

УДК 633.39; УДК 581.192

## ОЦЕНКА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА *HERACLEUM SOSNOWSKYI MANDEN* КАК АЛЬТЕРНАТИВНОГО ИСТОЧНИКА СЫРЬЯ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ (ОБЗОР)

© Т.Я. Ашихмина<sup>1,2</sup>, Е.В. Товстик<sup>1\*</sup>, Т.А. Адамович<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Вятский государственный университет, ул. Московская, 36, Киров, 610000, Россия, usr20174@vyatsu.ru

<sup>2</sup> Институт биологии Коми научного центра УрО РАН, ул. Коммунистическая, 28, Сыктывкар, 167982, Россия

В обзоре обобщены результаты исследований в области переработки борщевика Сосновского с целью извлечения химических соединений, имеющих сырьевой потенциал для различных отраслей промышленности. Наличие в составе борщевика Сосновского карбоновых кислот позволяет создавать на его основе стимуляторы роста растений; альдегидов и спиртов – гербициды избирательного действия; кумаринов и фурокумаринов – средства защиты растений с фунгицидной, антимикробной, инсектицидной активностью; антигельминтные средства. Наибольший интерес в области медицины и фармацевтической промышленности вызывают фенольные соединения кумаринового порядка фурано-кумаринового ряда, выделенные из борщевика Сосновского и обладающие противопухолевым действием, имеющие потенциал в PUVA-терапии, лечении витилиго и псориаза. Фотосенсибилизирующее действие фурано-кумаринов борщевика вызывает также интерес в области разработки средств дезинфекции предметов и помещений. В области пищевой промышленности наличие низкометоксильных пектиновых веществ в составе борщевика открывает возможности производства на его основе загустителей; сахарозы – белого сахара. Высокое содержание в биомассе борщевика Сосновского целлюлозы делает его ценным сырьем для целлюлозно-бумажной промышленности. Химический состав борщевика Сосновского открывает возможности производства на его основе полимеров и композитов, флотореагентов. За счет большой биомассы борщевик Сосновского предлагается использовать для производства энергии, в том числе биотоплива. Модифицированные на основе борщевика Сосновского теплоизоляционные, композитные строительные смеси и материалы могут найти широкий спектр применений в строительстве.

**Ключевые слова:** соцветия, плоды, стебли, листья, корни, борщевик Сосновского, переработка, химические соединения, отрасль промышленности.

**Для цитирования:** 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. С. 32–45. DOI: 10.14258/jcprm.20240414599.

### Введение

Борщевик Сосновского (*Heracleum sosnowskyi Manden.*) – крупное травянистое растение семейства Apiaceae, сок которого вызывает ожоги кожи у человека [1, 2]. Данный растительный вид в середине XX века был интродуцирован в разные регионы Российской Федерации, а также за ее пределы в качестве кормовой, медоносной и декоративной культуры [3–5]. Ввиду невостребованности и отсутствия контроля за посевами *H. sosnowskyi* вышел за границы центров возделывания и к настоящему времени значительно расширил ареалы своего существования [6].

Для сокращения численности растений *H. sosnowskyi* предпринимаются различные меры борьбы [7]. Некоторые из них сопровождаются отчуждением огромного количества зеленой массы, которая может служить сырьем для получения широкого спектра продуктов в различных отраслях промышленности [8–11].

С химической точки зрения в различных морфологических органах растений рода *Heracleum* содержатся представители разнообразных классов соединений [12]. Среди них углеводы [13, 14], белки и аминокислоты [15], полифенольные вещества [16], жирные спирты, органические кислоты [17] и многие другие.

\* Автор, с которым следует вести переписку.

Токсические свойства борщевика обусловлены входящими в его состав алкалоидами, тритерпеновыми сaponинами, флавоноидами, фуранокумаринами и кумаринами [18, 19].

Цель работы – обобщение данных о сырьевом потенциале *Heracleum sosnowskyi* Manden на основе его химического состава.

### **Экспериментальная часть**

Данное исследование проводилось в формате систематического обзора. Объектом исследования являлись публикации, посвященные исследованию химического состава, а также переработке и использованию *H. sosnowskyi* в различных отраслях промышленности.

В рамках работы проводили информационный поиск литературных источников по ключевым словам и их комбинациям: борщевик Сосновского, химический состав, отдельные органы (листья, корни, соцветия, семена), продукты переработки борщевика. Поиск осуществляли в электронных базах данных (Академия Google, Elibrary, Cyberleninka, PubMed, MDPI, Elsevier, портал ФИПС) за период 2014–2023 гг. В работе использовали общедоступные и официальные ресурсы.

### **Перспективы переработки борщевика Сосновского для различных отраслей промышленности**

**Сельское хозяйство.** Переработка борщевика Сосновского с целью получения агрохимикатов, определяющих производительность сельского хозяйства и улучшающих качество его продукции, является экономически выгодной стратегией борьбы с ним.

Одним из направлений переработки *H. sosnowskyi* в растениеводстве является производство на его основе регуляторов роста и средств защиты сельскохозяйственных растений [20, 21]. Это возможно благодаря наличию в его составе карбоновых кислот (бутандиовая или янтарная кислота, 2-гидрокси-бутановая, 3-гидрокси-пропионовая, 4-метил-2-гидрокси-пентановая), способных усиливать рост растений и повышать их урожайность [21]. Наиболее подходящей структурной частью растения для извлечения органических кислот, в том числе янтарной, является надземная биомасса, заготовленная в фазу цветения *H. sosnowskyi*. К числу методов обработки, позволяющих добиться высокого выхода кислот из биомассы борщевика Сосновского, относится электроразрядная кавитация [22].

Влияние на рост сельскохозяйственных растений карбоновых кислот, выделенных из борщевика Сосновского, может быть не только прямым, но и косвенным. Так, установлено, что водный экстракт из *H. sosnowskyi*, состоящий преимущественно из смеси 2-гидрокси-пропионовой (55.32%) и бутандиовой кислот (23.27%), стимулирует рост почвенной бактерии *Bacillus cereus* [23], которая в свою очередь усиливает процесс биосинтеза органических кислот в плодах растений [24].

Использование борщевика Сосновского в качестве сырья для производства регуляторов роста растений не ограничивается органическими кислотами, входящими в его состав. Высокая ростостимулирующая активность в отношении растений установлена для гераклеума или пектинового полисахарида, выделенного из биомассы *H. sosnowskyi* и представляющего собой линейный полимер, состоящий из 1,4-связных остатков  $\alpha$ -D-галактуроновой кислоты [25–27]. Аналогичная эффективность пектиновых полисахаридов борщевика Сосновского продемонстрирована в технологии возделывания лугов [28].

Установлено, что эфирные масла *H. sosnowskyi*, локализующиеся в эфирномасличных каналах плодов, обладают избирательным аллелопатическим действием в отношении сорняков и сельскохозяйственных культур (кукуруза, амарант) [29]. В связи с этим шроты из семян и околоцветника борщевика Сосновского предлагается использовать в качестве потенциального сырья для получения гербицидов [30]. Решающую роль в аллелопатической активности плодов *H. sosnowskyi* отводят октаналю, а также ангелицину [31, 32].

Сырьевой потенциал борщевика Сосновского для создания средств защиты растений (fungициды, антимикробные препараты и др.) обусловлен входящими в его состав кумаринами. Их источником может служить как сухая надземная биомасса, так и корни растения. В корнях кумарины накапливаются в виде белого секрета и представлены в основном ангелицином, бергаптеном, ксантолоксином и псораленом [33]. Однако по сравнению с другими частями растения наибольшее содержание кумаринов выявлено в семенах [34]. Приоритетным способом выделения кумаринов из биомассы растения, позволяющего получать более качественный продукт с минимальным количеством примесей, является сублимация [35]. Применение

прочих методов выделения кумаринов из биомассы сопровождается наличием в экстрактах смеси химических соединений; при этом их разделение на фракции – более сложная задача, чем получение экстракта [35].

Актуально направление использования плодов *H. sosnowskyi* в качестве сырья для производства биофумигантов. Реализация этой стратегии возможна за счет наличия в составе плодов октанола, октаналя, транс-2-гексеналя, обладающих противогрибковой активностью в отношении отдельных представителей грибов рода *Fusarium* (ингибиование роста на 67% относительно контроля) [36].

Установлено, что этаноловые экстракты биологически активных веществ из борщевика Сосновского оказывают сильное токсическое действие на членистоногих насекомых-вредителей [37]. Среди них различные виды тли, колорадского жука (личинки) и обыкновенного паутинного клеща [38]. Выявленные инсектоакарицидные свойства *H. sosnowskyi* создают предпосылки создания на основе его экстрактов биоцидных препаратов.

Благодаря биоцидным свойствам фурокумаринов продукты переработки борщевика Сосновского также можно успешно использовать в схемах лечения животных и птиц от гельминтоза [18, 39].

*Медицина и фармацевтическая промышленность.* Широкий спектр синтезируемых борщевиком Сосновского вторичных метаболитов актуализирует его применение в медицине [40]. Среди химических соединений, обладающих антибактериальным, противогрибковым и антивирусным действием, можно выделить дубильные вещества, фуро- (ксантотоксина и бергаптена) и оксикумаринь (умбеллиферон) [17, 41, 42].

