РУССКОЕ БОТАНИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО
БОТАНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМ. В. Л. КОМАРОВА РАН
ДАГЕСТАНСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РАН
ГОРНЫЙ БОТАНИЧЕСКИЙ САД ДНЦ РАН
ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

БОТАНИКА В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ

ТРУДЫ XIV СЪЕЗДА РУССКОГО БОТАНИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА И КОНФЕРЕНЦИИ

ТОМ III

УДК 58
ББК 28.5
Б-86

Съезд и конференция проведены при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 18-04-20028 и № 18-04-20023) и ФАНО России

Ответственный редактор:
проф. А. Л. Буданцев

Редакционная коллегия:
проф. Л. В. Аверьянов, д.б.н. М. П. Андреев, д.б.н. Е. М. Арнаутова, проф. З. М. Асадулаев, проф. О. Г. Баранова, к.б.н. О. В. Войцеховская, к.б.н. Е. А. Глазкова, д.б.н. Л. Б. Головнева, проф. В. И. Дорофеев, к.б.н. А. А. Егоров, к.б.н. П. Г. Ефимов, к.б.н. И. В. Змитрович, к.б.н. Г. Ю. Конечная, к.б.н. А. Ф. Лукницкая, к.б.н. Р. А. Муртазалиев, д.б.н. В. Ю. Нешатаева, проф. А. А. Паутов, д.б.н. А. Д. Потемкин, д.б.н. И. Н. Сафронова, к.б.н. Т. Н. Смекалова, к.б.н. И. В. Соколова, д.б.н. Н. И. Ставрова, к.б.н. Г. Е. Титова, к.б.н. Е. В. Тютерева, К. Е. Чеботарева, проф. И. И. Шамров, к.б.н. О. В. Яковлева, проф. В. Т. Ярмишко, М. А. Ярославцева

Б-86 **Ботаника в современном мире.** Труды XIV Съезда Русского ботанического общества и конференции «Ботаника в современном мире» (г. Махачкала, 18-23 июня 2018 г.). Т. 3: Споровые растения. Микология. Структурная ботаника. Физиология и биохимия растений. Эмбриология растений. – Махачкала: АЛЕФ, 2018. – 412 с.

ISBN 978-5-00128-023-1

В третьем томе трудов XIV Съезда Русского ботанического общества и конференции «Ботаника в современном мире» представлены результаты исследований по споровым растениям, микологии, структурной ботанике, физиологии, биохимии и эмбриологии растений. Представленные работы отражают современное состояние науки по этим направлениям в России.

ISBN 978-5-00128-023-1

© Русское ботаническое общество, 2018
© Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, 2018
© Дагестанский научный центр РАН, 2018
© Горный ботанический сад ДНЦ РАН, 2018
© Дагестанский государственный университет, 2018
© Издательство «АЛЕФ», 2018

Lewinsohn E., Gijzen M., Croteau R. 1991. Defense mechanisms of conifers differences in constitutive and wound-induced monoterpene biosynthesis among species // Plant Physiol. 96. 44-49 p.

Vickers C. E., Gershenzon J., Lerdau M. T., Loreto F. 2009.A unified mechanism of action for volatile isoprenoids in plant abiotic stress // Nature Chemical Biology. Vol. 5. № 5. 283-291 p.

Annual dynamics of yield essential oil of two-year-old Siberian fir needles (*Abies sibirica*) in the middle taiga subzone of the Komi Republic

Gerling N. V.*, Tarasov S. I.
Syktyvkar, Institute of Biology KSC UB RAS
*E-mail: Gerling@ib.komisc.ru

Essential oil plays an important role in support the homeostasis of conifers. Changes in the content and quantitative yield of essential oil in a plant are determined by many factors of abiotic and biotic nature. These factors have a complex effect on the plant, but are not regular. As a result, all deviations of the total content of essential oil from a constant value are also random. In the course of the study, a model of the dynamics of groups of components and the total yield of fir essential oil was obtained. According to this model, the average content of Siberian fir essential oil remains stable throughout the year.

ЭКОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ПРЕДЕЛОВ РАСПРОСТРАНЕНИЯ *HERACLEUM SOSNOWSKYI*

Далькэ И. В.*, Чадин И. Ф., Захожий И. Г., Малышев Р. В., Маслова С. П.
Сыктывкар, Институт биологии КНЦ УО РАН
*E-mail: dalke@ib.komisc.ru

Разработка теории прогнозирования биологического вторжения и управление инвазивными (чужеродными) видами относятся к приоритетным направлениям современных эколого-биологических исследований (Mack et al., 2000; Meier et al., 2014; Pyšek, Richardson, 2010). Изучение инвазий позволяет определить механизм распространения живых организмов за пределами естественных ареалов, оценить скорость, направление и границы их распространения. Примером успешной инвазии с высоким уровнем социально-экономического влияния является формирование вторичного ареала борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) (Chadin et. al., 2017). У человека это растение способно вызывать острую фототоксическую реакцию и ожоги. Целью работы является построение модели распространения растений борщевика Сосновского и определение теоретических границ ареала на основе эколого-физиологических свойств данного вида.

Для сбора материала использовали комплекс методов эколого-физиологических, экологических и инвазионных исследований в биологии. Проводили картографированию мест произрастания зарослей борщевика Сосновского ИС «РИВР» (http://ib.komisc.ru/add/rivr). В течение сезона вегетации отбирали особи борщевика разного возрастного состояния для проведения структурно-функционального анализа. Реакцию растений на изменение факторов среды оценивали по показателям CO_2-газообмена. Для оценки роста использовали модель, связывающую скорость роста с дыханием (R_{CO2}) и тепловыделением (q). 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°. В качестве предикторов использовали растровые слои, с пространственным разрешением 30 секунд (около 1 км^2) с данными: климатические данные (21 переменная), типы землепользования, расстояние до ближайшей дороги, расстояние до ближайшего населенного пункта, характеристики почвенного покрова полученные из открытых источников. Сведения о контрактах по ликвидации зарослей борщевика Сосновского получены 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 формированием уникальных моновидовых зарослей, их эффективным возобновлением и распростра-

нением растений на новые территории. Биологической особенностью борщевиков является их устойчивость к низким температурам, благодаря чему сохраняются всходы и растения в период весенних и осенних заморозков. 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 6, перехватывающий более 97% светового потока. Проростки и ювенильные растения под пологом адаптированы к условиям низкой освещенности. После механического повреждения надземная часть растений быстро возобновляется благодаря достаточному числу почек возобновления (до 24 шт./м^2 зарослей). Выявлена высокая плотность (до 20 тыс. шт. семян/м^2 зарослей) ежегодно обновляемого банка семян, распространяемых преимущественно воздушными потоками (Dalke et al., 2015).

