

Потенциал биотических факторов в борьбе с распространением борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) (обзор)

© 2024. Т. Я. Ашихмина^{1,2}, д. т. н., г. н. с., зав. лабораторией,
Т. А. Адамович¹, к. г. н., доцент,
Е. В. Товстик¹, к. б. н., доцент, с. н. с.,
¹Вятский государственный университет,
610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, д. 36,
²Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения
Российской академии наук,
167982, Россия, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28,
e-mail: usr08619@vyatsu.ru

В данном обзоре рассмотрены естественные вредители, конкуренты борщевика Сосновского. Отдельное внимание уделено роли мутуализма в инвазивности борщевика. Существенно повреждают борщевик Сосновского вирус жёлтой пятнистости пастернака, личинки долгоносика-стеблееда (*Lixus iridis* (Olivier, 1807)), мухи-агромизиды (*Phytomyza pastinacae* (Hendel, 1923)), зонтичной моли (*Epermenia chaerophyllella* (Goeze, 1783)), совки (*Dasypolia temple* (Thunberg, 1792)), депрессарииды (*Depressaria radiella* (Goeze, 1783)), сельдерейной мухи (*Euleia heraclei* (Linnaeus, 1758)), пластинчатоусых жуков (*Oxythyrea funesta* (Poda, 1761)), гусеницы Махаона камчатского (*Papilio machaon* (Linnaeus, 1758)). Питаются соком борщевика – трипсы (*Thrips vulgatissimus* (Haliday, 1836)), листьями и стеблями – фрачник обыкновенный (*Lixus iridis*). К фитопатогенным грибам, повреждающим борщевик Сосновского, относят *Phoma complanata* ((Tode) (= *Calophoma complanata*)). Наиболее часто у борщевика при поражении грибами отмечают мучнистую росу, аскохитоз и цилиндроспороз. Отмечается роль разведения моллюсков и выпаса домашнего скота в сдерживании распространения борщевика. В связи с отсутствием конкуренции в окружающей среде обсуждается важность её искусственного создания. Рассмотрены примеры быстрорастущих многолетних трав, создающих плотную дернину, не дающую семенам борщевика прорасти. Среди них мятлик луговой (*Poa pratensis* L.), лисохвост луговой (*Alopecurus pratensis* L.), кострец безостый (*Bromus inermis* Leyss.), овсяница красная (*Festuca rubra* L.), тимофеевка луговая (*Phleum pratense* L.), райграс пастбищный (*Lolium perenne* L.), топинамбур (*Helianthus tuberosus* L.), козлятник восточный (*Galega orientalis* Lam.). На пустырях и заброшенных землях конкуренцию могут составить замещающие культуры – ель (*Picea abies* (L.) Karst.), сосна (*Pinus sylvestris* L.). Успех интродукции популяций борщевика зависит от наличия опылителей, распространения его семян животными и человеком; симбиоза с грибами и бактериями. Обсуждается возможность ограничения распространения борщевика посредством исключения видов, которые улучшают его приспособляемость. Сделано заключение о перспективности использования и необходимости дополнительных исследований биологических агентов контроля для снижения численности борщевика Сосновского и исключения негативных последствий для окружающей среды.

Ключевые слова: агенты биологического контроля, вирусы, насекомые, фитопатогенные грибы, конкуренция, многолетние травы, замещающие культуры.

Biotic factors' potential in controlling the spread of *Heracleum sosnowskyi* Manden. (review)

© 2024. T. Ya. Ashikhmina^{1,2} ORCID: 0000-0003-4919-0047
T. A. Adamovich¹ ORCID: 0000-0002-8684-927X
E. V. Tovstik¹ ORCID: 0000-0003-1861-6076
¹Vyatka State University,

36, Moskovskaya St., Kirov, Russia, 610000,

²Institute of Biology of Komi Scientific Centre
of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
28, Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, Russia, 167982,
e-mail: usr08619@vyatsu.ru

This review examines natural pests, competitors of the *Heracleum sosnowskyi*. Special attention is paid to the role of mutualism in the invasiveness of hogweed. the parsnip yellow spot virus, larvae of the weevil (*Lixus iridis* (Olivier, 1807)), agromyzid flies (*Phytomyza pastinacae* (Hendel, 1923)), umbrella moth (*Epermenia chaerophylla* (Goeze, 1783)), scoops (*Dasypolia temple* (Thunberg, 1792)), depressariids (*Depressaria radiella* (Goeze, 1783)), celery fly (*Euleia heraclei* (Linnaeus, 1758)), lamellate beetles (*Oxythyrea funesta* (Poda, 1761)), caterpillars of the Kamchatka Swallowtail (*Papilio machaon* (Linnaeus, 1758)) significantly damaged *Heracleum sosnowskyi*. *Thrips vulgatissimus* (Haldiday, 1836) feeds on the sap, while *Lixus iridis* eat leaves and stems of the above mentioned hogweed. *Phoma complanate* (Tode) (= *Calophoma complanate*) is a phytopathogenic fungi that damage *Heracleum sosnowskyi*. Powdery mildew, ascochytosis and cylindrosporosis are most common fungal diseases of the giant hogweed. Shellfish farming and livestock grazing curb the spread of hogweed. Due to the lack of competition in the environment, the importance of its artificial creation is discussed. The fast-growing perennial grasses create dense turf that prevents germinating of hogweed seeds. *Poa pratensis* L., *Alopecurus pratensis* L., *Bromus inermis* Leyss., *Festuca rubra* L., *Phlum pratense* L., *Lolium perenne* L., *Helianthus tuberosus* L., and *Galega orientalis* Lam. are among them. Replacement crops, such as *Picea abies* (L.) Karst. and *Pinus sylvestris* L., can compete in vacant lots and abandoned lands. The success of the hogweed populations introduction depends on the presence of pollinators, the spread of its seeds by animals and humans; symbiosis with fungi and bacteria. The possibility of limiting the spread of hogweed through the absence of species that improve its adaptability is discussed. It was concluded that biological control agents are promising to use and additional studies is needed to reduce the number of *Heracleum sosnowskyi* and eliminate negative consequences for the environment.