Наибольший интерес представляют фенольные соединения кумаринового порядка фуранокумаринового ряда, обладающие фотосенсибилизирующими, противоопухолевым действием [43–45], имеющие потенциал в PUVA-терапии [46], лечении витилиго и псориаза [47]. В связи с доступностью *H. sosnowskyi* в настящее время его рассматривают как источник для простого синтеза липосомальных лекарственных форм [48].

Значительная доля фенольных соединений сосредоточена в листьях борщевика Сосновского в период его цветения [49]. Наличие простейших представителей линейных фуранокумаринов (8-метоксисорален и 5-метоксисорален) отмечается в соке *H. sosnowskyi* и эфирном масле из его семян (императорин, феллоптерин, изоимператорин) [50, 51]. При исследовании локализации фуранокумаринов в тканях стебля и листа установлено наличие их кристаллов на поверхности трихом и других клеток эпидермиса, а также в клетках паренхимы [52].

Отличительной особенностью фуранокумаринов является способность к фотодинамической инактивации микроорганизмов. Это свойство позволяет рассматривать продукты переработки борщевика Сосновского в качестве средств лечения заболеваний, вызванных полирезистентными бактериальными штаммами, а также для фотообеззараживания закрытых помещений, различных предметов и сред медицинского назначения [53, 54].

Установлено, что оксикумаринь, выделенные из борщевика Сосновского, оказывают антикоагулянтное действие, Р-витаминный, капилляроукрепляющий и тонизирующий эффекты. В связи с этим обсуждается возможность переработки борщевика Сосновского с целью получения из него препаратов для профилактики и лечения тромбофлебитов, тромбозов, геморроя, тромбоэмболии [55]. Ведется также разработка биомедицинских многофункциональных препаратов для эфферентной терапии на основе лигнина [56].

Доказано, что пектин из борщевика Сосновского обладает хорошей биосовместимостью, а также уникальными структурными и гелеобразующими свойствами [20]. Данные об этих свойствах создают предпосылки изготовления из *H. sosnowskyi* гелевых материалов для тканевой инженерии и средств доставки лекарств [57]. Наряду с этим получены данные о способности пектиновых полисахаридов из борщевика Сосновского, модифицировать морфологическую структуру льда и сохранять целостность клеток при заморозке. Данное заключение позволило рассматривать *H. sosnowskyi* как сырье для производства криопротекторов [58].

Изучение цитологических отклонений и генотоксических эффектов сока *H. sosnowskyi* позволило установить его кластогенную и анеугенную активность [59].

Использование *H. sosnowskyi* в качестве сырья для парфюмерии и косметики обусловлено входящим в его состав октанола [12], полисахаридов [60].

*Пищевая промышленность.* Виды *Heracleum* имеют большой потенциал для применения в пищевой промышленности [61]. Показано, что борщевик Сосновского может служить альтернативным источником низкометоксильных пектиновых веществ, которые можно использовать в качестве загустителя или желирующего агента в низкокалорийных пищевых продуктах [62].

За счет содержания в составе борщевика Сосновского сахарозы (от 17 до 30% до фазы цветения) актуально его применение в качестве сырья для получения белого сахара [63]. При использовании борщевика Сосновского в качестве сырья следует учитывать, что содержание сахаров в соке из корней борщевика Сосновского не превышает 1.0–1.2%, т.е. значительно ниже, чем в зеленой массе (30–35%) [64].

Отработана технология ферментации экстрактов *H. sosnowskyi* в среде козьей сыворотки консорциумом лакто- и бифидобактерий для создания пробиотических напитков, обогащенных кремнием, марганцем, цинком, иодом, кобальтом, оловом, хромом, селеном и другими микро- и ультрамикроэлементами [65].

**Целлюлозно-бумажная промышленность.** Преимущество использования борщевика Сосновского для получения целлюлозы заключается в его большой биомассе и быстром росте [66]. Данный вид сырья по скорости воспроизведения, в сравнении с древесиной, является более доступным источником целлюлозы [67].

В качестве исходного сырья для производства целлюлозы можно использовать стебли *H. sosnowskyi*, предварительно высушенные, после отделения одревесневших внешних частей [1, 68]. Однако возможно использовать и однолетние растения. Получаемая при этом целлюлоза подходит для производства внутренних слоев упаковочных видов картона [69].

Установлено, что из борщевика Сосновского можно получать целлюлозу, сопоставимую по характеристикам с ГОСТом 28172-89 марки ЛС-4. Данная целлюлоза по фракционному составу и размерам волокон может быть отнесена к коротковолокнистым полуфабрикатам [70].

**Химическая промышленность.** Переработка борщевика Сосновского с использованием химической технологии является эффективным способом ограничения его распространения. Кроме того, такая переработка позволяет получать ценные продукты, используемые в различных отраслях промышленности.

Одним из направлений переработки борщевика Сосновского является выделение из него эфирного масла. Наиболее подходящим сырьем в этом случае являются семена *H. sosnowskyi*, заготовленные на стадии восковой спелости растения [71]. Использование различных экстрагентов (петролейный эфир, смеси бензола, ацетона и изопропанола) позволяют при этом получать масла с различным содержанием сложных эфиров. В составе компаунда с вазелиновым маслом подобные эфирные масла могут быть использованы в качестве мягчителей в рецептуре резиновых смесей на основе светлого крепа, а также пластификатора, повышающего морозостойкость технических резин [11, 72] и каучука [73].

Повышение морозостойкости фрикционных материалов посредством введения в состав эфирного масла из семян борщевика Сосновского, богатых сложными эфирами карбоновых кислот, нашло применение в производстве морозостойких тормозных колодок железнодорожного транспорта [11].

Показана возможность использования соцветий борщевика Сосновского в качестве сырья для получения пластиков на основе древесных отходов. Комбинирование пресс-сырья позволяет получать материал малой плотности с удовлетворительными физико-механическими свойствами [74].

Важным направлением переработки *H. sosnowskyi* является получение на его основе углеродных материалов для электродов суперконденсаторов. В качестве исходного сырья для этих целей рассматривают высушенные стебли растения. После карбонизации и активации удельная поверхность образцов угля может достигать 913–1929 м<sup>2</sup>/г [75].

Ведутся работы по оценке влияния выхода карбонизированного продукта, соответствующему 2D наноуглероду в виде графеновых нанопластин, в зависимости от времени заготовки *H. sosnowskyi*. Установлено, что биомасса, отобранная на стадии цветения и сухостоя, обеспечивает выход твердых углей на уровне 30–40%; на ранней стадии вегетации (до цветения) – не более 2%. Разный выход продукта при этом объясняется особенностями формирования прекурсоров наноуглерода в процессе развития растения [76].

В настоящее время *H. sosnowskyi* рассматривается в качестве предшественника твердоуглеродных анодных материалов для натрий-ионных батарей. Отмечается, что твердые угли, полученные из свежих стеблей борщевика Сосновского, собранных летом, демонстрируют лучшую начальную кулоновскую эффективность. Тогда как высушенные зимние образцы – более высокую разрядную способность [77]. Полученные из стеблей *H. sosnowskyi* углеродные наноматериалы предлагается использовать также в качестве сорбентов радионуклида U<sub>238</sub> и микотоксина T-2 [78].

**Горнохимическая промышленность.** Исследования в области переработки борщевика Сосновского показывают, что растительный вид может быть эффективно использован в процессах обогащения полезных ископаемых. Актуальность применения экологически безопасных экстрактов из борщевика Сосновского в качестве модификаторов при флотации обусловлена заменой токсичных химических реагентов.

К настоящему времени доказано, что экстракт из листьев и стеблей *H. sosnowskyi* эффективен в качестве реагента-модификатора при флотации халькопирита и пирита. Установлено, что водный экстракт обладает наибольшей депрессирующей активностью по отношению к пириту, при этом экстракты, содержащие преимущественно фурокумарины, эфирные масла и смолы, не оказывают существенного влияния на флотоактивность пирита [79]. Использование экстрактов из зеленой массы борщевика Сосновского в качестве дополнительного собирателя при флотации золотосодержащей сульфидной руды позволяет повышать качество концентраты по содержанию золота (10.8 г/т), а также степень извлечения золота в концентрат в среднем на 3% [80]. Использование экстрактов из *H. sosnowskyi* в качестве модификатора обусловлено входящими в его состав хорошо растворимых в воде пектиновых веществ, белков, дубильных веществ, аминокислот, эфира масляной и уксусной кислоты. Наличие гидрофильных групп в молекулах этих соединений определяет их воздействие на флотируемость минералов [81].

**Энергетика.** Переработка борщевика Сосновского может быть направлена на получение различных видов топлива, имеющих потенциал в производстве энергии.

В настоящее время активно ведутся работы по определению биотопливных параметров биомассы борщевика Сосновского [82]. На основе *H. sosnowskyi* предлагается изготавливать топливные пеллеты, гранулы, брикеты, которые можно использовать в качестве энергетического топлива, пригодного для сжигания в специальных котлах [83–85].

