Развернутый научный отчет по проекту
ориентированных фундаментальных исследований УрО РАН в 2013-2015 гг.
Тема проекта «Моделирование распространения семян и образования новых ценопопуляций инвазионного вида *Heracleum sosnowskyi* Manden. в агроклиматической зоне Республики Коми»

Номер проекта 13-4-028-КНЦ

Научный руководитель: к.б.н. Далькэ Игорь Владимирович
(Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар)

Объявленные цели проекта

К настоящему времени проблема внедрения чужеродных видов в природные экосистемы приобрела глобальный характер. Изучению механизмов инвазии, характера распространения и конкуренции чужеродных видов с аборигенными уделяется большое внимание во многих странах мира (Mack e.a., 2000, Дгебуадзе, 2002, Blackburn e.a., 2011). Деятельность человека часто способствует занесению и натурализации чужеродных видов растений в новых местообитаниях. Примером могут служить гигантские борщевики *Heracleum mantegazzianum, H. persicum, H. sosnowskyi*. На территории Европы борщевики были интродуцированы как декоративные растения. В середине XX века на территории бывшего СССР борщевик Сосновского вводили в культуру как кормовое растение (Сацыперова, 1984). В настоящее время, в процессе натурализации во вторичном ареале борщевик формирует монодоминантные заросли и характеризуется высокой конкурентоспособностью по отношению к травянистым видам природной флоры (Далькэ, Чадин, 2014). Отсутствие данных о механизмах расселения борщевика Сосновского затрудняет оценку масштаба влияния данного вида на природные экосистемы и урбанизированные территории. Результаты мониторинга направления и скорости расселения борщевика необходимы для планирования и реализации мер по борьбе с его нежелательными зарослями.

Целью проекта является выявление механизма расселения инвазионного вида Heracleum sosnowskyi Manden. (борщевика Сосновского) и разработка мер по предотвращению распространения этого растения на новых или ранее освобожденных от этого вида территориях.

В задачи работы входило:

1. Определить типы покоя семян борщевика и условия его преодоления. Изучить биологические и экофизиологические особенности борщевика от этапа прорастания до перехода в имматурное возрастное состояние.

2. Разработать модель процесса переноса семян борщевика воздушными потоками на короткие и дальние расстояния.

3. Определить сезонную динамику запаса семян борщевика в почве.

4. Оценить устойчивость разных типов местообитаний к заражению семенами борщевика.

5. Разработать программу освобождения территории населенного пункта от нежелательных зарослей борщевика.

Степень новизны полученных результатов

Нами показано, что борщевик ежегодно формирует значительный (до 20 000 шт. / м^2 ценоза) банк семян, основная часть которого расходуется (прорастает) за один вегетационный период, следующий за годом формирования семян. Впервые определены параметры модели, позволяющей определить направление и скорость распространения семян борщевика Сосновского с помощью ветра. Определены размеры воздушного банка семян, который остается на соцветиях растений борщевика после установления снежного покрова. Показана возможная роль воздушного банка семян в дальнем переносе (long distance dispersal).

На основе изучения экофизиологических особенностей борщевика от этапа прорастания до имматурного возрастного состояния определены показатели конкурентности, устойчивости и способности растений к распространению. Впервые показаны механизмы регуляции численности и поддержания ценопопуляции борщевика на ценотическом уровне. Установлено, что световой режим является ведущим фактором определяющим формирование зарослей борщевика.

Предложен план мероприятий для уничтожения нежелательных зарослей борщевика на территории сельского поселения Зеленец, Республика Коми (http://www.zelenec.ru/).

В результате выполнения проекта новыми сведениями были пополнены разделы сайта открытого доступа, посвященного инвазивным видам растений (URL: http://proborshevik.ru/); разделы сайта: биология борщевика, карта распространения борщевика, публикации в СМИ, литература о борщевике.

Полученные за отчетный период важнейшие результаты, их актуальность, сопоставление полученных результатов с мировым уровнем

1. Определить типы покоя семян борщевика и условия его преодоления. Изучить биологические и экофизиологические особенности борщевика от этапа прорастания до перехода в имматурное возрастное состояние.

После созревания на материнском растении семена борщевика Сосновского находятся в состоянии глубокого морфофизиологического покоя, который преодолевается только при длительной (не менее 40-50 дней) холодовой стратификации во влажных условиях. Условия для преодоления такого покоя гарантированно ежегодно создаются в весенний период в условиях агороклиматической зоны Республики Коми.

Проростки и ювенильные растения образуют два из четырех основных ярусов листьев в популяции борщевика Сосновского (рис. 1).