Keywords: biological control agents, viruses, insects, phytopathogenic fungi, competition, perennial grasses, replacement crops.

Борщевик Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) является причиной одной из самых проблемных инвазий в мире [1]. На территории Российской Федерации (РФ) это агрессивное растение в настоящее время распространяется быстро. Согласно подсчётам, в 31 субъекте РФ борщевик может занять более 50%, а в 7 – порядка 80% территории. Катастрофическая опасность складывается в пяти, очень высокая – в десяти, высокая – в четырёх регионах, включая Кировскую область [2].

Чужеродный для экосистем борщевик Сосновского представляет серьёзную угрозу для биоразнообразия местной флоры и фауны [3, 4]. Активно внедряясь в естественные местообитания и нарушая сукцессионные связи, он изменяет аборигенные экосистемы [5–8].

Для предотвращения распространения борщевика Сосновского разрабатываются различные стратегии. Согласно данным работы [9], в период с 2011 по 2017 г. в РФ исполнены не менее 477 контрактов по ликвидации зарослей инвазионного вида *H. sosnowskyi* на общую сумму 314 млн руб. В Кировской области с 2023 г. борьба с борщевиком, включающая химическую и механическую обработку, проводится в рамках реализации государственной программы развития агропромышленного комплекса региона. На эти цели из областного бюджета в последние годы выделяется порядка 32 млн руб. [10]. Однако ввиду нерешённости проблемы, актуальна разработка стратегий борьбы с борщевиком, в том числе опирающихся на потенциал биотических факторов [11].

Известно, что биотические взаимодействия между инвазивными и аборигенными

видами всех таксономических групп являются важнейшими посредниками динамики инвазий растений [12]. Обычно успех интродуцированных популяций зависит от взаимодействия растений с врагами, конкурентами и мутуалистами [13]. Внедрение естественных врагов (вирусов, бактерий, грибов, насекомых и т.п.) в качестве средств биологического контроля является экологически безопасным, рентабельным и устойчивым подходом к борьбе с инвазивными видами [14]. В то же время отсутствие вида, который негативно влияет на приспособляемость организма к факторам среды, также может ограничить процветание интродуцированной популяции в новом ареале [15].

Цель работы – систематизация информации о биотических факторах, оказывающих влияние на жизнеспособность борщевика Сосновского.

Объекты и методы исследования

Научные публикации для систематического обзора были отобраны путём запроса в научную электронную библиотеку e-library.ru, КиберЛенинка, поисковую систему по научным публикациям Академия Google. Поиск патентов проводили в Информационно-поисковой системе Федерального института промышленной собственности. Для систематизации информации использовали литературные источники, не ограниченные периодом исследования. В настоящем обзоре критерием отбора источников для систематизации информации служили ключевые слова «борщевик Сосновского», «внутривидовая и межвидовая

конкуренция», «биотические факторы», «консортивные связи».

Естественные враги борщевика Сосновского

Данные о потенциале естественных врагов борщевика Сосновского в качестве агентов биоконтроля достаточно ограничены.

Известно множество неклеточных организмов, поражающих дикорастущие растения, но в сообществах диких растений вирусные эпидемии обычно менее очевидны и менее распространены, чем у культурных растений [16]. Имеются отдельные сведения о встречаемости вирусов на некоторых видах *Heracleum sphondylium* L. Среди них вирус жёлтой пятнистости пастернака, переносимый тлей и поражающий зонтичные растения [17].

В качестве агентов биологического контроля определённую перспективу имеют фитофаги, обитающие во вторичном ареале борщевика Сосновского и оказывающие влияние на его вегетативное и генеративное развитие. Однако борщевик Сосновского в меньшей степени, чем другие растения семейства Umbelliferae, повреждается фитофагами [18]. Из 32 видов насекомых, собранных на борщевиках в Московской области, было выделено 5 фитофагов, наносящих вред этим растениям [19]. Среди них долгоносик-стеблеед *Lixus iridis* (Olivier, 1807) (Coleoptera). Этот вид распространён по всей территории европейской части страны [20, 21]. Установлено, что личинки данных жуков выгрызают богатые запасными питательными веществами ткани внутри стеблей борщевика. Чаще всего личинки *L. iridis* обнаруживаются в стеблях борщевика в нижней и средней части; при этом в маленьких экземплярах растений личинки встречаются чаще, чем в крупных [22].

К естественным врагам борщевика относятся личинки мухи-агромизиды *Phytomyza pastinacae* (Hendel, 1923) (Diptera). В ходе наблюдений, проведённых в условиях Московской области, выявлено, что вид имеет два поколения. Личинки мухи появляются в листьях борщевика в июне, лёт мух происходит в конце июля – августе, второе поколение личинок заканчивает развиваться в сентябре. Окукливание происходит в подстилке. Вылет имаго второго поколения происходит в октябре [23].

К насекомым, поражающим борщевик, относят гусениц зонтичной моли *Epermenia chaerophyllella* (Goeze, 1783) (Lepidoptera).

Они минируют листья, окукливаются под эпидермисом, нанося ощутимый вред растению [19].

