

Министерство образования и науки Российской Федерации
Уральский федеральный университет
им. первого Президента России Б. Н. Ельцина
Институт экологии растений и животных УрО РАН
Ботанический сад УрО РАН
Институт экологии Волжского бассейна РАН
Русское ботаническое общество

**ЭКОЛОГИЯ И ГЕОГРАФИЯ РАСТЕНИЙ
И РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ**

Материалы IV Международной научной конференции

Екатеринбург, 16–19 апреля 2018 г.

**Екатеринбург
2018**

УДК [581.5+581.9](063)

ББК 28.58

Э 40

*Издание осуществлено при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 18-04-20008)*

Редакционная коллегия:

ответственный редактор – заслуженный деятель науки РФ,

доктор биологических наук, проф. **В. А. Мухин;**

доктор биологических наук, проф. **С. В. Саксонов;**

доктор биологических наук, проф. **О. Г. Баранова;**

доктор биологических наук, доц. **А. С. Третьякова**

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. – 1096 с.

ISBN 978-5-7741-0341-6

В сборнике представлены материалы докладов участников IV Международной научной конференции «Экология и география растений и растительных сообществ», в которых рассматривается широкий круг вопросов, охватывающих все традиционные направления современной ботаники: география растений; сравнительная флористика; география растительных сообществ и классификация растительности; популяционная экология и генетика растений; антропогенная трансформация и устойчивость растительных сообществ; охрана растительного покрова и ведение региональных «Красных» и «Зеленых» книг; интродукция и акклиматизация растений; история ботанических исследований. Книга предназначена для широкого круга специалистов – ботаников и экологов в области изучения биологического разнообразия растений, биогеографии и рационального природопользования, а также для студентов и преподавателей университетов, сельскохозяйственных, педагогических, медицинских и лесохозяйственных вузов.

УДК [581.5+581.9](063)

ISBN 978-5-7741-0341-6

© Институт естественных наук и математики, 2018

© Издательство Уральского университета, 2018

© Оформление Гуманитарный университет, 2018

**Моделирование географических пределов распространения
Heracleum sosnowskyi Manden.
в таежной зоне европейской части России¹**

Вторжение чужеродных растений и животных с последующей вспышкой численности (биологические инвазии) является одной из важных экологических и экономических проблем [3; 8; 9]. Изучение инвазий позволяет определить механизм распространения живых организмов за пределами естественных ареалов, оценить скорость, направление и границы их распространения. Разработка теории прогнозирования и управление инвазивными видами относятся к приоритетным направлениям современных биологических исследований [6; 9]. Примером успешного вторжения с высоким уровнем социально-экономического влияния считаются формирование вторичного ареала борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) [4; 10]. У человека это растение способно вызывать острую фототоксическую реакцию и ожоги. Целью работы является построение модели распространения и определение теоретических границ ареала борщевика Сосновского на основе эколого-физиологических свойств данного вида и биоклиматических переменных. Эколого-физиологическая модель расселения позволит описать механизм инвазии борщевика Сосновского в бореальной зоне и внесет вклад в понимание способов расселения чужеродных видов, опосредованных деятельностью человека. Картографирование зарослей борщевика является важным элементом системных мероприятий по их ликвидации.

Для сбора данных использовали комплекс эколого-физиологических и биогеографических методов. В ходе маршрутных исследований получали географические координаты мест произрастания борщевика Сосновского и загружали данные в информационную систему «РИВР» (<http://ib.komisc.ru/add/rivr>). В течение вегетации отбирали особи борщевика разного возрастного состояния для проведения структурно-функционального анализа. Реакцию растений на изменение факторов среды оценивали по показателям CO₂-газообмена (фотосинтез, дыхание), теплопродукции и скорости роста. Данные о параметрах окружающей среды в региональном, континентальном и глобальном масштабах получали из открытых источников: базы данных WorldClim (<http://www.worldclim.org>), базы данных гидрометеорологических наблюдений (<http://ib.komisc.ru/climat>, <http://tr5.ru>, <http://aisori-m.meteo.ru>), архивов Национального центра информации о состоянии окружающей среды США (<ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/g sod>). В качестве предикторов использовали растры, с пространственным разрешением 30 секунд (около 1 км²), содержащие биоклиматические данные (21 переменная), типы землепользования, расстояние до ближайшей дороги, расстояние до ближайшего насе-

* И. В. Далькэ, И. Ф. Чадин, И. Г. Захожий, Р. В. Малышев, С. П. Маслова, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологии Коми научного центра УрО РАН (Сыктывкар).

