

УДК 582.894.4:579.64:632.954

Научный обзор



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-403-02-99-109

И.И. Рассохина

С.В. Ерегина

Л.В. Сухарева

А.В. Платонов*✉

Вологодский научный центр
Российской академии наук, Вологда,
Россия

✉ platonov70@yandex.ru

Поступила в редакцию: 15.10.2025

Одобрена после рецензирования: 28.12.2025

Принята к публикации: 25.01.2026

© Рассохина И.И., Ерегина С.В.,
Сухарева Л.В., Платонов А.В.

Микробиом борщевика как резервуар бактерий, обладающих биотехнологическим потенциалом (обзор)

РЕЗЮМЕ

В данном обзоре проведен анализ и обобщен отечественный и зарубежный опыт по изучению микроорганизмов, находящихся в ассоциации с *H. sosnowskyi*. Интерес к микроорганизмам связан с их способностью проявлять высокую ферментативную активность и синтезировать широкий спектр биологически активных соединений, таких как фитогормоны, антибиотики и ферменты-биокатализаторы. В этом контексте особый научный интерес представляет борщевик Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) — высокоинвазивный вид — адвент, демонстрирующий исключительную экологическую пластичность и способность к экспансивному распространению на обширных территориях. Феноменальная стрессоустойчивость этого растения, позволяющая ему успешно колонизировать нарушенные, загрязненные и маргинальные земли, при этом занимая доминирующее положение в формируемых фитоценозах, дает основания предположить, что ассоциированное с ним ризосферное и эндофитное микробное сообщество может обладать уникальными адаптивными и функциональными свойствами. Однако сегодня основной вектор внимания к *H. sosnowskyi* связан с его негативным влиянием как на здоровье человека (ожоги, дерматиты), так и на фитоценозы (снижение биоразнообразия). Работ, где в спектре внимания находился именно микробиом данного вида, крайне мало. В рамках проведенного обзора сделано заключение о перспективности использования и необходимости дополнительных исследований микробиома *H. sosnowskyi*, который представляет собой перспективный ресурс для выделения уникальных штаммов бактерий и грибов. Эти микроорганизмы, обладающие повышенной ферментативной активностью и способностью к синтезу биологически активных веществ, могут быть использованы для создания новых, высокоэффективных и экологичных биопрепаратов для повышения урожайности и устойчивости сельскохозяйственных культур.

Ключевые слова: борщевик Сосновского, микробиом, Нечерноземная зона России, стимулятор роста, биопрепарат

Для цитирования: Рассохина И.И., Ерегина С.В., Сухарева Л.В., Платонов А.В. Микробиом борщевика как резервуар бактерий, обладающих биотехнологическим потенциалом (обзор). *Аграрная наука*. 2026; 403 (02): 99–109.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-403-02-99-109>

Hogweed microbiome as a reservoir of bacteria with biotechnological potential (review)

ABSTRACT

This review analyzes and summarizes Russian and foreign experience in the study of microorganisms associated with *H. sosnowskyi*. Interest in microorganisms is related to their ability to exhibit high enzymatic activity and synthesize a wide range of biologically active compounds such as phytohormones, antibiotics, and biocatalyst enzymes. In this context, Sosnowsky's hogweed (*Heracleum sosnowskyi* Manden) is a highly invasive species of advent, demonstrating exceptional ecological plasticity and the ability to spread expansively over vast territories. The phenomenal stress resistance of this plant, which allows it to successfully colonize disturbed, polluted and marginal lands, while occupying a dominant position in the emerging phytocenoses, suggests that the rhizospheric and endophytic microbial community associated with it may have unique adaptive and functional properties. However, today the main vector of attention to *H. sosnowskyi* is related to its negative impact on human health (burns, dermatitis), and phytocenoses (reduced biodiversity). There are very few studies where the microbiome of this species was in the spectrum of attention. As part of the review, a conclusion was made about the prospects of using and the need for additional studies of the *H. sosnowskyi* microbiome, which is a promising resource for isolating unique strains of bacteria and fungi. These microorganisms, which have increased enzymatic activity and the ability to synthesize biologically active substances, can be used to create new highly effective and environmentally friendly biological products to increase crop yields and sustainability.

Key words: *Heracleum sosnowskyi*, microbiome, non-chernozem zone of Russia, growth stimulator, biopreparation

For citation: Rassokhina I.I., Eregina S.V., Sukhareva L.V., Platonov A.V. Hogweed microbiome as a reservoir of bacteria with biotechnological potential (review). *Agrarian science*. 2026; 403 (02): 99–109 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-403-02-99-109>

Review



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-403-02-99-109

Irina I. Rassokhina

Svetlana V. Eregina,

Lyubov V. Sukhareva

Andrey V. Platonov ✉

Vologda Research Center of the
Russian Academy of Sciences,
Vologda, Russia

✉ platonov70@yandex.ru

Received by the editorial office: 15.10.2025

Accepted in revised: 28.12.2025

Accepted for publication: 25.01.2026

© Rassokhina I.I., Eregina S.V.,
Sukhareva L.V., Platonov A.V.

Введение/Introduction

Современное высокопродуктивное сельское хозяйство неразрывно связано с применением удобрений и пестицидов¹, однако их нерациональное использование экологически небезопасно: ведет к деградации биоты агроценозов, персистенции в экосистемах и контаминации продуктов питания [1, 2]. Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (FAO) подтверждает широкую распространенность остатков пестицидов в продовольствии [3] и продвигает альтернативные стратегии, прежде всего интегрированные системы защиты растений с акцентом на микробиологические подходы. Как отмечено в документах Codex Alimentarius, сокращение химической нагрузки сохраняет почвенную микробиоту, ответственную за плодородие, и формирует устойчивые агроэкосистемы².

Российская аграрная политика смещается в сторону экологизации и органического земледелия [4], что закреплено в ключевых стратегических документах^{3–6}. В них подчеркивается необходимость повышения урожайности сельскохозяйственных культур, сохранения плодородия почв, рационального землепользования и применения новых технологий.

Важным трендом современного сельского хозяйства стали внедрение и использование полифункциональных консорциумов микроорганизмов, проявляющих ферментативную активность и синтезирующих биологически активные соединения (фитогормоны, сидерофоры и др.) [5, 6]. Отметим, что в первую очередь ризосферные и эндофитные бактерии, имея тесные связи с растениями-хозяевами, способны оказывать на них значительное влияние за счет комплексного воздействия, улучшая их питание и защищая от болезней и вредителей [7–11].

Возрастающий интерес к биологическим средствам ведения сельского хозяйства, в том числе к биопрепаратам, обусловлен их экобезопасностью, селективностью и снижением рисков резистентности [12]. Динамика научных исследований подтверждает вышеуказанный тезис. Так, анализ международной базы PubMed выявил устойчивый рост публикаций по изучению действия биопрепаратов для агропроизводства: за 1990–1999 гг. найдены 52 работы, за 2000–2009 гг. — 53, за 2010–2019 гг. — 91, а за 2020–2024 гг. зафиксированы уже 111 работ, что свидетельствует о

возросшем международном интересе к данной проблематике. Аналогичная картина была выявлена и при анализе российской базы eLIBRARY.RU. Поиск по единовременному упоминанию «биопрепараты» и «рост растений» за 1990–1999 гг. выявил 5 работ, за 2000–2009 гг. — 144, за 2010–2019 гг. — 725, а за 2020–2024 гг. обнаружены свыше 570 работ.

Однако, несмотря на очевидный стратегический потенциал и соответствие общемировым трендам в агрономии, практическое внедрение биологических средств в отечественном растениеводстве сталкивается со значительными ограничениями. Анализ текущей ситуации показывает крайне ограниченный ассортимент биопрепаратов, официально разрешенных к применению и реально используемых в хозяйствах⁷. Особенно остро эта проблема стоит в регионах Европейского Севера России. Согласно результатам исследований⁸, доля сельскохозяйственных организаций на этой территории, применяющих биологические методы защиты растений (включая препараты на основе бактерий, грибов, вирусов, энтомофагов и феромонов), крайне мала — лишь 9,4%. Выявленное несоответствие между стратегическими установками на внедрение экологически безопасных технологий в АПК и их реальным проникновением в практику существенно повышает актуальность научных изысканий в данной сфере.

Насущной задачей становится комплекс фундаментально-прикладных исследований, направленных на:

- поиск и разработку новых высокоэффективных штаммов микроорганизмов и биологически активных соединений с адаптированным действием для условий Нечерноземной зоны России;
- оценку их эффективности и экологической безопасности в рамках полевых и производственных испытаний;
- разработку и оптимизацию технологий применения новых биопрепаратов в системах защиты растений и питания сельскохозяйственных культур;
- создание экономически обоснованных систем использования биологических препаратов и их внедрения в практику сельхозпредприятий различного масштаба.

