

2019 №4



Российский
Журнал
Биологических
Инвазий

<http://www.sevin.ru/invasjour/>



Институт проблем экологии и эволюции
имени А.Н. Северцова
Российской Академии Наук

Российский Журнал Биологических Инвазий

(ISSN – 1996–1499)

Основан в январе 2008 г.

Выходит 4 раза в год

Главный редактор

академик РАН Дгебуадзе Юрий Юлианович

Заместитель главного редактора

д.б.н., Петросян Варос Гагаринович

Ответственный секретарь

к.б.н., Цергунова Наталья Николаевна

Редакционная коллегия

к.б.н., Бобров В.В., д.б.н., Виноградова Ю.К., д.б.н., Давидович Петр,
д.б.н., Дзиаловски Эндрю, д.б.н., Звягинцев А.Ю., д.б.н., Ижевский С.С., д.б.н., Косой М.Ю.,
д.б.н., Краснов Б.Р., д.б.н., Крылов А.В., к.б.н., Масляков В.Ю., д.б.н., Миллер Даниил,
к.б.н., Морозова О.В., академик РАН, Павлов Д.С., д.б.н., Пельгунов А.Н.,
д.б.н. Ричардсон Дэвид, к.б.н., Слынько Ю.В., д.б.н., Телеш И.В., к.б.н., Фенева И.Ю.,
к.б.н., Хляп Л.А., д.б.н., Чжибинь Чжан, д.б.н., Шиганова Т.А., д.б.н., Щербина Г.Х.

Тематика журнала

Теоретические вопросы биологических инвазий (теория, моделирование, результаты наблюдений и экспериментов): инвазионные коридоры, векторы инвазий, адаптации видов–вселенцев, уязвимость аборигенных экосистем, оценка риска инвазий, генетические, экологические, биологические, биогеографические и эволюционные аспекты влияния чужеродных видов на биологическое разнообразие биосистем различных уровней организации.

Мониторинг инвазионного процесса (сообщения о нахождении организмов за пределами естественного ареала, динамике расселения, темпах натурализации).

Методы, средства накопления, обработки и представления данных прикладных исследований (новые разработки, моделирование, результаты исследований) с применением фактографических и геоинформационных систем.

Использование результатов исследований биологических инвазий (методы и новые фундаментальные результаты) при изучении морских, пресноводных и наземных видов, популяций, сообществ и экосистем.

Контроль, рациональное использование и борьба с видами вселенцами.

Индексирование журнала – AGRICOLA, CNKI, EBSCO Discovery Service, Gale, Gale Academic OneFile, Geobase, Global Health, Google Scholar, Health Reference Center Academic, OCLCWorldCat Discovery Service, ProQuest Agricultural & Environmental Science Database, ProQuest Biological Science Database, ProQuest Natural Science Collection, ProQuest SciTech Premium Collection, ProQuest-ExLibris Primo, ProQuest-ExLibris Summon, SCOPUS, Web of Science Core Collection, РИНЦ.

Адрес: Россия, 119071, Москва, Ленинский проспект, д. 33.

тел. (495) 954-75-53; факс (495) 954-55-34;

E-mail: invasjour@sevin.ru

<http://www.sevin.ru/invasjour/>

Содержание

<i>Гордеев С.Ю., Гордеева Т.В.</i>		
О ПРИЧИНАХ ПРОНИКНОВЕНИЯ ВИДОВ <i>APATURA FABRICIUS</i>, 1807 (LEPIDOPTERA, NYMPHALIDAE) В ЗАПАДНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ	2	
<i>Далькэ И.В., Чадин И.Ф., Малышев Р.В., Захожий И.Г., Тишин Д.В., Харевский А.А., Соловьёв Е.Г., Шайкина М.Н., Попова М.Ю., Полюдченков И.П., Тагунова И.И., Лязев П.А., Беляева А.В.</i>		
МОРОЗОУСТОЙЧИВОСТЬ БОРЩЕВИКА СОСНОВСКОГО ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЛАБОРАТОРНЫХ И ПОЛЕВЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ	12	
<i>Евченко О.В., Заремба Н.Б., Ребик С.Т.</i>		
О НАХОДКЕ ЛИЧИНОК КРЕВЕТКИ <i>PALAEMON MACRODACTYLUS RATHBUN</i>, 1902. (DECAPODA, PALAEMONIDAE) В КЕРЧЕНСКОМ ПРОЛИВЕ	27	
<i>Каплин В.Г.</i>		
РАСПРОСТРАНЕНИЕ И БИОЛОГИЯ ИНВАЗИОННОГО ВИДА ГОРОХОВОЙ ЗЕРНОВКИ (<i>BRUCHUS PISORUM</i>)	36	
<i>Кацман Е.А., Суздалева А.Л., Осипов В.В., Башинский И.В.</i>		
СОДЕРЖАНИЕ СОЕДИНЕНИЙ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЛЕСОСТЕПНЫХ ВОДОТОКАХ И ВОДОЁМАХ ПРИ ЗАСЕЛЕНИИ ИХ БОБРАМИ (<i>CASTOR FIBER L.</i>)	50	
<i>Козловский Б.Л., Федоринова О.И., Куропятников М.В.</i>		
ИЗУЧЕНИЕ ИНВАЗИИ <i>PARTHENOCISSUS INSERTA</i> (KERN.) K. FRITSCH. В ПОЙМЕННЫХ ЛЕСАХ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ	63	
<i>Малыгин В.М., Баскевич М.И., Хляп Л.А.</i>		
ИНВАЗИИ ВИДОВ-ДВОЙНИКОВ ОБЫКНОВЕННОЙ ПОЛЁВКИ	71	
<i>Пшегусов Р.Х., Чадаева В.А., Комжса А.Л.</i>		
ПРОСТРАНСТВЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ И ДОЛГОСРОЧНАЯ КЛИМАТОГЕННАЯ ДИНАМИКА ВИДОВ РОДА <i>AMBROSIA</i> L. НА КАВКАЗЕ	94	
<i>Серёгин С.А., Попова Е.В.</i>		
PSEUDODIAPTOMUS MARINUS SATO, 1913 – НОВЫЙ ВИД-ВСЕЛЕНЕЦ КОПЕПОД В ЧЁРНОМ МОРЕ: ПЕРВЫЕ ИТОГИ ИНВАЗИИ	107	
<i>Федина Л.А., Кутрин А.В., Огородников Е.М.</i>		
TUSSILAGO FARFARA L. (ASTERACEAE) НА ЮГЕ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ	113	
<i>Яковлева Г.А., Артемьев А.В., Лебедева Д.И.</i>		
ЭКСПАНСИЯ БОЛЬШОГО БАКЛАНА (<i>PHALACROCORAX CARBO</i> L. 1758) НА СЕВЕРО-ЗАПАДЕ РОССИИ КАК ВОЗМОЖНОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПАРАЗИТОВ	118	

МОРОЗОУСТОЙЧИВОСТЬ БОРЩЕВИКА СОСНОВСКОГО ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЛАБОРАТОРНЫХ И ПОЛЕВЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Далькэ И.В.^{а,*}, Чадин И.Ф.^а, Малышев Р.В.^а, Захожий И.Г.^а,
Тишин Д.В.^{б,**}, Харевский А.А.^а, Солод Е.Г.^а, Шайкина М.Н.^{с,***},
Попова М.Ю.^а, Полюдченков И.П.^а, Тагунова И.И.^а, Лязев П.А.^а,
Беляева А.В.^а

^а Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,
Сыктывкар, 167982, Россия

^б Казанский (Приволжский) федеральный университет,
Казань, 420097, Россия

^с Главный ботанический сад имени Н.В. Цицина РАН, г. Москва, 127276, Россия
e-mail: *dalke@ib.komisc.ru; **dtishin80@gmail.com; ***mshajk@yandex.ru

Поступила в редакцию 01.08.2019. После доработки 01.11.2019. Принята к публикации 16.11.2019.

Представлены результаты оценки устойчивости растений борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) к воздействию отрицательных температур в лабораторных и полевых условиях. Гибель проростков и взрослых растений в диапазоне температуры $-6\ldots -12^{\circ}\text{C}$ указывает на слабую морозоустойчивость вида. Снежный покров обеспечивает стабильную температуру почвы (не ниже -3°C) на глубине залегания почек возобновления и сохранение меристематического потенциала в ценопопуляциях гигантского борщевика. Сдвиг температуры замерзания меристем растений от минус 12°C (осенью) до $-5\ldots -7^{\circ}\text{C}$ (весной) вероятно обусловлен отсутствием глубокого покоя и изменением содержания криопротекторов в них. Семена также снижают свою морозостойкость после стратификации в течение перезимовки и увеличения содержания воды в тканях.