К насекомым, поражающим борщевик, относят личинки буровницы борщевичной или сельдерейной мухи (*Euleia heraclei* (Linnaeus, 1758)). Наблюдения, проведённые в условиях Московской области, позволили установить, что весной личинки *E. heraclei* повреждают листья дикорастущих и культурных зонтичных растений двухлетнего возраста, в конце лета и осенью – листья годовалых растений. Серьёзный вред (от 30 до 70% поражённых листьев), наносимый личинками *E. heraclei* молодым растениям борщевика Сосновского, отмечается осенью [24]. Минирующие ходы личинки, а иногда и её саму, можно заметить внутри листьев борщевика в виде светлых пятен или линий на просвет солнечными лучами. Однако стоит отметить, что личинки этого фитофага активно повреждают не только листья борщевика, но и листья пастернака, сельдерея и других зонтичных культур [25], что необходимо учитывать при выборе *E. heraclei* в качестве агента биологического контроля.

К насекомым, выгрызающим завязи борщевика Сосновского, относят пластинчатоусых жуков (*Oxythyrea funesta* (Poda, 1761)). Однако этот полифаг наносит вред не только борщевика, но и яблоням, а также шиповнику. Вид отмечен также на дуднике лесном и одуванчике [19].

В качестве корма борщевик Сосновского используют гусеницы Махаона камчатского (*Papilio machaon* (Linnaeus, 1758)) [26, 27]. Их выживаемость при питании на борщевике составляет 35%, тогда как на других зонтичных гусеница в природе может не закончить цикл своего развития [28].

Борщевик является основным кормовым растением для *Depressaria radiella* (Goeze, 1783) в зоне средней тайги (Республика Коми) [19]. Данный вид тлей встречается в основном на пустырях и опушках лесов (на 20–40% растений) и не отмечен в зоне городской застройки и вдоль автомобильных дорог. Максимальная повреждаемость соцветий *H. sosnowskyi* имаго может достигать 30%. На борщевике Сосновского гусеницы этого вида отмечены в первой декаде июля и встречаются до середины августа. Кроме этого, на борщевике Сосновского встречаются колонии тлей, численность которых может достигать от 1 до 5 тыс. особей. Соцветия *H. sosnowskyi* в результате повреждения тлей могут засыхать и практически не формировать семян.

Thrips vulgatissimus (Haliday, 1836) (Thysanoptera, Thripidae) широко распространён в Евразии, Северной Америке, в России отмечен на цветках и цветоножках борщевика Сосновского (до 20–100 особей на одном цветонесе). Данный вид встречается вместе с тлями. *Thrips vulgatissimus* питается соком борщевика и оставляет повреждения на листьях. Первые повреждения на листьях борщевика в условиях Республики Коми отмечаются в начале августа, когда устанавливается прохладная и сырая погода. К концу августа повреждённость листьев достигает в отдельных случаях до 90% [29, 30].

Использование фитопатогенных грибов как агентов биологического контроля может являться одним из альтернативных способов борьбы с борщевиком Сосновского. Кроме того, отмечается возможность применения для борьбы с борщевиком препаратов на основе микроскопических грибов совместно с синтетическими гербицидами [31].

В настоящее время выделены штаммы грибов, обладающие микогербицидной активностью и перспективные в борьбе с борщевиком Сосновского. Среди них штамм гриба *Phoma complanata* (Tode) Desm. 1.40 (ВИЗР) (= *Calophoma complanata*). Данный штамм проявляет высокую патогенность в отношении борщевика Сосновского. В лабораторных условиях обработка растений споровой суспензией штамма позволила достичь интенсивности развития заболевания более чем 45%, а при обработке мицелиальной суспензией – более 60%. В полевых условиях обработка растений мицелиальной суспензией штамма приводила к 40% поражению растений [32]. Установлено, что мицелий *Calophoma complanata* поражал розеточные листья растений первого года и листья растений в генеративной фазе развития, отмечена большая восприимчивость листьев растений первого года. При изучении инфекционного процесса обнаружено, что конидии могут прорасти на поверхности листьев, но не способны проникать в ткани растения. При заражении листьев мицелием проникновение гиф происходит через устьица или стыки эпидермальных клеток [33].

В рамках разработки биологического метода борьбы на территории Ленинградской области выявлено 27 видов микроскопических грибов, поражающих растения рода *Heracleum*, в том числе и борщевик Сосновского.

Наиболее распространёнными болезнями борщевика Сосновского в Ленинградской области являются мучнистая роса (повреждает

до 20% листьев), аскохитоз (нарушает нормальное развитие растения) и цилиндроспороз (поражает до 35% листьев) [34].

В ходе полевых обследований, проведённых на территории Тверской области, были выявлены повреждения у растений борщевика несколькими видами брюхоногих моллюсков. Особенно сильные – отверстия на листьях – были сделаны сетчатым слизнем (*Agriolimax reticulatus* Müll) [35].

Следует отметить, что данный вид моллюсков поедает не только листья борщевика, но и прорастающие семена, молодые побеги, листья, плоды, всходы овощных, зерновых, технических культур и многолетних трав [36]. В связи с этим, при рассмотрении моллюсков в качестве агентов биологического контроля, необходимо также контролировать их численность. Например, первоначально возможен сбор улиток и «икры» моллюсков-аборигенов, переселённых на борщевик. На перспективу реально организовать фермы вблизи борщевика и пастбища для выращивания «стандартных улиток», которые уже признаны деликатесом.