При этом, как подчеркивают большинство специалистов в области агробиотехнологий, основным барьером на пути широкого внедрения и

¹ Жученко АА. Адаптивное растениеводство (эколого-генетические основы). М.: Агрорус. 2008; 1008.

² FAO. Agroecology: From Advocacy to Action: Information Document for the 14th Regular Session of the Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture. Rome: FAO. 2015; 11 (CGRFA-14/15/Inf.18). URL: <https://www.fao.org/3/mj261e/mj261e.pdf>

³ Указ президента РФ от 28.02.2024 № 145.

⁴ Распоряжение Правительства РФ от 04.07.2023 № 1788-р.

⁵ Распоряжение Правительства РФ от 12.04.2020 № 993-р.

⁶ Указ президента РФ от 21.01.2020 № 20.

⁷ Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. 2023 [электронный ресурс]. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации [сайт]. URL: <https://mcx.gov.ru/ministry/departments/departament-rastenievodstva-mekhanizatsii-khimizatsii-i-zashchity-rasteniy/industry-information/info-dep-rast-gos-ysl-agrohim-arh-2023-god/>

⁸ Иванов В.А. Стратегия развития сельского хозяйства Европейского Севера России. 2023; 140.

успешного применения микробных препаратов в сельскохозяйственной практике остается их низкая колонизационная способность. Под этим понимается неспособность вносимых микроорганизмов не только прижиться в новой для них почвенной экосистеме, но и сформировать стабильную, жизнеспособную популяцию, способную оказывать длительное положительное воздействие на растения и почву. Это обусловлено комплексом взаимосвязанных причин. Во-первых, местные автохтонные микроорганизмы, которые на протяжении длительного времени адаптировались к специфическим условиям конкретного местообитания (кислотности, влажности, составу органики) и выстроили прочные, сбалансированные связи в микробном сообществе, вытесняют вносимых извне агентов, не оставляя им экологической ниши и доступа к питательным ресурсам. Во-вторых, сами абиотические условия территории (температурный режим, кислотность, влажность, тип и структура почвы) могут не соответствовать требуемым параметрам для эффективной жизнедеятельности тех штаммов, которые составляют основу препарата. В-третьих, даже при благоприятных изначальных условиях популяция вносимых микробов может быстро сократиться из-за отсутствия синергии с местным сообществом, что в итоге сводит на нет весь эффект и приводит к экономической нецелесообразности использования таких биопрепаратов [13–15].

В связи с этим исследования по поиску микроорганизмов с высокой адаптацией к условиям территории, где биопрепараты на их основе потенциально будут использоваться, — важная задача современной сельскохозяйственной микробиологии. При этом наибольший интерес могут представлять именно изоляты с высокой экологической пластичностью. Поиск таких штаммов возможен в микробиоме видов, которые обладают высокой пластичностью и способны успешно существовать в разнообразных условиях. Одним из широко известных таких видов является борщевик Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.).

Полезные свойства борщевиков известны с глубокой древности. Многие виды рода *Heracleum* используются как кормовые, пищевые, лекарственные, декоративные, красильные и медоносные растения⁹. В Советском Союзе были проведены многочисленные исследования биологических и химических особенностей видов данного рода флоры СССР¹⁰.

Одним из перспективных интродуцированных видов рода *Heracleum* в европейской части СССР был признан *Heracleum sosnowskyi* как растение, обладающее комплексом хозяйственно полезных признаков: высокая урожайность зеленой массы, быстрое отрастание, хорошая силосуемость [16, 17]. Однако после внедрения

и активного использования в реальных условиях хозяйствования выяснилось, что изначальная перспективность борщевика была переоценена (сок вызывает ожоги у человека и животных, поедание силоса из борщевика снижает здоровье и воспроизводительные качества коров, молоко приобретает горьковатый привкус, способность к сквашиванию снижается) [18, 19].

Интерес к данной культуре постепенно затих, сельхозугодья, занятые борщевиком, оказались заброшенными и пришли в негодность. Ввиду невостребованности и отсутствия контроля за посевами *H. sosnowskyi* вышел за границы центров возделывания и к настоящему времени значительно расширил ареалы своего существования [20].

Борщевик Сосновского, представляющий собой высокоинвазивный адвентивный вид, в настоящее время демонстрирует исключительную экологическую пластичность и способность к экспансивному распространению на обширных территориях, включая значительную часть Российской Федерации, в особенности Нечерноземную зону [20, 21]. Так, наиболее широкое распространение борщевика Сосновского отмечено в Северо-Западном регионе [22, 23], Республике Коми [24–26], в Средней России [27–30], а также в Сибири и на Дальнем Востоке [31–33].

Выдающаяся стрессоустойчивость данного вида, проявляющаяся в успешной колонизации нарушенных и маргинальных земель, а также его доминирование в формируемых фитоценозах позволяют предположить, что ассоциированное с ним микробное сообщество (ризосферный и эндофитный микробиом) может обладать уникальными адаптивными и функциональными свойствами. Эти свойства представляют значительный научно-прикладной интерес для выделения штаммов агрономически ценных бактерий, таких как ризобактерии, стимулирующие рост растений (PGPR), или агентов биоконтроля фитопатогенов.

Цель работы — провести системный анализ и обобщение отечественного и зарубежного опыта по изучению микроорганизмов, находящихся в ассоциации с *H. sosnowskyi*.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Отбор и систематический обзор научной литературы были выполнены в результате поиска в научных электронных библиотеках и поисковых системах: eLIBRARY.RU, PubMed и Google Scholar. Ключевые слова при работе с указанными базами: *Heracleum*, *Heracleum sosnowskyi*, борщевик Сосновского, микробиом. Ограничений по году издания или типам публикаций не указывалось. При анализе публикаций на начальном этапе проводили просмотр только заголовков и аннотаций, в дальнейшем — анализ полных текстов отобранных статей.

⁹ Интродукция борщевиков в Белоруссии. Минск: Наука и техника. 1980; 200.

¹⁰ Сациперова И.Ф., Борщевники флоры СССР — новые кормовые растения. Л.: Наука. 1984; 223.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Интерес мирового научного сообщества к борщевiku Сосновского. Анализ базы PubMed по запросу *Heracleum* на начало 2025 года выявил всего 337 публикаций. Первая публикация датируется 1928 годом и посвящена изучению жиров семян зонтичных растений на примере вида *Heracleum sphondylium* [34]. Массив публикаций 1947–1996 гг. преимущественно затрагивает вопросы дерматитов, которые способны вызывать гигантские борщевики, а также содержания кумаринов и эфирных масел в различных органах. В 1986–2006 гг. больший акцент наблюдался в сторону изучения вторичных метаболитов, при этом с 1970 года более выраженным становится интерес к строению и составу белков борщевика [35, 36].

Отметим, что первая работа, затрагивающая возможность использования растений данного рода в качестве противомикробного агента, опубликована в 1994 году, где была проведена оценка противогрибковой активности 100 растительных экстрактов, в том числе метанольного экстракта из корней *Heracleum lanatum* [37]. В настоящее время данное направление изучения представителей рода *Heracleum* продолжается и может быть перспективно для применения в фармацевтике, фармакологии и медицине. Например, в работе Segneau et al. (2024) отмечена возможность создания нового простого фитоносителя (система HS-Ag), который представляет собой включение наночастиц серебра в поры растительного матрикса *H. sphondylium* [38].

Противомикробные и антиоксидантные свойства могут представлять весомый интерес для применения и в пищевой промышленности. Отмечено, что при добавлении эфирного масла *Heracleum lasiopetalum* в раствор слизи семян *Lepidium sativum* можно получить новое съедобное покрытие, которое способно повысить срок годности и качество говядины [39].

Аналогичные результаты показаны в работе Mohebi et al. (2023), где продемонстрирована возможность создания биоматериала на основе хитозан-желатиновых нановолокон, инкапсулированных экстрактом *Heracleum persicum* и эфирным маслом *Ziziphora clinopodioides* для повышения срока хранения и качества колбасных изделий [40]. Использование эфирного масла данного вида гигантских борщевиков возможно и с целью повышения сроков годности сыра и филе рыбы [41, 42].

Популяционные исследования гигантских борщевиков начинаются с 2003 года. Так, в работе Walker et al. (2003) выявлена высокая вариабельность между популяциями *Heracleum mantegazzianum* из разных водосборов Великобритании, что может указывать на большую исходную популяцию борщевика на момент интродукции или на множественные интродукции [43].

Сравнительная оценка популяции *H. mantegazzianum* в двух разных сообществах и на двух разных участках показала, что в инвазивных сообществах на неуправляемых участках особи зацветали раньше. При этом репродуктивная способность отдельных растений не была связана ни с плотностью популяции, ни с возрастом цветения [44].