Исследование основных топливно-энергетических свойств показало, что время сбора биомассы *H. sosnowskyi* влияет на качество твердого биотоплива, а также на путь его переработки [86]. Установлено, что перечень продуктов окислительной термодеструкции биомассы борщевика Сосновского сопоставим с продуктами термического разложения лигноцеллюлозных материалов другого ботанического происхождения. При этом образование продуктов деструкции напрямую связано с компонентным составом биомассы и определяется содержанием в ней целлюлозы, гемицеллюлозы и лигнина. Среди компонентов биомассы, в первую очередь деструкции, подвергаются целлюлоза и гемицеллюлозы, тогда как лигнин вследствие ароматической природы является термически более стабильным [87].

Показано, что борщевик Сосновского является уникальным эффективным сырьем для высокорентабельного производства биоэтанола с низкой себестоимостью. Получаемый из *H. sosnowskyi* биоэтанол имеет потенциал применения в биоэнергетике, спиртовой промышленности, может использоваться в качестве жидкого печного или моторного биотоплива [88]. В качестве сырья для получения биоэтанола может выступать как дикорастущий, так и культивируемый борщевик Сосновского с содержанием сахарозы 17–31%, заготовленный в период от фазы бутонизации до фазы цветения. Способ переработки биомассы в биотопливо включает измельчение зеленой массы с получением сока, осуществление процесса брожения, дистillation с получением спирта-сырца и последующая его ректификация с получением конечного продукта – биоэтанола [89].

**Промышленное строительство.** Применение борщевика Сосновского для производства строительных материалов является актуальной задачей с точки зрения экологии и экономии ресурсов.

К настоящему времени показана возможность повышения биостойкости сухих измельченных стеблей борщевика Сосновского с некоторыми органополимерными связующими материалами посредством обработки ихmonoэтаноламином и тригидроксиборатом. Модифицированное таким образом растительное сырье предлагается использовать в составе композитных теплоизоляционных материалов [90, 91].

Модифицированный низкотемпературной неравновесной плазмой *H. sosnowskyi* предложено использовать в составе композиционных материалов для внутренней отделки помещений. Материал отличается высокой сорбционной способностью по отношению к бензолу и ацетону, способен фильтровать и контролировать влажность воздуха, тем самым создать максимально комфортные для человека условия [92]. Доказана эффективность модификации растительного наполнителя на основе борщевика Сосновского гидрофобизатором, антиприреном, а также дополнительным процессом вакуумирования и опудривания интеркалированным графитом. Модифицированный таким образом наполнитель предложено использовать в производстве строительных материалов. Изделия из данного материала отличаются хорошими техническими характеристиками, низкой стоимостью, не являются горючими и токсичными, обладают низким водопоглощением [93].

Введение в состав строительной смеси биомассы *H. sosnowskyi* позволяет повышать не только сорбционные, но и теплоизолирующие свойства изделий. Известен патент, в котором высушенный измельченный борщевик Сосновского плотностью 95–110 кг/м<sup>3</sup>, предварительно обработанный раствором гидрофобизатора, предлагается использовать в качестве наполнителя при производстве теплоизоляционных изделий в строительстве [94]. Отмечается, что с применением *H. sosnowskyi* возможно получать теплоустойчивый строительный материал с минимальной стоимостью для ограждающих конструкций, повышающих энергоэффективность зданий [95].

Кроме этого, известны цементные композиты, армированные стружкой борщевика Сосновского. Подобная модификация смеси позволяет увеличить прочность при изгибе, улучшая тем самым механические свойства строительных материалов [96]. Установлено также, что добавка *H. sosnowskyi* в бетон приводит к повышению его теплоустойчивости [95].

### **Заключение**

Борщевик Сосновского, став дикорастущим источником сырья для различных отраслей промышленности, может подвергаться регулярной заготовке, что может сократить площадь его распространения и предотвратить негативное воздействие на окружающую среду. Благодаря широкому спектру веществ, входящих в состав *H. sosnowskyi*, его переработка имеет большой потенциал для производства ценных продуктов и материалов в сельском хозяйстве, медицине, фармацевтической, пищевой, целлюлозно-бумажной, химической, горно-химической промышленности, энергетике и строительстве.

#### **Финансирование**

*Работа выполнена в рамках государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН по теме «Структура и состояние компонентов техногенных экосистем подзоны южной тайги», номер государственной регистрации в ЕГИСУ № 1220401000325.*

#### **Конфликт интересов**

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

#### **Открытый доступ**

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

### **Список литературы**

1. Захаров А.Г., Воронова М.И., Суров О.В., Рубlevа Н.В., Лебедева Е.О. Характеристика целлюлозы и нанокристаллической целлюлозы, полученных из лигноцеллюлозной массы борщевика Сосновского // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, научно-исследовательские технологии и материалы (SMARTEX). 2020. №1. С. 177–181. [https://doi.org/10.47367/2413-6514\\_2020\\_1\\_177](https://doi.org/10.47367/2413-6514_2020_1_177).
2. 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. Т. 9(4). С. 653–658. <https://doi.org/10.23934/2223-9022-2020-9-4-653-658>.
3. Ткаченко К.Г. Род борщевик (*Heracleum* L.) хозяйственно полезные растения // Вестник Удмуртского университета. Серия «Биология. Науки о Земле». 2014. №4. С. 27–33.
4. 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. Vol. 867. 012074. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/867/1/012074>.
5. Osipova E.S., Stepanova A.Y., Tereshonok D.V., Gladkov E.A., Vysotskaya O.N. Genetic Diversity in Invasive Populations of *Lupinus polyphyllus* Lindl. and *Heracleum sosnowskyi* Manden. // Biology. 2021. Vol. 10(11). 1094. <https://doi.org/10.3390/biology10111094>.
6. 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. Vol. 9, no. 2. Pp. 155–162. <https://doi.org/10.1134/S2075111718020091>.
7. Шкляревская О.А. Экономическая эффективность механических и химических методов борьбы с борщевиком Сосновского // Защита растений. 2019. №43. С. 120–127.
8. Mironova D.Y., Varadarajan V., Timakhovich I.V., Barakova N.V., Tokbaeva A.A., Rumiantceva O.N., Pomazkova E.E., Baranov I.V., Tishchenko L.I. Methods of Commercialization and Usage of Sosnovsky hogweed Processing // Recycling. 2022. Vol. 7(5). 77. <https://doi.org/10.3390/recycling7050077>.