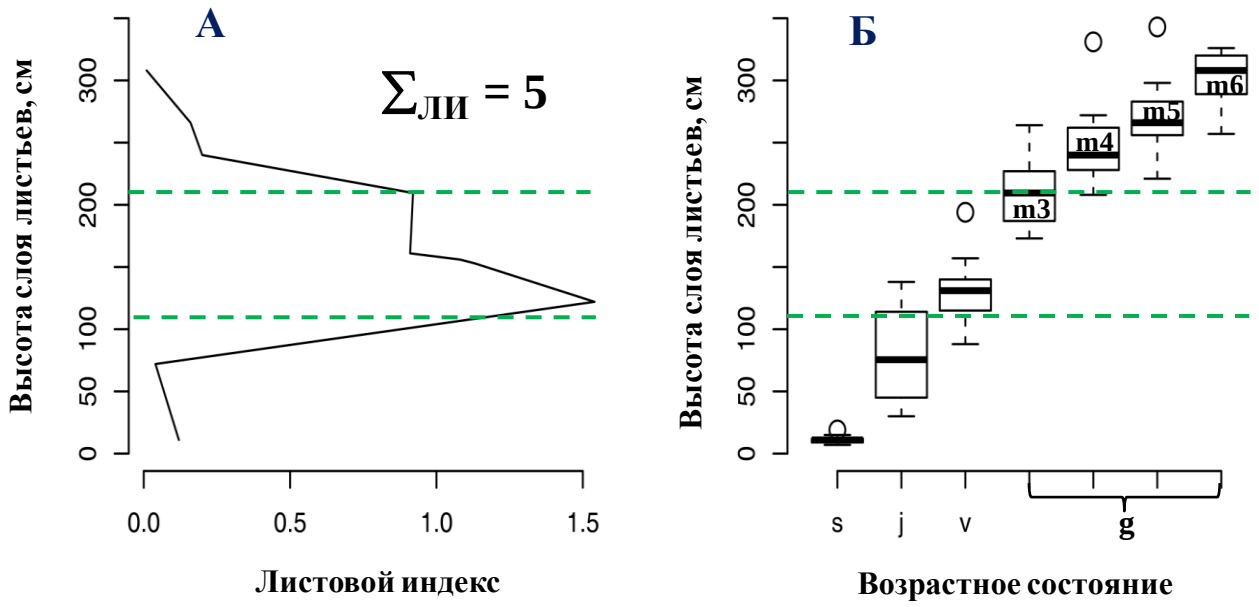

Рис. 1. Листовой индекс (А) и вертикальное распределение площади листовой поверхности борщевика Сосновского (Б) в фазу цветения. Обозначения: s – проростки, j – ювенильные, v – вегетативные взрослые растения, m3 – m6 – метамеры генеративных особей (m3 – 1-3 метамер, m4, m5, m6 – 4, 5 ,6 метамер.

Изучение зависимости CO_2-газообмена листьев растений борщевика от световых условий (рис. 2, табл. 1, 2) показало, что регуляция ростовой активности проростков и ювенильных особей осуществляется на ценотическом уровне. Освещение под пологом регулирует метаболизм проростков и ювенильных растений на уровне поддержания. В случае элиминации взрослых растении и нарушения полога, растения быстро наращивают

площадь ассимилирующей поверхности и восстанавливают сплошной полог в течение двух недель.

