



Фуранокумарины борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.): вклад в антимикробное действие

Т. В. Бомбела¹ , К. Е. Якушина¹ , В. В. Новикова¹ , О. А. Кроткова¹ ,
А. К. Уэйли² , А. О. Уэйли² , М. Н. Повыдыш² , В. Г. Лужанин¹

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермская государственная фармацевтическая академия» Министерства здравоохранения Российской Федерации (ФГБОУ ВО ПГА Минздрава России). 614990, Россия, Пермский край, г. Пермь, ул. Полевая, д. 2

² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации (ФГБОУ ВО СПбХФУ Минздрава России). 197022, Россия, г. Санкт-Петербург, вн. тер. г. муниципальный округ Аптекарский остров, ул. Профессора Попова, д. 14, лит. А

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

Резюме

Введение. Борщевик Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) – опасный инвазивный вид, содержащий фототоксичные фуранокумарины (ФК). Несмотря на известную цитотоксичность, их антимикробный потенциал изучен недостаточно, а вклад ФК в общий эффект растительных экстрактов с учетом технологических параметров не установлен.

Цель. Комплексная оценка вклада фуранокумаринов в антимикробное действие экстракционных продуктов из травы борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) в зависимости от природы экстрагента, температуры и степени очистки.

Материалы и методы. Из сырья, собранного в Пермском крае, получены 10 экстракционных продуктов, сгруппированных по принципу «от нативного сырья до индивидуальных соединений»: сок, гексановые (с нагревом и без) и петролейный экстракты, спиртовые экстракты из обезжиренного сырья, сумма ФК и три обогащенные фракции (ксантотоксин + псорален, ангелицин + бергаптен, ангелицин + псорален + бергаптен). Состав анализировали методами ТСХ и ВЭЖХ. Антимикробную активность определяли в отношении *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* и *Candida albicans* микрометодом серийных разведений.

Результаты и обсуждение. ВЭЖХ-анализ выявил значительные различия в ФК-профиле. Сок содержал минимум ФК (~6 %) и был неактивен (МПК > 5000 мкг/мл). Спиртовые экстракты из обезжиренного сырья (содержание ФК – 34–60 %) показали низкую активность (МПК – 2500–5000 мкг/мл). Липофильные экстракты (гексан, петролейный эфир) характеризовались высоким содержанием ФК (80–98 %) и умеренной активностью (МПК – 625–2500 мкг/мл); нагревание при экстракции гексаном увеличивало долю ангелицина и активность в отношении *Escherichia coli*. Сумма ФК (96 % ФК, преобладает ангелицин) проявляла высокую активность (МПК – 625–1250 мкг/мл). Наибольшую эффективность продемонстрировали обогащенные фракции (МПК – 62,5–250 мкг/мл), причем трехкомпонентная смесь (ангелицин + псорален + бергаптен) превосходила бинарные, что указывает на синергизм.

Заключение. Фуранокумарины являются основными носителями антимикробной активности экстрактов борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.). Полярные компоненты (пигменты) вносят незначительный вклад. Эффективность экстракции зависит от метода: нагрев с гексаном и использование петролейного эфира (экономически целесообразная альтернатива) обеспечивают максимальное извлечение активных ФК. Очищенная сумма ФК и обогащенные фракции, особенно трехкомпонентная, представляют собой перспективные объекты для дальнейшей разработки антимикробных препаратов.

Ключевые слова: *Heracleum sosnowskyi* Manden., фуранокумарины, антимикробная активность, ангелицин, ксантотоксин, бергаптен, экстракция, ВЭЖХ

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

© Бомбела Т. В., Якушина К. Е., Новикова В. В., Кроткова О. А., Уэйли А. К., Уэйли А. О., Повыдыш М. Н., Лужанин В. Г., 2026

© Издатель ООО «Центр Фармацевтической Аналитики», 2026

© Bombela T. V., Yakushina K. E., Novikova V. V., Krotkova O. A., Whaley A. K., Whaley A. O., Povydysh M. N., Luzhanin V. G., 2026

© Publisher LLC "Center of Pharmaceutical Analytics", 2026

Вклад авторов. Т. В. Бомбела, К. Е. Якушина, В. В. Новикова, О. А. Кроткова, А. К. Уэйли, А. О. Уэйли, М. Н. Повыдыш 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., Якушина К. Е., Новикова В. В., Кроткова О. А., Уэйли А. К., Уэйли А. О., Повыдыш М. Н., Лужанин В. Г. Фуранокумарины борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.): вклад в антимикробное действие. *Разработка и регистрация лекарственных средств*. 2026;15(4). <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2026-15-4-2372>

Поступила в редакцию: 13.05.2026

Поступила после рецензирования: 18.06.2026

Принята к публикации: 02.10.2026

Furanocoumarins of *Heracleum sosnowskyi* Manden.: contribution to antimicrobial activity

Tatyana V. Bombela¹ , Karoline E. Yakushina¹ , Valentina V. Novikova¹ , Olga A. Krotkova¹ , Andrei K. Whaley² , Anastasiia O. Whaley² , Maria N. Povydysh² , Vladimir G. Luzhanin¹ 

¹ 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

² Saint Petersburg State Chemical and Pharmaceutical University (SPCPU). 14A, Professora Popova str., Aptekarsky Ostrov Municipal Okrug, Saint Petersburg, 197022, Russia

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

Abstract

Introduction. *Heracleum sosnowskyi* Manden. is a dangerous invasive species containing phototoxic furanocoumarins (FCs). Despite their known cytotoxicity, the antimicrobial potential of FCs has been insufficiently studied, and the contribution of FCs to the overall effect of plant extracts, taking into account technological parameters, has not been established.

Aim. A comprehensive assessment of the contribution of furanocoumarins to the antimicrobial activity of extraction products from *Heracleum sosnowskyi* Manden. herb, depending on the nature of the extractant, temperature, and degree of purification.

Materials and methods. Ten extraction products were obtained from raw materials collected in Perm Krai, grouped according to the principle "from native raw materials to individual compounds": juice, hexane extracts (with and without heating), petroleum ether extract, alcohol extracts from defatted raw materials, a total FC fraction, and three enriched fractions (xanthotoxin + psoralen, angelicin + bergapten, angelicin + psoralen + bergapten). The composition was analyzed by TLC and HPLC. Antimicrobial activity was determined against *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, and *Candida albicans* using the microdilution method.

Results and discussion. HPLC analysis revealed significant differences in the FC profiles. The juice contained a minimum of FCs (~6 %) and was inactive (MIC > 5000 µg/mL). Alcohol extracts from defatted raw materials (FC content 34–60 %) showed low activity (MIC 2500–5000 µg/mL). Lipophilic extracts (hexane, petroleum ether) were characterized by high FC content (80–98 %) and moderate activity (MIC 625–2500 µg/mL); heating during hexane extraction increased the proportion of angelicin and activity against *Escherichia coli*. The total FC fraction (96 % FC, predominance of angelicin) exhibited high activity (MIC 625–1250 µg/mL). The enriched fractions demonstrated the highest efficacy (MIC 62.5–250 µg/mL), with the three-component mixture (angelicin + psoralen + bergapten) outperforming binary mixtures, indicating synergism.