Полевые исследования были выполнены с участием добровольцев в рамках проекта «Мороз», организованного с использованием принципов «гражданской» науки («citizen science») в границах инвазионного ареала вида на территории Европейской части России. Показано, что уничтожение борщевика Сосновского после уборки снежного покрова и промерзания растений полностью зависит от погодных условий. Промораживание как метод ликвидации зарослей борщевика Сосновского можно рекомендовать только для территорий, характеризующихся среднемноголетними минимальными температурами в январе–феврале не выше -25°C , и он может быть востребован на территориях, где использование химических способов борьбы с растениями ограничено или запрещено.

Ключевые слова: борщевик Сосновского, инвазия, морозоустойчивость, зимостойкость, гражданская наука, уничтожение зарослей.

Введение

Конкурентные свойства борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) в сочетании с его окультуриванием привели к формированию обширного инвазионного ареала этого вида, который на территории России охватывает несколько природных зон от лесостепи на юге до лесотундры на севере [Сацыперова, 1984; Виноградова и др., 2010;

Pergl et al., 2016; Озерова и др., 2017; Chadin et al., 2017; Озерова, Кривошеина, 2018; Эбель и др., 2018; Vinogradova et al., 2018].

До настоящего времени эффективных и экологически безопасных методов контроля численности борщевика Сосновского не разработано [Caffrey, Madsen, 2001; Nielsen et al., 2005; Ecology and management..., 2007; Резник и др., 2008; Кривошеина, 2011; Якимович и

др., 2013; Dalke et al., 2015]. Анализ мероприятий по картографированию и ликвидации нежелательных зарослей борщевика показал, что в последнее время в России всё чаще используют химические методы борьбы [Далькэ и др., 2018]. Однако применение пестицидов и агрохимикатов в черте населённых пунктов ограничено, гербициды не могут быть использованы в водоохраных зонах и на особо охраняемых природных территориях [Гигиенические требования..., 2016].

Поддержание численности ценопопуляций и расселение борщевика Сосновского обеспечивают многочисленные почки возобновления на стеблекорне растений и ежегодно пополняемый почвенный банк семян [Dalke et al., 2015; Gudžinskas, Žalneravičius, 2018]. Известно, что почки возобновления борщевика Сосновского, борщевика Лемана, борщевика понтийского погибают после выхода из состояния покоя в беснежный период [Александрова, 1971] или после жёстких условий предзимья [Хантимер, 1974]. На этом основана возможность ликвидации их зарослей (снижение меристематического потенциала) путём изменения теплового режима почвы после уборки снежного покрова. Успешный эксперимент по уничтожению растений борщевика Сосновского этим способом [Чадин и др., 2018] оставил открытыми вопросы: при какой температуре вымерзают гигантские борщевики, как изменяется температура в почве после очистки снежного покрова в зарослях борщевика, в какой период уборка снега будет наиболее эффективна, на территории каких регионов (климатических зон) этот метод может быть применён.

В связи с этим в задачи настоящей работы входило: определение температур, вызывающих гибель растений борщевика Сосновского; определение динамики температурного режима почвы при уборке снежного покрова в зимний и весенний период; определение географических районов, на территории которых возможно применение уборки снежного покрова в качестве меры борьбы с данным инвазионным видом.

Методика

Морозоустойчивость растений определяли с использованием классических методов в полевых (учёт числа перезимовавших особей на единицу площади) и лабораторных условиях [Туманов, 1979].

Лабораторные исследования проводили на базе Института биологии Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар). Полевые работы выполняли с привлечением добровольцев в рамках проекта «Мороз» [Проект «Мороз», 2019], организованного на основе концепции «гражданской науки» (англ. citizen science) [Silvertown, 2009].

Проростки были получены из семян с 30 растений, собранных осенью 2018 г. в моновидовых зарослях борщевика в окрестностях г. Сыктывкар (координаты участка 61.645961° с. ш., 50.730800° в. д.). Семена стратифицировали при температуре +5 °C во влажной среде, период с 7 февраля по 27 мая 2019 г. К началу эксперимента семена дозрели, сформировались проростки с корешками длиной 3–4 см и начали отрастать семядольные листья. Взрослые растения (старше одного года) выкапывали в конце мая 2019 г. на трансекте в моновидовых зарослях борщевика, отбирая все растения подряд. Во время сбора у взрослых растений была сформирована первая генерация листьев (1–3 шт.), высота зарослей составляла около 50 см.

Проростки борщевика Сосновского (100–120 штук) раскладывали на фильтровальной бумаге в чашках Петри и делили на контроль и опыт по 50–60 проростков в каждой группе. Взрослые растения (60–70 шт.) отмывали от почвы и обрезали у них надземную часть побега с листьями. Оставшиеся стеблекорни случайным образом делили на две равные группы (контроль и опыт). Для оценки воздействия каждого из изученных температурных диапазонов использовали отдельные опытные группы растений (50–60 проростков и 30–35 взрослых растений).

Проростки помещали в холодильник «КШ-240» (Россия), взрослые растения – в холодильник «Gram HF-462» (Дания). Для установки и поддержания необходимой температуры использовали термореле, изготовленное на основе

8-канального микропроцессорного таймера, твердотельного реле KSA215AC8 («Cosmo», Китай) и термостата BM8036 («Мастер Кит», Россия). Режим работы реле устанавливали в диапазоне температуры, например, от -4 до -5 $^{\circ}\text{C}$. В заданном диапазоне температуры растения промораживали в течение 4 часов. Для регистрации температуры в чашки Петри и среди корневищ растений размещали автономные регистраторы температуры ТР-1 (DS1921G-F50) с частотой записи данных от 1 до 5 мин («Инженерные технологии», Россия). В конце опыта данные с нескольких регистраторов усредняли, оценивали медианное и минимальное значение температуры, наблюдаемое в процессе экспозиции растений. В эксперименте добивались, чтобы медианное значение температуры в процессе промораживания отличалось от минимального не более чем на 2 $^{\circ}\text{C}$.

После промораживания растения помещали в благоприятные для роста условия, обеспечивая наличие влаги, освещение около 200 мкмоль/ $\text{м}^2\text{с}$ ФАР, температуру 20 $^{\circ}\text{C}$, и в течение 3–5 дней наблюдали за их ростом. У пророст-

ков отмечали состояние семядольных листьев и корешка. У взрослых растений наблюдали за ростом побега и почек возобновления. Подсчитывали количество выживших растений.

Температуру кристаллизации воды в апикальной части побегов и семядольных листьях проростков определяли на дифференциальном сканирующем калориметре DSC-60 (Shimadzu, Япония). Апикальные части почек и проростков массой 30 – 70 мг помещали в алюминиевый контейнер объемом 90 mm^3 . Образцы промораживали со скоростью $1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ в диапазоне температуры от 0 до -20 $^{\circ}\text{C}$. После окончания измерения образцы высушивали при 105 $^{\circ}\text{C}$ до постоянного веса.

С помощью программного обеспечения для DSC-60 «TA 60 Version 1.33» определяли начало фазового перехода вода – лёд. По площади экзотермического пика с использованием коэффициента удельной теплоты кристаллизации воды (330 Дж/кг) рассчитывали количество воды, претерпевшей фазовый переход. Долю замёрзшей воды ($P_{\text{frozenH}_2\text{O}}, \%$) определяли по формуле:

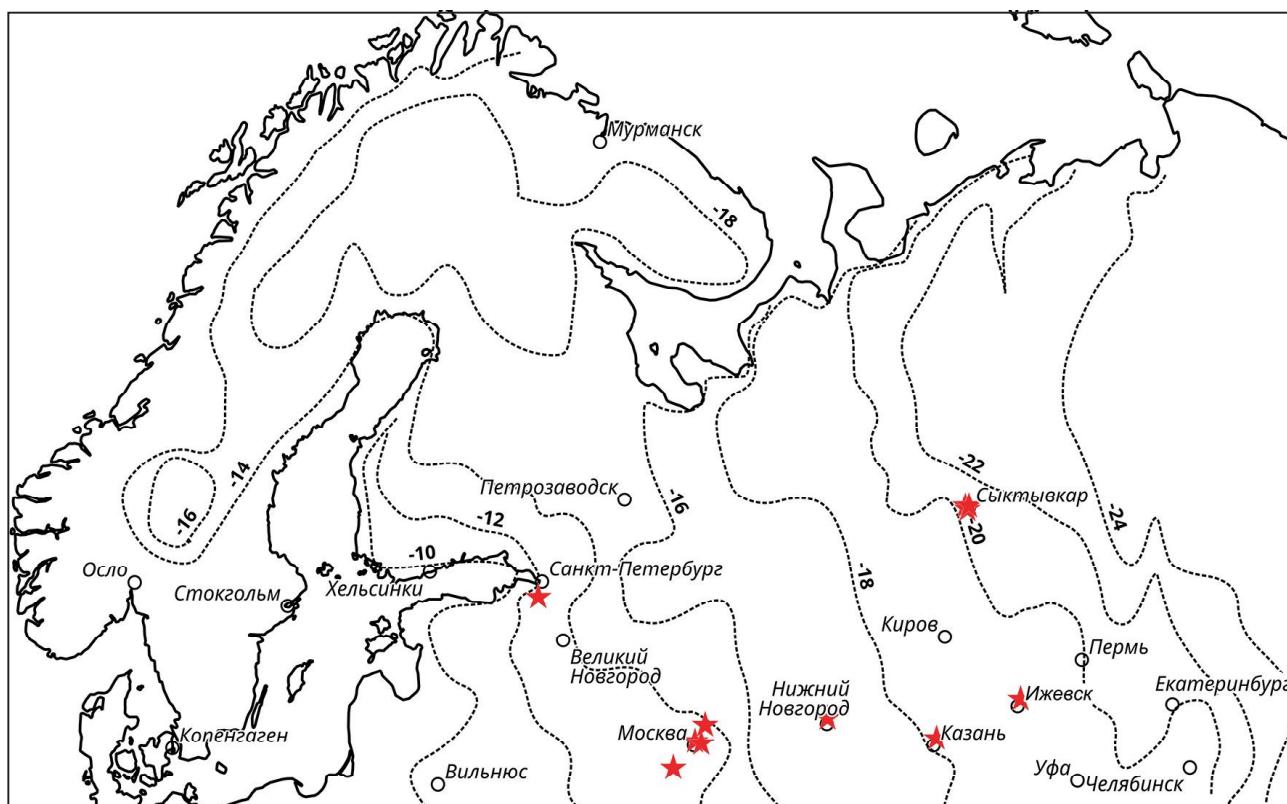


Рис. 1. Среднемноголетняя минимальная температура воздуха в январе за период с 1970 по 2000 г. (пунктирные линии) [по данным Fick, Hijmans, 2017] в районах выполнения работ (помечены звёздочками).

$$P_{frozenH20} = \left(\frac{V_{H20} - V_{frozenH20}}{V_{H20}} \right) 100 \quad (1)$$

где, V_{H_2O} – количество воды, содержащейся в апексе, мг; $V_{frozenH_2O}$ – количество замёрзшей воды, определённой на DSC-60, мг.

Содержание воды в растительных образцах (WC, %) определяли по формуле:

$$WC = \left(\frac{FW - DW}{FW} \right) 100 \quad (2)$$

где, FW – масса свежего образца, мг; DW – масса высушенного образца, мг.

Полевые работы по оценке морозоустойчивости борщевика Сосновского выполняли с сентября 2018 г. по май 2019 г. в границах географических координат от 55 до 61° с. ш. и от 30 до 49° в. д. (рис. 1). Было выбрано 14 участков с типичными зарослями борщевика Сосновского на территории Ярославской, Московской, Калужской, Ленинградской, Нижегородской областей, Удмуртской Республики, Республики Коми и Республики Татарстан, в г. Москве и г. Санкт-Петербурге.

В каждом регионе на выбранном участке закладывали контрольные и опытные площадки рекомендованного размера 4×4 м. Учётные площадки располагались в границах однородных ценопопуляций борщевика Сосновского, поэтому считали, что плотность растений в контроле и опыте в начале эксперимента была равная. На опытных учётных площадках снег убирали до поверхности земли. На контрольных участках воздействия на снежный покров не оказывали. Уборку снежного покрова проводили ручным и/или механизированным способом. В условиях Республики Коми, Удмуртской Республики, Подмосковья было заложено по несколько контрольных и опытных площадок. В остальных регионах участники проекта заложили по одному контрольному и опытному участку. Процесс выполнения работы описан в индивидуальных дневниках участников проекта [Проект «Мороз», 2018-2019].

В апреле-мае 2019 г. были собраны данные о состоянии и количестве растений борщевика Сосновского на 8 участках из 5 регионов с использованием единой методики. Число про-

ростков и всходов определяли в серии из 5–12 выборочных измерений на двух диагоналях учётного участка с помощью рамки площадью от 0.025 до 0.04 м². Количество растений пересчитывали на 1 м² участка. Взрослые растения старше одного года подсчитывали на всём участке сплошным способом. Количество растений, выживших на опытных участках, выражали в процентах от контроля (100%).

Температуру почвы на глубине залегания почек возобновления борщевика Сосновского (15 см) измеряли на участках в г. Сыктывкар и г. Казань. Измерения проводили непрерывно, с момента закладки полевых опытов до их окончания каждые 4 часа с помощью автономных регистраторов температуры TR-1.

Для характеристики высоты снежного покрова и температуры воздуха использовали данные гидрометеорологических станций, наиболее близко расположенных к контрольным и опытным участкам. Сведения были получены из открытых архивов Национального центра экологической информации США [Архив Национального..., 2018, 2019], сайта «Расписание Погоды» [2004–2019], Автоматизированной информационной системы обработки режимной информации [Автоматизированная..., 2019].

Для статистической обработки результатов использовали среднее значение, стандартное отклонение, медиану. Сравнение результатов, полученных в контроле и опыте, проводили с помощью непараметрического теста Краскела –Уоллиса. Статистические расчёты выполняли в MS Excel и среде R [R Core Team, 2017]. После знака «±» приведено стандартное отклонение. Набор данных, полученный в результате проведения лабораторных и полевых экспериментов по промораживанию борщевика Сосновского, доступен в репозитории Zenodo [2019].

Результаты

Эксперименты показали, что экспозиция при отрицательных температурах в течение 4 часов повлияла на жизнеспособность проростков и взрослых растений борщевика Сосновского. В

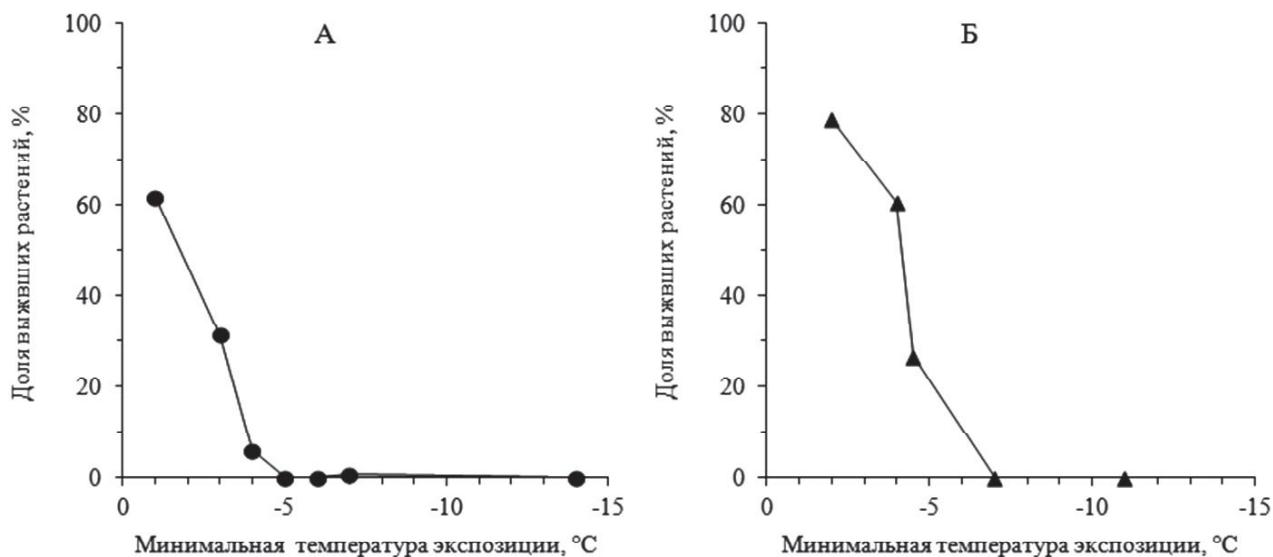


Рис. 2. Выживание проростков (А) и взрослых (Б) растений борщевика Сосновского после промораживания в течение 4 часов при различных температурах. Воздействие каждой температуры изучали, подсчитывая количество выживших растений в группах по 50–60 особей для проростков и 30–35 особей для взрослых растений.