Одним из методов сдерживания распространения борщевика может являться выпас домашнего скота (коровы, козы, овцы). Преимуществом этого метода является то, что он не наносит вреда окружающей среде. Кроме того, он может помочь в сохранении здоровья животных и обеспечении дополнительного источника пищи [37–39]. В сыром виде зелёную массу борщевика после её скашивания подают все животные, кроме лошадей. Зелёная масса его содержит 19–23% сахаров в расчёте на абсолютно сухое вещество. Борщевик хорошо силосуется. Силос имеет хорошие кормовые достоинства, у него приятный запах квашеных овощей, хороший вкус и оптимальное соотношение органических кислот [40]. Однако, в результате его использования у молока и мяса появляется неприятный горький привкус и специфический запах. Кроме того, борщевик оказывает негативное воздействие на репродуктивную систему животных. По этим причинам со временем аграрные комплексы перестали использовать силос, приготовленный из данного растения. Выпас крупного рогатого молочного скота на пастбищах с участием борщевика вызывает поражение открытых участков покровных тканей: вымени и головы [41]. При выпасе скота на участках с зарастанием борщевика отмечается растрескивание капилляров и слабое кровотечение, что приводит к изменению окраски молока от

снежно-белого у здоровых коров до светло-розового цвета у животных с поражёнными участками вымени.

Конкуренты борщевика Сосновского

Согласно ретроспективному анализу спутниковых изображений ежегодный рост площадей зарослей борщевиков в экспоненциальной фазе роста численности ценопопуляции может достигать 20% [42]. Основная причина заключается в отсутствии конкуренции с другими видами в окружающей среде. В связи с этим целесообразно искусственно создавать конкуренцию.

Естественными конкурентами для борщевика Сосновского могут быть быстрорастущие многолетние травы, создающие плотную дернину, не дающую семенам борщевика прорасти [43]. В качестве задерживающих трав-доминантов, после предварительной вспашки рекомендуется использовать мятлик луговой (*Poa pratensis* L.), лисохвост луговой (*Alopecurus pratensis* L.), кострец безостый (*Bromus inermis* Leyss.), овсяницу красную (*Festuca rubra* L.) [44], тимофеевку луговую (*Phleum pratense* L.), райграс пастбищный (*Lolium perenne* L.) с нормой высева семян 150 кг/га. Сеяные многолетние травы препятствуют проникновению света к прорастающим растениям борщевика и являются конкурентами борщевика в поглощении из почвы влаги и питательных веществ, а скашивание фитоценозов с содержанием в нём этого злостного сорняка предотвращает его обсеменение [45]. Данные культуры обладают значимыми сельскохозяйственными свойствами, а также характеристиками, благодаря которым при обеспечении должного технологического ухода со стороны человека потенциально могут подавлять произрастание растений борщевика Сосновского [46].

Известным конкурентом борщевика является топинамбур (*Helianthus tuberosus* L.). Эта многолетнее травянистое растение – одна из самых высокоурожайных культур в мире: до 200 т/га зелёной массы и 150 т/га клубней [47]. За счёт больших листьев и высоты ствола, достигающей до 2–4 м, растения топинамбура способны перекрывать солнечный свет борщевика, не давая ему разрастаться. Неприхотливость топинамбура позволяет ему успешно произрастать на всех типах почв, за исключением сильнокислых и заболоченных. Ни в одной зоне возделывания у топинамбура пока нет вредителей [48]. Однако, как и борщевик,

топинамбур является инвазивным видом, который вне пределов культивирования относительно быстро формирует монодоминантные группировки, вытесняя даже такие виды как крапива [49]. По сравнению с борщевиком, он не опасен для человека и животных, его можно использовать для производства фитопрепаратов, биокорректоров, продуктов функционального и диетического питания, биоэтанола и другой продукции, пользующейся повышенным спросом на внутреннем и внешних рынках [50]. В качестве альтернативы топинамбуру можно использовать также козлятник восточный (*Galega orientalis* Lam.). На особо плодородных почвах высота растения может достигать 1,5 м. Растения этого вида могут произрастать на различных типах почв, формируя хорошо развитую корневую систему, которая может уходить в глубину до 80 см и давать отростки. Формируя новые стебли, посевы данной культуры со временем загущаются, что делает данную культуру эффективной для борьбы с борщевиком [46].

Учитывая тот факт, что на инвазивность борщевика Сосновского оказывает влияние плотность фитоценозов, в рамках борьбы с его распространением рекомендуют высевать на полях виды, формирующие плотный травостой. Среди них щетинник сизый (*Setaria glauca* (L.) Beauv.), овсяница луговая (*Festuca pratensis* Huds.), ежа сборная (*Dactylis glomerata* L.), тимофеевка луговая (*Phleum pratense* L.), одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale* Wigg.) и другие [51].

Борщевик часто встречается на пустырях и заброшенных землях. Борьба с этим сорняком на таких пустых участках поможет высадка замещающих культур [52], в том числе ели (*Picea abies* (L.) Karst.) и/или сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Высаживают 3–10-летние саженцы этих деревьев с шагом 1–1,5 м с расстоянием между рядами 1–2 м. При смыкании крон замещающих культур происходит вытеснение борщевика Сосновского из фитоценоза.

Мутуализм в инвазивности борщевика Сосновского

Биотическое опыление имеет особую значимость для полового размножения цветковых растений. Оно позволяет поддерживать генетическое разнообразие, стимулирует адаптацию растений. Представители зонтичных (Asteraceae) взаимодействуют с чрезвычайно широким кругом как просто посетителей,

использующих цветки как место отдыха или объект для лимфофагии, так и опылителей. У борщевика Сосновского это жуки – олёнка зловонная (*Oxythyrea funesta* (Poda, 1761)) и мягкотелка рыжая (*Rhagonycha fulva* (Scopoli, 1763)), мухи-журчалки – журчалка осовидка (*Temnostoma vespiforme* (Linnaeus, 1758)), мускоидные мухи – муха комнатная (*Musca domestica* (Linnaeus, 1758)), иные – оса рода Бетелида (*Bethylida* sp.), иные пчёлы – пчёлы р. Андрина (*Andrena* sp.), медоносные пчёлы – пчела медоносная (*Apis mellifera* (Linnaeus, 1758)) [53].