9. Ершова А.С., Савиновских А.В., Артёмов А.В., Бурындина В.Г. Борщевик Сосновского как сырье для получения пластиков // Вестник Технологического университета. 2020. Т. 23, №10. С. 34–37.
10. Волкова Е.Н. Борщевик Сосновского как сырье для переработки // Главный агроном. 2022. №3.
11. Павлов А.В., Тарасов А.В., Соловьева О.Ю. О перспективах использования продуктов переработки борщевика Сосновского в химической технологии // Химический вестник. 2021. Т. 4, №2. С. 7–16.
12. Ткаченко К.Г., Краснов А.А. Борщевик Сосновского: экологическая проблема или сельскохозяйственная культура будущего? (Обзор) // Бюллетень Ботанического сада-института ДВО РАН. 2018. Т. 20. С. 1–22. <https://doi.org/10.17581/bbgi2002>.
13. Гордина Е.Н., Злобин А.А., Мартинсон Е.А., Литвинец С.Г. Пектиновые полисахариды каллусной ткани стебля борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden) // Теоретическая и прикладная экология. 2019. №1. С. 41–46. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2019-1-041-046>.
14. Makarova E.N., Shakhmatov E.G., Belyy V.A. Structural characteristics of oxalate-soluble polysaccharides of Sosnowsky's hogweed (*Heracleum sosnowskyi* Manden) // Carbohydrate Polymers. 2016. Vol. 153. Pp. 66–77. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.07.089>.
15. Ślwiński K., Grygierzec B., Synowiec A., Tabor S., Araniti F. Preliminary Study of Control and Biochemical Characteristics of Giant Hogweed (*Heracleum sosnowskyi* Manden.)// Treated with Microwaves. Agronomy. 2022. Vol. 12. 1335. <https://doi.org/10.3390/agronomy12061335>.
16. Усик А.В. Качественный состав производных кумарина в тканях листа борщевика Сосновского // Природные ресурсы. 2020. №1. С. 58–61.
17. Куренкова Е. Растения рода *Heracleum* L. на сенокосах и пастбищах лесной зоны европейской части России // Кормопроизводство. 2018. №5. С. 15–26. <https://doi.org/10.25685/KRM.2018.2018.13026>.
18. Рябчинская Т.А., Бобрешова И.Ю., Каширских Ю.В. Растения в качестве биопродуцентов биоцидных веществ и перспективы создания на их основе биологических инсектоакарицидов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2022. Т. 15, №2(73). С. 87–94. [https://doi.org/10.53914/issn2071-2243\\_2022\\_2\\_87](https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2022_2_87).
19. Jakubska-Busse A., Śliwiński M., Kobyłka M. Identification of bioactive components of essential oils in *Heracleum sosnowskyi* and *Heracleum mantegazzianum* (apiaceae) // Archives of Biological Sciences. 2013. Vol. 65(3). Pp. 877–883. <https://doi.org/10.2298/ABS1303877J>.
20. Патент №2712514 (РФ). Способ получения стимулятора роста из борщевика Сосновского / А.Ф. Триандафилов. – 2020.
21. Триандафилов А.Ф., Чернов Б.А., Шешунова Е.В. Разработка технологии и средств механизации производства органического биостимулятора из борщевика // Вестник АПК Верхневолжья. 2019. №1. С. 72–77.
22. Пунегов В.В., Груздев И.В., Триандафилов А.Ф. Анализ состава липофильных веществ в соке *Heracleum sosnowskyi* до и после электроразрядной кавитационной обработки // Химия растительного сырья. 2019. №3. С. 61–68. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2019034253>.
23. Грузнов Д.В., Грузнова О.А., Лобанов А.В., Щербакова Г.Ш., Попов Н.И., Степнова А.Ф., Казиев Г.З., Дину М.И. Экстракт из борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) как стимулятор роста микробиорганизмов // Химическая безопасность. 2023. Т. 7(2). С. 8–22. <https://doi.org/10.25514/CHS.2023.2.25001>.
24. Князева И.В., Вершинина О.В., Титенков А.В., Джос Е.А. *Bacillus cereus* усиливает процесс биосинтеза органических кислот в плодах томатов // Биосфера. 2022. Т. 14, №4. С. 333–337. <https://doi.org/10.24855/biosfera.v14i4.696>.
25. Шахматов Е.Г., Михайлова Е.А., Макарова Е.Н. Структурно-химическая характеристика и биологическая активность полисахаридов *Heracleum sosnowskyi* Manden // Химия растительного сырья. 2015. №4. С. 15–22. <https://doi.org/10.14258/jcprm.201504878>.
26. Тулинов А.Г., Михайлова Е.А., Шубаков А.А. Применение пектиновых полисахаридов в качестве стимуляторов роста и развития *Solanum Tuberosum* L. // Химия растительного сырья. 2018. №4. С. 289–298. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2018044009>.
27. Патент №2620647 (РФ). Способность стимулирования роста и развития моркови / С.В. Коковкина, Е.А. Михайлова, Р.Г. Оводова, В.В. Головченко, Е.А. Гюнтер, О.А. Патова, А.А. Шубаков. – 2017.
28. Патент №2740809 (РФ). Способ повышения продуктивности природных кормовых угодий / Т.В. Тарабукина, С.В. Коковкина, А.Ю. Лобанов. – 2021.
29. Gala-Czekaj D., Jop B., Synowiec A. Wpływ mączki z nasion i okwiatu barszczu Sosnowskiego (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) na początkowy wzrost kukurydzy i dwóch gatunków chwastów // Fragmenta Agronomica. 2018. Vol. 35(1). Pp. 29–39. <https://doi.org/10.26374/fa.2018.35.03>.
30. Synowiec A., Kalemba D. Composition and herbicidal effect of *Heracleum sosnowskyi* essential oil // Open Life Sciences. 2015. Vol. 10(1). Pp. 425–432. <https://doi.org/10.1515/biol-2015-0044>.
31. Mishyna M., Laman N., Prokhorov V., Maninang J.S., Fujii Y. Identification of Octanal as Plant Growth Inhibitory Volatile Compound Released from *Heracleum sosnowskyi* Fruit // Natural Product Communications. 2015. Vol. 10(5). Pp. 771–774. <https://doi.org/10.1177/1934578X1501000518>.
32. Grzędzicka E. Invasion of the Giant Hogweed and the Sosnowsky's Hogweed as a Multidisciplinary Problem with Unknown Future – A Review // Earth. 2022. Vol. 3(1). Pp. 287–312. <https://doi.org/10.3390/earth3010018>.

33. Ламан Н.А., Усик А.В. Локализация и состав кумаринов в корнях борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi Manden.*) // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя біялагічных навук. 2020. Т. 65, №1. С. 71–75. <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2020-65-1-71-75>.
34. Andreeva L.V. Content of Coumarins in Various Organs of Sosnowsky's Hogweed (*Heracleum Sosnowski Mandena*) // IOP Conference Series Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 852(1). 012006. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/852/1/012006>.
35. Andreeva L.V. Sosnowsky hogweed: new ways to use // IOP Conference Series Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 613(1). 012006. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/613/1/012006>.
36. Hroo M.K., Mishyna M., Prokhorov V., Arie T., Takano A., Oikawa Y., Fujii Y. Potential of Octanol and Octanal from *Heracleum sosnowskyi* fruits for the control of *Fusarium Oxysporum* f. sp. *lycopersici* // Sustainability. 2020. Vol. 12(22). 9334. <https://doi.org/10.3390/su12229334>.
37. Бобрешова И.Ю., Рябчинская Т.А., Деркач А.А. Инсектоакарицидные свойства экстрактов борщевика Сосновского // Защита и карантин растений. 2022. №10. С. 30–31. [https://doi.org/10.47528/1026\\$8634\\_2022\\_10\\_30](https://doi.org/10.47528/1026$8634_2022_10_30).
38. Джабборов Н.И., Захаров А.М., Шаблыкин И.Н. Математическая модель и закономерности изменения производительности установки для предреализационной подготовки корнеплодов аэродинамическим способом // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2023. Т. 16, №1(76). С. 69–79. [https://doi.org/10.53914/issn2071-2243\\_2023\\_1\\_69-79](https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2023_1_69-79).
39. Мамедов Э., Байрамова К. Применение антигельминтных растений при гельминтозах домашних водоплавающих птиц // Sciences of Europe. 2019. №38-2. С. 63–65.
40. Ткаченко К.Г. Борщевики (род *Heracleum L.*): Pro et contra // Междисциплинарный научный и прикладной журнал «Биосфера». 2015. Т. 7, №2. С. 209–219. <https://doi.org/10.24855/biosfera.v7i2.60>.
41. Юрлова Л.Ю., Черняк Д.М., Кутовая О.П. Фурукумарины *Heracleum sosnowskyi* и *Heracleum moellendorffii* // Тихоокеанский медицинский журнал. 2013. №2(52). С. 91–93.
42. Трусиюк К.А., Нестерова Н.В. Перспективы использования сырья борщевика Сосновского *Heracleum sosnowskyi* в медицине и фармации // Природные ресурсы земли и охрана окружающей среды. 2022. Т. 3, №1. С. 71–76. <https://doi.org/10.26787/nydha-2713-203X-2022-3-1-71-76>.
43. Budarin S.N., Kondratyev M.N. The Use of Secondary Metabolites *Heracleum Sosnowskyi Manden* in Agriculture // International Journal of Secondary Metabolite. 2014. Vol. 1, no. 1. P. 16.
44. 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. Т. 8(3). С. 161–171. <https://doi.org/10.29413/ABS.2023-8.3.18>.
45. Куликов О.А., Агеев В.П., Шляпкина В.И., Заборовский А.В., Тарапина 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. Т. 56, №7. С. 40–44. <https://doi.org/10.30906/0023-1134-2022-56-7-40-44>.
46. Kulikov O.A., Ageev V.P., Brodovskaya E.P., Shlyapkina V.I., Petrov P.S., Zharkov M.N., Yakobson D.E., Maev I.V., Maev I.V., Sukhorukov G.V., Pyataev N.A. Evaluation of photocytotoxicity liposomal form of furanocoumarins Sosnowsky's hogweed // Chemico-Biological Interactions. 2022. Vol. 357. 109880. <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2022.109880>.
47. Del Río J.A., Díaz L., García-Bernal D., Blanquer M., Ortúñoz A., Correal E., Moraleda J.M. Chapter 5. Furanocoumarins: Biomolecules of Therapeutic Interest // Studies in Natural Products Chemistry. 2014. Vol. 43. Pp. 145–195. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63430-6.00005-9>.
48. Kulikov O.A., Ageev V.P., Brodovskaya E.P., Shlyapkina V.I., Petrov P.S., Zharkov M.N., Yakobson D.E., Maev I.V., Sukhorukov G.B., Pyataev N.A. Evaluation of photocytotoxicity liposomal form of furanocoumarins Sosnowsky's hogweed // Chemico-Biological Interactions. 2022. Vol. 357. 109880. <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2022.109880>.
49. Rysiak A., Dresler S., Hanaka A., Hawrylak-Nowak B., Strzemski M., Kováčik J., Sowa I., Latalski M., Wójciak M. High Temperature Alters Secondary Metabolites and Photosynthetic Efficiency in *Heracleum sosnowskyi* // International Journal of Molecular Sciences. 2021. Vol. 22(9). 4756. <https://doi.org/10.3390/ijms22094756>.
50. Агеев В.П., Шляпкина В.И., Куликов О.А., Заборовский А.В., Тарапина Л.А. Качественный и количественный анализ основных производных псoralена сока борщевика Сосновского // Фармация. 2022. Т. 71(3). С. 10–17. <https://doi.org/10.29296/25419218-2022-03-02>.
51. Olewnikov D.N., Chirikova N.K. Hogweed Seed Oil: Physico-Chemical Characterization, LC-MS Profile, and Neuroprotective Activity of *Heracleum dissectum* Nanosuspension // Life. 2023. Vol. 13(5). 1112. <https://doi.org/10.3390/life13051112>.
52. Weryszko-Chmielewska E., Chwil M. Localisation of furanocoumarins in the tissues and on the surface of shoots of *Heracleum sosnowskyi* // Botany. 2017. Vol. 95, no. 11. Pp. 1057–1070. <https://doi.org/10.1139/cjb-2017-0043>.
53. Абидова А.Д., Цеомашко Н.Е., Ирискулов Б.У. Изучение антимикробной активности фурукумарина – псoralена выделенной из листьев *Ficus carica* // Modern science. 2019. №10–2. С. 10–15.
54. Патент №2700597 (РФ). Способ фотокатализитического обеззараживания воздуха / Е.И. Гаврикова, В.С. Шкрабак, Р.В. Шкрабак. – 2019.
55. Танирбергенов Т.Б., Бабушкина А.Е., Васюкова Н.С. Некоторые аспекты доклинического изучения видов рода борщевик (*Heracleum L.*): обзор публикаций // Перспективы лекарственного растениеведения. 2018. Т. 21, №10. С. 104–111. <https://doi.org/10.29296/25877313-2018-10-20>.