результате промораживания при температуре -1°C погибло до 40% проростков. Половина растений гибла при температуре -2°C . При температуре -5°C и ниже погибали все проростки (рис. 2 А).

От 30 до 60% взрослых растений сохранили жизнеспособность почек возобновления после воздействия температуры от -4 до -5°C (рис. 2 Б). После 4 часов экспозиции при температуре -7°C и ниже погибли все взрослые особи борщевика. Через сутки после промораживания у погибших растений в отличие от контроля отсутствовали видимые признаки роста побега, черешка листа и почек возобновления. На продольном срезе стеблекорня и побега ткани мёртвых растений темнели и разрушались.

До процедуры промораживания оводнённость проростков составляла в среднем 73%, а у почек возобновления взрослых растений 86%. Данные дифференциальной сканирующей калориметрии свидетельствуют, что фазовый переход вода – лёд у проростков и почек возобновления растений наступает при близких значениях температур: у проростков при $-6.2 \pm 0.4^{\circ}\text{C}$, у почек возобновления при $-6.2 \pm 1.6^{\circ}\text{C}$. При данной температуре в тканях растений замерзало 87% свободной воды, что приводило к летальному исходу.

Районы проведения полевых исследований существенно различались между собой по минимальной температуре самого холодного месяца – января. Изменение температурного режима по регионам (потепление) заметнее в долготном направлении с востока на запад (рис. 1). Среднемноголетние данные за 30 лет наблюдений показывают, что в наиболее тёплом регионе Московской обл. минимальная температура в январе опускается до -13°C , а в самом холодном – Республике Коми до -29°C .

Предварительный анализ временных серий среднесуточных температур воздуха с ноября по март показал, что самый холодный период в местах выполнения полевых экспериментов наступает во второй половине января [Про борщевик..., 2019]. Поэтому очистку снега в январе проводили с учётом краткосрочного местного прогноза погоды. В результате перед предполагаемым понижением температуры воздуха снежный покров на опытных участках был убран полностью. На разных участках снег убирали от одного раза (Республика Коми) в середине января 2019 г. до восьми раз (Республика Татарстан) с ноября 2018 г. по март 2019 г. (таблица 1).

В период ожидаемых заморозков и уборки снега (январь–февраль) средняя температура

Таблица 1. Температура воздуха, высота снежного покрова и выживаемость растений борщевика Сосновского в местах полевых наблюдений

Регион наблюдений	Участок	Индекс метеостанции	Количество уборок снега	Температура воздуха за период 01.01.2019 – 28.02.2019, °C		Высота снежного покрова, см		Плотность проростков, экз./м ²		Плотность взрослых растений, экз./м ²		Доля выживших растений, % от контроля	
				средняя	минимальная	01.01. 2019	28.02. 2019	контроль	опыт	контроль	опыт	проростки	взрослые
Республика Коми	1	23804	2	-11.6	-31.0	35	71	346		49	9	21	18
Республика Коми	2	23804	1	-11.6	-31.0	35	71	453	213	19	11	47	58
Республика Коми	3	23804	2	-11.6	-31.0	35	71	175	5	14	7	3	50
Удмуртская Республика	1	28411	3	-10.6	-27.0	22	60	133	0	13	3	0	23
Республика Татарстан	1	27595	8	-9.4	-25.0	33	64	799	236	3	1	30	33
Нижегородская обл.	1	27459	2	-6.8	-19.9	37	61	–	–	2	2	–	100
г. Москва, Московская обл.	1	27612	1	-4.1	-19.8	24	26	605	120	14	9	20	64
г. Москва, Московская обл.	2	27612	2	-4.1	-19.8		26	3469	1592		12	46	120

Примечание: показатели температуры воздуха и высоты снежного покрова приведены по данным сервиса [Архив Национального..., 2019]; контроль – участки без уборки снежного покрова, опыт – участки, где проводили уборку снежного покрова; прочерк обозначает, что подсчёт растений не проводили.

воздуха в областях, расположенных в центре европейской части России (Московская обл., Нижегородская обл.), составила около -5°C , а минимальная температура не опускалась ниже -20°C (табл. 1). В остальных регионах на востоке (Республика Татарстан) и северо-востоке европейской части России (Удмуртская Республика, Республика Коми) было заметно холоднее, средняя температура воздуха в январе-феврале 2019 г. достигла -10°C , а минимальная температура была в диапазоне от -25 до -31°C . Во всех регионах высота снежного покрова в начале января составляла в среднем 30 см, а в конце февраля возросла в два раза, за исключением Московской области.

Полевые наблюдения весной (апрель-май 2019 г.) показали, что растения борщевика в

опыте, где проводили очистку снега, заметно отставали в скорости роста и формировании листовой поверхности по сравнению с контролем (растения зимовали под нетронутым снежным покровом). После промораживания выжившие генеративные растения борщевика начинали цветение на одну неделю позже, чем в контроле (наблюдения в Республике Коми и Республике Татарстан).

Учёт количества растений показал, что после уборки снежного покрова и наступивших заморозков во всех регионах выжило в среднем около 24% проростков и 58% взрослых растений (табл. 1). До 95% взрослых растений борщевика выжило в регионах с более тёплой зимой (г. Москва, Московская и Нижегородская области). В более суровых климатических

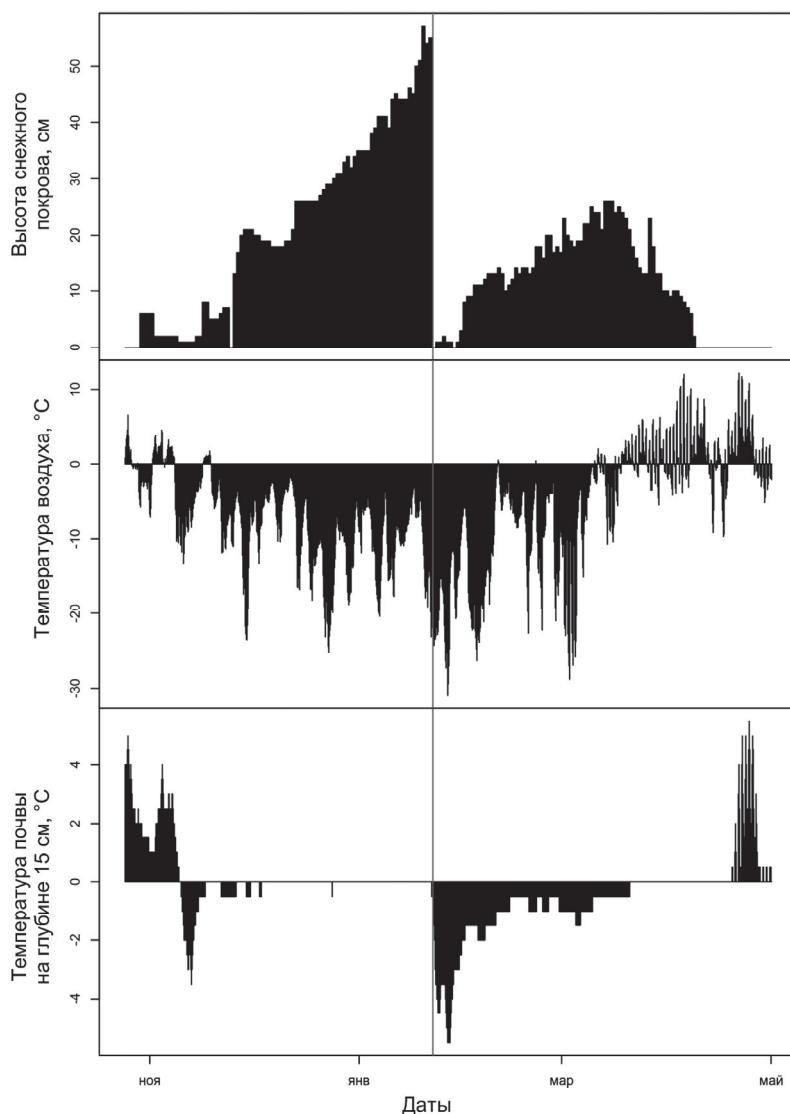


Рис. 3. Высота снежного покрова, температура воздуха и почвы на глубине 15 см на опытном участке до и после уборки снежного покрова, дата уборки снега отмечена красной линией (г. Сыктывкар, Республика Коми).

условиях погибло до 100% проростков и 77% взрослых растений (Удмуртская Республика). В июне 2019 г. на большинстве опытных участков растения сформировали сплошной полог с лиственным индексом более единицы.