E-mail: dalke@ib.komisc.ru

¹ Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ № 16-44-110694 р_а «Эколого-физиологическое моделирование географических пределов распространения инвазивных видов растений на примере борщевика Сосновского в таежной зоне европейской части России» выполняемого на основе заключенного Соглашения между Правительством Республики Коми и РФФИ на 2013-2017 гг. и проекта «Фототрофные организмы как компонент живой природы и индикатор климатических изменений» (ГР АААА-А18-118012290132-0).

ленного пункта, характеристики почвенного покрова. Корреляционное моделирование пространственного распределения растений выполняли методом обобщенного линейного моделирования – GLM в среде R (<http://www.r-project.org>) и на основе алгоритма максимизации энтропии Maxent (http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent). Моделирование выполняли в границах: мин., макс. долгота: 42°, 68°; мин., макс. широта: 57°, 72°. Сведения о контрактах по ликвидации зарослей борщевика Сосновского получали на Официальном сайте Единой информационной системы в сфере закупок Российской Федерации (<http://zakupki.gov.ru>).

Успех инвазии борщевика Сосновского в таежной зоне европейской части России обусловлен способностью вида формировать моновидовые заросли, эффективными механизмами поддержания численности популяции и распространения на новые территории. Биологической особенностью борщевиков является их устойчивость к низким температурам, благодаря чему в период весенних и осенних заморозков всходы и растения хорошо сохраняются. Отрастание растений весной осуществляется за счет почвенного банка семян и подземных почек возобновления, которые закладываются на стеблекорне и перезимовывают. Борщевик Сосновского формирует сплошной полог с листовым индексом до 6, перехватывающий более 97 % светового потока. Проростки и ювенильные растения функционально адаптированы к условиям низкой освещенности под пологом взрослых растений. После механического повреждения (скашивания) надземная часть растений быстро возобновляется благодаря достаточному числу почек возобновления (до 24 шт./м² зарослей). Выявлена высокая плотность (до 20 тыс. шт. семян/м² зарослей) ежегодно обновляемого банка семян, часть которого распространяется за пределы зарослей преимущественно воздушными потоками [5].

Одним из основных экологических факторов, ограничивающих рост и развитие растений, особенно в условиях сезонного климата, является температурный режим. На основе оценки реакции метаболизма растений на изменение температуры можно прогнозировать их рост при изменении климатических показателей. В условиях подзоны средней тайги почки возобновления растений борщевика Сосновского способны к росту в широком диапазоне температур от 2 до 30 °С. Весной скорость запасания энергии в почках возрастает с увеличением температуры среды. Осенью, в период подготовки растений к перезимовке, наибольшая скорость роста и эффективность запасания энергии отмечена при низких положительных температурах (2–5 °С). Таким образом, метаболическая активность молодых тканей растений борщевика Сосновского обеспечивает адаптацию растений к низким температурам в зимний период и высокие темпы роста ранней весной. Выявлены потенциальные физиологические возможности изучаемого вида для продвижения в более северные широты.