Conclusion. Furanocoumarins are the main carriers of antimicrobial activity in *Heracleum sosnowskyi* Manden. extracts. Polar components (pigments) make a minor contribution. Extraction efficiency depends on the method: heating with hexane and the use of petroleum ether (a cost-effective alternative) ensure maximum recovery of active FCs. The purified total FC fraction and enriched fractions, especially the three-component one, represent promising candidates for further development of antimicrobial drugs.

Keywords: *Heracleum sosnowskyi* Manden., furanocoumarins, antimicrobial activity, angelicin, xanthotoxin, bergapten, extraction, HPLC

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, Karoline E. Yakushina, Valentina V. Novikova, Olga A. Krotkova, Andrei K. Whaley, Anastasiia O. Whaley, Maria N. Povydysh 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" (ANO "Perm REC").

Received: 13.05.2026

Revised: 18.06.2026

Accepted: 02.10.2026

ВВЕДЕНИЕ

Борщевик Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) является одним из наиболее известных и опасных инвазивных видов на территории России [1, 2]. Его агрессивное распространение наносит серьезный урон естественным экосистемам и сельскохозяйственным угодьям, при этом главную угрозу для человека представляет способность растения вызывать тяжелые фитофотодерматиты, вплоть до глубоких ожогов [3, 4]. Токсичность борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) обусловлена содержащимися в нем фуранокумарины (ФК) – вторичными метаболитами, обладающими свойствами фотодинамических ядов. В борщевике Сосновского идентифицирован широкий спектр фуранокумаринов, включая ангелицин, бергаптен, изопимпинеллин, ксантотоксин, умбеллиферон и другие [5–8]. Механизм их действия заключается в повреждении клеточных мембран и ДНК под воздействием ультрафиолетового излучения [9, 10, 11]. Доказана цитотоксичность фуранокумаринов в отношении клеток млекопитающих и растений-конкурентов [12, 13].

Учитывая вышесказанное, закономерно предположить, что эти соединения могут также проявлять биологическую активность в отношении микроорганизмов, поскольку в растениях они синтезируются именно для защиты от патогенов – грибов, бактерий и насекомых [14]. Несмотря на наличие в литературе сведений о некоторых свойствах фуранокумаринов, их действие именно в качестве антимикробных агентов на сегодняшний день изучено недостаточно [5, 6, 12–14]. Имеющиеся данные указывают на перспективность этого направления: показана антибактериальная активность фуранокумаринов в отношении *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, а также против дерматофитов *Trichophyton rubrum* и *Trichophyton mentagrophytes* [15–18].

Однако до сих пор не сформировано понимание вклада фуранокумаринов в общий антимикробный эффект сложных растительных экстрактов. Отсутствуют данные по влиянию технологических параметров, а именно вида экстрагента, температуры экстракции, степени очистки, на выход активных соединений и итоговую биологическую активность.

В связи с этим **целью настоящей работы** являлась комплексная оценка вклада фуранокумаринов в антимикробное действие различных экстракционных продуктов из травы борщевика Сосновского. Задача исследования – определить, являются ли фуранокумарины основными носителями антимикробной активности в сложной многокомпонентной матрице растительного сырья, и установить, как условия экстракции, в частности природа экстрагента, температура, степень очистки, модифицируют фуранокумариновый профиль и, соответственно, антимикробную активность исследуемых продуктов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Растительный материал. Образцы борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) собирали в соответствии с протоколами безопасности, с применением необходимых средств индивидуальной защиты. Часть собранного сырья подвергалась воздушно-теневой сушке, другая часть использовалась в свежем виде.

Для получения экстракционных продуктов траву (прикорневые розетки листьев, стебли) заготовили в местах естественного произрастания летом в период цветения в Пермском крае (2024–2025 гг.).

Экстракционные продукты, полученные для исследования, сгруппированы нами по принципу «от растительного сырья к индивидуальным соединениям», при этом в рамках данного исследования конечным этапом являются обогащенные фуранокумарины фракции.

Группа А: экстракты, полученные из нативного сырья. Отличительной чертой данной группы является содержание в них нативного комплекса. Сок содержит все водорастворимые компоненты, гексановое и петролейное извлечения содержат липофильные вещества, фуранокумарины, жиры, воски и др.

1. Сок растения.

Из свежего сырья в течение 1 ч после сбора отжимали сок ручным способом под вытяжной вентиляцией. Все манипуляции с растением производили в средствах индивидуальной защиты, полностью закрывающих кожу, в респираторе и защитных очках.

2. Гексановый экстракт (без нагревания).

3. Гексановый экстракт (нагревание).

4. Петролейный экстракт (без нагревания).

Экстракцию продуктов, подвергнутых термическому воздействию, осуществляли в две стадии, тогда как для продуктов, полученных без нагревания, применяли только одну стадию. Для получения экстракционных продуктов использовали свежее сырье и экстрагент (*n*-гексан, петролейный эфир) при соотношениях 1:4. На первой стадии сырье настаивали с экстрагентом при комнатной температуре в течение 24 ч при периодическом перемешивании. На второй стадии экстракция из сырья продолжена при нагревании с обратным холодильником на водяной бане при 80 °С на протяжении шести часов. Экстрагент удаляли выпариванием на ротационном испарителе.

Группа В: очищенные экстракты, полученные из обезжиренного сырья. Отличительной чертой данной группы является отсутствие липофильных веществ и содержание полярных соединений.

1. Спиртовой экстракт (без нагревания).

2. Спиртовой экстракт (нагревание).

Экстракцию продуктов, подвергнутых термическому воздействию, осуществляли в две стадии, тогда как для продуктов, полученных без нагревания, применяли только одну стадию. Для получения спиртовых экстрактов использовали шрот сырья после обработки гексаном. На первой стадии сырье настаивали с этиловым спиртом 95%-м при соотношениях 1:4 при комнатной температуре в течение 24 ч при периодическом перемешивании. На второй стадии экстракция из сырья продолжена при нагревании с обратным холодильником на водяной бане при 80 °С на протяжении шести часов. Экстрагент удаляли выпариванием на ротационном испарителе.

Группа С: целевая фракция. Отличительной чертой данной фракции является ее максимальное обогащение фуранокумарины и минимальное содержание балластных веществ.

1. Сумма фуранокумаринов.

Для получения фуранокумариновой фракции использовали высушенное сырье, в качестве экстрагента – *n*-гексан. Экстракцию проводили в аппарате Сокслета в течение 48 ч. Полученное извлечение концентрировали до 1/4 объема под вакуумом. К концентрированному извлечению добавляли раствор гидроксида натрия и кипятили с обратным холодильником на водяной бане в течение шести часов. Смесь охлаждали, делили на фазы с помощью делительной воронки. Верхний, *n*-гексановый, слой отбрасывали. Водно-щелочной слой переносили в колбу и добавляли 20%-й раствор серной кислоты до кислой реакции среды (рН < 2,0). К подкисленному раствору добавляли *n*-гексан и тщательно перемешивали. С помощью делительной воронки делили на фазы. Водный слой отбрасывали, а *n*-гексановый слой, содержащий сумму фуранокумаринов, высушивали досуха под вакуумом. Полученный сухой остаток перерастворяли в 95%-м этиловом спирте.