Изучение термического режима почвы выявило, что при наличии устойчивого снежного покрова высотой более 10 см температура в почве на глубине 15 см остаётся стабильной (до -1°C) в отдельных случаях опускаясь до -3°C (рис. 3). В Республике Коми после однократной уборки снега в конце января, в условиях снижения температуры воздуха до -31°C в почве на глубине 15 см температура опустилась до -6°C (рис. 3). В начале февраля

2019 г. с выпадением осадков высота снежного покрова на опытном участке превысила 10 см. В это время на глубине залегания почек возобновления борщевика Сосновского установилась температура около -1°C и удерживалась вплоть до схода снега в начале апреля (рис. 3).

После многократной очистки снега зимой (8 раз) на опытном участке в окрестностях г. Казани высота снежного покрова не превышала 10 см. Исключение составила вторая половина декабря 2018 г., когда толщина снега кратковременно достигла 25 см (рис. 4). Во второй декаде января 2019 г. после пятой уборки снега почва на глубине 15 см промёрзла до -5°C . Последующие заморозки (температура

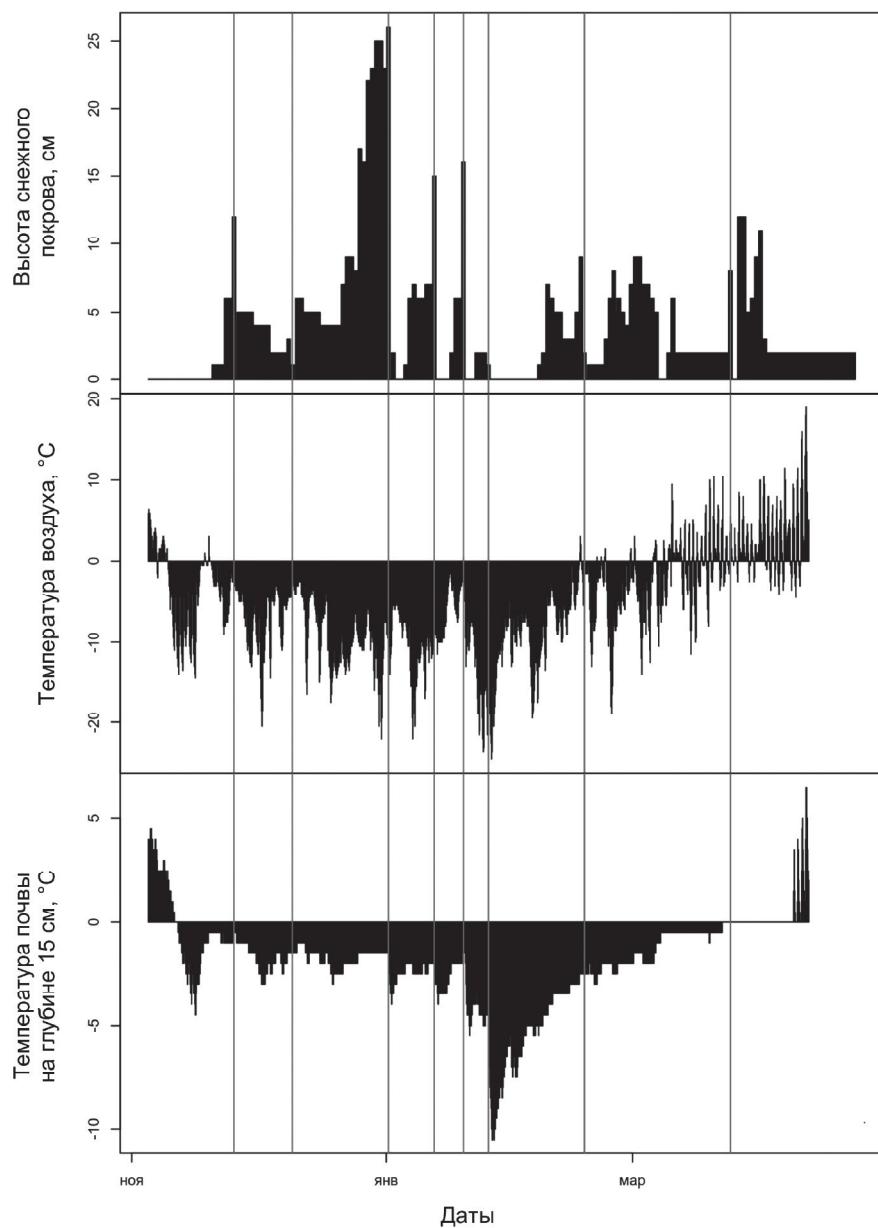


Рис. 4. Высота снежного покрова, температура воздуха и почвы на глубине 15 см на опытном участке до и после уборки снежного покрова, даты уборки снега отмечены красными линиями (г. Казань, Республика Татарстан).

воздуха до -25°C 26 января 2019 г.) привели к резкому снижению температуры в почве до -10.5°C (рис. 4). Однако последующее увеличение температуры воздуха и высоты снежного покрова привели к повышению температуры в почве опытного участка. В середине февраля температура в почве на глубине залегания почек опытных растений борщевика Сосновского уже не опускалась ниже -3°C , вплоть до весеннего схода снега.

Слабая морозостойкость растений борщевика Сосновского по данным лабораторных

экспериментов была подтверждена результатами полевых наблюдений. Уборка снежного покрова при понижении температуры воздуха до -20°C и ниже позволяет проморозить и ликвидировать растения борщевика. Для этого в естественных условиях все стеблекорни должны быть проморожены до -7°C , а проростки – до температуры не менее -5°C .

В 2019 г. в окрестностях г. Сыктывкара после однократной уборки снега в самый холодный период (январь) наблюдали лишь кратковременное снижение температуры в почве до $-4\dots$

Таблица 2. Результаты воздействия отрицательных температур в период покоя на количество растений борщевика Сосновского в окрестностях г. Сыктывкара

Группа растений в разные годы учёта	Плотность растений (медиана), экз./м ²		p*
	Контроль	Опыт	
Проростки (растения первого года): 12.05.2018 г.** 18–19.05.2019 г.	107 453	0 213	<0.0001
Взрослые растения (растения старше одного года): 12.05.2018 г.** 18–19.05.2019 г.	9 19	2 11	0.0210 0.0002

Примечание: * – значение p-value по результатам теста Краскела – Уоллиса; ** – данные Чадина с соавторами [2018] для зимнего периода 2017–2018 гг.

–6 °С. В результате опыта погибла только часть проростков и взрослых растений, а заросли борщевика восстановились в ходе вегетации.

В первые полную ликвидацию растений борщевика удалось реализовать в Республике Коми в условиях крайне холодного марта 2018 г. [Чадин и др., 2018]. В этот период температура воздуха опускалась ниже –20 °С не менее семи раз, и температура почвы на глубине залегания почек возобновления борщевика Сосновского могла стать ниже –10 °С, так как опытные площадки непрерывно поддерживались в бесснежном состоянии с начала марта до схода снега. В ходе выполнения проекта в 2019 г. это предположение получило подтверждение в варианте с многократной уборкой снега (Республика Татарстан). Систематическая очистка участка в течение всего зимнего периода (8 раз) и последующее понижение температуры воздуха до –20 °С привели к снижению температуры в почве до критических значений –10.5 °С. Однако последующее потепление и выпадение осадков снова повысили температуру в почве. После трёхкратной уборки снега и понижения температуры воздуха в конце января до –29 °С на опытном участке в Удмуртии были ликвидированы все проростки и 77% взрослых растений борщевика (табл. 1).

Влияние погодных условий на гибель растений борщевика Сосновского, вызванную промораживанием почвы, можно оценить при сравнении опытов, проведённых в окрестностях г. Сыктывкара в 2018 и 2019 гг. (табл.

2). После уборки снега в 2018 г. количество проростков этого вида снизилось до нуля, а взрослых растений в пять раз. Весной 2019 г. число растений на опытных участках снизилось только в два раза. При этом в 2019 г. на каждом квадратном метре зарослей сохранилось около 200 шт. проростков и 11 взрослых особей.

В г. Сыктывкаре средняя температура воздуха в приземном слое в январе и феврале 2018 и 2019 гг. (–10... –12 °С) была на 2–7 °С выше среднемноголетних значений (базовый период 1961–1990 гг.). Минимальные температуры воздуха достигали –31 °С (табл. 3). Март 2018 г. был очень холодным, средняя температура воздуха опустилась ниже среднемноголетних значений на 5 °С. Напротив, начало весны 2019 г. было значительно теплее, и среднемесячная температура воздуха в марте превысила среднемноголетние значения в два раза. Сумма отрицательных температур с января по март 2018 г. составила –980 °С, а в 2019 г. –813 °С.