По теплообеспеченности вегетационного периода территория Республики Коми разделена на четыре агроклиматических района, границами которых служат изотермы сумм активных температур (САТ), проведенные через каждые 200 °С. Для завершения полного цикла развития сельскохозяйственные культуры требуют определенного количества тепла (биологическая САТ) и определенный температурный уровень, ниже которого развитие растений задерживается, и культура не вызревает. Анализ литературы показал, что борщевик Сосновского успешно культивировали в агроклиматических районах Республики Коми с САТ от 800 до 1 550 °С. По нашим наблюдениям, борщевик Сосновского формирует заросли в подзоне северной лесотундры (МО ГО «Инта», 66,04° с.ш., 60,13° в.д.). Попытки культивирования этого вида севернее, на стационарах в условиях лесотундры (совхоз «Горняк», 66,61° с.ш., 62,53° в.д.) и тундры (совхоз «Центральный», 67,51° с.ш., 64,12° в.д.) показали, что посевы этого растения непригодны для возделывания,

как в пойме, так и на материковых участках. Причинами гибели борщевика Сосновского в тундре являются сокращение безморозного периода и высокая частота появления осенних заморозков. Таким образом, за пределами границ холодного агроклиматического района, в условиях снижения теплообеспеченности региона ($САТ < 800 \text{ }^\circ\text{C}$), борщевик Сосновского оказался непригодным для выращивания.

Результаты корреляционного моделирования пространственного распространения борщевика Сосновского (рисунок) хорошо согласуются с оценкой его эколого-физиологических свойств и позволяют утверждать, что границей его потенциального вторичного ареала в северном направлении является зона, расположенная между изолиниями суммы активных температур от 800 до 1 000 $^\circ\text{C}$ ($САТ$ с порогом 10 $^\circ\text{C}$ за период с 01 мая по 31 августа). В южном направлении фактическая граница вторичного ареала проходит за пределами зоны умеренного климата и ее теоретические границы в данной работе не рассматривались.

Согласно метеорологическим наблюдениям, за последние 58 лет наблюдается тренд увеличения показателя $САТ$ до 1 600 $^\circ\text{C}$ в таежной зоне (Сыктывкар, индекс ВМО 23804). В условиях тундры (Елецкая, индекс ВМО 23220) тренд потепления выражен нечетко, но за последнее десятилетие отмечены величины $САТ$ более 1 000 $^\circ\text{C}$. Таким образом, в отдельные годы (2013 г., 2016 г.) с увеличением теплообеспеченности вегетационного периода создаются предпосылки для сдвига границы распространения борщевика Сосновского на север.

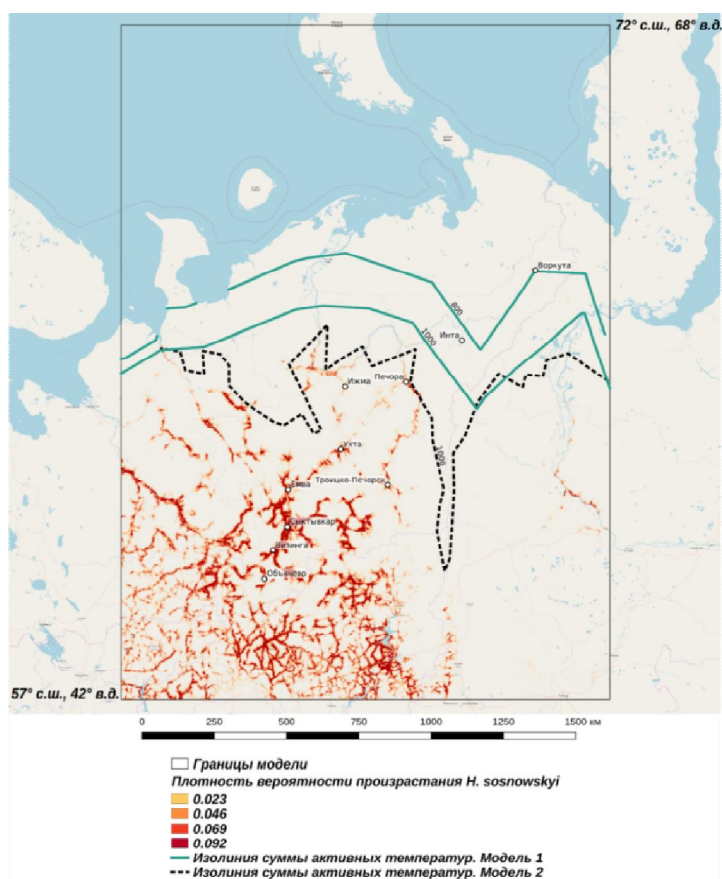


Рис. Результаты моделирования потенциального ареала борщевика Сосновского с использованием алгоритма Maxent