Одними из основных экологических факторов, ограничивающих рост и развитие растений, особенно в условиях сезонного климата является температура. На основе оценки реакции метаболизма растений на изменение температуры можно прогнозировать их рост в разных климатических условиях. Результаты исследований показали, что в условия 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 диапазоне 5-20 °С составляла 4-7 мкВт/мг сухой массы, а с повышением температуры до 30 °С скорость запасания энергии увеличивалась в 4 раза. Доля тепловой диссипации энергии, образуемой в дыхании, была высокой в тканях весенних почек и достигала 80%. Осенью, в период подготовки растений к перезимовке, наибольшая скорость роста отмечена при низких положительных температурах (2-5 °С). При этих температурах в тканях осенних почек возобновления рассеивалось всего 20% образуемой в дыхании энергии. С повышением температуры в осенний период доля тепловой диссипации энергии в тканях верхушечных почек увеличивалась до 70%. Таким образом, метаболическая активность молодых тканей растений борщевика Сосновского соответствовала температурному режиму почвы и воздуха, что обеспечивает адаптацию растений к низким температурам в зимний период и высокие темпы роста ранней весной. Выявлены потенциальные физиологические возможности для продвижения изучаемого вида 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 1550 °С. По нашим наблюдениям борщевик Сосновского формирует заросли в подзоне северной лесотундры (МО ГО «Инта», 66□01□с.ш.). Попытки выращивания борщевика Сосновского севернее на стационарах в условиях лесотундры (совхоз «Горняк», 66□41□с.ш.) и тундры (совхоз «Центральный», 67°29□с.ш.) показали, что посевы этого растения непригодны для возделывания, как в пойме, так и на материковых участках. Причинами гибели борщевика Сосновского в тундре являются сокращение длительности безморозного периода и высокая частота осенних заморозков по сравнению с условиями тайги. Таким образом, за пределами границ холодного агроклиматического района в условиях снижения теплообеспеченности региона (САТ<800 °С) борщевик Сосновского оказался непригодным для выращивания. Результаты моделирования пространственного распространения борщевика Сосновского в сочетании оценкой его эколого-физиологических свойств позволили установить, что границей его потенциального вторичного ареала в северном направлении является интервал между изолиниями САТ от 800 °С до 1000 °С. Согласно метеорологическим измерениям за последние 50-60 лет средняя величина САТ в тундровой зоне (Елецкая, индекс ВМО 23220) возросла на 110 °С. В условиях дальнейшего потепления граница распространения борщевика может быть сдвинута на север.

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% её 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. 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 Сосновского на площади 90 га. Общая стоимость контрактов на выполнение данных работ превысила 3 млн. руб. Стоимость уничтожения зарослей борщевика 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 Сосновского в Республике Коми кроме кошения стали использовать гербициды. Стоимость работ с использованием гербицидов на территории МО ГО «Сыктывкар» сильно варьировала: от 93 тыс. руб./га в 2016 г. до 15 тыс. руб./га в 2017 г. По нашим данным Республика Коми (28 тыс. руб./га) вместе с Ивановской (39 тыс. руб./га) и Мурманской (150 тыс. руб./га) областями входит в тройку регионов с наибольшими расходами на уничтожение 1 га зарослей борщевика с помощью гербицидов. Медианная стоимость аналогичных работ в РФ не превышает 15 тыс. руб/га. Выделение приоритетных участков для борьбы с нежелательными видами растений является наиболее эффективным способом борьбы в условиях ограниченного бюджета (Meier et al., 2014). По нашему мнению, следует отказаться от идеи одномоментного уничтожения всех зарослей борщевика на территории региона. Системную работу по ликвидации растений следует начинать с реализации «пилотных» проектов. На выделенной территории следует: 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 инвазии в таежной зоне европейской части России, а также подходы по управлению численностью этого вида в различных регионах России. Выявлено соответствие метаболизма растений температурному режиму. Это обеспечивает адаптацию растений борщевика к низким температурам в зимний период и высокие темпы роста ранней весной. 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 °С до 1000 °С. В Республике Коми стоимость уничтожения зарослей борщевика составила около 35 тыс. руб./га, что в два раза выше показателя, рассчитанного для других территорий РФ.

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 частичной поддержке проекта «Фототрофные организмы как компонент живой природы и индикатор климатических изменений» (ГР АААА-А18-118012290132-0).

Список литературы

Chadin I. F., Dalke I. V., Zakhozhiy I. G., Malyshev R. V., Madi E. G., Kuzivanova O. A., Kirillov D. V., Elsakov V. V. 2017. Distribution of the invasive plant species *Heracleum sosnowskyi* Manden. in the Komi Republic (Russia) // PhytoKeys. Vol. 77. P. 71–80. 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. 2015. Traits of *Heracleum sosnowskyi* plants in monostand on invaded area // PLoS ONE 10(11): e0142833. doi.org/10.1371/journal.pone.0142833