Зимы 2017–2018 и 2018–2019 гг. на территории России характеризуют как тёплые с температурными аномалиями (отклонения от средней температуры базового периода 1961–1990 гг.) +2.5 и +2.1 °С, соответственно [Изменения климата..., 2018б; Изменения климата..., 2019]. Однако 2018 и 2019 гг. существенно различались по погоде в начале весны. В марте 2018 г. на европейской части России сложились очень холодные условия.

Таблица 3. Погодные условия в окрестностях г. Сыктывкара в 2018 г. (числитель) и 2019 г. (знаменатель)

Показатель	Январь	Февраль	Март
Среднемноголетняя температура воздуха за базовый период 1961–1990 гг.*	-17	-14	-6
Средняя температура воздуха, °C	<u>-10</u> -12	<u>-12</u> -10	<u>-11</u> -3
Минимальная температура воздуха	<u>-25</u> -31	<u>-30</u> -27	<u>-29</u> -29
Сумма отрицательных температур, °C	-301 -390	-345 -296	-125
Средняя высота снежного покрова, см	<u>39</u> 48	<u>69</u> 68	<u>80</u> 74

Примечание: показатели рассчитаны по данным [Архив Национального центра..., 2018, 2019] для метеостанции г. Сыктывкар (индекс ВМО 23804); * – по данным [Автоматизированная информационная..., 2019].

Осреднённая по России аномалия температуры составила -0.49°C , а в Республике Коми отклонения от нормы достигли -6°C [Изменения климата..., 2018а]. В результате после уборки снежного покрова в марте 2018 г. и последующей серии температур воздуха до -29°C растения борщевика Сосновского вымерзли практически полностью.

По данным Гидрометцентра России [2019], весна 2019 года получила 4-й ранг среди самых высоких значений температуры за историю метеонаблюдений. Почти на всей территории Российской Федерации средняя сезонная температура воздуха превысила норму на 2°C и более. В результате положительных аномалий температуры воздуха (недостаточной суммы отрицательных температур) температура в почве достигла критических значений в среднем лишь для половины растений в ценопопуляции борщевика Сосновского. Весной 2019 г. выжившие проростки и взрослые особи восстановили 100% проективное покрытие растений на опытных участках.

Обсуждение результатов

Морозоустойчивость – способность растений выживать при температурах ниже 0°C без существенных повреждений. Морозоустойчивость определяется генотипом, скоростью снижения температуры, условиями, предшествовавшими наступлению морозов и влия-

ющими на характер льдообразования. Развитию морозостойкости растения способствует целый комплекс биохимических изменений, формируемый в результате прохождения ими процесса закалки [Туманов, 1979; Климов, 2001; Трунова, 2007]. Основным критерием для оценки морозоустойчивости является подсчёт количества выживших растений после действия гипотермии. Оценки «низкая» и «высокая» морозоустойчивость носят условный характер. Плодовые и ягодные культуры, почки которых повреждаются при температурах от -1 до -7°C , относят к культурам с низкой морозоустойчивостью [Соловьёва, 1988; Князев и др., 2006; Красова и др., 2009; Ожерельева, 2018]. Однако к растениям с низкой морозоустойчивостью относят и сорта озимой пшеницы, погибающие при -19°C [Иванисов, Ионова, 2016].

По данным дифференциальной сканирующей калориметрии, вода в семенах и почках борщевика Сосновского, отобранных в осенний период, замерзала при -12°C [Malyshev, 2018] и растения погибали. Проростки, собранные под снегом в марте, замерзали уже при $-7\dots -8^{\circ}\text{C}$ [Malyshev, 2019]. Прямые измерения выживаемости взрослых растений в начале вегетации показали, что их 100%-я гибель происходит при температуре -7°C . Полная гибель проростков наступает при -5°C . Результаты дифференциальной сканирующей калориметрии подтверждают, что

весной льдообразование в тканях проростков и почек борщевика Сосновского происходило при температуре -6°C .

По сравнению с измерениями морозоустойчивости у других видов растений в течение всего года [Van Huystee et al., 1967; Senser, Beck, 1977; Алаудинова и др., 2007; Малышев, Атоян, 2018] сдвиг температуры замерзания почек борщевика Сосновского от -12°C до -6°C был небольшой.

Снижение морозоустойчивости в процессе перезимовки можно объяснить изменениями в составе и содержании углеводов, выполняющих роль криопротекторов, стимулирующих процессы роста, развития и адаптации зимующих почек, и корневищ растений [Kaurin et al., 1981; Маслова и др., 2007; Живетьев и др., 2011; Поморцев и др., 2013]. Сходное с борщевиком Сосновского изменение морозоустойчивости в разные периоды вегетации было продемонстрировано для почек и корневищ морошки [Kaurin et al., 1981].

Весной летальная для проростков и почек борщевика Сосновского температура сопоставима с температурами возвратных весенних заморозков от -1 до -7°C . Плодовые и ягодные культуры, почки которых повреждаются при данных температурах, относят к культурам с низкой морозоустойчивостью [Соловьева, 1988; Князев и др., 2006; Красова и др., 2009; Ожерельева, 2018]. Слабая морозоустойчивость борщевика обусловлена отсутствием глубокого покоя у его почек возобновления и высоким содержанием воды в них ($5-7 \text{ mg H}_2\text{O}/\text{mg сухой массы}$) [Александрова, 1971; Dalke et al., 2018; Malyshev, 2018, 2019], что было показано также на растениях лука-порея, которые погибали при промерзании почвы до -6°C [Палкин и др., 2017]. Снижение содержания воды в почках древесных и кустарничковых растений до $1 \text{ mg H}_2\text{O}/\text{mg сухой массы}$ обеспечивает их устойчивость к температурам до -40°C [Алаудинова, 2007; Малышев, Атоян, 2018].

По нашим данным, снежный покров способствует стабильной, до -3°C , температуре на глубине залегания почек возобновления гигантского борщевика, что полностью предот-

вращает их вымерзание [Александрова, 1971] и обуславливает высокую зимостойкость вида [Сацыперова, 1984]. Под снегом погружённые в почву на 10–15 см терминальные и пазушные почки борщевика Сосновского, несмотря на выявленную слабую морозоустойчивость, хорошо защищены от криостресса, а в период вегетации и от механических воздействий [Dalke et al., 2015; Klima, Synowiec, 2016].

Морозоустойчивость семян борщевика связана с очень низким содержанием воды: в среднем $0.5 \text{ mg H}_2\text{O}/\text{mg сухой массы}$ [Malyshev, 2018]. После зимней стратификации, которая завершается ещё до схода снежного покрова, количество воды в семенах борщевика возрастает на порядок. Уборка снежного покрова в сочетании с понижением температуры воздуха в этот период может обеспечить ликвидацию значительной части фонда семян. Зимостойкость вида обусловлена снежным покровом, который обеспечивает стабильные температурные условия для перезимовки растений и сохранение меристематического потенциала ценопопуляций.

Районы проведённых полевых исследований существенно отличались между собой по температурным условиям в течение зимнего периода. Согласно величине среднемноголетней минимальной температуры января [Fick et al., 2017], потенциальная возможность использовать промораживание борщевика Сосновского после уборки снежного покрова убывает в ряду: Республика Коми > Удмуртская Республика > Республика Татарстан > Нижегородская обл. > г. Москва и Московская обл.

Несмотря на то, что воздействие отрицательных температур на жизнеспособность растений борщевика Сосновского было подтверждено в лабораторном и полевом эксперименте, достичь аналогичных результатов в производственных условиях на значительных по площади территориях сложно. Основным препятствием является полная зависимость результата работы от погодных условий. При этом за последние 40 лет на территории Северного полушария отмечают общее потепление в весенний и зимний периоды. Линейный тренд средней по России температуры воздуха за

период 1976–2018 гг. составил для зимы +0.39 °C/10 лет, весны +0.61 °C/10 лет [Изменения климата..., 2018а, 2018б]. Губительные для зимующих под снегом растений суровые бесснежные зимы, были отмечены на территории России в период 1939–1979 гг., а с конца 1980-х гг. преобладают положительные экстремумы [Круглов, 2005]. В новейшее время лишь весна 2018 г. характеризовалась отрицательными экстремумами холода, которые позволили ликвидировать нежелательные заросли гигантского борщевика после уборки снежного покрова [Чадин и др., 2018].