Группа D: обогащенные фракции. Отличительной чертой данной группы является наличие в продукте двух-трех фуранокумаринов с преобладанием одного из них, что достигается за счет дополнительного хроматографического разделения. Данные фракции представляют собой максимальную степень очистки целевых соединений, достигнутую в настоящем исследовании.

1. Фракция, содержащая ксантотоксин и псорален с преобладанием ксантотоксина

2. Фракция, содержащая ангелицин и бергаптен с преобладанием ангелицина

3. Фракция, содержащая ангелицин, псорален и бергаптен с преобладанием ангелицина

Исследованные фракции выделены и наработаны в достаточном для исследований количестве из борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) методом препаративной ВЭЖХ [8].

Биологические объекты. Скрининг противомикробной активности осуществляли в отношении референтных (типовых) штаммов *Staphylococcus aureus* ATCC 6538-P, *Escherichia coli* ATCC 25922, *Candida albicans* NCTC 885-653.

Противогрибковую и антибактериальную активность соединений определяли микрометодом двукратных серийных разведений в жидкой питательной среде в 96-луночных планшетах [19] в двух повторях. Для определения антибактериальной активности использовали питательный бульон (ФБУН ГНЦ ПМБ, г. Оболенск), для определения противогрибковой активности – бульон Сабуро (ФБУН ГНЦ ПМБ, г. Оболенск). Для приготовления взвеси дрожжевых культур применяли двухсуточные культуры, выращенные на агаре Сабуро. Для определения антибактериальной активности использовали суточные культуры, выращенные на питательном агаре. Концентрация микробных клеток в опыте составила $2-5 \cdot 10^5$ КОЕ/мл. Концентрация исследуемых соединений в первой лунке ряда разведений в питательной среде составила 5000,0 мкг/мл. В качестве положительного контроля использовали питательную среду с внесенной исследуемой культурой. В качестве отрицательного контроля использовали интактную питательную среду. Посевы инкубировали в термостате при температуре 35 ± 2 °С. Оценку роста микроорганизмов проводили визуально через 20–24 ч инкубирования. В качестве значения МИК (минимальной ингибирующей концентрации) принимали концентрацию соединения в последней прозрачной лунке серии разведения.

Хроматографический анализ. Обнаружение и идентификацию фуранокумаринов в растительном материале осуществляли с использованием хроматографических методов (ТСХ, ВЭЖХ) в сравнении с рабочими стандартными образцами (PCO): умбеллиферона, бергаптена, ксантотоксина, ангелицина, изопимпинеллина, псоралена.

Качественный состав экстракционных продуктов анализировали методом тонкослойной хроматографии (ТСХ) на хроматографических пластинках TLC

Silica gel F₂₅₄ (Германия), 10 × 10 мм, в системе растворителей бензол – этилацетат – гексан (1:1:1). Идентификацию фуранокумаринов проводили по совпадению значений R_f с аттестованными стандартами и характерному свечению в УФ-свете. Соединения детектировали при длине волны 254 нм и 365 нм до и после обработки 10%-м раствором щелочи. Интенсивность пятен оценивали визуально в сравнении со стандартами.

Относительное содержание в пробе отдельных фуранокумаринов определяли методом нормализации площадей пиков на хроматограммах, полученных в идентичных условиях. Условия хроматографирования: высокоэффективный жидкостный хроматограф LicArt 62 с диодно-матричным детектором DAD-62, оснащенный колонкой Spursil C18-EP, размером 150 × 4,6 мм, с величиной частиц 5 мкм. Подвижная фаза: ацетонитрил – вода в изократическом режиме, время анализа – 10 мин. Детектирование проводилось при длине волны 220 нм, температура хроматографирования – 40 °С, скорость потока элюента составляла 1 мл/мин, объем вводимой пробы – 20 мкл. Сравнимые экстракционные продукты вводили в

хроматограф в концентрации 10 мг/мл, тогда как суммарно фуранокумаринов и петролейный экстракт – в концентрации 1 мг/мл. При анализе данных учитывались только пики фуранокумаринов, превышающие порог чувствительности (отношение сигнал/шум > 10) и обладающие разрешением $R_s > 1,5$. Идентификация выполнена по совпадению абсолютных времен удерживания.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты ТСХ- и ВЭЖХ-анализа

Хроматографический анализ выявил существенные различия в составе исследуемых экстракционных продуктов. Результаты представлены в таблицах 1 и 2. Методом ТСХ в сравнении со стандартными веществами по значению R_f и методом добавки в экстракционных продуктах идентифицировано шесть компонентов – умбеллиферон, псорален, ксантотоксин, бергаптен, ангелицин, изопимпинеллин, а методом ВЭЖХ установлено их относительное содержание в исследуемой пробе.

Таблица 1. Хроматографическая характеристика компонентного состава экстракционных продуктов борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.)

Table 1. Chromatographic characterization of the composition of extraction products of *Heracleum sosnowskyi* Manden.

№ вещества Substance number	Значение R_f R_f Value	Окраска Color		Экстракционные продукты Extraction products									
		УФ-свет UV light	10%-й NaOH 10 % NaOH	A1	A2	A3	A4	B1	B2	C1	D1	D2	D3
Фенольные соединения Phenolic compounds													
1	0,22	синяя blue	ярко-голубая bright light blue	+	-	+	-	+	+	-	-	-	-
2	0,37	коричневая brown	коричневая brown	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
3	0,46	синяя blue	ярко-синяя bright blue	-	+	+	+	+++	+++	+++	-	-	-
4	0,59	синяя blue	голубая blue	-	+	+	+	+	+	+++	+	-	+
5	0,61	коричневая brown	коричневая brown	-	++	++	+++	+	+	++	+++	-	-
6	0,63	голубая light blue	голубая light blue	+	++	++	++	+	+	+++	-	+	+
7	0,67	фиолетовая purple	голубая light blue	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-
8	0,71	голубая light blue	бирюзовая turquoise	+	++	++	+++	+	+	+++	-	+++	+++
9	0,80	фиолетовая purple	синяя blue	-	-	-	+++	-	-	++	-	-	-
10	0,81	фиолетовая purple	фиолетовая purple	-	+++	++	-	-	-	++	-	-	-
11	0,89	голубая light blue	голубая light blue	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-

№ вещества Substance number	Значение R_f R_f Value	Окраска Color		Экстракционные продукты Extraction products									
		УФ-свет UV light	10%-й NaOH 10 % NaOH	A1	A2	A3	A4	B1	B2	C1	D1	D2	D3
Пигменты Pigments													
1	0,02	красная red	красная red	–	+	+	+	+++	+++	+	–	–	–
2	0,68	красная red	бледно-красная pale red	–	–	–	–	++	+	–	–	–	–
3	0,76	красная red	красная red	–	–	–	–	+++	+++	–	–	–	–
4	0,84	красная red	бледно-красная pale red	–	++	++	+	++	++	–	–	–	–
5	0,89	красная red	красная red	+	++	++	+	+++	+++	+	–	–	–
6	0,93	красная red	бледно-красная pale red	+	–	–	–	+	–	–	–	–	–

Примечание. «–» – отсутствие вещества; интенсивность окраски зоны адсорбции: «+++» – выраженная; «++» – умеренная; «+» – слабая. Значение R_f : PCO: умбеллиферон – 0,47; псорален – 0,59; ксантотоксин – 0,62; бергаптен – 0,64; изопимпинеллин – 0,67; ангелицин – 0,72.