На картосхеме приведены изолинии суммы активных температур ($САТ$) в 800 $^\circ\text{C}$ и 1 000 $^\circ\text{C}$. Изолинии получены с использованием двух моделей. *Модель 1*: интерполированные фактические средние значения $САТ$, измеренных на метеостанциях за 1976, 1977, 1985, 1991, 1993, 2000 гг. *Модель 2*: $САТ$, рассчитанная на основе уравнения линейной регрессии по данным о средней температуре наибо-

лее теплого квартала (переменная BIO10, <http://www.worldclim.org/bioclim>, период: 1970–2000 гг.).

Эколого-физиологические свойства вида предсказывают, а фактические наблюдения подтверждают, что внутри потенциальных границ вторичного ареала места произрастания борщевика Сосновского приурочены, прежде всего, к открытым местообитаниям за исключением болот. Борщевик не выдерживает конкуренции с темнохвойными породами за свет. Требовательность к богатству почв и определенному режиму увлажнения ограничивает его проникновение на территории, занятые сосновыми лесами. Лесопокрытая площадь Республики Коми составляет 66 % ее территории, болота занимают около 8 %. Эти территории недоступны для внедрения борщевика Сосновского. В зоне, климатически благоприятной для произрастания борщевика Сосновского, этот вид занимает земли сельскохозяйственного назначения, обочины дорог, территории населенных пунктов.

В России сведения о прямых расходах на искоренение инвазий до настоящего момента не обобщались. С учетом масштабов распространения борщевика Сосновского в регионах РФ проводят многолетние программы по ликвидации его нежелательных зарослей [1–3]. Для анализа эффективности проведенных мероприятий нами обработаны данные контрактов по картографированию и уничтожению борщевика Сосновского на территории Республики Коми и других регионов РФ. С 2013 по 2017 гг. в Республике Коми (МО ГО «Сыктывкар») проведены мероприятия по ликвидации зарослей борщевика на площади 90 га. Общая стоимость работ превысила 3 млн руб. Согласно анализу контрактов, стоимость уничтожения зарослей на площади 1 га составила около 35 тыс. руб. (медианное значение), что в два раза выше аналогичного показателя рассчитанного для других территорий РФ. Начиная с 2016 г. для ликвидации зарослей борщевика в Республике Коми кроме кошения стали использовать гербициды. Стоимость работ с использованием гербицидов сильно варьировала: от 93 тыс. руб./га в 2016 г. до 15 тыс. руб./га в 2017 г. Медианная стоимость аналогичных работ в РФ не превышает 15 тыс. руб./га. В мировой практике программы по искоренению нежелательной растительности рассчитывают на период более 10 лет. Выделение приоритетных участков для борьбы с нежелательными видами растений является наиболее эффективным способом борьбы в условиях ограниченного бюджета [7]. Для реализации «пилотного» проекта на ограниченной территории требуется:

- 1) провести учет и картографирование площадей занятых борщевиком Сосновского;
- 2) выполнить классификацию территорий по типам хозяйственного использования;
- 3) установить собственников земельных участков;
- 4) определить приоритетные участки для уничтожения зарослей борщевика;
- 5) выполнить работы по уничтожению борщевика на выбранных участках;
- 6) создать и поддерживать буферные зоны шириной не менее 6 м на границах участков, контактирующих с необработанными зарослями борщевика.

Таким образом, были изучены эколого-физиологические свойства борщевика Сосновского, обеспечивающие успех его инвазии в таежной зоне европейской части России. Выявлены особенности метаболизма, обеспечивающие адаптацию растений борщевика к низким температурам в зимний период и высокие темпы роста ранней весной. Установлено, что распространение инвазии борщевика ограничено требованиями вида к условиям среды, наиболее важными из которых являются: сумма активных температур, освещенность, режим увлажнения и богатство почвы. Границей потенциального вторичного ареала борщевика Сосновского в северном направлении является интервал между изолиниями САТ от 800 до 1 000 °С. Результаты картографирования зарослей борщевика использованы

для разработки подходов по управлению численностью этого вида. В условиях ограниченного бюджета системную работу по ликвидации растений следует начинать с реализации «пилотных» проектов.