56. Karmanov A.P., Kocheva L.S., Belyy V.A. Topological structure and antioxidant properties of macromolecules of lignin of hogweed *Heracleum sosnowskyi* Manden // Polymer. 2020. Vol. 202. 122756. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2020.122756>.
57. Popov S., Paderin N., Khramova D., Kvashninova E., Patova O., Vityazev F. Swelling, Protein Adsorption, and Biocompatibility *in vitro* of Gel Beads Prepared from Pectin of Hogweed *Heracleum sosnowskyi* Manden in Comparison with Gel Beads from Apple Pectin // International Journal of Molecular Sciences. 2022. Vol. 23(6). 3388. <https://doi.org/10.3390/ijms23063388>.
58. Halpin S.J., McIvor C., Whyatt G., Adams A., Harvey O., McLean L., Walshaw C., Kemp S., Corrado J., Singh R., Collins T., O'Connor R.J., Manoj S. Postdischarge symptoms and rehabilitation needs in survivors of COVID-19 infection: A cross-sectional evaluation // Journal of Medical Virology. 2021. Vol. 93(2). Pp. 1013–1022. <https://doi.org/10.1002/jmv.26368>.
59. Pesnya D.S., Romanovsky A.V., Serov D.A., Poddubnaya N. Genotoxic effects of *Heracleum sosnowskyi* in the *Allium cepa* test // Caryologia. 2017. Vol. 70(1). Pp. 55–61. <https://doi.org/10.1080/00087114.2016.1272313>.
60. Zihare L., Gusca J., Spalvins K., Blumberga D. Priorities Determination of Using Bioresources. Case Study of *Heracleum sosnowskyi* // Environmental and Climate Technologies. 2019. Vol. 23, no. 1. Pp. 242–256. <https://doi.org/10.2478/rtuect-2019-0016>.
61. 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 reviews in Food Science and Food Safety. 2016. Vol. 15, no. 6. Pp. 1018–1039. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12222>.
62. Patova O.A., Golovchenko V.V., Vityazev F.V., Burkov A.A., Belyi V.A., Kuznetsov S.N., Martinson E.A. Physicochemical and rheological properties of gelling pectin from Sosnowskyi's hogweed (*Heracleum sosnowskyi*) obtained using different pretreatment conditions // Food Hydrocolloids. 2017. Vol. 65. Pp. 77–86. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.10.042>.
63. Патент №2458148 (РФ). Способ получения белого сахара из борщевика / Д.С. Стребков, С.С. Доржиев, Е.Г. Базарова, И.Б. Патеева. – 2012.
64. Кудрявцев А.В., Фирсов А.С., Лозован В.Р., Голубев В.В., Павлов М.Н. Некоторые итоги рефрактометрического определения сахаров в корнях борщевика Сосновского // Зеленый журнал-Бюллетень ботанического сада Тверского государственного университета. 2019. №7. С. 32–36.
65. Родионова Н.С., Попов Е.С., Захаров В.С., Будник С.И., Сахно О.В. Минеральный состав пробиотических напитков из козьей сыворотки с нетрадиционным растительным сырьем // Молочная промышленность. 2023. №3. С. 49–52. <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2023-03-49-52>.
66. Baskakov S.A., Baskakova Y.V., Kabachkov E.N., Kichigina G.A., Kushch P.P., Kiryukhin D.P., Krasnikova S.S., Badamshina E.R., Vasil'ev S.G., Soldatenkov T.A. et al. Cellulose from Annual Plants and Its Use for the Production of the Films Hydrophobized with Tetrafluoroethylene Telomers // Molecules. 2022. Vol. 27(18). 6002. <https://doi.org/10.3390/molecules27186002>.
67. Zabat M.A., Sano W.H., Wurster J.I., Cabral D.J., Belenky P. Microbial Community Analysis of Sauerkraut Fermentation Reveals a Stable and Rapidly Established Community // Foods. 2018. Vol. 7(5). 77. <https://doi.org/10.3390/foods7050077>.
68. Баскаров С.А., Баскакова Ю.В., Кабачков Е.Н., Кичигина Г.А., Кущ П.П., Кирюхин Д.П., Красникова С.С., Бадамшина Э.Р., Солдатенков Т.А., Васильтц В.Н., Милович Ф.О., Шульга Ю.М. Гидрофобизация пленок целлюлозы, полученной из стебля борщевика Сосновского, растворами теломеров тетрафторэтилена // Лесной вестник. 2023. Т. 27, №1. С. 95–106. <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2023-1-95-106>.
69. Созинов О.В., Ткаченко К.Г. Борщевик Сосновского (*Heracleum Sosnowskyi* Manden.). Рекомендации и методы по борьбе с ним. СПб., 2021. 68 с.
70. Вураксо А.В., Агеев М.А., Сиваков В.П. Получение и свойства технической целлюлозы из борщевика окислиительно-органосольвентным способом // Химия растительного сырья. 2022. №1. С. 289–298. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20220110121>.
71. Нестерова Н.В., Жильков Ю.А., Ермакова В.Ю. Оценка количественного содержания эфирного масла в разных частях растения борщевик Сосновского // Фармацевтическое дело и технология лекарств. 2020. №3. <https://doi.org/10.33920/med-13-2003-04>.
72. Павлов А.В., Тарасов А.В., Соловьева О.Ю. О перспективах использования продуктов переработки борщевика Сосновского в химической технологии // Chemical bulletin. 2021. Т. 4, №2. С. 7–16.
73. Павлов А.В., Соловьев В.В. Особенности экстракции плодов борщевика Сосновского // От химии к технологии шаг за шагом. 2021. Т. 2, №2. С. 81–88. [https://doi.org/10.52957/27821900\\_2021\\_02\\_81](https://doi.org/10.52957/27821900_2021_02_81).
74. Бурындин В.Г., Артёмов А.В., Савиновских А.В., Шкуро А.Е., Ершова А.С. Получение древесных пластиков без связующего с использованием соцветий борщевика Сосновского // Деревообрабатывающая промышленность. 2021. №1. С. 75–82.
75. Tabarov F.S., Astakhov M.V., Kalashnik A.T., Klimont A.A., Krechetov I.S., Isaeva N.V. Micro-Mesoporous Carbon Materials Prepared from the Hogweed (*Heracleum*) Stalks as Electrode Materials for Supercapacitors // Russian Journal of Electrochemistry. 2019. Vol. 55(4). Pp. 265–271. <https://doi.org/10.1134/S1023193519020125>.
76. Возняковский А.П., Неверовская А.Ю., Возняковский А.А., Шугалей И.В. Биомасса борщевика как сырье для получения 2D наноуглеродов. Экологический аспект // Экологическая химия. 2020. Т. 29, №4. С. 190–195.