Известны насекомые – паразиты и хищники, находящиеся на борщевике хозяев и жертв. К этой группе относится ихневмонида *Triclistus pallipes* (Holmgren, 1873), личинки которой паразитируют на гусеницах зонтичной моли *E. chaerophyllella*. Складчатокрылые осы *Dolichovespula saxonica* (Fabricius, 1793), помимо питания на цветках борщевика, попутно могут охотиться на мух или собирать мелких гусениц. Роющие осы-краброниды *Gorytes quinquecinctus* (Fabricius, 1793), добычей которых являются цикадки, могут также использовать борщевик для охоты. Из мух-тахин только один вид – *Strongygaster globula* (Meigen, 1824), паразит взрослых муравьёв р. *Lasius* – может как питаться на растении, так и искать на нём хозяина [49].

По сравнению с другими зонтичными растениями (например, с *Seseli libanotis*) на соцветиях борщевика отмечается большее видовое разнообразие насекомых. Это указывает на то, что борщевик Сосновского способен эффективно конкурировать с местными видами зонтичных за привлечение насекомых-опылителей [53].

В связи с большой значимостью опылителей борьбу с борщевиком Сосновского возможно вести посредством уничтожения его опылителей, в том числе с помощью фитофагов [54].

Борщевик Сосновского размножается при помощи семян. В среднем одно растение борщевика даёт до 20000 семян, большинство которых из-за сравнительно большой массы опадают и прорастают вблизи материнской особи. Однако отмечается значимая роль в распространении семян человеком на одежде, обуви; животными на шкуре [55, 56]. Достоверные сведения о том, что семена поедаются и разносятся птицами, отсутствуют [57].

Способствуют росту растений, а, следовательно, масштабированию инвазивности, ассоциации грибов или бактерий с борщевиком

(микоризные или ризобияльные симбиозы соответственно). Сравнение аборигенных дрожжевых сообществ в почвах под борщевиком с соседней луговой растительностью позволило выявить в них более низкую долю аскомицетовых видов *Candida vartiovaarae* (Capr.) и *Wickerhamomyces anomalus* (Hansen, 1889), более высокую – дрожжеподобных грибов, обладающих высокой гидролитической активностью (*Trichosporon moniliforme* и *Trichosporon porosum*) [58]. С высокой представленностью в ризосфере и ризоплане актиномицетов, для которых характерна антифунгальная активность, связывают инвазивность *H. sosnowskiji* [59, 60].

Заключение

Регуляция численности борщевика Сосновского возможна посредством агентов биологического контроля: неклеточных организмов, фитофагов, насекомых-паразитов, фитопатогенных грибов, брюхоногих моллюсков.

Для сдерживания распространения борщевика Сосновского важно создавать межвидовую конкуренцию со стороны других растений. Эффективными конкурентами, из числа описанных в литературе агентов биологического контроля, могут быть быстрорастущие многолетние травы, формирующие плотную дернину (мятлик луговой, лисохвост луговой, кострец безостый и др.); перекрывающие доступ к свету (козлятник восточный и топиамбур). Для вытеснения борщевика с пустырей и заброшенных земель рекомендуется высаживать хвойные деревья, которые при смыкании крон будут угнетать его рост.

Ограничить распространение борщевика также возможно посредством уничтожения его опылителей. Однако данный способ несёт более негативные последствия для окружающей среды, чем инвазия борщевика.

Таким образом, использование имеющихся данных о биологических агентах контроля в борьбе с борщевиком Сосновского имеет определённую перспективу. Однако экспериментальный потенциал о влиянии биотических факторов на снижение численности борщевика Сосновского пока крайне ограничен, в связи с этим существует необходимость в дополнительных научных исследованиях. Перед их применением необходимо убедиться в безопасности для окружающей среды.

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 № 122040100032-5.