Таким образом, результаты оценки устойчивости растений борщевика Сосновского к воздействию отрицательных температур в лабораторных и полевых условиях указывают на слабую морозоустойчивость вида. Все проростки борщевика погибают при температуре –5 °C, а взрослые растения при температуре –7 °C и ниже. Опираясь на результаты экспериментов, мы можем рекомендовать промораживание как метод ликвидации зарослей борщевика Сосновского только для территорий, характеризующихся среднемноголетними минимальными температурами в январе–феврале не выше –25 °C. В таких регионах описанный метод может быть востребован на территориях, где использование химических способов борьбы с растениями ограничено или запрещено.

Благодарности

Мы искренне благодарим за помощь в проведении работы старшего преподавателя кафедры экологии Удмуртского государственного университета Дмитрия Александровича Адаховского, а также Олега Сергеевича Федосеева (с. Глебовское, Ярославская область), Алину Александровну Муратову и Аллу Юрову (г. Санкт-Петербург) за регистрацию и поддержку проекта «Мороз». Выражаем благодарность всем, кто распространил информацию о проекте, и нашим глубокоуважаемым оппонентам за конструктивную критику.

Финансирование работы

Исследование выполнено в рамках проекта УрО РАН «Фототрофные организмы как ком-

понент живой природы и индикатор климатических изменений» (2018–2020 гг. № 18-4-4-20) и НИР «Физиология и стресс-устойчивость фотосинтеза растений и пойкилогидрических фотоавтотрофов в условиях Севера» (2017–2019 гг., ГР 0414-2016-0001).

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Соблюдение этических стандартов

Статья не содержит никаких исследований с участием животных в экспериментах, выполненных кем-либо из авторов.

Литература

- Автоматизированная информационная система обработки режимной информации (АИСОРИ). 2019 (Электронный ресурс) // (<http://aisori.meteo.ru/ClimateR>). Проверено 11.07.2019.
- Алаудинова Е.В., Симкина С.Ю., Миронов П.В. Сезонные изменения содержания воды в меристематических тканях почек *Picea obovata* L. и *Pinus sylvestris* L. и её распределение в клетках // Хвойные boreальной зоны. 2007. Т. 24. № 4–5. С. 487–491.
- Александрова М.И. Некоторые виды борщевика в среднетайжной зоне Коми АССР: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Киров. 1971. 26 с.
- Архив Национального центра экологической информации США. 2018 (Электронный ресурс) // (<ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/gsod/2018>). Проверено 11.07.2019.
- Архив Национального центра экологической информации США. 2019 (Электронный ресурс) // (<ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/gsod/2019>). Проверено 11.07.2019.
- Виноградова Ю.К., Майоров С.Р., Хорун Л.В. Чёрная книга флоры Средней России: чужеродные виды растений в экосистемах Средней России. М.: Изд-во ГЕОС, 2010. С. 512.
- Гигиенические требования к безопасности процессов испытаний, хранения, перевозки, реализации, применения, обезвреживания и утилизации пестицидов и агрохимикатов: СанПиН 1.2.2584-10. (Электронный документ) // (<http://docs.cntd.ru/document/902204851>). Проверено 11.07.2019.
- Гидрометцентр России (Электронный ресурс) // (<https://meteoinfo.ru/novosti/16117-vesna-2019-v-rossii-byla-ochen-teploj>). Проверено 11.07.2019.
- Далькэ И.В., Чадин И.Ф., Захожий И.Г. Анализ мероприятий по ликвидации нежелательных зарослей борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) на территории Российской Федерации //

- Российский журнал биологических инвазий. 2018. № 3. С. 44–61.
- Живетьев М.А., Граскова И.А., Поморцев А.В., Войников В.К. Содержание воды и сахаров в листьях лекарственных растений в течение вегетации // Журнал стресс-физиологии и биохимии. 2011. Т. 7 № 4. С. 69–79.
- Иванисов М.М., Ионова Е.В. Морозостойкость сортов и линий озимой мягкой пшеницы // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 9. (51). Ч. 3. С. 110–113.
- Изменения климата 2018 весна: март – май. Обзор состояния и тенденций изменения климата России, Москва 2018а. (Электронный документ) // (http://climatechange.igce.ru/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=242&Itemid=75&lang=ru). Проверено 11.07.2019.
- Изменения климата 2018 зима: декабрь 2017 – февраль 2018. Обзор состояния и тенденций изменения климата России, Москва 2018б. (Электронный документ) // (http://climatechange.igce.ru/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=226&Itemid=75&lang=ru). Проверено 11.07.2019.
- Изменения климата 2019 зима: декабрь 2018 – февраль 2019. Обзор состояния и тенденций изменения климата России, Москва 2019. (Электронный документ) // (http://climatechange.igce.ru/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=248&Itemid=75&lang=ru). Проверено 11.07.2019.
- Климов С.В. Пути адаптации растений к низким температурам // Успехи современной биологии. 2001. Т. 121. С. 3–22.
- Князев С.Д., Голяева О.Д., Николаев А.В., Панфилова А.А. Особенности зимних повреждений смородины // Плодоводство и ягодоводство России: Сб. науч. тр. / ВСТИСП. М., 2006. Т.16. С. 131–134.
- Красова Н.Г., Ожерельева З.Е., Галашева А.М. Устойчивость цветков яблони к весенним заморозкам // Вестник Орловского государственного аграрного университета. 2009. № 6 (21). С. 50–53.
- Кривошеина М.Г. Насекомые – вредители борщевика Сосновского в Московском регионе и перспективы их использования в биологической борьбе // Российский журнал биологических инвазий. 2011. № 1. С. 44–51.
- Круглов Н.М. Прямое промораживание как метод оценки морозостойкости плодовых растений // Состояние и перспективы селекции и сорторазведения плодовых культур: Материалы междунар. научно-метод. конф. (12–15 июля 2005 г.). Орел, 2005. С. 359–363.
- Мальшев Р.В., Атоян М.С. Оводнённость и температура фазового перехода вода – лёд в почках древесных растений // Вестник Института биологии Коми НЦ УрО РАН. 2018. № 2 (204). С. 2–7. [https://doi.org/10.31140/j.vestnikib.2018.2\(204\).1](https://doi.org/10.31140/j.vestnikib.2018.2(204).1)
- Маслова С.П., Табаленкова Г.Н., Куренкова С.В., Плюснина С.Н. Сезонная динамика анатомо-морфологической структуры и содержания фитогормонов и сахаров в подземных побегах *Phalaroides arundinacea* // Физиология растений. 2007. Т. 54. № 3. С. 1–7.
- Ожерельева З.Е Ускоренная оценка устойчивости земляники садовой к весенним заморозкам // Современные научные исследования и разработки 2018. Т. 3. № 4 (21). С. 303–305.
- Озерова Н.А., Кривошеина М.Г. Особенности формирования вторичных ареалов борщевиков Сосновского и Мантегацци (*Heracleum sosnowskyi*, *H.mantegazzianum*) на территории России // Российский журнал биологических инвазий. 2018. № 1. С. 78–87.
- Озерова Н.А., Широкова В.А., Кривошеина М.Г., Петросян В.Г. Пространственное распределение борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi*) в долинах больших и средних рек Восточно-Европейской равнины (по материалам экспедиционных исследований 2008–2016 гг.) // Российский журнал биологических инвазий. 2017. № 3. С. 38–63.
- Палкин Ю.Ф., Мокшонова И.М., Раченко М.А. Морозустойчивость лука-порея в Восточной Сибири // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2017. № 4. С. 23–24.
- Поморцев А.В., Грабельных О.И., Дорофеев Н.В., Пешкова А.А., Войников В.К. Связь морозостойкости озимых зерновых с интенсивностью дыхания и содержанием водорастворимых углеводов в течение осенне-весеннего периода // Журнал стресс-физиологии и биохимии. 2013. Т. 9. № 4. С. 115–121.
- Про борщевик. 2019 (Электронный документ) // (<http://proborschewik.ru/archives/4193>). Проверено 11.07.2019.
- Проект «Мороз». 2018–2019 (Электронный документ) // (<http://proborschewik.ru/moroz-2018-2019-prodolzhaetsya>). Проверено 11.07.2019.
- Проект «Мороз». 2019 (Электронный документ). // (<http://proborschewik.ru/moroz-2019-2020-gg>). Проверено 11.07.2019.
- Расписание погоды. 2004–2019 (Электронный документ) // (<https://gr5.ru>). Проверено 11.07.2019.
- Резник С.Я., Долговская М.Ю., Зайцев В.Ф., Давидьян Г.Э., Нентвиг В. О возможности использования слонника *Nastus fausti* Reitter (Coleoptera, Curculionidae: Entiminae, Nastini) для биологического контроля инвазивных видов борщевиков (*Heracleum spp*) // Энтомологическое обозрение. 2008. Т. 87 № 3. С. 489–502.
- Сацыперова И.Ф. Борщевики флоры СССР – новые кормовые растения. Л. Наука, 1984. 223 с.
- Соловьёва М.А. Атлас повреждений плодовых и ягодных культур морозами. Киев, 1988. 48 с.
- Трунова Т.И. Растение и низкотемпературный стресс. М.: Наука, 2007. 54 с.
- Туманов И.И. Физиология закаливания и морозостойкости растений. М.: Наука, 1979. 350 с.
- Хантимер И.С. Сельскохозяйственное освоение тундры. Л., 1974. 221 с.
- Чадин И.Ф., Далярэ И.В., Мальшев Р.В. Оценка морозостойкости борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) после удаления снежного по-