Интерес к микробиому борщевика начинает формироваться в 2004 году [45], показано существенное микоразнообразие различных родов и видов на отмерших стеблях *H. mantegazzianum*. Однако лишь в 2011 году опубликованы исследования о перспективном штамме для агропроизводства, который был выделен из тканей борщевика [46]. С 2017 года исследования данного рода всё чаще затрагивают проблему неконтролируемого и массового распространения гигантских борщевиков [24, 47, 48]. Например, в работе Shackleton et al. (2020) проведен непрерывный мониторинг распространения *H. mantegazzianum* в Швейцарии, показаны потенциальное распространение и экологические механизмы его инвазии [49].

Важное место занимают работы, затрагивающие трансформацию сообществ, где наблюдается инвазия представителей гигантских борщевиков. Так, например, в исследованиях Renčo et al. (2021) показано, что внедрение в сообщества *H. mantegazzianum* повышало кислотность почвы, снижало содержание углерода и азота, сокращало количество и площадь покрытия местных видов растений, а также влияло на структуру сообществ нематод (увеличивалась общая численность нематод, при этом численность всеядных нематод снижалась, а фитопаразитических — возрастала) [50].

Особое место занимают работы, в которых предполагается использовать представителей гигантских борщевиков для повышения продуктивности различных животных. Например, в работе Javandel et al. (2019) показано, что внедрение в рацион порошка *H. persicum* повышало прирост массы тела, коэффициент конверсии корма, а также положительно влияло на микробиоту кишечника цыплят-бройлеров [51].

Количество публикаций, выявленных в базе PubMed по запросу *Heracleum sosnowskyi* на начало 2025 года, всего 30. Первые материалы датируются 1966 годом и посвящены изучению химического состава эфирного масла борщевика Сосновского [52].

Основная масса публикаций, затрагивающих данный вид гигантских борщевиков, берет свое начало в 2011 году. Преимущественно они касаются изучения химического состава, прежде всего вторичных метаболитов, различных органов и тканей борщевика Сосновского, влияния данных веществ на здоровье населения, а с 2017 года — вопроса распространения вида [53] и способов снижения его жизнеспособности. Так, в работе

Żalnierius *et al.* (2022) показано угнетающее действие экзогенной гиббереллиновой кислоты на развитие плодов *H. sosnowskyi* и их способность прорасти в полевых условиях [54].

Интерес российского научного сообщества к гигантским борщевикам. Анализ базы eLIBRARY.RU по запросу *Heracleum* на начало 2025 года выявил 3898 публикаций, а при дополнительном запросе «микробиом» — всего 9. При этом отметим, что лишь одна публикация, которая несла обзорный характер, действительно была посвящена микробиому борщевика. С учетом единовременного запроса *Heracleum* и «микроорганизмы» количество публикаций в анализируемой базе достигало 23. Дата первой из выявленных публикаций приходится на 2015 год и затрагивает аллелопатическое действие сока борщевика на бактерии родов *Bacillus*, *Sarcina* и *Streptomyces* [55], а первая публикация, которая направлена на изучение ростостимулирующего растения действия штамма, выделенного из микробиома борщевика, была опубликована в 2016 году [56]. Отметим, что среди 23 выявленных публикаций лишь 3 посвящены микробиому борщевика и (или) почвам под ним, 4 — его ресурсной оценке, 8 — вопросам его экологии и биологии.

Ресурсный потенциал *H. sosnowskyi*. При уточнении поискового запроса *Heracleum* в базе eLIBRARY.RU формулировкой «использование» были выявлены 15 публикаций, из них лишь 7 соответствовали цели поиска.

Как отмечают некоторые исследователи, борщевик может представлять интерес для получения из его массы биотоплива [57], топливных гранул [58, 59], целлюлозы для частичной замены древесного сырья при производстве внутренних слоев упаковочного картона [60], получения растительных пластиков без связующего [61], использования в качестве добавки для создания бетонного композита [62], эфирных масел, пектинов и биологически активных веществ [16, 63] и др.

Однако Н.Н. Лунаева (2024 г.), проводя анализ предложенных альтернативных способов использования биомассы борщевика, отмечает нерентабельность данных решений. Она говорит, что сырье данного вида доступно лишь в условиях его неконтролируемого и неизымаемого состояния, при этом территориальное расположение сообществ борщевика вызовет ряд трудностей по его добыче и транспортировке.

Таким образом, целесообразный единственный способ получения сырья — возврат борщевика в статус сельскохозяйственной культуры и возделывания его на высоком уровне агротехники, что невозможно (сегодня данный вид относится к категории сорных растений, представляет угрозу для биоразнообразия и здоровья населения) и неразумно (эффективность предложенных альтернативных методов вызывает вопросы) [64]. При этом всё же стоит иметь в виду, что химический состав *H. sosnowskyi* имеет существенный

потенциал для различных отраслей промышленности: сахароза, пектиновые вещества, целлюлоза, карбоновые кислоты, альдегиды, спирты, кумарины и фурукумарины и пр. [65].

Основной ресурсный интерес к *H. sosnowskyi* в настоящее время обоснован высоким содержанием разнообразных химических веществ. Например, липидные экстракты данного вида гигантских борщевиков проявляют высокую антимикробную активность и цитотоксическую активность в отношении линий раковых клеток, поэтому растительная биомасса после эрадикации может быть использована для получения веществ с высоким потенциалом применения в биофармацевтической промышленности [66].

Поиск важных для агропроизводства бактерий в микробиоме *H. sosnowskyi*. Учитывая широту распространения борщевика Сосновского в Нечерноземной зоне России, где природно-климатические условия затрудняют возделывание сельскохозяйственных культур и требуют как внесения дополнительного питания, так и использование средств защиты растений, данный объект является перспективным для поиска в его микробиоме ценных для агропроизводства бактерий. В первую очередь интерес к данному виду связан с высокой экологической пластичностью самого борщевика и, возможно, его микробиома.

Инвазия *H. sosnowskyi* оказывает влияние на химический состав почвы. Так, имеются данные, что почвы, взятые из зарослей борщевика, имеют пониженное (относительно лугового сообщества без инвазий борщевика) содержание углерода, азота, калия и нитратного азота [67, 68], что объясняется отсутствием нижнего яруса в инвазивных зарослях борщевика из-за сильного затенения и аллелопатического воздействия самим борщевиком.

Однако исследования другого авторского коллектива [69] отмечают противоположную картину: экспансия *H. sosnowskyi* повышает в верхнем почвенном горизонте содержание органического углерода, азота, подвижных форм фосфора и калия, обменного кальция. Такой эффект объясняется поступлением с растительным опадом борщевика значительного количества органического материала, богатого зольными элементами и быстроминерализуемого почвенной микробиотой.

Отмечено, что инвазия борщевика изменяет структуру почвенных микробиомных комплексов: происходит увеличение родового и видового разнообразия актиномицетов [70]. В почве под моносообществами борщевика Сосновского в сравнении с соседними луговыми сообществами отмечена большая доля олиготрофных микроорганизмов [68]. Кроме того, в ризосфере и ризоплане борщевика Сосновского, прежде всего в начале его онтогенеза, выявлена большая плотность микроорганизмов в сравнении с почвой, свободной от корней. Вероятно, микромицеты принимают

активное участие в прорастании семян и на начальных этапах вегетации растений [71].

В исследованиях 2019 года авторский коллектив при участии Е.В. Товстик отмечает, что почвы, взятые под *H. sosnowskyi*, включали в состав своего биома актиномицеты с бактерицидной, антифунгальной и комплексной активностями. Так, у 55–60% штаммов был обнаружен антагонизм против *Pseudomonas putid*, у 25% — против *Erwinia herbicola*, у 10% — в отношении фитопатогенных грибов родов *Fusarium*, *Ulocladium*, *Alternaria*, *Trichoderma*. Кроме того, 5–10% штаммов синтезировали ИУК, 85–90% обладали целлюлолитической активностью.

Проанализированный почвенный микробиом из-под борщевика оказался перспективным для выделения штаммов как для защиты растений от фитопатогенных грибов из родов *Fusarium*, *Ulocladium*, *Alternaria*, *Trichoderma* и бактерий *Pseudomonas putida*, *Erwinia herbicola* (1N8, 1K6, 3K9), так и для стимуляции роста растений (1K6, 3N6, 3K8), а также для биоконверсии трудноразлагаемых отходов растениеводства (1N7, 1K8, 1K10, 3K9) [72]. Таким образом, Е.В. Товстик и соавт. демонстрируют, что микробиом сообществ с высоким уровнем инвазии *H. sosnowskyi* уникален (в сравнении с окружающими луговыми ценозами), а также может быть интересен с точки зрения высокой активности и участия микроорганизмов в прорастании и жизнедеятельности связанных с ними растений борщевика, с одной стороны, и проявления важных для агропроизводства свойств штаммами — с другой.

Эффективность поиска агрономически ценных штаммов в микробиоме *H. sosnowskyi* подтверждается результатами независимых исследований. Так, штамм *Bacillus subtilis* HC8, изолированный из тканей гигантского борщевика, выросшего на территории Ленинградской области, продемонстрировал выраженный ростостимулирующий и протективный эффект.