References

1. Grzędzicka E. Invasion of the giant hogweed and the Sosnowsky's hogweed as a multidisciplinary problem with unknown future – a review // *Earth*. 2022. V. 3. No. 4. P. 287–312. doi: 10.3390/earth3010018
2. Petrova I.F., Koroleva E.G. Assessment of the distribution of Sosnowsky's hogweed in Russia // *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya*. 2022. V. 86. No. 5. P. 788–798 (in Russian). doi: 10.31857/S2587556622050090
3. Chadin I., Dalke I., Zakhochiy I., Malyshev R., Madi E., Kuzivanova O., Kirillov D., Elsakov V. Distribution of the invasive plant species *Heracleum sosnowskyi* Manden. in the Komi Republic (Russia) // *PhytoKeys*. 2017. V. 77. P. 71–80. doi: 10.3897/phytokeys.77.1186
4. Kuklina A.G., Ozerova N.A., Shvetsov A.N., Shaykina M.N., Yolkina E.S. Trends in the settlement of invasive plant species on the territory of the nature sanctuary “Forested Ravine near the Village of Vlasievo” (Moscow Oblast) // *Russ. J. Biol. Invasions*. 2024. V. 15. P. 63–72. doi: 10.1134/S2075111724010089
5. Bogdanov V.L., Nikolaev R.V., Shmeleva I.V. Invasion of the environmentally dangerous plant Sosnowsky's hogweed (*Heracleum Sosnowskyi* Manden.) in the European part of Russia // *Regionalnaya ekologiya*. 2014. No. 1–2(131). P. 43–52 (in Russian).
6. 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 Timiryazevskoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2015. No. 2. P. 36–49 (in Russian).
7. Kaplin V.G. Distribution of an invasive species of *Heracleum sosnowskyi* Manden. (Apiaceae) in Leningrad oblast // *Russ. J. Biol. Invasions*. 2023. V. 14. No. 3. P. 338–353. doi: 10.1134/S2075111723030086
8. Sinitsyna A. The motherland of the giant hogweed: how giant hogweed became a botanical symbol of contemporary Russia // *Lagoonscapes*. 2023. V. 3. No. 1. P. 61–76. doi: 10.30687/LGSP/2785-2709/2023/01/006
9. Dalke I.V., Chadin I.F., Zakhochiy I.G. Analysis of management activities on control of Sosnowskyi's hogweed (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) invasion on the territory of the Russian Federation // *Russ. J. Biol. Invasions*. 2018. V. 11. No. 3. P. 44–61 (in Russian).
10. Throughout the Kirov region there is a fight against hogweed [Internet resource] <https://www.kirovreg.ru/> (Accessed: 10.06.2024) (in Russian).
11. Ashikhmina T.Ya., Tovstik E.V., Adamovich T.A. Ecological factors determining the natural and anthropogenic invasion of *Heracleum sosnowskyi* Manden., measures to combat it (review) // *Theoretical and Applied Ecology*. 2023. No. 2. P. 20–31 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2023-2-020-031
12. Traveset A., Richardson D.M. Plant invasions: the role of biotic interactions – an overview // *Plant Invasions: The Role of Biotic Interactions* / Eds. A. Traveset, D.M. Richardson. CAB International, Wallingford, 2020. P. 1–25. doi: 10.1079/9781789242171.0001
13. Mitchell Ch.E., Agrawal A.A., Bever J.D., Gilbert J.S., Huffbauer R.A., Klironomos J.N., Maron J.L., Morris W.F., Parker I.M., Power I.J., Seabloom E.W., Torchin M.E., Vázquez D.P. Biotic interactions and plant invasions // *Ecol. Lett.* 2006. V. 9. No. 6. P. 726–740. doi: 10.1111/j.1461-0248.2006.00908.x
14. Stenber J.A., Sundh I., Becher P.G., Björkman C., Dubey M., Egan P.A., Friberg H., Gil J.F., Jensen D.F., Jonsson M., Karlsson M., Khalil S., Ninkovic V., Rehmann G., Vetukuri R.R., Viketoft M. When is it biological control? A framework of definitions, mechanisms, and classifications // *J. Pest Sci.* 2022. V. 94. P. 665–676. doi: 10.1007/s10340-021-01354-7
15. Nathan P., Economo E.P., Guénard B., Simonsen A.K., Frederickson M.E. Generalized mutualisms promote range expansion in both plant and ant partners // *Proc. R. Soc. B*. 2023. V. 290. No. 2006. Article No. 20231083. doi: 10.1098/rspb.2023.1083
16. Cooper I., Jones R.A.C. Wild plants and viruses: under-investigated ecosystems // *Adv. Virus Res.* 2006. V. 67. P. 1–47. doi: 10.1016/S0065-3527(06)67001-2
17. Bem F., Murant A.F. Transmission and differentiation of six viruses infecting hogweed (*Heracleum sphondylium*) in Scotland // *Ann. Appl. Biol.* 1979. V. 92. No. 2. P. 237–242. doi: 10.1111/j.1744-7348.1979.tb03869.x
18. Sokornova S.V., Afonin A.N., Maximova E.B., Pervushin A.L. Influence of temperature and humidity parameters on infection of the giant hogweed (*Heracleum sosnowskyi*) by mycelium phytopathogenic fungus *Phoma complanata* // *Problems of mycology and phytopathology in the XXI century: materialy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii, posvyashchennoy 150-letiyu so dnya rozhdeniya chlena-korrespondenta AN SSSR, professora Artura Arturovicha Yachevskogo*. Sankt-Peterburg: Copi-R Group, 2013. P. 250–252 (in Russian).
19. Krivosheina M.G. Insects – pests of Sosnovski's hogweed in the Moscow region and prospects for their use in biological control // *Russ. J. Biol. Invasions*. 2011. V. 4. No. 1. P. 44–51.
20. Luneva N.N. Sosnovskyi's hogweed in the Russian Federation // *Zashchita i karantin rasteniy*. 2014. No. 3. P. 12–18 (in Russian).
21. Pavlov A.V., Ermakova K.V., Dolgoplov I.E. Frachnik larvae are natural pests of Sosnovsky's hogweed // *Natural science: research and teaching: materialy konferentsii “Chteniya Ushinskogo”*. Yaroslavl: RIO YAGPU, 2020. P. 242–246 (in Russian).