- кровя в ранневесенний период // Российский журнал биологических инвазий. 2018. № 4. С. 105–116.
- Эбель А.Л., Зыкова Е.Ю., Михайлова С.И., Черногриров П.Н., Эбель Т.В. Расселение и натурализация инвазивного вида *Heracleum sosnowskyi* Manden. (Apiaceae) в Сибири // Экология и география растений и растительных сообществ: Материалы IV Международной научной конференции (Екатеринбург, 16–19 апреля 2018 г.). Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та; Гуманитарный ун-т, 2018. С. 1065–1070.
- Якимович Е.А., Ясючена О.А., Ивашкевич А.А. Методические рекомендации по применению гербицидов для борьбы с борщевиком Сосновского. 3-е изд., доп. / РУП «Институт защиты растений». Минск, 2013. 92 с.
- Caffrey J.M., Madsen J.D. The management of giant hogweed in an Irish river catchment // Journal of Aquatic Plant Management. 2001. Vol. 39. P. 28–33.
- Chadin I., Dalke I., Zakhozhiy I. et al. Distribution of the invasive plant species *Heracleum sosnowskyi* Manden. in the Komi Republic (Russia) // PhytoKeys. 2017. Vol. 77. P. 71–80. <https://doi.org/10.3897/phytokeys.77.11186>
- Dalke I.V., Chadin I.F., Zakhozhiy I.G., Malyshev R.V., Maslova S.P., Tabalenkova G.N., Golovko T.K. Traits of *Heracleum sosnowskyi* plants in monostand on invaded area // PLoS ONE. 2015. Vol. 10. № 11. P. e0142833. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0142833>
- Dalke I., Malyshev R., Maslova S. Growth of *Heracleum sosnowskyi* Manden. plant in indoor conditions after end of vegetation period [Data set] (Электронный документ) // Zenodo. 2018 // (<https://doi.org/10.5281/zenodo.1244757>). Проверено 11.07.2019.
- Ecology and management of giant hogweed (*Heracleum Mantegazzianum*) / Eds. P Pysek, M.J.W. Cock, W. Nentwig, H.P. Ravn. 2007. CABI Publishing Wallingford, United Kingdom. 352 p.
- Fick S.E., Hijmans R.J. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas: New climate surfaces for global land areas // International Journal of Climatology. 2017. Vol. 37. No. 12. P. 4302–4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
- Gudžinskas Z., Žalneravičius E. Seedling dynamics and population structure of invasive *Heracleum sosnowskyi* (Apiaceae) in Lithuania. // Annales Botanici Fennici. 2018. Vol. 55. P. 309–320. <https://doi.org/10.5735/085.055.0412>
- Kaurin A., Junntila O., Hanson J. Seasonal changes in frost hardiness in cloudberry (*Rubus chamaemorus*) in relation to carbohydrate content with special reference to sucrose // Physiologia Plantarum. 1981. Vol. 52. No. 2. P. 310–314. doi:10.1111/j.1399-3054.1981.tb08512.x
- Klima K., Synowiec A. Field emergence and the long-term efficacy of control of *Heracleum sosnowskyi* plants of different ages in southern Poland // Weed Research. 2016. Vol. 56. No. 2. P. 377–385. <https://doi.org/10.1111/wre.12214>
- Malyshev R. V. Freezing point of water, water content and proportion of freezing water in *Heracleum sosnowskyi* plants [Data set] (Электронный документ) // Zenodo. 2018 // (<http://doi.org/10.5281/zenodo.1475913>). Проверено 11.07.2019.
- Malyshev R. V. Freezing point of water, water content and proportion of freezing water in *Heracleum sosnowskyi* seedlings with radicles [Data set] (Электронный документ) // Zenodo. 2019 // (<http://doi.org/10.5281/zenodo.2636095>). Проверено 11.07.2019.
- Nielsen C., Ravn H.P., Nentwig W., Wade M. The giant hogweed best practice manual. Guidelines for the management and control of an invasive weed in Europe. Forest & Landscape Denmark, Hoersholm. 2005. 44 p.
- Pergl J., Sádlo J., Petrušek A., Laštůvka Z., Musil J., Perglová I., Šanda R., Šefrová H., Šíma J., Vohralík V., Pyšek P. Black, Grey and Watch Lists of alien species in the Czech Republic based on environmental impacts and management strategy // NeoBiota. 2016. Vol. 28: P. 1–37. <https://doi.org/10.3897/neobiota.28.4824>
- R Core Team R: A Language and Environment for Statistical Computing / R Core Team. – Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2017 (Электронный документ) // (<https://www.R-project.org>). Проверено 11.07.2019.
- Senser M., Beck E. On the mechanisms of frost injury and frost hardening of spruce chloroplasts // Planta. 1977. Vol. 137. No. 3. P. 195–201. <https://doi.org/10.1007/BF00388150>
- Silvertown J. A new dawn for citizen science // Trends in Ecology & Evolution. 2009. Vol. 24. No. 9. P. 467–471. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.03.017>
- Van Huystee R.B., Weiser C. J., Li P.H. Cold acclimation in *Cornus stolonifera* under natural and controlled photoperiod and temperature // Botanical Gazette. 1967. Vol. 128. No. 3–4. P. 200–205. <https://www.jstor.org/stable/2472925>
- Vinogradova Y., Pergl J., Essl F., Hejda M., van Kleunen M., Pyšek P. Invasive alien plants of Russia: insights from regional inventories // Biological Invasions. 2018. Vol. 20. No. 8. P. 1931–1943. <https://doi.org/10.1007/s10530-018-1686-3>
- Zenodo (Электронный документ) // (<http://doi.org/10.5281/zenodo.3368583>). Проверено 11.07.2019.

HERACLEUM SOSNOWSKYI FROST-RESISTANCE IN LABORATORY AND FIELD EXPERIMENTS

**Dalke I.V.^{a,*}, Chadin I.F.^a, Malyshev R.V.^a, Zakhozhiy I.G.^a,
Tishin D.V.^{b,**}, Kharevsky A.A.^a, Solod E.G.^a, Shaikina M.N.^{c,***},
Popova M.Y.^a, Polyudchenkov I.P.^a, Tagunova I.I.^a, Lyazev P.A.^a,
Belyaeva A.V.^a**

^aInstitute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar,
167982, Russia

^bKazan (Volga Region) Federal University, Kazan, 420097, Russia

^cN. V. Tsytsyn Main Botanical Garden of the RAS, Moscow, 127276, Russia

e-mail: *dalke@ib.komisc.ru; **dtishin80@gmail.com; ***mshajk@yandex.ru

Results of *Heracleum sosnowskyi* frost resistance evaluation in laboratory and field experiments are presented. Plants of these species have low freezing tolerance and die in temperature range minus 6–12 °C. Snow cover provides stable soil temperature (not lower than minus 3 °C) and is the only factor that ensures the survival of *H. sosnowskyi* plants in the regions with cold winter. The *H. sosnowskyi* frost tolerance is higher in autumn (up to minus 12 °C) and became lower at spring (minus 5–7 °C). These results can be explained by absence of deep dormancy in *H. sosnowskyi* meristem tissues and gradual change of carbohydrate content in them during the cold period. The seeds have high freezing tolerance after their formation but lost it after stratification. The field experiments were carried out by participants of citizen science project “Moroz”. It was shown that probability of *H. sosnowskyi* plant eradication by snow removal depends completely on weather conditions. This method can be used only in the territories where the use of herbicides is prohibited and only in the regions with minimal temperature in January – February not higher than minus 25 °C.

Key words: *Heracleum sosnowskyi*, invasion management, frost resistance, winter hardiness, citizen science.