В работе [56] показано, что инокуляция данным штаммом способствовала увеличению массы корней редиса на 42%, а салата — на 15%. Параллельно штамм проявлял антифунгальную активность в отношении ряда фитопатогенов, включая *Aspergillus niger*, *Fusarium oxysporum*, *Fusarium solani* и *Pythium ultimum* [46]. Изучение механизма

действия показало, что штамм продуцирует гиббереллины и липопептидные антибиотики, а также обладает целлюлазной, глюканазной и протеазной активностью, что в совокупности объясняет его комплексное положительное воздействие на растения [46, 56].

Выводы/Conclusions

Проведенный системный анализ литературы выявил, что, несмотря на длительную историю изучения рода *Heracleum*, микробиом борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi*) остается крайне слабо исследованным направлением. Несмотря на тысячи публикаций, посвященных в основном его инвазивности, химическому составу и негативному воздействию, работ, целенаправленно изучающих ассоциированные с ним микроорганизмы, насчитываются единицы. Вместе с тем феноменальная экологическая пластичность, стрессоустойчивость и способность этого вида к доминированию в фитоценозах служат веским основанием для гипотезы о том, что его ризосферный и эндофитный микробиом обладает уникальным адаптивным и функциональным потенциалом.

Результаты обзора подтверждают высокую перспективность данного направления для сельскохозяйственной биотехнологии. Имеющиеся единичные исследования демонстрируют, что микробиом *H. sosnowskyi* является резервуаром штаммов бактерий и актинобактерий, проявляющих широкий спектр агрономически ценных свойств: стимуляцию роста растений (PGPR-активность, синтез ИУК), антифунгальную и антибактериальную активность в отношении фитопатогенов, а также целлюлолитическую активность. Успешный пример выделения и применения штамма *Bacillus subtilis* HC8, который значительно повышал продуктивность сельскохозяйственных культур, служит убедительным доказательством практической значимости этих изысканий.

Таким образом, углубленное изучение микробиома борщевика Сосновского представляется стратегически важной задачей для создания новых, высокоэффективных и адаптированных к условиям Нечерноземной зоны России биопрепаратов, способствующих экологизации и устойчивому развитию агропромышленного комплекса.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 25-26-00204 «Биотехнологические потенциал микробиома *Heracleum sosnowskyi* Manden для агропроизводства Нечерноземной зоны России». <https://rscf.ru/project/25-26-00204/>

FUNDING

The reported study was funded by study the Russian Science Foundation, grant No. 25-26-00204 "Biotechnological potential of the *Heracleum sosnowskyi* Manden microbiome for agricultural production in the Non-Black Earth Zone of Russia". <https://rscf.ru/project/25-26-00204/>

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Goulson D., Nicholls E., Botías C., Rotheray E.L. Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. *Science*. 2015; 347(6229): 1255957. <https://doi.org/10.1126/science.1255957>
2. Damalas C.A., Eleftherohorinos I.G. Pesticide Exposure, Safety Issues, and Risk Assessment Indicators. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2011; 8(5): 1402–1419. <https://doi.org/10.3390/ijerph8051402>
3. Максимов И.В., Абизгильдина Р.Р., Пусенкова Л.И. Стимулирующие рост растений микроорганизмы как альтернатива химическим средствам защиты от патогенов (обзор). *Прикладная биохимия и микробиология*. 2011; 47(4): 373–385. EDN NYGBNH
4. Коршунов С.А., Любовецкая А.А., Асатурова А.М., Исмаилов В.Я., Коноваленко Л.Ю. Закон об органической продукции есть: что меняется в России? *Контроль качества продукции*. 2019; (12): 25–31. EDN EYSUU
5. Knežević M. et al. Potential of root nodule nonrhizobial endophytic bacteria for growth promotion of *Lotus corniculatus* L. and *Dactylis glomerata* L. *Journal of Applied Microbiology*. 2021; 131(6): 2929–2940. <https://doi.org/10.1111/jam.15152>
6. Maitra S. et al. Bioinoculants — Natural Biological Resources for Sustainable Plant Production. *Microorganisms*. 2021; 10(1): 51. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10010051>
7. Compant S., Clément C., Sessitsch A. Plant growth-promoting bacteria in the rhizo- and endosphere of plants: Their role, colonization, mechanisms involved and prospects for utilization. *Soil Biology and Biochemistry*. 2010; 42(5): 669–678. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.11.024>
8. Hardoim P.R. et al. The Hidden World within Plants: Ecological and Evolutionary Considerations for Defining Functioning of Microbial Endophytes. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*. 2015; 79(3): 293–320. <https://doi.org/10.1128/MMBR.00050-14>
9. Lugtenberg B., Kamilova F. Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria. *Annual Review of Microbiology*. 2009; 63: 541–556. <https://doi.org/10.1146/annurev.micro.62.081307.162918>
10. Рассохина И.И. Использование микроорганизмов как средство повышения продуктивности и устойчивости сельскохозяйственных культур. *АгроЗооТехника*. 2021; 4(3): 2. <https://doi.org/10.15838/alt.2021.4.3.2>
11. Рассохина И.И. Потенциал бактерий рода *Pseudomonas* для использования в растениеводстве. *АгроЗооТехника*. 2024; 7(3): 3. <https://doi.org/10.15838/alt.2024.7.3.3>
12. Петров В.Б., Чеботарь В.К., Казаков А.Е. Микробиологические препараты в биологизации земледелия России. *Достижения науки и техники АПК*. 2002; (10): 16–20. EDN YHBNV
13. Воробейков Г.А. и др. Исследование эффективности штаммов ассоциативных ризобактерий в посевах различных видов растений. *Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена*. 2011; 141: 114–123. EDN OFUWNF
14. Кожемяков А.П. Перспективы эффективного применения земледобрильных биопрепаратов в земледелии и растениеводстве. *Перспективы использования инновационных форм удобрений, средств защиты и регуляторов роста растений в агротехнологиях сельскохозяйственных культур. Материалы докладов участников 9-й научно-практической конференции «Анапа-2016»*. Анапа. 2016; 81–83. EDN ZAHDLX
15. Воробейков Г.А. Действие ассоциативных ризобактерий (PGPR) на растения в зависимости от дозы минерального азота. *Механизмы адаптации микроорганизмов к различным условиям среды обитания. Тезисы докладов 2-й Всероссийской научной конференции с международным участием*. Иркутск. 2022; 232–235. EDN LQTPIN
16. Ткаченко К.Г. Род борщевик (*Heracleum* L.) — хозяйственно полезные растения. *Вестник Удмуртского университета. Серия: Биология. Наука о Земле*. 2014; (4): 27–33. EDN THPRJH
17. Ozerova N.A. Vectors of *Heracleum sosnowskyi* Manden. Invasion on the territory of Moscow region: history and modernity (as exemplified by the Shakhovskaya Urban District). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021; 867: 012074. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/867/1/012074>