Note. "–" – indicates the absence of the substance; the intensity of the coloration of the adsorption zone: "+++ – indicates a strong coloration; "++" – indicates a moderate coloration; "+" – indicates a weak coloration. R_f value of working standard samples: umbelliferone – 0.47, psoralen – 0.59, xanthotoxin – 0.62, bergapten – 0.64, isopimpinellin – 0.67, angelicin – 0.72.

Таблица предоставлена авторами
The table was provided by the authors

Таблица 2. Относительное содержание фуранокумаринов в экстракционных продуктах борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.)

Table 2. Relative content of furanocoumarins in the extraction products of *Heracleum sosnowskyi* Manden.

Соединения Compounds	Время удерживания, мин Retention time, min	УФ-спектры, $\lambda_{\max}$, нм UV spectra, $\lambda_{\max}$, nm	Относительное содержание веществ в экстракционных продуктах, % Relative content of substances in the extraction products, %									
			A1	A2	A3	A4	B1	B2	C1	D1	D2	D3
Псорален Psoralen	6,3	245, 293	–	0,4	0,6	0,4	0,8	0,7	0,5	3,4	–	11,3
Ксантотоксин Xanthotoxin	6,5	248, 301	3,3	51,3	25,3	13,2	25,3	11,5	34,2	90,0	–	–
Ангелицин Angelicin	6,7	247, 299	3,1	7,2	55,6	59,7	10,2	15,9	48,5	–	91,4	70,0
Бергаптен Bergapten	7,7	248, 268, 312	–	33,4	15,5	5,5	22,7	6,2	9,6	–	7,2	9,8
Изопимпинеллин Isopimpinellin	8,9	251, 306	–	4,7	1,6	1,1	0,8	–	3,1	–	–	–
Сумма Total			6,4	97,0	98,6	79,9	59,8	34,3	95,9	93,4	98,6	91,1

Таблица предоставлена авторами
The table was provided by the authors

В результате анализа тонкослойной хроматограммы свежего сока выявлено пять зон адсорбции слабой интенсивности, идентифицированы два фуранокумарина – ксантотоксин и ангелицин. Методом высокоэффективной жидкостной хроматографии подтверждено присутствие данных соединений, их относительное суммарное содержание в анализируемой пробе составило 6,4 %.

Таким образом, сок представляет собой нативный продукт, содержащий комплекс водорастворимых и эмульгированных липофильных соединений (фуранокумаринов) в разбавленном виде.

Липофильные экстракты, полученные с использованием *n*-гексана и петролейного эфира, характеризуются разнообразным и близким составом биологически активных веществ. По окраске зон адсорбции восемь компонентов отнесены к соединениям фенольной природы, а три – к пигментам.

В ходе анализа в липофильных экстрактах идентифицированы умбеллиферон и пять фуранокумаринов: псорален, ксантотоксин, бергаптен, ангелицин и изопимпинеллин. Гексановые экстракты характеризуются сходством компонентного состава фенольных компонентов и интенсивности их накопления.

Стадия нагревания в процессе экстракции гексаном приводит к снижению интенсивности свечения вещества с R_f 0,81 и появлению двух дополнительных зон адсорбции (R_f 0,22 и 0,37). Петролейный экстракт характеризуется высокой интенсивностью окраски веществ, идентифицированных как ксантотоксин и ангелицин. Также в петролейном экстракте обнаружено доминирующее пятно с R_f 0,8, не соответствующее ни одному из использованных стандартных фуранокумаринов; данное вещество присутствовало и в очищенной сумме фуранокумаринов.

Сравнительный анализ относительного суммарного содержания фуранокумаринов в липофильных экстрактах показал, что их сумма в гексановых экстрактах составляет ~97–98 %. В экстракте, полученном без нагревания, относительное содержание ксантотоксина наиболее высокое и составляет 51 %, бергаптена – 33 %, тогда как ангелицина – лишь 7 %. Применение температурной стадии резко изменяет соотношение: относительное содержание ангелицина возрастает до 55 %, тогда как доля ксантотоксина и бергаптена снижается в два раза, до 25 и 15 % соответственно. Экстракционный продукт, полученный петролейным эфиром, по своему профилю ближе к гексановому экстракту с нагреванием: в нем также преобладает ангелицин (~60 %), однако суммарное содержание идентифицированных фуранокумаринов составляет лишь около 80 %, что, вероятно, обусловлено присутствием других неидентифицированных компонентов, в том числе и с R_f 0,8.

Таким образом, благодаря близкой полярности оба растворителя (петролейный эфир, *n*-гексан) извлекают сходный набор липофильных соединений,

прежде всего фуранокумаринов. Использование петролейного эфира, аналогичного по физико-химическим свойствам, подтверждает результаты, полученные с *n*-гексаном, и служит их кросс-валидацией.

Спиртовые экстракты, полученные из предварительно обезжиренного сырья, демонстрируют иную картину. Для них характерно слабое разнообразие фенольных соединений (шесть компонентов) и низкая интенсивность окраски соответствующих зон адсорбции. Среди кумаринов в спиртовых экстрактах идентифицированы умбеллиферон, ксантотоксин, псорален, бергаптен и ангелицин. Умбеллиферон, представляющий собой наиболее полярный среди идентифицированных кумаринов (благодаря наличию свободной гидроксильной группы), является по интенсивности окраски преобладающим компонентом в спиртовых извлечениях. Спиртовые экстракты обнаруживают наиболее разнообразный компонентный состав хлорофиллов и родственных им пигментов: в них идентифицируется от пяти до шести веществ, пятна характеризуются высокой интенсивностью окраски. Стадия нагревания в процессе спиртовой экстракции не оказывает существенного влияния на выход пигментов и компонентов фенольной природы.

Данные ВЭЖХ подтверждают выводы, сделанные на основе тонкослойной хроматографии. Относительное содержание фуранокумаринов в спиртовых экстрактах, полученных из обезжиренного сырья, без нагревания составляет ~60 % и снижается до 34 % при использовании температурной стадии. Установлены значительные изменения в распределении индивидуальных компонентов, их относительное содержание в 1,5–2 раза ниже, чем в липофильных экстрактах. При нагревании наблюдается снижение относительного содержания большинства фуранокумаринов: ксантотоксина – до 11 %, бергаптена – до 6 % и исчезновение изопимпинеллина. Отмечено, что относительное содержание ангелицина увеличивается до ~16 %, что соотносится с результатами по гексановым экстрактам.

Существенное снижение общего содержания фуранокумаринов в спиртовых экстрактах по сравнению с липофильными объясняется двумя факторами: во-первых, этанол, несмотря на свою универсальность, менее селективен к неполярным фуранокумаринам, а во-вторых, стадия предварительного обезжиривания удаляет значительную часть этих соединений, которые могли бы перейти в спиртовую фазу. Таким образом, спиртовая экстракция обезжиренного сырья обеспечивает избирательное концентрирование пигментов при одновременном обеднении фуранокумаринового комплекса, нагревание снижает общий выход этих соединений и перераспределяет соотношение индивидуальных компонентов в пользу ангелицина. Полученные результаты подтверждают, что полярность экстрагента и предварительное удаление липофильной фракции крити-

чески влияют на эффективность извлечения фуранокумаринов.

