):645–652. <https://doi.org/10.1515/hf-2017-0170>
22. Tyukavkina N.A., Beloborodov V.L., Zurabyan S.E., Selivanova I.A., Luzin A.P., Artemyeva N.N. Organic chemistry. Moscow: GEOTAR-Media; 2015. 640 p. (In Russ.)
23. Kuptsov A.Kh., Zhizhin G.N. FT-Raman and FTIR spectra of polymers. Moscow: Tekhnosfera; 2013. 696 p. (In Russ.)
24. Kazitsyna L.A., Kupletskaia N.B. Application of UV, IR, and NMR spectroscopy in organic chemistry. Moscow: Vysshaya shkola; 1971. 829 p. (In Russ.)
25. Hong T., Yin J.-Y., Nie S.-P., Xie M.-Y. Applications of infrared spectroscopy in polysaccharide structural analysis: Progress, challenge and perspective. *Food Chemistry: X*. 2021;12:100168. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2021.100168>
26. Mohanta B., Sen D.J., Mahanti B., Nayak A.K. Antioxidant potential of herbal polysaccharides: An overview on recent researches. *Sensors International*. 2022;3:100158. <https://doi.org/10.1016/j.sintl.2022.100158>
27. Tkachenko K.G. Essential oils of fruits of *Heracleum ponticum* (Lipsky) Schischk. and *H. sosnowskyi* Manden. *Nauchnye Vedomosti BelGU*. 2010;3(74):23–27. (In Russ.)
28. Mishyna M., Laman N., Prokhorov V., Maninang J.S., Fujii Y. Identification of Octanal as Plant Growth Inhibitory Volatile Compound Released from *Heracleum sosnowskyi* Fruit. *Natural Product Communications*. 2015;10(5):771–774. <https://doi.org/10.1177/1934578x1501000518>