REFERENCES

1. Goulson D., Nicholls E., Botías C., Rotheray E.L. Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. *Science*. 2015; 347(6229): 1255957. <https://doi.org/10.1126/science.1255957>
2. Damalas C.A., Eleftherohorinos I.G. Pesticide Exposure, Safety Issues, and Risk Assessment Indicators. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2011; 8(5): 1402–1419. <https://doi.org/10.3390/ijerph8051402>
3. Maksimov I.V., Abizgildina R.R., Pusenkova L.I. Plant growth promoting rhizobacteria as alternative to chemical crop protectors from pathogens (review). *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2011; 47(4): 333–345. <https://doi.org/10.1134/S0003683811040090>
4. Korshunov S.A., Lyubovedskaya A.A., Asaturova A.M., Ismailov V.Ya., Konovalenko L.Yu. The law on organic products is in place: what is changing in Russia?. *Product quality control*. 2019; (12): 25–31 (in Russian). EDN EYSUU
5. Knežević M. et al. Potential of root nodule nonrhizobial endophytic bacteria for growth promotion of *Lotus corniculatus* L. and *Dactylis glomerata* L. *Journal of Applied Microbiology*. 2021; 131(6): 2929–2940. <https://doi.org/10.1111/jam.15152>
6. Maitra S. et al. Bioinoculants — Natural Biological Resources for Sustainable Plant Production. *Microorganisms*. 2021; 10(1): 51. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10010051>
7. Compant S., Clément C., Sessitsch A. Plant growth-promoting bacteria in the rhizo- and endosphere of plants: Their role, colonization, mechanisms involved and prospects for utilization. *Soil Biology and Biochemistry*. 2010; 42(5): 669–678. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.11.024>
8. Hardoim P.R. et al. The Hidden World within Plants: Ecological and Evolutionary Considerations for Defining Functioning of Microbial Endophytes. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*. 2015; 79(3): 293–320. <https://doi.org/10.1128/MMBR.00050-14>
9. Lugtenberg B., Kamilova F. Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria. *Annual Review of Microbiology*. 2009; 63: 541–556. <https://doi.org/10.1146/annurev.micro.62.081307.162918>
10. Rassokhina I.I. The Use of Microorganisms as a Means to Increase Productivity and Sustainability of Agricultural Crops. *Agricultural and Livestock Technology*. 2021; 4(3): 2 (in Russian). <https://doi.org/10.15838/alt.2021.4.3.2>
11. Rassokhina I.I. The potential of *Pseudomonas* bacteria for the use in crop production. *Agricultural and Livestock Technology*. 2024; 7(3): 3 (in Russian). <https://doi.org/10.15838/alt.2024.7.3.3>
12. Petrov V.B., Chebotar V.K., Kazakov A.E. Microbiological preparations in the biologization of Russian agriculture. *Achievements of science and technology in agribusiness*. 2002; (10): 16–20 (in Russian). EDN YHBNV
13. Vorobeykov G.A. et al. A study of associative rhizobacteria efficiency for economic plants. *Izvestia: Herzen University Journal of Humanities & Sciences*. 2011; 141: 114–123 (in Russian). EDN OFUWNF
14. Kozhemyakov A.P. Prospects for the Effective Use of Biofertilizers in Agriculture and Crop Production. *Prospects for the Use of Innovative Fertilizers, Plant Protection Products, and Plant Growth Regulators in Agricultural Crops. Proceedings of the 9th Scientific and Practical Conference "Anapa-2016"*. Anapa. 2016; 81–83. EDN ZAHDLX
15. Vorobeykov G.A. Effect of associative rhizobacteria (PGPR) on plants depending on the dose of mineral nitrogen. *Mechanisms of microorganism adaptation to various environmental conditions. Abstracts of the Second All-Russian scientific conference with international participation*. Irkutsk. 2022; 232–235 (in Russian). EDN LQTPIN
16. Tkachenko K.G. *Heracleum* L. genus — economic plants. *Bulletin of Udmurt University. Series: Biology. Earth Sciences*. 2014; (4): 27–33 (in Russian). EDN THPRJH
17. Ozerova N.A. Vectors of *Heracleum sosnowskyi* Manden. Invasion on the territory of Moscow region: history and modernity (as exemplified by the Shakhovskaya Urban District). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021; 867: 012074. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/867/1/012074>

18. Захаров А.Г., Воронова М.И., Суров О.В., Рублева Н.В., Лебедева Е.О. Характеристика целлюлозы и нанокристаллической целлюлозы, полученных из лигноцеллюлозной массы борщевика Сосновского. *Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы. Сборник материалов XXIII Международного научно-практического форума SMARTEX-2020*. Иваново. 2020; 177–181. https://doi.org/10.47367/2413-6514_2020_1_177
19. Симонова А.Ю. и др. 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>
20. Озерова Н.А., Кривошеина М.Г. Особенности формирования вторичных ареалов борщевиков Сосновского и Мантегацци (*Heracleum Sosnowskyi*, *H. mantegazzianum*) на территории России. *Российский журнал биологических инвазий*. 2018; 11(1): 78–87. EDN YSIMFP
21. Абрамова Л.М. Новые данные по биологическим инвазиям чужеродных видов в Республике Башкортостан. *Вестник Академии наук Республики Башкортостан*. 2014; 19(4): 16–27. EDN TDWUXH
22. Антипина Г.С., Шуйская Е.А. Семенная продуктивность инвазионного вида борщевик Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden) в Южной Карелии. *Ученые записки Петрозаводского государственного университета*. 2009; (5): 23–25. EDN JZFWWT
23. Гельтман Д.В., Бузунова И.О., Конечная Г.Ю. Состав и эколого-фитоценоотические особенности сообществ с участием инвазионного вида *Heracleum sosnowskyi* (Apiaceae) на северо-западе Европейской России. *Растительные ресурсы*. 2009; 45(3): 68–75. EDN OINRWZ
24. Chadin I. et al. Distribution of the invasive plant species *Heracleum sosnowskyi* Manden in the Komi Republic (Russia). *PhytoKeys*. 2017; 77: 71–80. <https://doi.org/10.3897/phytokeys.77.11186>
25. Чадин И.Ф., Дальке И.В., Малышев Р.В. Оценка морозостойкости борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) после удаления снежного покрова в ранневесенний период. *Российский журнал биологических инвазий*. 2018; 11(4): 105–116. EDN YPPAUX
26. Dalke I.V. et al. Traits of *Heracleum sosnowskyi* Plants in Monostand on Invaded Area. *PLOS One*. 2015; 10(11): e0142833. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0142833>
27. Богданов В.Л., Николаев Р.В., Шмелева И.В. Инвазия экологически опасного растения борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden) на территории европейской части России. *Региональная экология*. 2011; (1–2): 43–52. EDN TWHUIN
28. Панасенко Н.Н. Некоторые вопросы биологии и экологии борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden). *Российский журнал биологических инвазий*. 2017; 10(2): 95–106. EDN YUQJZ
29. Панасенко Н.Н., Куликова Е.Я., Харин А.В., Ивенкова И.М. Сообщества растений-трансформеров: ассоциация *Urtica dioica* — *Heracleum sosnowskyi*. *Бюллетень Брянского отделения Русского ботанического общества*. 2014; (2): 48–53. EDN TBCLVZ
30. Широкова В.А., Озерова Н.А. Инвазия эндемика Кавказа борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi*) в экосистемы пойм рек Европейской равнины. *Грозненский естественно-научный бюллетень*. 2016; (4): 66–78. EDN YHQAUV
31. Абрамова Л.М., Голованов Я.М., Рогожникова Д.Р. Борщевик Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden, Apiaceae) в Башкортостане. *Российский журнал биологических инвазий*. 2021; 14(1): 2–12. <https://doi.org/10.35885/1996-1499-2021-14-1-2-12>
32. Смирнов А.А., Корнева И.Г. Последствия интродукции *Heracleum sosnowskyi* (Apiaceae) на Сахалине. *Растительные ресурсы*. 2010; 46(2): 18–23. EDN OIQQRX
33. Chernjagina O.A., Devjatova E.A., Shtreker L., Abramova L.M. Problema di infestazione *Heracleum sosnowskyi* Manden Kamchatka. *Italian Science Review*. 2014; (3): 420–423. EDN SICEED
34. Hilditch T.P., Jones E.E. Seed fats of the Umbelliferae: *Heracleum sphondylium* and *Angelica sylvestris*. *Biochemical Journal*. 1928; 22(2): 326–330. <https://doi.org/10.1042/bj0220326>
35. Hart J.W., Sabnis D.D. Colchicine-binding protein from phloem and xylem of a higher plant. *Planta*. 1973; 109(2): 147–152. <https://doi.org/10.1007/BF00386122>
18. Zakharov A.G., Voronova M.I., Surov O.V., Rubleva N.V., Lebedeva E.O. Characterization of cellulose and nanocrystalline cellulose produced from lignocellulose mass of *Heracleum Sosnowskyi*. *Physics of fibrous materials: structure, properties, high technologies and materials. Collection of materials of the XXIII International scientific and practical forum SMARTEX-2020*. Ivanovo. 2020; 177–181 (in Russian). https://doi.org/10.47367/2413-6514_2020_1_177
19. Simonova A.Yu. et al. 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>
20. Ozerova N.A., Krivosheina M.G. Patterns of Secondary Range Formation for *Heracleum sosnowskyi* and *H. mantegazzianum* on the Territory of Russia. *Russian Journal of Biological Invasions*. 2018; 9(2): 155–162. <https://doi.org/10.1134/S2075111718020091>
21. Abramova L.M. New data on biological invasions of alien species in the Republic of Bashkortostan. *Herald of the Academy of sciences of the Republic of Bashkortostan*. 2014; 19(4): 16–27 (in Russian). EDN TDWUXH
22. Antipina G.S., Shuiskaya E.A. Seed production of invasive species *sosnowskyi's* cow-parsnip (*Heracleum Sosnowskyi* [sic!]). *Proceedings of Petrozavodsk State University*. 2009; (5): 23–25 (in Russian). EDN JZFWWT
23. Geltman D.V., Buzunova I.O., Konechnaya G.Yu. Plant communities with the invasive species *Heracleum sosnowskyi* (Apiaceae) in the North-West of European Russia. *Vegetation Resources*. 2009; 45(3): 68–75 (in Russian). EDN OINRWZ
24. Chadin I. et al. Distribution of the invasive plant species *Heracleum sosnowskyi* Manden in the Komi Republic (Russia). *PhytoKeys*. 2017; 77: 71–80. <https://doi.org/10.3897/phytokeys.77.11186>
25. Chadin I.F., Dalke I.V., Malyshev R.V. Evaluation of *Heracleum sosnowskyi* Frost Resistance after Snow Cover Removal in Early Spring. *Russian Journal of Biological Invasions*. 2019; 10(1): 83–91. <https://doi.org/10.1134/S2075111719010041>
26. Dalke I.V. et al. Traits of *Heracleum sosnowskyi* Plants in Monostand on Invaded Area. *PLOS One*. 2015; 10(11): e0142833. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0142833>
27. Bogdanov V.L., Nikolayev R.V., Shmeleva I.V. Invasion of the environmentally hazardous plant *sosnowsky's* hogweed (*Heracleum sosnowskyi* Manden) in the European part of Russia. *Regional ecology*. 2011; (1–2): 43–52 (in Russian). EDN TWHUIN
28. Panasenkov N.N. On certain issues of biology and ecology of *sosnowsky's* hogweed (*Heracleum sosnowskyi* Manden). *Russian Journal of Biological Invasions*. 2017; 8(3): 272–281. <https://doi.org/10.1134/S2075111717030110>
29. Panasenkov N.N., Kulikova E.Ya., Kharin A.V., Ivenkova I.M. Communities of plants-trasformers: association *Urtica dioicae* — *Heracleum sosnowskyi*. *Bulletin of Bryansk Department of Russian botanical society*. 2014; (2): 48–53 (in Russian). EDN TBCLVZ
30. Shirokova V.A., Ozerova N.A. Invasion of the caucasian endemic *sosnowsky's* hogweed (*Heracleum sosnowskyi*) into river-floodplain ecosystems of the European plain. *Grozny Natural Science Bulletin*. 2016; (4): 66–78 (in Russian). EDN YHQAUV
31. Abramova L.M., Golovanov Ya.M., Rogozhnikova D.R. *sosnowsky's* Hogweed (*Heracleum sosnowskyi* Manden, Apiaceae) in Bashkortostan. *Russian Journal of Biological Invasions*. 2021; 12(2): 127–135. <https://doi.org/10.1134/S2075111721020028>
32. Smirnov A.A., Korneva I.G. Consequences of *Heracleum sosnowskyi* (Apiaceae) introduction at Sakhalin island. *Vegetation Resources*. 2010; 46(2): 18–23 (in Russian). EDN OIQQRX
33. Chernjagina O.A., Devjatova E.A., Shtreker L., Abramova L.M. Problema di infestazione *Heracleum sosnowskyi* Manden Kamchatka. *Italian Science Review*. 2014; (3): 420–423 (in Italian). EDN SICEED
34. Hilditch T.P., Jones E.E. Seed fats of the Umbelliferae: *Heracleum sphondylium* and *Angelica sylvestris*. *Biochemical Journal*. 1928; 22(2): 326–330. <https://doi.org/10.1042/bj0220326>
35. Hart J.W., Sabnis D.D. Colchicine-binding protein from phloem and xylem of a higher plant. *Planta*. 1973; 109(2): 147–152. <https://doi.org/10.1007/BF00386122>