Анализ суммы фуранокумаринов показал, что отличительной чертой данной фракции является ее максимальное обогащение целевыми соединениями при минимальном содержании балластных веществ. По окраске зон адсорбции девять компонентов отнесены к соединениям фенольной природы, а два – к пигментам. Идентифицированы умбеллиферон и пять фуранокумаринов: псорален, ксантотоксин, бергаптен, ангелицин и изопимпинеллин. Кроме того, присутствуют три неидентифицированных вещества с R_f 0,8; 0,81 и 0,89, обнаруженные в петролейно-эфирном и гексановых экстрактах. Необходимо отметить, что данные вещества сохраняются после процедур очистки, что указывает на их прочную ассоциацию с фуранокумариновым комплексом и, возможно, на принадлежность к данному классу соединений. Компонентный состав пигментов в сумме фуранокумаринов ожидаемо оказался минимальным как по количеству зон, так и по интенсивности их окраски, что подтверждает успешное отделение пигментной фракции в процессе очистки и согласуется с ранее сделанным выводом о том, что пигменты концентрируются преимущественно в спиртовых извлечениях.

Относительное суммарное содержание фуранокумаринов в целевой фракции составило ~96 %, при этом по компонентному составу преобладал ангелицин (~48 %). Это распределение существенно отличается от гексанового экстракта, где в отсутствие нагревания доминировал ксантотоксин (~51 %), а доля ангелицина была незначительной, и приближается к профилю липофильных экстрактов, полученных с применением температурной стадии.

Анализ обогащенных фракций методом ТСХ и ВЭЖХ подтвердил эффективность хроматографического разделения и высокую степень очистки целевых соединений. Во всех фракциях отсутствуют зоны пигментов. Фракция D1 представлена преимущественно ксантотоксином, на хроматограмме также идентифицирован псорален в виде слабой зоны, относительное суммарное содержание идентифицированных фуранокумаринов составило ~93 %. Во фракции D2 доминирует ангелицин, присутствует бергаптен, относительная сумма двух компонентов составила ~98 %. Фракция D3 характеризуется наличием трех компонентов: ангелицина, псоралена и бергаптена – с соотношением интенсивностей, соответствующим данным количественного анализа, относительное суммарное содержание фуранокумаринов составило ~90 %. Неидентифицированные вещества, присутствующие в сумме фуранокумаринов (R_f 0,80; 0,81; 0,89), в обогащенных фракциях отсутствуют, что, вероятно, связано с их отделением в процессе хроматографической очистки. Таким образом, фракции, обогащенные ФК, представляют собой смеси веществ с высокой степенью чистоты, пригодные для дальнейших фармакологических исследований.

Антимикробная активность

Анализ антимикробной активности экстракционных продуктов выявил существенные различия в силе эффекта, который зависит от типа экстрагента, способа его получения и уровня очистки. Результаты представлены в таблице 3.

Нативный сок борщевика характеризуется минимальной антимикробной активностью, что согласуется с низким содержанием в нем действующих веществ, выявленным при хроматографическом анализе. Спиртовые экстракты, полученные из предварительно обезжиренного сырья, демонстрируют низкую активность: значения МПК находятся в интервале 2500–5000 мкг/мл.

У липофильных экстрактов, полученных с использованием гексана и петролейного эфира, отмечена высокая антимикробная активность. Установлено, что использование стадии нагревания при экстракции гексаном способствует повышению активности в отношении *Escherichia coli*.

Для суммы фуранокумаринов отмечается высокая активность: МПК составила 1250 мкг/мл, что превышает соответствующие показатели для экстракционных продуктов группы А и В.

Обогащенные фуранокумариновые фракции характеризуются наиболее высокой активностью среди всех изученных продуктов. Значения минимальных ингибирующих концентраций для них составили от 62 до 250 мкг/мл в зависимости от присутствующих компонентов и тест-штамма.

Вклад фуранокумаринов в антимикробную активность

В ходе сравнительного исследования антимикробной активности экстракционных продуктов борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) установлено, что минимальная подавляющая концентрация снижается по мере увеличения доли фуранокумаринов в исследуемых образцах: сок → спирт. экстр. (без нагрев.) → спирт. экстр. (нагрев.) → гекс. экстр. (без нагрев.) → петрол. экстр. (без нагрев.) → гекс. экстр. (нагрев.) → сумма ФК → фракции, обогащенные ФК. Результаты представлены в таблице 4.

Наименее активным оказался нативный продукт – сок, содержащий комплекс водорастворимых и эмульгированных липофильных соединений (фуранокумаринов) в разбавленном виде, что коррелирует с его низкой (МПК > 5000 мкг/мл) антимикробной активностью.

Спиртовые экстракты, полученные из обезжиренного сырья, также демонстрируют минимальную активность, что позволяет предположить, что антимикробные соединения имеют липофильную природу и эффективно удаляются на стадии предварительной экстракции неполярными растворителями.

Таблица 3. Антимикробная активность экстракционных продуктов из борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.)
Table 3. Antimicrobial activity of extraction products from *Heracleum sosnowskyi* Manden.

Экстракционные продукты Extraction products		Минимальная подавляющая концентрация, мкг/мл Minimum inhibitory concentration, µg/mL		
		<i>Escherichia coli</i> 25922 ATCC	<i>Staphylococcus aureus</i> 6538P ATCC	<i>Candida albicans</i> 885-653 NCTC
A1	Сок растения Plant juice	885-653 NCTC	5000/5000	5000/5000
A2	Гексановое извлечение (без нагревания) Hexane extraction (without heating)	5000/5000	625/625	1250/1250
A3	Гексановое извлечение (нагревание) Hexane extraction (heating)	2500/2500	625/625	1250/1250
A4	Петролейное извлечение Petroleum ether extraction	2500/2500	2500/2500	625/1250
B1	Спиртовой экстракт (без нагревания) Alcohol extract (without heating)	5000/5000	5000/5000	5000/5000
B2	Спиртовой экстракт (нагревание) Alcohol extract (heating)	5000/5000	2500/2500	>5000/>5000
C1	Сумма ФК Total FC fraction	1250/1250	1250/1250	625/625
D1	Ксантотоксин + Псорален Xanthotoxin + Psoralen	125/250	125/125	125/125
D2	Ангелицин + Бергаптен Angelicin + Bergapten	250/250	125/250	125/125
D3	Ангелицин + Псорален + Бергаптен Angelicin + Psoralen + Bergapten	125/125	62,5/125	125/125

Таблица предоставлена авторами
The table was provided by the authors

Таблица 4. Фуранокумариновый профиль и антимикробная эффективность экстракционных продуктов борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.)
Table 4. Furanocoumarin profile and antimicrobial activity of *Heracleum sosnowskyi* Manden. extraction products