Mack R. N., Simberloff D., Lonsdale W. M., Evans H. C., Clout M., Bazzaz F. A. 2000. Biotic invasions: Causes, epidemiology, global consequences and control // Ecological Applications. Vol. 10. № 3. P. 689–710. doi:10.1890/1051-0761(2000)010[0689:BICEGC]2.0.CO;2

Meier E. S., Dullinger S., Zimmermann N. E., Baumgartner D., Gattringer A., Hülber K. 2014. Space matters when defining effective management for invasive plants // Diversity and Distributions. Vol. 20. № 9. P. 1029–1043. doi:10.1111/ddi.12201

Pyšek P., Richardson D. M. 2010. Invasive species, environmental change and management, and health // Annual Review of Environment and Resources. Vol. 35. P. 25–55. doi.org/10.1146/annurev-environ-033009-095548

Invasion plant species distribution ecophysiological modeling. The case of *Heracleum sosnowskyi*

Dalke I. V.*, Chadin I. F., Zakhozhiy I., Malyshev R., Maslova S. P.
Syktyvkar, Institute of Biology KSC UB RAS
*E-mail: dalke@ib.komisc.ru

Summary. *Heracleum sosnowskyi* Manden. ecological and physiological traits caused it's 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 it's 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□□C to 1000 □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.

ОТСУТСТВИЕ ХЛОРОФИЛЛА *b* ИЗМЕНЯЕТ ВРЕМЯ ЦВЕТЕНИЯ И РЕГУЛЯЦИЮ ПЛАЗМОДЕСМ У МУТАНТОВ *CHLORINA ARABIDOPSIS THALIANA* И *HORDEUM VULGARE*

Дмитриева В. А.[1,*], Тютерева Е. В. [1], Иванова А. Н. [1,2], Добрякова К. С. [1], Евкайкина А. И. [1], Войцеховская О. В. [1]
[1]*Санкт-Петербург, Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН*
[2]*Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский государственный университет*
*E-mail: VDmitrieva@binran.ru

Мутанты *chlorina ch*1-3 *Arabidopsis thaliana* и *clo-f2 Hordeum vulgare* (ячменя) характеризуются неспособностью к биосинтезу хлорофилла *b*, так как у них неактивен необходимый для этого фермент хлорофиллид-*a*-оксигеназа (Tomitani et al., 1999). Такие мутанты имеют многочисленные нарушения, причем как на клеточном, так и на организменном уровне. Поскольку хлорофилл *b* является важным фактором сборки фотосинтетической антенны, у мутантов *ch*1 *Arabidopsis thaliana* и *clo-f2 Hordeum vulgare* формируется дефектная антенна, и пигмент-белковые комплексы их фотосинтетического аппарата оказываются дестабилизированными (Bossmann et al., 1999). Так как при интенсивном уровне освещенности антенна участвует в рассеивании избыточной энергии, у таких мутантов наблюдается повышенная чувствительность к окислительному стрессу. Мы показали, что при этом у них повышается уровень продукции активных форм кислорода (АФК), в особенности синглетного кислорода.

Известно, что АФК играют важную роль во многих процессах у растений, в том числе они могут выступать в качестве источника сигналов от хлоропластов. Недавно было показано, что редокс-сигналы из хлоропластов влияют на количество и пропускную способность плазмодесм (Stonebloom et al., 2012), обеспечивающих взаимодействие между клетками растений. Изменение количества плазмодесм может привести к нарушениям онтогенеза, поскольку многие факторы, участвующие в регуляции развития, транспортируются по симпласту (Urbanus et al., 2009). Например, через плазмодесмы перемещается «флориген» – белок FT (FLOWERING LOCUS T), основной фактор запуска цветения. Особое внимание нужно обратить на то, что по симпластному пути диффундируют сигналы от фитохрома PhyB (Imaizumi, Kai, 2006). Они перемещаются из клеток мезофилла, места синтеза PhyB, к клеткам флоэмы, где оказывают опосредованное ингибиторное воздействие на FT. PhyB наряду с другими фитохромами является ключевым регулятором цветения большинства как