22. Volovnik S.V. On connections between lixine weevils and different plant organs (*Coleoptera, Curculionidae, Lixinae*) // Caucasian Entomological Bull. 2008. V. 4. No. 1. P. 87–91 (in Russian). doi: 10.23885/1814-3326-2008-4-1-87-91
23. Krivosheina M.G. New data on the biology and distribution of the agromysid fly *Phytomyza pastinacae* Hendel, 1923 (Diptera: Agromyzidae) // Caucasian Entomological Bull. 2012. V. 8. No. 2. P. 319–320 (in Russian). doi: 10.23885/1814-3326-2012-8-2-319-320
24. Krivosheina M.G., Ozerova N.A. To the biology of celery fly *Euleia heraclei* (Linnaeus, 1758) (Diptera: Tephritidae) – pest of alien Apiaceae species in Moscow Region // Russian Entomol. J. 2016. V. 25. No. 2. P. 209–213. doi: 10.15298/rusentj.25.2.08
25. Lazarev A.M. Watch out – Sosnovsky's hogweed! // Zashchita i karantin rasteniy. 2013. No. 8. P. 50–52 (in Russian).
26. Pisareva M.V., Akinshin P.I. *Heracleum Sosnovskii* in Paratunka sanatorium-resort zone (Eastern Kamchatka) // Conservation of biodiversity of Kamchatka and coastal waters: materials of XVIII international scientific conference, dedicated to the 70th anniversary of P.A. Khomentovskiy's birthday. Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpress, 2017. P. 252–255 (in Russian).
27. Filippov D.A. *Papiliomachaon linnaeus*, 1758 (Insecta, Lepidoptera, Papilionidae) in the Vologda region // International Journal of Applied and Fundamental Research. 2015. No. 8–4. P. 697–701 (in Russian).
28. Shklyarevich G.A. On the ecology of the swallowtail *Papilio machaon* L. on the Kola Peninsula // Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennye i tekhnicheskie nauki. 2008. No. 1 (90). P. 83–86 (in Russian).
29. Kudryavtseva E.N. Ecological monitoring and phytosanitary rehabilitation of natural and anthropogenically modified landscapes of the central and northwestern regions of Russia infested with giant hogweed: Cand. biol. sci. diss. Abstr. Moskva, 2013. 28 p. (in Russian).
30. Pestov S.V., Filippov N.I. Phytophages of Sosnovsky's hogweed (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) in the Komi Republic // Actual issues of agrarian science: theory and practice: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 70-letiyu agronomicheskogo fakulteta. Kirov: Vyatskaya GSKhA, 2014. P. 149–151 (in Russian).
31. Pavlova N.A., Berestetskiy A.O. Selection of herbicides for joint use with the fungus *Calophoma complanata* against Sosnovsky's hogweed on non-arable lands // Current Mycology in Russia. V. 9. Materialy pyatogo sezda mikologov Rossii. Moskva: Natsionalnaya akademiya mikologii, 2022. P. 400–402 (in Russian).
32. Gasich E.L., Khlopunova L.B., Berestetskiy A.O., Sokornova S.V. Strains of fungi *Phoma complanata* (Tode) Desm. 1.40 (AIPP) myco-herbicidal active against hogweed Sosnowski // Patent RU 2439141 C1. Application: 2010140887/10, 2010.10.06. Date of publication: 01.10.2012. Bull. 1 (in Russian).
33. Gasich E.L., Khlopunova L.B., Berestetskiy A.O. Effect of ecological factors on *Calophoma complanata* pathogenicity for *Heracleum sosnowskyi* // Mikologiya i fitopatologiya. 2018. V. 52. No. 3. P. 207–216 (in Russian).
34. Vakhrusheva T.E., Pereverzev D.S. Diseases and pests of Siberian hogweed // Zashchita rasteniy. 1984. No. 3. P. 53 (in Russian).
35. Kudryavtsev N.A., Krutin A.A., Kudryashov O.D. Innovative approach to limiting the spread of giant hogweed and the possibility of its use in the national economy (including in the cultivation of mollusks) // Innovative technologies in agro-industrial complex of the region: achievements, problems, prospects of development: sbornik nauchnykh trudov po materialam Natsionalnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Tver: FGBOU VO Tverskaya GSKhA, 2021. P. 207–210 (in Russian).
36. Temreshev I.I., Kopzhasarov B.K., Beknazarova Z.B., Isina Zh.M., Dzhanbatyrov A.Sh. New and little-known invertebrate species that damage cultivated apple tree (*Malus domestica*) and sivers apple tree (*Malus sieversii*) in the southeast of Kazakhstan. Message 1. Mollusca // Bulletin of the L.N. Gumilyov ENU. Bioscience Series. 2022. No. 2 (139). P. 29–43. doi: 10.32523/2616-7034-2022-139-2-29-43 (in Russian).
37. Tkachenko K.G. *Heracleum L. genus* – economic plants // Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya: Biologiya. Nauki o Zemle. 2014. No. 4. P. 27–32 (in Russian).
38. Zhuk A.A., Odinaevs F. Methods of combating hogweed (*Heracleum spondylium*) and the possibility of their application in the Kaliningrad region // Vestnik Baltiyskogo federalnogo universiteta im. I. Kanta. Ser.: Estestvennye i meditsinskie nauki. 2023. No. 2. P. 75–83. doi: 10.5922/gikbfu-2023-2-6 (in Russian).
39. Prokhorov V.N., Laman N.A., Babkov A.V., Sak M.M. Measures to limit the spread of Sosnovsky's hogweed (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) // Problems of greening of large cities: sbornik materialov XXI Mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskogo foruma. Moskva: Izdatelstvo “Pero”, 2019. P. 76–79 (in Russian).
40. Kalugina E.A. Positive and negative effects of hogweed in animal husbandry // Information technologies as a basis for effective innovative development: sbornik statey Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Ufa: OMEGA SCIENCE, 2023. P. 93–95 (in Russian).
41. Yakushenko O.S., Mechukaev A.A. The influence of eating Sosnovsky's hogweed on the quality of sour-milk products and skin lesions of cattle in the conditions of natural forage lands in the foothills of the Kabardino-Balkarian Republic // Achievements of young scientists in the development of agricultural science and the agro-industrial complex: materialy VIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh.

Solenoe Zaymishche: FGBNU “PAFNTs RAN”, 2019. P. 225–230 (in Russian).