Группа Group	Специфика ФК-профиля Specificity of the FC profile		Антимикробная активность (МПК, мкг/мл) Antimicrobial activity (MIC, µg/mL)	Заключение Conclusion
	ТСХ-анализ TLC analysis	ВЭЖХ-анализ* HPLC analysis*		
1	2	3	4	5
A1	Пять зон слабой интен- сивности Five zones of low inten- sity	Минимальное содержание суммы ФК (~ 6 %) Minimum content of total FC fraction (~ 6 %)	<i>Staphylococcus aureus</i> (5000) > <i>Escherichia coli</i> (5000) > <i>Candida albicans</i> (5000)	Недостаточно биологически активных веществ Insufficient biologically active substances
A2	Слабая интенсивность ФК-зон и доминирова- ние пигментов	Умеренное содержание сум- мы ФК (~ 60 %) Moderate content of total FC fraction (~ 60 %)	<i>Staphylococcus aureus</i> (2500) > <i>Escherichia coli</i> (5000) > <i>Candida albicans</i> (5000)	Активность низкая (МПК 2500– 5000 мкг/мл). Полярная матрица, возможно, подавляет действие ФК
A3	Weak intensity of FC zones and dominance of pigments	Низкое содержание суммы ФК (~34 %) Low content of total FC fraction (~34 %)	<i>Staphylococcus aureus</i> (5000) > <i>Escherichia coli</i> (5000) > <i>Candida albicans</i> (5000)	Low activity (MIC 2500– 5000 µg/mL). The polar matrix may suppress the effect of FC



Группа Group	Специфика ФК-профиля Specificity of the FC profile		Антимикробная активность (МПК, мкг/мл) Antimicrobial activity (MIC, µg/mL)	Заключение Conclusion
	ТСХ-анализ TLC analysis	ВЭЖХ-анализ* HPLC analysis*		
1	2	3	4	5
B1	Разнообразный набор ФК и умеренное содержание пигментов A diverse set of FCs and moderate pigment content	Высокое содержание бергаптена (~41 %) и ксантотоксина (~46 %) High bergapten (~41 %) and xanthotoxin (~46 %) content	<i>Staphylococcus aureus</i> (625) > <i>Candida albicans</i> (1250) > <i>Escherichia coli</i> (5000)	Комплекс ФК обеспечивает умеренную (МПК 625–2500 мкг/мл) активность, особенно против <i>Staphylococcus aureus</i> . Увеличение доли ангелицина, вероятно, усиливает действие против <i>Escherichia coli</i> FC complex provides moderate (MIC 625–2500 µg/mL) activity, especially against <i>Staphylococcus aureus</i> . An increase in the proportion of angelicin probably enhances the effect against <i>Escherichia coli</i>
B2		Резкий рост ангелицина (~47 %) Sharp increase in angelicin (~47 %)	<i>Staphylococcus aureus</i> (625) > <i>Candida albicans</i> (1250) > <i>Escherichia coli</i> (2500)	
B3	Максимальное разнообразие ФК и низкое содержание пигментов Maximum variety of FC and low pigment content	Максимальное содержание ангелицина (~53 %) Maximum content of angelicin (~53 %)	<i>Candida albicans</i> (625) > <i>Staphylococcus aureus</i> (2500) > <i>Escherichia coli</i> (2500)	Уникальный профиль ФК обеспечивает умеренную (МПК 625–2500 мкг/мл) активность, особенно против <i>Candida albicans</i> . Высокая доля ангелицина, вероятно, усиливает действие против <i>Escherichia coli</i> The unique FC profile provides moderate (MIC 625–2500 µg/mL) activity, especially against <i>Candida albicans</i> . The high content of angelicin likely enhances the activity against <i>Escherichia coli</i>
C1	Концентрированная смесь ФК и следы пигментов Concentrated FC mixture and traces of pigments	Высокое содержание суммы ФК (~96 %) High content of total FC fraction (~96 %)	<i>Candida albicans</i> (625) > <i>Escherichia coli</i> (1250) > <i>Staphylococcus aureus</i> (1250)	Сбалансированный профиль ФК обеспечивает высокую (МПК 625–1250 мкг/мл) активность и широкий спектр действия Balanced FC profile provides high (MIC 625–1250 µg/mL) activity and broad spectrum of action
D1	Ксантотоксин + Псорален Xanthotoxin + Psoralen	Ксантотоксин (90 %) Псорален (3 %) Xanthotoxin (90 %) Psoralen (3 %)	<i>Staphylococcus aureus</i> (125) > <i>Escherichia coli</i> (125) > <i>Candida albicans</i> (125)	Наиболее высокая (МПК 62,5–250 мкг/мл) активность против всех мишеней Highest (MIC 62.5–250 µg/mL) activity against all targets
D2	Ангелицин + Бергаптен Angelicin + Bergapten	Ангелицин (91,4 %) Бергаптен (7,2 %) Angelicin (91.4 %) Bergapten (7.2 %)	<i>Staphylococcus aureus</i> (250) > <i>Escherichia coli</i> (125) > <i>Candida albicans</i> (125)	
D3	Ангелицин + Псорален + Бергаптен Angelicin + Psoralen + Bergapten	Ангелицин (70 %) Псорален (11,3 %) Бергаптен (9,8 %) Angelicin (70 %) Psoralen (11.3 %) Bergapten (9.8 %)	<i>Staphylococcus aureus</i> (125) > <i>Escherichia coli</i> (62,5) > <i>Candida albicans</i> (125)	

Примечание. * – методом ВЭЖХ определяли относительное содержание ФК в экстракционных продуктах.

Note. * – the relative content of FCs in the extraction products was determined by HPLC.

Таблица предоставлена авторами

The table was provided by the authors

Липофильные экстракты, полученные с использованием гексана и петролейного эфира, проявляют более высокую активность, при этом уступают целевой фракции. Установлено, что активность варьирует в зависимости от условий экстракции. В гексановом экстракте, полученном без нагревания, доминируют ксантотоксин (~51 %) и бергаптен (~33 %) и определен высокий уровень активности. Однако стадия нагревания приводит к увеличению доли ангелицина (~55 %), что улучшает антимикробный эффект в отношении *Escherichia coli*. Это наблюдение, вероятно, связано с видоспецифичностью действия индивидуальных фуранокумаринов. Петролейный экстракт, близкий по составу к гексановому со стадией нагревания (с преобладанием ангелицина ~60 %), занимает промежуточное положение по активности, что подтверждает ранее сделанный вывод о сопоставимости этих экстрагентов.

Очищенная сумма проявляет высокую активность, при этом относительное содержание целевых соединений в ней достигает ~96 % (при доминировании ангелицина ~49 %, ксантотоксина ~34 % и бергаптена ~10 %). Это в 5–20 раз слабее, чем действие обогащенных фуранокумариновых фракций, которые демонстрируют наивысшую активность (МПК – 62–250 мкг/мл). Данное расхождение, вероятно, связано с присутствием балластных веществ в сумме ФК, снижающих общую эффективность.

Антимикробная активность обогащенных фракций определяется не только присутствием отдельных фуранокумаринов, но и их соотношением в составе смеси. Трехкомпонентная фракция D3, содержащая ангелицин, псорален и бергаптен, проявила наибольшую эффективность, что может свидетельствовать о синергическом действии компонентов. В то же время бинарные фракции D1 и D2, включающие различные пары фуранокумаринов, демонстрируют менее выраженный эффект. Различия в чувствительности между использованными тест-штаммами, наблюдаемые для всех трех фракций, подчеркивают специфичность действия каждого из полученных продуктов и важность дальнейшего изучения их антимикробного потенциала с учетом компонентного состава.