77. Lakienko G.P., Bobyleva Z.V., Apostolova M.O., Sultanova Y.V., Dyakonov A.K., Zakharkin M.V., Antipov E.V. Sosnowskyi Hogweed-Based Hard Carbons for Sodium-Ion Batteries // Batteries. 2022. Vol. 8(10). 131. <https://doi.org/10.3390/batteries8100131>.
78. Karmanov A.P., Voznyakovskii A.P., Kocheva L.S. Sorption properties of carbonized biopolymers of plant origin // Carbon Resources Conversion. 2023. Vol. 6. Pp. 34–42. <https://doi.org/10.1016/j.crcon.2022.10.004>.
79. Иванова Т.А., Матвеева Т.Н., Чантурия В.А., Иванова Е.Н. Особенности состава многокомпонентных экстрактов борщевика и его влияние на флотационные свойства золотосодержащих сульфидов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2015. №4. С. 151–157.
80. Иванова Т.А., Гетман В.В., Копорулина Е.В. О влиянии компонентов органического экстракта борщевика на флотацию золотосодержащих сульфидов // Химия растительного сырья. 2019. №2. С. 311–319. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2019024287>.
81. Матвеева Т.Н., Ланцова Л.Б., Гапчич А.О. Испытания режимов флотации упорной золотосодержащей руды с применением растительного модификатора // Цветные металлы. 2016. №8(884). С. 20–24. <https://doi.org/10.17580/tsm.2016.08.02>.
82. Abdumajitova S.A. Maktabgacha ta'lim tashkilotlarida steam o'qitish texnologiyasi // Results of National Scientific Research International Journal. 2022. Vol. 1(1). Pp. 265–269. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6508403>.
83. Полина И.Н., Миронов М.В., Белый В.А. Термогравиметрическое и кинетическое исследование топливных гранул из биомассы *Heracleum sosnowskyi* Manden // Известия ВУЗов. Химия и химическая технология. 2021. №4. С. 15–19. <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20216404.6338>.
84. Gramauskas G., Jasinskas A., Kleiza V., Mieldažys V.R., Blažauskas E., Souček J. Evaluation of Invasive Herbaceous Plants Utilization for the Production of Pressed Biofuel // Processes. 2023. Vol. 11(7). 2097. <https://doi.org/10.3390/pr11072097>.
85. Zihare L., Soloha R., Blumberga D. The potential use of invasive plant species as solid biofuel by using binders // Agronomy Research. 2018. Vol. 16(3). Pp. 923–935. <https://doi.org/10.15159/AR.18.102>.
86. Paramonova K., Ivanova T., Malik A. Exploring the potential of invasive plant Sosnowsky's hogweed for densified biofuels production // Štiința Agricolă. 2021. Vol. 2. Pp. 105–108. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5844553>.
87. Polina I.N., Mironov M.V., Belyy V.A., Brovarova O.V. Investigation of the component composition of the oxidative thermal degradation products of fuel pellets fromthe *Heracleum sosnowskyi* Manden biomass by chromatography-mass-spec-trometry // ChemChemTech. 2022. Vol. 65, no. 5. Pp. 68–76. <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20226505.6462>.
88. Zihare L., Blumberga D. Invasive species application in bioeconomy. Case study *Heracleum sosnowskyi* Manden in Latvia // Energy Procedia. 2017. Vol. 113. Pp. 238–243. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.04.060>.
89. Патент №2458106 (РФ). Биоэтанол из борщевика как дикорастущего, так и культивируемого / Д.С. Стребков, С.С. Доржиев, Е.Г. Базарова, И.Б. Патеева. – 2012.
90. Степина И.В., Содомон М., Семенов В.С., Доржиева Е.В., Котлярова И.А. Повышение биостойкости стеблей борщевика Сосновского в качестве сырья для производства строительных материалов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2021. №2(746). С. 79–91. <https://doi.org/10.32683/0536-1052-2021-746-2-79-91>.
91. Степина И.В., Содомон М. Совместимость модифицированного растительного сырья с органополимерными связующими // Строительные материалы. 2022. №11. С. 92–96. <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-808-11-92-96>.
92. Bruyako M.G., Bessonov I.V., Gorbunova E.A., Govryakov I.S. Sorption properties of modified Sosnowsky's hogweed // Construction Materials. 2021. Vol. 10. Pp. 54–59. <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-796-10-54-59>.
93. Мельниченко А.А., Гальцева Н.А. Применение борщевика Сосновского в качестве эффективного модифицированного растительного наполнителя в производстве строительных материалов // XXIV Международная научная конференция «Строительство – формирование среды жизнедеятельности». Москва, 2021. С. 39–45.
94. Патент №2766181C1 (РФ). Строительная смесь для изготовления теплоизоляционных изделий / И.В. Бессонов, М.Г. Бряко, И.С. Говряков, Э.А. Горбунова. – 2022.
95. Мусорина Т.А., Наумова Е.А., Шонина Е.В., Петриченко М.Р., Кукулев М.И. Теплотехнические свойства энергоэффективного материала на основе растительной добавки (сухой борщевик) // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14, №12. С. 1555–1571. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2019.12.1555-1571>.
96. Musorina T., Zaborova D., Petrichenko M., Stolyarov J. Flexural properties of hogweed chips reinforced cement composites // Magazine of civil engineering. 2021. Vol. 7(107). 10709. <https://doi.org/10.34910/MCE.107.9>.

Поступила в редакцию 15 января 2024 г.

После переработки 18 января 2024 г.

Принята к публикации 10 июня 2024 г.

*Ashikhmina T.Ya.<sup>1,2</sup>, Tovstik E.V.<sup>1\*</sup>, Adamovich T.A.<sup>1</sup>* ASSESSMENT OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF HERACLEUM SOSNOWSKYI MANDEN AS AN ALTERNATIVE SOURCE OF RAW MATERIALS FOR VARIOUS INDUSTRIES (REVIEW)

<sup>1</sup> Vyatka State University, Moskovskaya st., 36, Kirov, 610000, Russia, usr20174@vyatsu.ru

<sup>2</sup> Institute of Biology, Komi Scientific Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Kommunisticheskaya st., 28, Syktyvkar, 167982, Russia

The review summarizes the results of research in the field of processing Sosnovsky's hogweed in order to extract chemical compounds that have raw material potential for various industries. The presence of carboxylic acids in Sosnovsky's hogweed makes it possible to create plant growth stimulants based on it; aldehydes and alcohols – selective herbicides; coumarins and furocoumarins – plant protection products with fungicidal, antimicrobial, insecticidal activity; anthelmintics. The greatest interest in the field of medicine and the pharmaceutical industry is caused by phenolic compounds of the coumarin order of the furanocoumarin series, isolated from Sosnowski's hogweed and having an antitumor effect, having potential in PUVA therapy, the treatment of vitiligo and psoriasis. The photosensitizing effect of hogweed furanocoumarins also arouses interest in the development of means for disinfecting objects and premises. In the food industry, the presence of low-methoxyl pectin substances in the composition of hogweed opens up the possibility of producing thickeners based on it; sucrose - white sugar. The high content of cellulose in the biomass of Sosnovsky's hogweed makes it a valuable raw material for the pulp and paper industry. The chemical composition of Sosnovsky's hogweed opens up the possibility of producing polymers and composites and flotation reagents based on it. Due to its large biomass, Sosnowski's hogweed is proposed to be used for energy production, including biofuel. Heat-insulating, composite building mixtures and materials modified based on Sosnovsky's hogweed can find a wide range of applications in construction.

**Keywords:** inflorescences, fruits, stems, leaves, roots, Sosnovsky's hogweed, processing, chemical compounds, industry.

**For citing:** Ashikhmina T.Ya., Tovstik E.V., Adamovich T.A. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2024, no. 4, pp. 32–45. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20240414599.

### References

- Zakharov A.G., Voronova M.I., Surov O.V., Rubleva N.V., Lebedeva Ye.O. *Fizika voloknistykh materialov: struktura, svoystva, naukoyemkiye tekhnologii i materialy (SMARTEX)*, 2020, no. 1, pp. 177–181. [https://doi.org/10.47367/2413-6514\\_2020\\_1\\_177](https://doi.org/10.47367/2413-6514_2020_1_177). (in Russ.).
- Simonova A.Yu., Belova M.V., Il'yashenko K.K., Pidchenko N.Ye., Potskhveriya M.M., Sachkov A.V., Ponomarev I.N. *Zhurnal im. N.V. Sklifosovskogo. Neotlozhnaya meditsinskaya pomoshch'*, 2020, vol. 9(4), pp. 653–658. <https://doi.org/10.23934/2223-9022-2020-9-4-653-658>. (in Russ.).
- Tkachenko K.G. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya «Biologiya. Nauki o Zemle»*, 2014, no. 4, pp. 27–33. (in Russ.).
- Ozerova N.A. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 867, 012074. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/867/1/012074>.
- Osipova E.S., Stepanova A.Y., Tereshonok D.V., Gladkov E.A., Vysotskaya O.N. *Biology*, 2021, vol. 10(11), 1094. <https://doi.org/10.3390/biology10111094>.
- Ozerova N.A., Krivosheina M.G. *Russian Journal of Biological Invasions*, 2018, vol. 9, no. 2, pp. 155–162. <https://doi.org/10.1134/S2075111718020091>.
- Shklyarevskaya O.A. *Zashchita rasteniy*, 2019, no. 43, pp. 120–127. (in Russ.).
- Mironova D.Y., Varadarajan V., Timakhovich I.V., Barakova N.V., Tokbaeva A.A., Rumiantceva O.N., Pomazkova E.E., Baranov I.V., Tishchenko L.I. *Recycling*, 2022, vol. 7(5), 77. <https://doi.org/10.3390/recycling7050077>.
- Yershova A.S., Savinovskikh A.V., Artomov A.V., Buryndin V.G. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta*, 2020, vol. 23, no. 10, pp. 34–37. (in Russ.).
- Volkova Ye.N. *Glavnnyy agronom*, 2022, no. 3. (in Russ.).
- Pavlov A.V., Tarasov A.V., Solov'yeva O.Yu. *Khimicheskiy vestnik*, 2021, vol. 4, no. 2, pp. 7–16. (in Russ.).
- Tkachenko K.G., Krasnov A.A. *Byulleten' Botanicheskogo sada-instituta DVO RAN*, 2018, vol. 20, pp. 1–22. <https://doi.org/10.17581/bbgi2002>. (in Russ.).
- Gordina Ye.N., Zlobin A.A., Martinson Ye.A., Litvinets S.G. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*, 2019, no. 1, pp. 41–46. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2019-1-041-046>. (in Russ.).
- Makarova E.N., Shakhmatov E.G., Belyy V.A. *Carbohydrate Polymers*, 2016, vol. 153, pp. 66–77. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.07.089>.
- Słowiński K., Grygierzec B., Synowiec A., Tabor S., Araniti F. *Treated with Microwaves. Agronomy*, 2022, vol. 12, 1335. <https://doi.org/10.3390/agronomy12061335>.
- Usik A.V. *Prirodnyye resursy*, 2020, no. 1, pp. 58–61. (in Russ.).
- Kurenkova Ye. *Kormoproizvodstvo*, 2018, no. 5, pp. 15–26. <https://doi.org/10.25685/KRM.2018.2018.13026>. (in Russ.).
- Ryabchinskaya T.A., Bobreshova I.Yu., Kashirskikh Yu.V. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2022, vol. 15, no. 2(73), pp. 87–94. [https://doi.org/10.53914/issn2071-2243\\_2022\\_2\\_87](https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2022_2_87). (in Russ.).
- Jakubska-Busse A., Śliwiński M., Kobyłka M. *Archives of Biological Sciences*, 2013, vol. 65(3), pp. 877–883. <https://doi.org/10.2298/ABS1303877J>.