42. Dalke I.V., Chadin I.F. Modeling the rate of increase in the area of cenopopulations of *Heracleum sosnowskyi* Manden. and *Heracleum mantegazzianum* Sommier & Levier // Russ. J. Biol. Invasions. 2023. V. 16. No. 3. P. 30–47 (in Russian). doi: 10.35885/1996-1499-16-3-30-47

43. Semchuk N.N., Balun O.V., Gladkikh S.N., Perekopsky A.N. Destruction of an invasive species Sosnowsky’s hogweed by ecological means // AgroEkoInzheneriya. 2022. No. 4 (113). P. 104–110 (in Russian).

44. Chadin I.F., Dalke I.V. Method of destruction of thicket giant hogweed on non-agricultural land // Patent RU 2399204 C2. Application: 2008136427/12, 09.09.2008. Date of publication: 20.09.2010. Bull. 26 (in Russian).

45. Bogdanov V.L., Shmeleva I.V., Glushchenko A.B., Korolev A.V., Kuts A.Yu., Severyanov K.D. The ways of control distribution of *Heracleum sosnowskyi* Manden. in-troducenta // Regional Environmental Issues. 2007. No. 2. P. 78–85 (in Russian).

46. Zelenkov N.A., Fomin D.S., Zubarev Yu.N. Use of mediator plants to combat Sosnowski’s hogweed // Farming and crop protection technologies: intellectual, innovative and digital resources: materialy III Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Perm: Izd-vo IPTs “Prokrost”, 2023. P. 121–125 (in Russian).

47. Starovoytov V.I., Starovoytova O.A., Zvyagintsev P.S., Lazunin Yu.T. Jerusalem artichokes – the culture of multipurpose use // Pishchevaya promyshlennost. 2013. No. 4. P. 22–25 (in Russian).

48. Titok V., Veevnik A., Yaroshevich M. Jerusalem artichoke – a crop with multifunctional purpose // Nauka i innovatsii. 2014. No. 135. P. 26–28 (in Russian).

49. Chumakov L.S., Maslovsky O.M., Rybko N.G. Potentially dangerous invasive plant species *Impatiens glandulifera* Royle and *Helianthus tuberosus* L. in Belarus // Introduction, conservation and utilization of biological diversity of flora: materialy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii, posvyashchennoy 90-letiyu Tsentralnogo botanicheskogo sada Natsionalnoy akademii nauk Belarusi. Minsk: Beltamozhservic, 2022. P. 488–491 (in Russian).

50. Kholomkina Y.I., Pashkov A.N., Kartashova N.M., Cheprasova A.A., Parfenova N.V. The influence of allelopathic properties of Sosnowsky hogweed on the germination of seeds of weeds and cultivated plants // Proceedings of conferences of the State Research Institute “Natsrazvities”: collection of selected papers. Sankt-Peterburg: GNI “Natsrazvities”, 2021. P. 16–18 (in Russian).

51. Luneva N.N. *Heracleum sosnowskyi* in Russia: present status and relevance of its fastest suppression // Vestnik zashchity rasteniy. 2013. No. 1. P. 29–43 (in Russian).

52. Stepanov G.P. Method for destruction of Sosnowsky’s hogweed // Patent RU (11) 2 706 466(13) C1. Application: 2019101296, 15.01.2019. Date of publication: 19.11.2019. Bull. 32 (in Russian).

53. Dorohin D.M., Lysenkov S.N., Elumeeva T.G. Comparison of ranges of insects visiting some Apiaceae species in Moscow oblast // Byulleten Moskovskogo obshchestva ispytateley prirody. Otdel biologicheskoy. 2019. V. 124. No. 2. P. 25–34 (in Russian).

54. Ustinova E.N., Savina K.A., Lysenkov S.N. New data on consortive associations of *Heracleum sosnowskyi* with anthophilous insects // Russ. J. Biol. Invasions. 2017. V. 10. No. 3. P. 98–112 (in Russian).

55. Linkov V.V. Agrotechnological and selection-genetic bases for the elimination of introduced Sosnowsky’s hogweed from the natural environment of the distribution area // Innovatsionnoye razvitiye APK: problemy i perspektivy: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Smolensk: Smolenskaya gosudarstvennaya sel’skokhozyaystvennaya akademiya, 2015. P. 369–376 (in Russian).

56. Arepieva L.A., Arepiev E.I., Kazakov S.G. Distribution of Sosnowsky’s hogweed (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) at the southern border of its secondary range in European Russia // Russ. J. Biol. Invasions. 2021. V. 12. P. 233–243. doi: 10.1134/S2075111721030024

57. Krivosheina M.G., Ozerova N.A., Petrosyan V.G. Distribution of seeds of giant hogweed (*Heracleum Sosnowskyi* Manden.) in the winter period // Russ. J. Biol. Invasions. 2020. No. 3. P. 22–31 (in Russian).

58. Glushakova A.M., Kachalkin A.V., Chernov I.Yu. Soil yeast communities under the aggressive invasion of Sosnowsky’s hogweed (*Heracleum sosnowskyi*) // Pochvovedenie. 2015. No. 2. P. 221–227 (in Russian). doi: 10.7868/S0032180X15020045

59. Tovstik E.V., Shirokih A.A., Shirokih I.G. Microbiological communities of the root zone of Sosnowsky’s hogweed // Vestnik sovremennykh issledovaniy. 2018. No. 10.7 (25). P. 184–186 (in Russian).

60. Tovstik E.V., Sazanov A.V., Bakulina A.V., Shirokih I.G., Ashikhmina T.Ya. Identification and study of the properties of *Streptomyces geldanamycininus* 3K9, isolated from the soil under the bush of *Heracleum sosnowskyi* // Theoretical and Applied Ecology. 2019. No. 2. P. 53–60 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2019-2-053-060