Таким образом, установленная последовательность экстракционных продуктов по мере возрастания антимикробной активности – от сока и спиртовых экстрактов через липофильные извлечения и сумму фуранокумаринов к обогащенным фуранокумариновым фракциям – демонстрирует прямую корреляцию между степенью обогащения экстракционного продукта фуранокумариновыми соединениями и выраженностью биологического эффекта. Полученные данные подтверждают корректность проведенного исследования и обосновывают перспективность изучения как индивидуальных фуранокумаринов, так и их композиций для создания антимикробных средств с заданными свойствами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сравнительный анализ экстракционных продуктов, полученных с использованием разных растворителей, температурных режимов экстракции и уровней очистки из травы борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.), позволил идентифицировать фуранокумарины как класс соединений, оказывающий антимикробный эффект.

Впервые продемонстрирован значительный вклад фуранокумаринов (в частности, ксантотоксина, ангелицина, бергаптена и псоралена), выделенных из борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.), в антимикробную активность данного растения.

Резкое падение активности в спиртовых экстрактах, полученных из сырья, предварительно обезжиренного гексаном, свидетельствует о том, что полярные компоненты борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) (пигменты и др.) не вносят существенного вклада в наблюдаемое антимикробное действие.

Установлено, что эффективность извлечения фуранокумаринов и, как следствие, антимикробная активность экстракта зависит от метода экстракции; наиболее полное извлечение достигается при использовании гексана с нагревом.

Петролейный эфир показал себя как эффективный и экономически целесообразный растворитель для экстракции антимикробно активных фуранокумаринов, по активности не уступающий или превосходящий гексановые экстракты, что важно для технологического упрощения и снижения стоимости процесса.

Высокой антимикробной активностью обладает очищенная сумма фуранокумаринов, а среди обогащенных фракций выделяется трехкомпонентная, содержащая ангелицин, псорален и бергаптен.

Полученные результаты указывают на целесообразность использования очищенных сумм фуранокумаринов борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) в качестве наиболее сбалансированного и технологичного объекта для дальнейшей разработки антимикробных препаратов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сенатор С. А., Виноградова Ю. К. Инвазионные растения России: результаты инвентаризации, особенности распространения и вопросы управления. *Успехи современной биологии*. 2023;143(4):393–402. <https://doi.org/10.31857/S0042132423040099>
2. Бударин С. Н., Ларикова Ю. С., Кондратьев М. Н. Инвазивный характер борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden) при распространении в агроэкосистемах Московской области. В сб.: 3-я Всероссийская научно-практическая конференция с Международным участием, посвященной 85-летию Естественного-географического факультета. 14 ноября 2014. Самара. С. 41–48. Доступно по: http://proborshevik.ru/wp-content/uploads/2017/09/Budarin_e_a_2014_P41-48.pdf Ссылка активна на 13.05.2026.

3. Симонова А. Ю., Белова М. В., Ильяшенко К. К., Пидченко Н. Е., Поцхверия М. М., Сачков А. В., Пономарев И. Н. Фотохимический дерматит вследствие контакта с соком борщевика Сосновского. *Журнал им. Н.В. Склифосовского «Неотложная медицинская помощь»*. 2020;9(4):653–658. <https://doi.org/10.23934/2223-9022-2020-9-4-653-658>
4. Тамразова О. Б., Селезнев С. П., Тамразова А. В. Фитодерматиты у детей, вызванные борщевиком Сосновского. *Педиатрия. Consilium Medicum*. 2019;2:53–57. <https://doi.org/10.26442/26586630.2019.2.190418>
5. Ашихмина Т. Я., Товстик Е. В., Адамович Т. А. Оценка химического состава *Heracleum sosnowskyi* Manden как альтернативного источника сырья для различных отраслей промышленности (обзор). *Химия растительного сырья*. 2024;4:32–45. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20240414599>
6. Крутов П. В., Ферубко Е. В., Даргаева Т. Д., Пупыкина К. А., Шакирова Р. Р. Фурукумарины как потенциальные источники новых лекарственных средств. *Традиционная медицина*. 2019;2(57):45–54.
7. Гурина Н. С., Лукашов Р. И., Котович А. В. Фармакологические свойства и компонентный состав борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden). *Медицинский журнал*. 2023;(1):14–22. <https://doi.org/10.51922/1818-426X.2023.1.14>
8. 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>
9. Bahadori M. B., Dinparast L., Zengin G. The Genus *Heracleum*: A comprehensive review on its phytochemistry, pharmacology, and ethnobotanical values as a useful herb. *Comprehensive Review in Food Science and Food Safety*. 2016;15(6):1018–1039. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12222>
10. Patočka J., Cupalová K. Giant Hogweed and photodermatitis. *Military Medical Science Letters*. 2017;86(3):135–138. <https://doi.org/10.31482/mmsl.2017.021>
11. Karimian-Teherani D., Kinaciyan T., Tanew A. Photoallergic contact dermatitis to *Heracleum giganteum*. *Photodermatology, Photoimmunology & Photomedicine*. 2008;24(2):99–101. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0781.2008.00346.x>
12. Шляпкина В. И., Куликов О. А., Бродовская Е. П., Аль-хадж Аюб А. М., Агеев В. П., Пятаев Н. А. Получение эмульсионных форм фуранокумаринов борщевика Сосновского и оценка их фототоксического действия *in vitro*. *Acta Biomedica Scientifica*. 2023;8(3):161–171. <https://doi.org/10.29413/ABS.2023-8.3.18>
13. Куликов О. А., Агеев В. П., Шляпкина В. И., Заборовский А. В., Тарарина Л. А., Юнина Д. В., Андреев Д. Н., Зайнутдинова К. Р., Пятаев Н. А. Разработка и оценка противоопухолевой эффективности липосомальной формы фуранокумаринов. *Химико-фармацевтический журнал*. 2022;56(7):40–44. <https://doi.org/10.30906/0023-1134-2022-56-7-40-44>
14. Штратникова В. Ю. Фуранокумарины зонтичных: история исследования, разнообразие, генетические основы синтеза, физиологическая роль в растении и применение в медицине. *Физиология растений*. 2023;70(7):715–735. <https://doi.org/10.31857/S0015330323600729>
15. Silva E. B. F., Barbosa J. F., Barreto H. M., Siqueira-Júnior J. P. Modulation of the UVB-induced lethality by furocoumarins in *Staphylococcus aureus*. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 2014;130:260–263. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2013.11.012>
16. Ivanenkov Ya. A., Yamidanov R. S., Osterman I. A., Sergiev P. V., Ayginin A. A., Aladinskiy V. A., Aladinskaya A. V., Terentiev V. A., Veselov M. S., Skvortsov D. A., Komarova K. S., Chemeris A. V., Zainullina L. F., Maximova M. A., Zileeva Z. R., Vakhitova Yu. V., Baymiev A. Kh., Sofronova A. A., Machulkin A. E., Petrov R. A., Bezrukov D. S., Puchinina M. M., Lukianov D. A., Dontsova O. A. Substituted Furanocoumarins as Novel Class of Antibacterial Translation Inhibitors. *Combinatorial Chemistry & High Throughput Screening*. 2019;22(6):400–410. <https://doi.org/10.2174/1386207322666190723110539>
17. Nersezashvili M., Berashvili D., Jokhadze M., Gokadze S., Korona-Glovniaki I. Phytochemical and Biological Evaluation of *Heracleum sosnowskyi* Manden. Root Methanolic Extract. *Collection of Scientific Works of Tbilisi State Medical University*. 2022;56:105–108. <https://doi.org/10.52340/csw.2022.56.01>
18. Евстропов А. Н., Бурова Л. Г., Широких И. В., Липеева А. В., Шульц Э. Э. Исследование антимикробной активности кукумариновых субстанций в отношении *Staphylococcus aureus* и *Pseudomonas aeruginosa*. *Бактериология*. 2018;3(2):16–19. <https://doi.org/10.20953/2500-1027-2018-2-16-19>
19. Миронов А. Н. Руководство по проведению доклинических исследований лекарственных средств. М.: Гриф и К; 2012. 944 с.