\* Corresponding author.

20. Patent 2712514 (RU). 2020. (in Russ.).
21. Triandafilov A.F., Chernov B.A., Sheshunova Ye.V. *Vestnik APK Verkhnevolzh'ya*, 2019, no. 1, pp. 72–77. (in Russ.).
22. Punegov V.V., Gruzdev I.V., Triandafilov A.F. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2019, no. 3, pp. 61–68. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2019034253>. (in Russ.).
23. Gruznov D.V., Gruznova O.A., Lobanov A.V., Shcherbakova G.Sh., Popov N.I., Stepnova A.F., Kaziyev G.Z., Dinu M.I. *Khimicheskaya bezopasnost'*, 2023, vol. 7(2), pp. 8–22. <https://doi.org/10.25514/CHS.2023.2.25001>. (in Russ.).
24. Knyazeva I.V., Vershinina O.V., Titakov A.V., Dzhos Ye.A. *Biosfera*, 2022, vol. 14, no. 4, pp. 333–337. <https://doi.org/10.24855/biosfera.v14i4.696>. (in Russ.).
25. Shakhmatov Ye.G., Mikhaylova Ye.A., Makarova Ye.N. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2015, no. 4, pp. 15–22. <https://doi.org/10.14258/jcprm.201504878>. (in Russ.).
26. Tulinov A.G., Mikhaylova Ye.A., Shubakov A.A. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2018, no. 4, pp. 289–298. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2018044009>. (in Russ.).
27. Patent 2620647 (RU). 2017. (in Russ.).
28. Patent 2740809 (RU). 2021. (in Russ.).
29. Gala-Czekaj D., Jop B., Synowiec A. *Fragmenta Agronomica*, 2018, vol. 35(1), pp. 29–39. <https://doi.org/10.26374/fa.2018.35.03>.
30. Synowiec A., Kalemba D. *Open Life Sciences*, 2015, vol. 10(1), pp. 425–432. <https://doi.org/10.1515/biol-2015-0044>.
31. Mishyna M., Laman N., Prokhorov V., Maninang J.S., Fujii Y. *Natural Product Communications*, 2015, vol. 10(5), pp. 771–774. <https://doi.org/10.1177/1934578X1501000518>.
32. Grzędzicka E. *Earth*, 2022, vol. 3(1), pp. 287–312. <https://doi.org/10.3390/earth3010018>.
33. Laman N.A., Usik A.V. *Vestsí Natsyyanal'nay akademii navuk Belarusi. Seryya býyalagichnykh navuk*, 2020, vol. 65, no. 1, pp. 71–75. <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2020-65-1-71-75>. (in Russ.).
34. Andreeva L.V. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 852(1), 012006. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/852/1/012006>.
35. Andreeva L.V. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 2020, vol. 613(1), 012006. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/613/1/012006>.
36. Hpoo M.K., Mishyna M., Prokhorov V., Arie T., Takano A., Oikawa Y., Fujii Y. *Sustainability*, 2020, vol. 12(22), 9334. <https://doi.org/10.3390/su12229334>.
37. Bobreshova I.Yu., Ryabchinskaya T.A., Derkach A.A. *Zashchita i karantin rasteniy*, 2022, no. 10, pp. 30–31. [https://doi.org/10.47528/1026\\$8634\\_2022\\_10\\_30](https://doi.org/10.47528/1026$8634_2022_10_30). (in Russ.).
38. Dzhabborov N.I., Zakharov A.M., Shablykin I.N. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2023, vol. 16, no. 1(76), pp. 69–79. [https://doi.org/10.53914/issn2071-2243\\_2023\\_1\\_69-79](https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2023_1_69-79). (in Russ.).
39. Mamedov E., Bayramova K. *Sciences of Europe*, 2019, no. 38-2, pp. 63–65. (in Russ.).
40. Tkachenko K.G. *Mezhdisciplinarnyy nauchnyy i prikladnoy zhurnal «Biosfera»*, 2015, vol. 7, no. 2, pp. 209–219. <https://doi.org/10.24855/biosfera.v7i2.60>. (in Russ.).
41. Yurlova L.Yu., Chernyak D.M., Kutovaya O.P. *Tikhookeanskiy meditsinskiy zhurnal*, 2013, no. 2(52), pp. 91–93. (in Russ.).
42. Trusyuk K.A., Nesterova N.V. *Prirodnyye resursy zemli i okhrana okruzhayushchey sredy*, 2022, vol. 3, no. 1, pp. 71–76. <https://doi.org/10.26787/nydha-2713-203X-2022-3-1-71-76>. (in Russ.).
43. Budarin S.N., Kondratyev M.N. *International Journal of Secondary Metabolite*, 2014, vol. 1, no. 1, p. 16.
44. Shlyapkina V.I., Kulikov O.A., Brodovskaya Ye.P., Al'-khadzh Ayub A.M., Ageyev V.P., Pyataev N.A. *Acta biomedica scientifica*, 2023, vol. 8(3), pp. 161–171. <https://doi.org/10.29413/ABS.2023-8.3.18>. (in Russ.).
45. Kulikov O.A., Ageyev V.P., Shlyapkina V.I., Zaborovskiy A.V., Tararina L.A., Yunina D.V., Andreyev D.N., Zaynudinova K.R., Pyataev N.A. *Khimiko-farmatsevticheskiy zhurnal*, 2022, vol. 56, no. 7, pp. 40–44. <https://doi.org/10.30906/0023-1134-2022-56-7-40-44>. (in Russ.).
46. Kulikov O.A., Ageev V.P., Brodovskaya E.P., Shlyapkina V.I., Petrov P.S., Zharkov M.N., Yakobson D.E., Maev I.V., Maev I.V., Sukhorukov G.V., Pyataev N.A. *Chemico-Biological Interactions*, 2022, vol. 357, 109880. <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2022.109880>.
47. Del Río J.A., Díaz L., García-Bernal D., Blanquer M., Ortúño A., Correal E., Moraleda J.M. *Studies in Natural Products Chemistry*, 2014, vol. 43, pp. 145–195. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63430-6.00005-9>.
48. Kulikov O.A., Ageev V.P., Brodovskaya E.P., Shlyapkina V.I., Petrov P.S., Zharkov M.N., Yakobson D.E., Maev I.V., Sukhorukov G.B., Pyataev N.A. *Chemico-Biological Interactions*, 2022, vol. 357, 109880. <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2022.109880>.
49. Rysia A., Dresler S., Hanaka A., Hawrylak-Nowak B., Strzemski M., Kováčik J., Sowa I., Latalski M., Wójciak M. *International Journal of Molecular Sciences*, 2021, vol. 22(9), 4756. <https://doi.org/10.3390/ijms22094756>.
50. Ageyev V.P., Shlyapkina V.I., Kulikov O.A., Zaborovskiy A.V., Tararina L.A. *Farmatsiya*, 2022, vol. 71(3), pp. 10–17. <https://doi.org/10.29296/25419218-2022-03-02>. (in Russ.).
51. Olenikov D.N., Chirikova N.K. *Life*, 2023, vol. 13(5), 1112. <https://doi.org/10.3390/life13051112>.
52. Weryszko-Chmielewska E., Chwil M. *Botany*, 2017, vol. 95, no. 11, pp. 1057–1070. <https://doi.org/10.1139/cjb-2017-0043>.
53. Abidova A.D., Tseomashko N.Ye., Iriskulov B.U. *Modern science*, 2019, no. 10-2, pp. 10–15. (in Russ.).
54. Patent 2700597 (RU). 2019. (in Russ.).