Литература

1. Об областном бюджете Ленинградской области на 2017 год и на плановый период 2018 и 2019 годов : областной закон Ленинградской области от 09.12.2016 № 90-оз (принят ЗС ЛО 02.12.2016) (ред. от 31.10.2017).
2. О государственной поддержке социально-экономического развития Вологодской области : постановление Совета Федерации Федерального Собрания Российской Федерации от 29.06.2016 № 443-СФ .
3. О государственной поддержке социально-экономического развития Кировской области : постановление Совета Федерации Федерального Собрания Российской Федерации от 12.04.2017 № 102-СФ .
4. Bradshaw C. J. A., Leroy B., Bellard C., Roiz D., Albert C., Fournier A., Barbet-Massin M., Salles J.-M., Simard F., Courchamp F. Massive yet grossly underestimated global costs of invasive insects // Nat Commun. – 2016. – V. 7, № 12986.
5. Chadin I. F., Dalke I. V., Zakhozhiy I. G., Malyshev R. V., Madi E. G., Kuzivanova O. A., Kirillov D. V., Elsakov V. V. Distribution of the invasive plant species *Heracleum sosnowskyi* Manden. in the Komi Republic (Russia) // PhytoKeys. – 2017. – Vol. 77. – P. 71–80.
6. 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. – 10 (11): e0142833.
7. Mack R. N., Simberloff D., Lonsdale W. M., Evans H. C., Clout M., Bazzaz F. A. Biotic invasions: Causes, epidemiology, global consequences and control // Ecological Applications. – 2000. – Vol. 10, № 3. – P. 689–710.
8. Meier E. S., Dullinger S., Zimmermann N. E., Baumgartner D., Gattlinger A., Hülber K. Space matters when defining effective management for invasive plants // Diversity and Distributions. – 2014. – Vol. 20, № 9. – P. 1029–1043.
9. Pimentel D., Zuniga R., Morrison D. Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States // Ecological Economics. – 2005. – V. 52, № 3. – P. 273–288.
10. Pyšek P., Richardson D. M. Invasive species, environmental change and management, and health // Annual Review of Environment and Resources. – 2010. – Vol. 35. – P. 25–55.
11. The Giant Hogweed Best Practice Manual: Guidelines for the Management and Control of an Invasive Weed in Europe. Eds. Nielsen C., Ravn H. P., Nentwig W., Wade M. – Hørsholm ; Denmark : Forest & Landscape Denmark, 2005. – 44 p.

**I. V. Dalke, I. F. Chadin, I. G. Zakhozhiy,
R. V. Malyshev, S. P. Maslova,**
Institute of Biology of Komi Scientific Centre
of the Ural Branch of the RAS (Syktyvkar)

INVASION PLANT SPECIES DISTRIBUTION ECOPHYSIOLOGICAL MODELING. THE CASE OF *HERACLEUM SOSNOWSKYI*

Heracleum sosnowskyi Manden. ecological and physiological traits caused its successful invasion in the taiga zone of the European part of Russia and approach to *H. sosnowskyi* management were studied. *H. sosnowskyi* plants metabolism corresponds to the temperature regime. This traits ensures its adaptation to low temperatures in winter and high growth rates in early spring. The spread of invasion is limited by the requirements of the species to environmental conditions: temperature (growing day degrees), light, moistening regime and richness of the soil. It was shown that the North boundary of the potential secondary *H. sosnowskyi* range is the interval between the isolines of the growing day degrees (GDD) from 800 to 1 000 °C. In the

Komi Republic the median cost of *H. sosnowskyi* plant population eradication was about 35 000 rubles/ha, which is twice as high as that calculated for other territories of the Russian Federation. Systematic work on plant eradication should begin with the implementation of «pilot» projects in the context of a limited budget.