REFERENCES

1. Senator S. A., Vinogradova Yu. K. Invasive Plants of Russia: Inventory Results, Distribution Features and Management Issues. *Advances in Current Biology*. 2023;143(4):393–402. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0042132423040099>
2. Budarin S. N., Larikova Yu. S., Kondratiev M. N. The invasive nature of hogweed Sosnowski (*Heracleum sosnowskyi* Manden) during propagation in agroecosystems of Moscow Region. In: Proceedings of the 3rd All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation, dedicated to the 85th anniversary of the Faculty of Natural Sciences and Geography. November 14, 2014. Samara. P. 41–48. Available at: http://proborshevik.ru/wp-content/uploads/2017/09/Budarin_e_a_2014_P41-48.pdf Accessed: 13.05.2026. (In Russ.)
3. Simonova A. Yu., Belova M. V., Ilyashenko K. K., Pidchenko N. E., Potshkveriya M. M., Sachkov A. V., Ponomarev I. N. Photochemical Dermatitis Due to Contact With Sosnovsky Hogweed. *Russian Sklifosovsky Journal "Emergency Medical Care"*. 2020;9(4):653–658. <https://doi.org/10.23934/2223-9022-2020-9-4-653-658>
4. Tamrazova O. B., Seleznev S. P., Tamrazova A. V. Phytodermatitis in children caused by the Sosnowski hogweed. *Pediatrics. Consilium Medicum*. 2019;2:53–57. (In Russ.) <https://doi.org/10.26442/26586630.2019.2.190418>
5. Ashikhmina T. Ya., Tovstik E. V., Adamovich T. A. Assessment of the chemical composition of *Heracleum sosnowskyi* Manden as an alternative source of raw materials for various industries (review). *Chemistry of plant raw material*. 2024;4:32–45. (In Russ.) <https://doi.org/10.14258/jcprm.20240414599>

6. Krutov P.V., Ferubko E.V., Dargaeva T.D., Pupykina K.A., Shakirova R.R. Furocoumarins as potential sources of new medicines. *Traditional medicine*. 2019;2(57):45–54. (In Russ.)
7. Gurina N.S., Lukashov R.I., Kotovich A.V. Pharmacological properties and component composition of *Heracleum sosnowski* Manden. *Medical Journal*. 2023;(1):14–22. (In Russ.) <https://doi.org/10.51922/1818-426X.2023.1.14>
8. Bombela T.V., Surbeeva E.S., Yakushina K.E., Vishnyakov E.V., Terninko I.I., Krivoshekov 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. (In Russ.) <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2026-15-3-2371>
9. Bahadori M.B., Dinparast L., Zengin G. The Genus *Heracleum*: A comprehensive review on its phytochemistry, pharmacology, and ethnobotanical values as a useful herb. *Comprehensive Review in Food Science and Food Safety*. 2016;15(6):1018–1039. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12222>
10. Patočka J., Cupalová K. Giant Hogweed and photodermatitis. *Military Medical Science Letters*. 2017;86(3):135–138. <https://doi.org/10.31482/mmsl.2017.021>
11. Karimian-Teherani D., Kinaciyan T., Tanew A. Photoallergic contact dermatitis to *Heracleum giganteum*. *Photodermatology, Photoimmunology & Photomedicine*. 2008;24(2):99–101. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0781.2008.00346.x>
12. Shlyapkina V.I., Kulikov O.A., Brodovskaya E.P., Al-khadj Aioub A.M., Ageev V.P., Pyataev N.A. Obtaining emulsions of furanocoumarins from Sosnowsky's hogweed and *in vitro* assessment of their phototoxic effect. *Acta Biomedica Scientifica*. 2023;8(3):161–171. <https://doi.org/10.29413/ABS.2023-8.3.18>
13. Kulikov O.A., Ageev V.P., Shlyapkina V.I., Zaborovskii A.V., Tararina L.A., Yunina D.V., Andreev D.N., Zainutdinova K.R., Pyataev N.A. Development of a liposomal form of furanocoumarins and evaluation of its antitumor efficacy. *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2022;56(7):40–44. (In Russ.) <https://doi.org/10.30906/0023-1134-2022-56-7-40-44>
14. Shtratnikova V.Yu. Furanocoumarins: History of Research, Diversity, Synthesis, Physiological Role in the Plant, and Medical Application. *Russian Journal of Plant Physiology*. 2023;70(7):715–735. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0015330323600729>
15. Silva E.B.F., Barbosa J.F., Barreto H.M., Siqueira-Júnior J.P. Modulation of the UVB-induced lethality by furocoumarins in *Staphylococcus aureus*. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 2014;130:260–263. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2013.11.012>
16. Ivanenkov Ya.A., Yamidanov R.S., Osterman I.A., Sergiev P.V., Ayginin A.A., Aladinskiy V.A., Aladinskaya A.V., Terentiev V.A., Veselov M.S., Skvortsov D.A., Komarova K.S., Chemeris A.V., Zainullina L.F., Maximova M.A., Zileeva Z.R., Vakhitova Yu.V., Baymiev A.Kh., Sofronova A.A., Machulkin A.E., Petrov R.A., Bezrukov D.S., Puchinina M.M., Lukianov D.A., Dontsova O.A. Substituted Furanocoumarins as Novel Class of Antibacterial Translation Inhibitors. *Combinatorial Chemistry & High Throughput Screening*. 2019;22(6):400–410. <https://doi.org/10.2174/1386207322666190723110539>
17. Nersezashvili M., Berashvili D., Jokhadze M., Gokadze S., Korona-Glovniaki I. Phytochemical and Biological Evaluation of *Heracleum sosnowskyi* Manden. Root Methanolic Extract. *Collection of Scientific Works of Tbilisi State Medical University*. 2022;56:105–108. <https://doi.org/10.52340/csw.2022.56.01>
18. Evstropov A.N., Burova L.G., Shirokih I.V., Lipeeva A.V., Shults E.E. Investigation of antimicrobial activity of coumarin substances against *Staphylococcus aureus* and *Pseudomonas aeruginosa*. *Bacteriology*. 2018;3(2):16–19. (In Russ.) <https://doi.org/10.20953/2500-1027-2018-2-16-19>
19. Mironov A.N. Guidelines for conducting preclinical studies of medicinal products. Moscow: Grif i K; 2012. 944 p. (In Russ.)