55. Tanirbergenov T.B., Babushkina A.E., Vasyukova N.S. *Perspektivy lekarstvennogo rasteniyevedeniya*, 2018, vol. 21, no. 10, pp. 104–111. <https://doi.org/10.29296/25877313-2018-10-20>. (in Russ.).
56. Karmanov A.P., Kocheva L.S., Belyy V.A. *Polymer*, 2020, vol. 202, 122756. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2020.122756>.
57. Popov S., Paderin N., Khramova D., Kvashninova E., Patova O., Vityazev F. *International Journal of Molecular Sciences*, 2022, vol. 23(6), 3388. <https://doi.org/10.3390/ijms23063388>.
58. Halpin S.J., McIvor C., Whyatt G., Adams A., Harvey O., McLean L., Walshaw C., Kemp S., Corrado J., Singh R., Collins T., O'Connor R.J., Manoj S. *Journal of Medical Virology*, 2021, vol. 93(2), pp. 1013–1022. <https://doi.org/10.1002/jmv.26368>.
59. Pesnya D.S., Romanovsky A.V., Serov D.A., Poddubnaya N. *Caryologia*, 2017, vol. 70(1), pp. 55–61. <https://doi.org/10.1080/00087114.2016.1272313>.
60. Zihare L., Gusca J., Spalvins K., Blumberga D. *Environmental and Climate Technologies*, 2019, vol. 23, no. 1, pp. 242–256. <https://doi.org/10.2478/rtuect-2019-0016>.
61. Bahadori M.B., Dinparast L., Zengin G. *Comprehensive reviews in Food Science and Food Safety*, 2016, vol. 15, no. 6, pp. 1018–1039. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12222>.
62. Patova O.A., Golovchenko V.V., Vityazev F.V., Burkov A.A., Belyi V.A., Kuznetsov S.N., Martinson E.A. *Food Hydrocolloids*, 2017, vol. 65, pp. 77–86. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.10.042>.
63. Patent 2458148 (RU). 2012. (in Russ.).
64. Kudryavtsev A.V., Firsov A.S., Lozovan V.R., Golubev V.V., Pavlov M.N. *Zelenyy zhurnal-Byulleten' botanicheskogo sada Tverskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2019, no. 7, pp. 32–36. (in Russ.).
65. Rodionova N.S., Popov Ye.S., Zakharov V.S., Budnik S.I., Sakhno O.V. *Molochnaya promyshlennost'*, 2023, no. 3, pp. 49–52. <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2023-03-49-52>. (in Russ.).
66. Baskakov S.A., Baskakova Yu.V., Kabachkov E.N., Kichigina G.A., Kushch P.P., Kiryukhin D.P., Krasnikova S.S., Badamshina E.R., Vasil'ev S.G., Soldatenkov T.A. et al. *Molecules*, 2022, vol. 27(18), 6002. <https://doi.org/10.3390/molecules27186002>.
67. Zabat M.A., Sano W.H., Wurster J.I., Cabral D.J., Belenky P. *Foods*, 2018, vol. 7(5), 77. <https://doi.org/10.3390/foods7050077>.
68. Baskakov S.A., Baskakova Yu.V., Kabachkov Ye.N., Kichigina G.A., Kushch P.P., Kiryukhin D.P., Krasnikova S.S., Badamshina E.R., Soldatenkov T.A., Vasilets V.N., Milovich F.O., Shul'ga Yu.M. *Lesnoy vestnik*, 2023, vol. 27, no. 1, pp. 95–106. <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2023-1-95-106>. (in Russ.).
69. Sozinov O.V., Tkachenko K.G. *Borshchevik Sosnovskogo (Neracleum Sosnowskyi Manden.)*. Rekomendatsii i metody po bor'be s nim. [Sosnowsky's hogweed (Heracleum Sosnowskyi Manden.). Recommendations and methods for its control]. St. Petersburg, 2021, 68 p. (in Russ.).
70. Vurasko A.V., Ageyev M.A., Sivakov V.P. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2022, no. 1, pp. 289–298. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20220110121>. (in Russ.).
71. Nesterova N.V., Zhil'kov Yu.A., Yermakova V.Yu. *Farmatsevticheskoye delo i tekhnologiya lekarstv*, 2020, no. 3. <https://doi.org/10.33920/med-13-2003-04>. (in Russ.).
72. Pavlov A.V., Tarasov A.V., Solov'yeva O.Yu. *Chemical bulletin*, 2021, vol. 4, no. 2, pp. 7–16. (in Russ.).
73. Pavlov A.V., Solov'yev V.V. *Ot khimii k tekhnologii shag za shagom*, 2021, vol. 2, no. 2, pp. 81–88. [https://doi.org/10.52957/27821900\\_2021\\_02\\_81](https://doi.org/10.52957/27821900_2021_02_81). (in Russ.).
74. Buryndin V.G., Artomov A.V., Savinovskikh A.V., Shkuro A.Ye., Yershova A.S. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'*, 2021, no. 1, pp. 75–82. (in Russ.).
75. Tabarov F.S., Astakhov M.V., Kalashnik A.T., Klimont A.A., Krechetov I.S., Isaeva N.V. *Russian Journal of Electrochemistry*, 2019, vol. 55(4), pp. 265–271. <https://doi.org/10.1134/S1023193519020125>.
76. Voznyakovskiy A.P., Neverovskaya A.Yu., Voznyakovskiy A.A., Shugaley I.V. *Ekologicheskaya khimiya*, 2020, vol. 29, no. 4, pp. 190–195. (in Russ.).
77. Lakienko G.P., Bobyleva Z.V., Apostolova M.O., Sultanova Y.V., Dyakonov A.K., Zakharkin M.V., Antipov E.V. *Batteries*, 2022, vol. 8(10), 131. <https://doi.org/10.3390/batteries8100131>.
78. Karmanov A.P., Voznyakovskii A.P., Kocheva L.S. *Carbon Resources Conversion*, 2023, vol. 6, pp. 34–42. <https://doi.org/10.1016/j.ercon.2022.10.004>.
79. Ivanova T.A., Matveyeva T.N., Chanturiya V.A., Ivanova Ye.N. *Fiziko-tehnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*, 2015, no. 4, pp. 151–157. (in Russ.).
80. Ivanova T.A., Getman V.V., Koporulina Ye.V. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2019, no. 2, pp. 311–319. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2019024287>. (in Russ.).
81. Matveyeva T.N., Lantsova L.B., Gapchich A.O. *Tsvetnyye metally*, 2016, no. 8(884), pp. 20–24. <https://doi.org/10.17580/tsm.2016.08.02>. (in Russ.).
82. Abdumajitova S.A. *Results of National Scientific Research International Journal*, 2022, vol. 1(1), pp. 265–269. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6508403>.
83. Polina I.N., Mironov M.V., Belyy V.A. *Izvestiya VUZov. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya*, 2021, no. 4, pp. 15–19. <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20216404.6338>. (in Russ.).
84. Gramauskas G., Jasinskas A., Kleiza V., Mieldežys V.R., Blažauskas E., Souček J. *Processes*, 2023, vol. 11(7), 2097. <https://doi.org/10.3390/pr11072097>.

85. Zihare L., Soloha R., Blumberga D. *Agronomy Research*, 2018, vol. 16(3), pp. 923–935. <https://doi.org/10.15159/AR.18.102>.
86. Paramonova K., Ivanova T., Malik A. *Știința Agricolă*, 2021, vol. 2, pp. 105–108. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5844553>.
87. Polina I.N., Mironov M.V., Belyy V.A., Brovarova O.V. *ChemChemTech.*, 2022, vol. 65, no. 5, pp. 68–76. <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20226505.6462>.
88. Zihare L., Blumberga D. *Energy Procedia*, 2017, vol. 113, pp. 238–243. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.04.060>.
89. Patent 2458106 (RU). 2012. (in Russ.).
90. Stepina I.V., Sodomon M., Semenov V.S., Dorzhiyeva Ye.V., Kotlyarova I.A. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo*, 2021, no. 2(746), pp. 79–91. <https://doi.org/10.32683/0536-1052-2021-746-2-79-91>. (in Russ.).
91. Stepina I.V., Sodomon M. *Stroitel'nyye materialy*, 2022, no. 11, pp. 92–96. <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-808-11-92-96>. (in Russ.).
92. Bruyako M.G., Bessonov I.V., Gorbunova E.A., Govryakov I.S. *Construction Materials*, 2021, vol. 10, pp. 54–59. <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-796-10-54-59>.
93. Mel'nichenko A.A., Gal'tseva N.A. *XXIV Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya «Stroitel'stvo – formirovaniye sredy zhiznedeyatel'nosti»*. [XXIV International Scientific Conference "Construction - Formation of the Living Environment"]. Moscow, 2021, pp. 39–45. (in Russ.).
94. Patent 2766181C1 (RU). 2022. (in Russ.).
95. Musorina T.A., Naumova Ye.A., Shonina Ye.V., Petrichenko M.R., Kukolev M.I. *Vestnik MGSU*, 2019, vol. 14, no. 12, pp. 1555–1571. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2019.12.1555-1571>. (in Russ.).
96. Musorina T., Zaborova D., Petrichenko M., Stolyarov J. *Magazine of civil engineering*, 2021, vol. 7(107), 10709. <https://doi.org/10.34910/MCE.107.9>.

*Received January 15, 2024*

*Revised January 18, 2024*

*Accepted June 10, 2024*

#### Сведения об авторах

*Ашихмина Тамара Яковлевна* – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, заведующая лабораторией, [usr08619@vyatsu.ru](mailto:usr08619@vyatsu.ru)

*Товстик Евгения Владимировна* – кандидат биологических наук, доцент, старший научный сотрудник, [usr20174@vyatsu.ru](mailto:usr20174@vyatsu.ru)

*Адамович Татьяна Анатольевна* – кандидат географических наук, доцент, [usr08612@vyatsu.ru](mailto:usr08612@vyatsu.ru)

#### Information about authors

*Ashikhmina Tamara Yakovlevna* – Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher, Head of Laboratory, [usr08619@vyatsu.ru](mailto:usr08619@vyatsu.ru)

*Tovstik Evgeniya Vladimirovna* – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Senior Researcher, [usr20174@vyatsu.ru](mailto:usr20174@vyatsu.ru)

*Adamovich Tatyana Anatolyevna* – Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, [usr08612@vyatsu.ru](mailto:usr08612@vyatsu.ru)