36. O'Brien T.P., McCully M.E. Cytoplasmic fibres associated with streaming and saltatory-particle movement in *Heracleum mantegazzianum*. *Planta*. 1970; 94(1): 91–94. <https://doi.org/10.1007/BF00386612>
37. McCutcheon A.R., Ellis S.M., Hancock R.E.W., Towers G.H.N. Antifungal screening of medicinal plants of British Columbian native peoples. *Journal of Ethnopharmacology*. 1994; 44(3): 157–169. [https://doi.org/10.1016/0378-8741\(94\)01183-4](https://doi.org/10.1016/0378-8741(94)01183-4)
38. Segneanu A.-E. et al. Insight into Romanian Wild-Grown *Heracleum sphondylium*: Development of a New PhytocARRIER Based on Silver Nanoparticles with Antioxidant, Antimicrobial and Cytotoxicity Potential. *Antibiotics*. 2024; 13(9): 911. <https://doi.org/10.3390/antibiotics13090911>
39. Barzegar H., Alizadeh Behbahani B., Mehrnia M.A. Quality retention and shelf life extension of fresh beef using *Lepidium sativum* seed mucilage-based edible coating containing *Heracleum lasiopetalum* essential oil: an experimental and modeling study. *Food Science and Biotechnology*. 2020; 29(5): 717–728. <https://doi.org/10.1007/s10068-019-00715-4>
40. Mohebi E., Abbasvali M., Shahbazi Y. Development of biomaterials based on chitosan-gelatin nanofibers encapsulated with *Ziziphora clinopodioides* essential oil and *Heracleum persicum* extract for extending the shelf-life of vacuum-cooked beef sausages. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2023; 253(6): 127258. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127258>
41. Rajaei Lak H., Bazargani-Gilani B., Karami M. Different coating application methods: Zein-based edible coating containing *Heracleum persicum* essential oil for shelf-life enhancement of whey-less cheese. *Food Science & Nutrition*. 2024; 12(8): 5990–6010. <https://doi.org/10.1002/fsn3.4269>
42. Soleimani S., Golestan L., Moghanjoughi A.M., Anvar S.A.A. Shelf-life enhancement of silver carp filets using psyllium gum/sodium-alginate coatings incorporated with *Heracleum persicum* essential oil and CuO nanoparticles. *Food Science and Technology International*. 2025. <https://doi.org/10.1177/10820132241311946>
43. Walker N.F., Hulme P.E., Hoelzel A.R. Population genetics of an invasive species, *Heracleum mantegazzianum*: implications for the role of life history, demographics and independent introductions. *Molecular Ecology*. 2003; 12(7): 1747–1756. <https://doi.org/10.1046/j.1365-294x.2003.01866.x>
44. Pergl J., Perglová I., Pyšek P., Dietz H. Population age structure and reproductive behavior of the monocarpic perennial *Heracleum mantegazzianum* (Apiaceae) in its native and invaded distribution ranges. *American Journal of Botany*. 2006; 93(7): 1018–1028. <https://doi.org/10.3732/ajb.93.7.1018>
45. Feige G.B., Ale-Agha N. Mycodiversity on a dead stem of the giant hogweed — *Heracleum mantegazzianum* Sommer et Levier. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences*. 2004; 69(4): 479–487.
46. Malfanova N. et al. Characterization of *Bacillus subtilis* HC8, a novel plant-beneficial endophytic strain from giant hogweed. *Microbial Biotechnology*. 2011; 4(4): 523–532. <https://doi.org/10.1111/j.1751-7915.2011.00253.x>
47. Rijal D.P., Alm T., Nilsen L., Alsos I.G. Giant invasive *Heracleum persicum*: Friend or foe of plant diversity?. *Ecology and Evolution*. 2017; 7(13): 4936–4950. <https://doi.org/10.1002/ece3.3055>
48. Веселкин Д.В., Иванова Л.А., Иванов Л.А., Микрюкова М.А., Болшаков В.Н., Бетехтина А.А. Способность к быстрому использованию ресурсов как основа инвазивного синдрома *Heracleum Sosnowskyi*. Доклады Академии наук. 2017; 473(1): 114–117. <https://doi.org/10.7868/S0869565217070283>
49. Shackleton R.T. et al. Integrated Methods for Monitoring the Invasive Potential and Management of *Heracleum mantegazzianum* (giant hogweed) in Switzerland. *Environmental Management*. 2020; 65(6): 829–842. <https://doi.org/10.1007/s00267-020-01282-9>
50. Renčo M., Jurová J., Gömöryová E., Čerevková A. Long-Term Giant Hogweed Invasion Contributes to the Structural Changes of Soil Nematofauna. *Plants*. 2021; 10(10): 2103. <https://doi.org/10.3390/plants10102103>
51. Javandel F., Nosrati M., van den Hoven R., Seidavi A., Laudadio V., Tufarelli V. Effects of Hogweed (*Heracleum persicum*) Powder, Flavophospholipol, and Probiotics as Feed Supplements on the Performance, Carcass and Blood Characteristics, Intestinal Microflora, and Immune Response in Broilers. *The Journal of Poultry Science*. 2019; 56(4): 262–269. <https://doi.org/10.2141/jpsa.0180081>
52. Sedzik D., Chabudziński Z., Kostecka-Madalska O. *Heracleum sosnowskyi* Manden jako źródło n-octanolu. *Acta Poloniae Pharmaceutica*. 1966; 23(2): 149–152.
36. O'Brien T.P., McCully M.E. Cytoplasmic fibres associated with streaming and saltatory-particle movement in *Heracleum mantegazzianum*. *Planta*. 1970; 94(1): 91–94. <https://doi.org/10.1007/BF00386612>
37. McCutcheon A.R., Ellis S.M., Hancock R.E.W., Towers G.H.N. Antifungal screening of medicinal plants of British Columbian native peoples. *Journal of Ethnopharmacology*. 1994; 44(3): 157–169. [https://doi.org/10.1016/0378-8741\(94\)01183-4](https://doi.org/10.1016/0378-8741(94)01183-4)
38. Segneanu A.-E. et al. Insight into Romanian Wild-Grown *Heracleum sphondylium*: Development of a New PhytocARRIER Based on Silver Nanoparticles with Antioxidant, Antimicrobial and Cytotoxicity Potential. *Antibiotics*. 2024; 13(9): 911. <https://doi.org/10.3390/antibiotics13090911>
39. Barzegar H., Alizadeh Behbahani B., Mehrnia M.A. Quality retention and shelf life extension of fresh beef using *Lepidium sativum* seed mucilage-based edible coating containing *Heracleum lasiopetalum* essential oil: an experimental and modeling study. *Food Science and Biotechnology*. 2020; 29(5): 717–728. <https://doi.org/10.1007/s10068-019-00715-4>
40. Mohebi E., Abbasvali M., Shahbazi Y. Development of biomaterials based on chitosan-gelatin nanofibers encapsulated with *Ziziphora clinopodioides* essential oil and *Heracleum persicum* extract for extending the shelf-life of vacuum-cooked beef sausages. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2023; 253(6): 127258. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127258>
41. Rajaei Lak H., Bazargani-Gilani B., Karami M. Different coating application methods: Zein-based edible coating containing *Heracleum persicum* essential oil for shelf-life enhancement of whey-less cheese. *Food Science & Nutrition*. 2024; 12(8): 5990–6010. <https://doi.org/10.1002/fsn3.4269>
42. Soleimani S., Golestan L., Moghanjoughi A.M., Anvar S.A.A. Shelf-life enhancement of silver carp filets using psyllium gum/sodium-alginate coatings incorporated with *Heracleum persicum* essential oil and CuO nanoparticles. *Food Science and Technology International*. 2025. <https://doi.org/10.1177/10820132241311946>
43. Walker N.F., Hulme P.E., Hoelzel A.R. Population genetics of an invasive species, *Heracleum mantegazzianum*: implications for the role of life history, demographics and independent introductions. *Molecular Ecology*. 2003; 12(7): 1747–1756. <https://doi.org/10.1046/j.1365-294x.2003.01866.x>
44. Pergl J., Perglová I., Pyšek P., Dietz H. Population age structure and reproductive behavior of the monocarpic perennial *Heracleum mantegazzianum* (Apiaceae) in its native and invaded distribution ranges. *American Journal of Botany*. 2006; 93(7): 1018–1028. <https://doi.org/10.3732/ajb.93.7.1018>
45. Feige G.B., Ale-Agha N. Mycodiversity on a dead stem of the giant hogweed — *Heracleum mantegazzianum* Sommer et Levier. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences*. 2004; 69(4): 479–487.
46. Malfanova N. et al. Characterization of *Bacillus subtilis* HC8, a novel plant-beneficial endophytic strain from giant hogweed. *Microbial Biotechnology*. 2011; 4(4): 523–532. <https://doi.org/10.1111/j.1751-7915.2011.00253.x>
47. Rijal D.P., Alm T., Nilsen L., Alsos I.G. Giant invasive *Heracleum persicum*: Friend or foe of plant diversity?. *Ecology and Evolution*. 2017; 7(13): 4936–4950. <https://doi.org/10.1002/ece3.3055>
48. Veselkin D.V., Ivanova L.A., Ivanov L.A., Mikryukova M.A., Bolshakov V.N., Betekhtina A.A. Rapid use of resources as a basis of the *Heracleum sosnowskyi* invasive syndrome. *Doklady Biological Sciences*. 2017; 473(1): 53–56. <https://doi.org/10.1134/S0012496617020041>
49. Shackleton R.T. et al. Integrated Methods for Monitoring the Invasive Potential and Management of *Heracleum mantegazzianum* (giant hogweed) in Switzerland. *Environmental Management*. 2020; 65(6): 829–842. <https://doi.org/10.1007/s00267-020-01282-9>
50. Renčo M., Jurová J., Gömöryová E., Čerevková A. Long-Term Giant Hogweed Invasion Contributes to the Structural Changes of Soil Nematofauna. *Plants*. 2021; 10(10): 2103. <https://doi.org/10.3390/plants10102103>
51. Javandel F., Nosrati M., van den Hoven R., Seidavi A., Laudadio V., Tufarelli V. Effects of Hogweed (*Heracleum persicum*) Powder, Flavophospholipol, and Probiotics as Feed Supplements on the Performance, Carcass and Blood Characteristics, Intestinal Microflora, and Immune Response in Broilers. *The Journal of Poultry Science*. 2019; 56(4): 262–269. <https://doi.org/10.2141/jpsa.0180081>
52. Sedzik D., Chabudziński Z., Kostecka-Madalska O. Essential oil from *Heracleum sosnowskyi* Manden as a source of n-octanol. *Acta Poloniae Pharmaceutica*. 1966; 23(2): 149–152 (in Polish).

53. Koldasbayeva D., Tregubova P., Shadrin D., Gasanov M., Pukalchik M. Large-scale forecasting of *Heracleum sosnowskyi* habitat suitability under the climate change on publicly available data. *Scientific Reports*. 2022; 12: 6128. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-09953-9>
54. Žalnierius T., Šveikauskas V., Aphalo P.J., Gavelienė V., Būda V., Jurkonienė S. Gibberellic Acid (GA3) Applied to Flowering *Heracleum sosnowskyi* Decreases Seed Viability Even If Seed Development Is Not Inhibited. *Plants*. 2022; 11(3): 314. <https://doi.org/10.3390/plants11030314>
55. Кондратьев М.Н., Бударин С.Н., Ларикина Ю.С. Физиолого-экологические механизмы инвазивного проникновения борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden) в неиспользуемые агроэкосистемы. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2015; (2): 36–49. EDN UARXXL
56. Чеботарь В.К., Заплаткин А.Н., Щербakov А.В., Мальфанова Н.В., Старцева А.А., Костин Я.В. Микробные препараты на основе эндофитных и ризобактерий, которые перспективны для повышения продуктивности и эффективности использования минеральных удобрений у ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.) и овощных культур. *Сельскохозяйственная биология*. 2016; 51(3): 335–342. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.3.335rus>
57. Доржиев С.С., Патева И.Б. Энергоресурсосберегающая технология получения биоэтанола из зеленой массы растений рода *Heracleum*. *Ползуновский вестник*. 2011; (2–2): 251–255. EDN PBPJCR
58. Любов В.К., Булыгин Ю.В., Алексеев П.Д. Энергетическое использование инвазивных растений на примере биомассы борщевика Сосновского. *Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии*. 2025; 18(2): 169–175. EDN VBDDDY
59. Полина И.Н., Миронов М.В., Белый В.А. Термогравиметрическое и кинетическое исследование топливных гранул из биомассы *Heracleum sosnowskyi* Manden. *Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология*. 2021; 64(4): 15–20. <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20216404.6338>
60. Мусихин П.В., Сигаев А.И. Исследование физических свойств и химического состава борщевика Сосновского и получение из него волокнистого полуфабриката. *Современные наукоемкие технологии*. 2006; (3): 65–67. EDN JSACTV
61. Ершова А.С., Савиновских А.В., Артемов А.В., Шестаков Д.И., Вураско А.В. Использование побеговой части борщевика Сосновского для получения древесных пластиков без связующего. *Вестник технологического университета*. 2020; 23(12): 52–55. EDN LZCEGM
62. Коряковцева Т.А., Заборова Д.Д., Гамаюнова О.С. Использование растительных и угольных отходов в качестве вторичного сырья в бетонных композитах. *Строительство и техногенная безопасность*. 2022; 27: 27–37. EDN VNLFS
63. Гордина Е.Н., Злобин А.А., Мартинсон Е.А., Литвинцев С.Г. Пектиновые полисахариды каллусной ткани стебля борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden). *Теоретическая и прикладная экология*. 2019; (1): 41–46. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2019-1-041-046>
64. Лунева Н.Н. Борщевик Сосновского *Heracleum sosnowskyi* (Apiaceae): уничтожение или рациональное использование растительного сырья? *Растительные ресурсы*. 2024; 60(1): 54–68. <https://doi.org/10.31857/S0033994624010031>
65. 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/jcpr.20240414599>
66. Borska E. et al. Bioactive lipids and allelopathic potential of the invasive plant *Heracleum Sosnowskyi*: insights into its fatty acid composition, antimicrobial and cytotoxic effects. *Frontiers in Pharmacology*. 2025; 16: 1582694. <https://doi.org/10.3389/fphar.2025.1582694>
67. Сушук А.А., Калинин Д.С., Матвеева Е.М. Как влияет инвазия борщевика Сосновского *Heracleum sosnowskyi* (Umbelliferae) на сообщества почвенных нематод луговых экосистем? *Российский журнал биологических инвазий*. 2025; 18(3): 171–187. <https://doi.org/10.35885/1996-1499-18-3-171-187>
68. Товстик Е.В., Широких А.А., Широких И.Г. Микробиологическое состояние почв под инвазивными зарослями борщевика Сосновского (*Heracleum Sosnowskyi*). *Вестник современных исследований*. 2018; (2–2): 5–8. EDN YUMNQA
53. Koldasbayeva D., Tregubova P., Shadrin D., Gasanov M., Pukalchik M. Large-scale forecasting of *Heracleum sosnowskyi* habitat suitability under the climate change on publicly available data. *Scientific Reports*. 2022; 12: 6128. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-09953-9>
54. Žalnierius T., Šveikauskas V., Aphalo P.J., Gavelienė V., Būda V., Jurkonienė S. Gibberellic Acid (GA3) Applied to Flowering *Heracleum sosnowskyi* Decreases Seed Viability Even If Seed Development Is Not Inhibited. *Plants*. 2022; 11(3): 314. <https://doi.org/10.3390/plants11030314>
55. Kondratiev M.N., Budarin S.N., Larikova Yu.S. Physiological and ecological mechanisms of invasive penetration of *sosnowskyi* hogweed (*Heracleum sosnowskyi* Manden) in unexploitable agroecosystems. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2015; (2): 36–49 (in Russian). EDN UARXXL
56. Chebotar V.K., Zaplatkin A.N., Shcherbakov A.V., Malfanova N.V., Startseva A.A., Kostin Ya.V. Microbial preparations on the basis of endophytic and rhizobacteria to increase the productivity in vegetable crops and spring barley (*Hordeum vulgare* L.), and the mineral fertilizer use efficiency. *Agricultural Biology*. 2016; 51(3): 335–342. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.3.335eng>
57. Dorzhiyev S.S., Pateyeva I.B. Energy and resource-saving technology for producing bioethanol from the green mass of plants of the genus *Heracleum*. *Polzunovskiy vestnik*. 2011; (2–2): 251–255 (in Russian). EDN PBPJCR
58. Lyubov V.K., Bulygin Yu.V., Alekseev P.D. Energy Use of Invasive Plants on the Example of Sosnowsky's Hogweed Biomass. *Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies*. 2025; 18(2): 169–175 (in Russian). EDN VBDDDY
59. Polina I.N., Mironov M.V., Belyi V.A. Thermogravimetric and kinetic study of fuel pellets from biomass of *Heracleum sosnowskyi* Manden. *ChemChemTech*. 2021; 64(4): 15–20 (in Russian). <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20216404.6338>
60. Musikhin P.V., Sigayev A.I. Study of the physical properties and chemical composition of Sosnowsky's hogweed and production of fibrous semi-finished product from it. *Modern high technologies*. 2006; (3): 65–67 (in Russian). EDN JSACTV
61. Ershova A.S., Savinovskikh A.V., Artyomov A.V., Shestakov D.I., Vurasko A.V. Sosnowsky's hogweed shoot part: use for binder-free wood plastic production. *Herald of Technological University*. 2020; 23(12): 52–55 (in Russian). EDN LZCEGM
62. Koryakovtseva T.A., Zaborova D.D., Gamayunova O.S. Use of plant and coal waste as a secondary raw materials in concrete composites. *Construction and industrial safety*. 2022; 27: 27–37 (in Russian). EDN VNLFS
63. Gordina E.N., Zlobin A.A., Martinson E.A., Litvinets S.G. Pectic polysaccharides of callus tissue of the stem of *Heracleum sosnowskyi* Manden. *Theoretical and applied ecology*. 2019; (1): 41–46 (in Russian). <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2019-1-041-046>
64. Luneva N.N. *Heracleum sosnowskyi* (Apiaceae): eradication or wise utilization of plant raw Materials?. *Vegetation Resources*. 2024; 60(1): 54–68 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0033994624010031>
65. 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 (A Review). *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*. 2025; 51(7): 2904–2913. <https://doi.org/10.1134/S1068162025150014>
66. Borska E. et al. Bioactive lipids and allelopathic potential of the invasive plant *Heracleum Sosnowskyi*: insights into its fatty acid composition, antimicrobial and cytotoxic effects. *Frontiers in Pharmacology*. 2025; 16: 1582694. <https://doi.org/10.3389/fphar.2025.1582694>
67. Sushchuk A.A., Kalinkina D.S., Matveeva E.M. How does the invasion of *Heracleum sosnowskyi* (Umbelliferae) affect soil nematode communities in meadow ecosystems?. *Russian Journal of Biological Invasions*. 2025; 18(3): 171–187 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1996-1499-18-3-171-187>
68. Tovstik E.V., Shirokikh A.A., Shirokikh I.G. Microbiological state of soils under invasive thickets of Sosnowsky's hogweed (*Heracleum Sosnowskyi*). *Vestnik sovremennykh issledovaniy*. 2018; (2–2): 5–8 (in Russian). EDN YUMNQA

69. Лаптева Е.М., Захожий И.Г., Дальке И.В., Смотрина Ю.А., Генрих Э.А. Влияние инвазии борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden) на плодородие постагрогенных почв Европейского Северо-Востока. *Теоретическая и прикладная экология*. 2021; (3): 66–73. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2021-3-066-073>

70. Товстик Е.В., Широких И.Г., Соловьёва Е.С., Широких А.А., Ашихмина Т.Я., Савиных В.П. Изменение почвенной актинобиоты под влиянием инвазии борщевика Сосновского. *Теоретическая и прикладная экология*. 2018; (4): 114–118. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2018-4-114-118>

71. Товстик Е.В., Широких А.А., Широких И.Г. Микробные сообщества прикорневой зоны борщевика Сосновского. *Вестник современных исследований*. 2018; (10–7): 181–186. EDN YOKBDN

72. Товстик Е.В., Широких И.Г., Сазанов А.В. Биотехнологический потенциал актинобактерий, выделенных из почв под *Heracleum sosnowskyi* Manden. *Актуальная биотехнология*. 2019; (3): 153–155. EDN KMKUPW

69. Lapteva E.M., Zakhozhy I.G., Dalke I.V., Smotrina Yu.A., Genrikh E.A. Influence of *Heracleum sosnowskyi* Manden. Invasion on Postagrogenic Soil Fertility in European North-East. *Theoretical and applied ecology*. 2021; (3): 66–73 (in Russian). <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2021-3-066-073>

70. Tovstik E.V., Shirokikh I.G., Solovyova E.S., Shirokikh A.A., Ashikhmina T.Ya., Savinykh V.P. The change in soil actinobiote under the influence of *Heracleum sosnowskyi* invasion. *Theoretical and applied ecology*. 2018; (4): 114–118 (in Russian). <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2018-4-114-118>

71. Tovstik E.V., Shirokikh A.A., Shirokikh I.G. Microbial communities in the root zone of Sosnowsky's hogweed. *Vestnik sovremennykh issledovaniy*. 2018; (10–7): 181–186 (in Russian). EDN YOKBDN

72. Tovstik E.V., Shirokikh I.G., Sazanov A.V. Biotechnological potential of actinobacteria isolated from soils under *Heracleum sosnowskyi* Manden. *Topical biotechnology*. 2019; (3): 153–155 (in Russian). EDN KMKUPW

ОБ АВТОРАХ

Ирина Игоревна Рассохина
научный сотрудник
rasskhinairina@mail.ru
<http://orcid.org/0000-0002-6129-6912>

Светлана Викторовна Ерегина
кандидат географических наук,
старший научный сотрудник
ereginasv@mail.ru
<http://orcid.org/0000-0001-8136-4663>

Любовь Владимировна Сухарева
научный сотрудник
lyubov.suxareva@yandex.ru
<http://orcid.org/0000-0002-1069-0856>

Андрей Викторович Платонов
кандидат биологических наук, доцент,
ведущий научный сотрудник
platonov70@yandex.ru
<http://orcid.org/0000-0002-1110-7116>

Вологодский научный центр Российской академии наук,
ул. Горького, 56А, Вологда, 160014, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Irina Igorevna Rassokhina
Researcher
rasskhinairina@mail.ru
<http://orcid.org/0000-0002-6129-6912>

Svetlana Viktorovna Eregina
Candidate of Geographical Sciences,
Senior Researcher
ereginasv@mail.ru
<http://orcid.org/0000-0001-8136-4663>

Lyubov Vladimirovna Sukhareva
Researcher
lyubov.suxareva@yandex.ru
<http://orcid.org/0000-0002-1069-0856>

Andrey Viktorovich Platonov
Candidate of Biological Sciences, Associate Professor,
Leading Researcher
platonov70@yandex.ru
<http://orcid.org/0000-0002-1110-7116>

Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences,
56A Gorky St., Vologda, 160014, Russia

Agrocon Alumni
Деловой форум выпускников
аграрных направлений

agrocon
27 ФЕВ | РУДН

Реклама