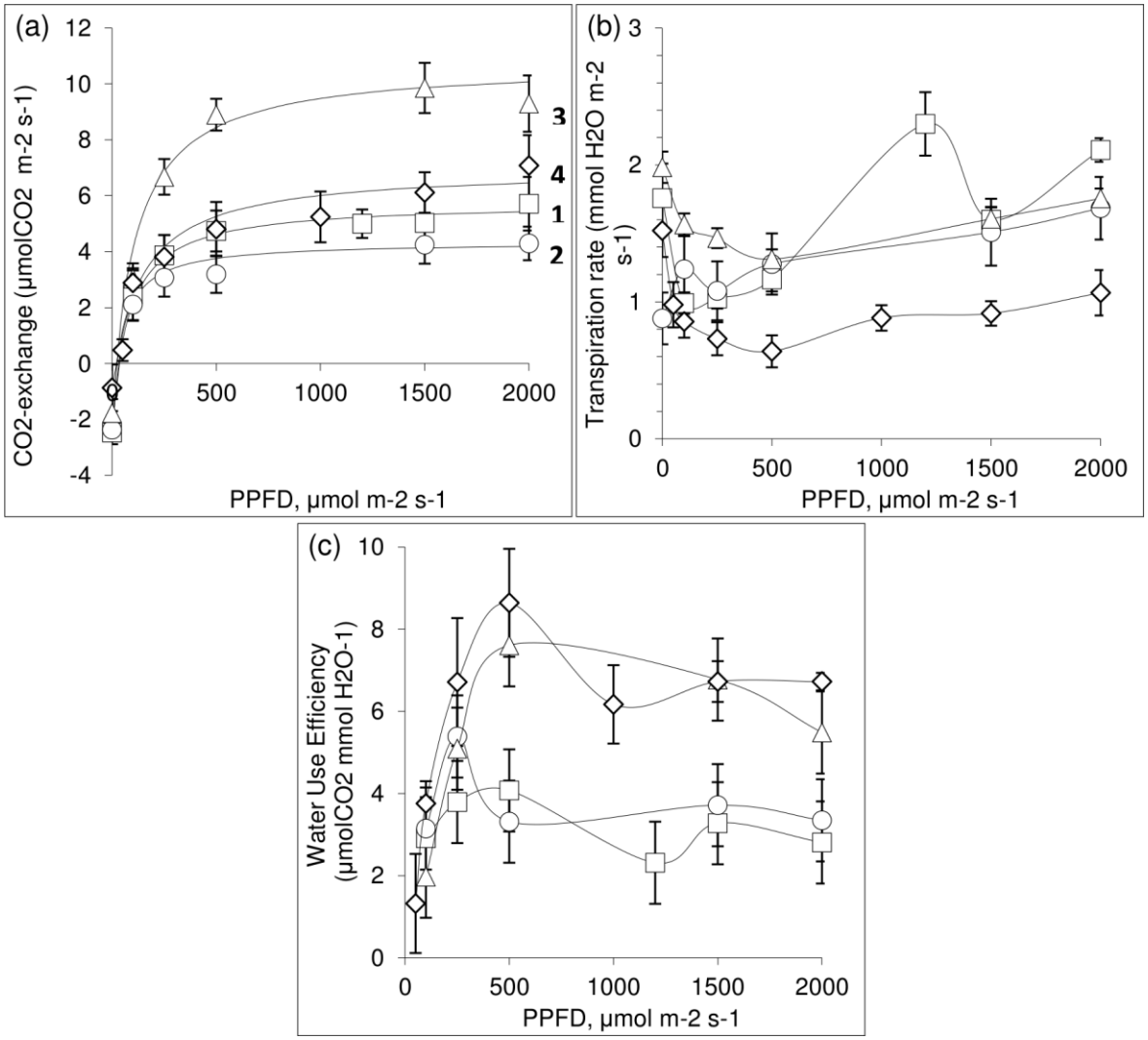

Рис.2. Световая зависимость CO_2-газообмена (a), транспирации (b) и эффективности использования воды (c) в процессе газообмена листьев борщевика Сосновского. Обозначения: 1 – проростки, 2 – ювенильные растения, 3 – вегетативные взрослые растения, 4 –генеративные растения.

Таблица 1

Параметры модели Михаэлис-Ментен для световой зависимость CO_2-газообмена листьев растений борщевика Сосновского в разных возрастных состояниях

Возрастное состояние	P_{max}, мкмоль CO_2 $м^{-2}с^{-1}$	K, мкмоль фотонов $м^{-2}с^{-1}$	Rd, мкмоль CO_2 $м^{-2}с^{-1}$
Проростки	8.02±0.81	83±29	2.28±0.67
Ювенильные	6.70±0.59	48±21	2.36±0.44
Вегетативные	12.70±1.01	110±30	1.97±0.87
Генеративные	7.90±0.76	137±52	0.94±0.59

Модель Михаэлис-Ментен: $P = \frac{P\ max\ PAR}{PAR+K} - Rd$, где P – скорость CO_2-газообмена, P_{max} – максимальная скорость фотосинтеза, PAR – фотосинтетически активная радиация, K – константа, R_d – скорость темнового дыхания.

Таблица 2

Относительная площадь листьев и параметры световой зависимости CO_2-газообмена листьев растений борщевика Сосновского в разных возрастных состояниях

Возрастное состояние	ОПЛ, ($м^2$ $г^{-1}$)	КВ (мкмоль фотонов * мкмоль CO_2^{-1})	СКП, (мкмоль фотонов $м^{-2}с^{-1}$)	P_{max}, (мкмоль CO_2 $м^{-2}с^{-1}$)	P_{max}*, (мгCO_2 * г сух.$м^{-1}ч^{-1}$)	ИРП, (мкмоль фотонов $м^{-2}с^{-1}$)	$P_{ИРП}$, (мкмоль CO_2 $м^{-2}с^{-1}$)
Проростки	0.063±0.004	0.057±0.011	43±20	5.71±0.96	56	95	2.00
Ювенильные	0.042±0.002	0.051±0.007	46±14	4.29±0.60	28	70	1.62
Вегетативные	0.016±0.001	0.055±0.009	32±16	9.85±0.90	25	71	3.03
Генеративные	0.012±0.001	0.043±0.010	25±18	7.08±1.08	13	72	1.79

ОПЛ – относительная площадь листьев, КВ – квантовый выход фотосинтеза, СКП – световой компенсационный пункт P_{MAX} – максимальная скорость фотосинтеза, P_{max}* - максимальная скорость фотосинтеза в расчете на единицу сухой массы листа, ИРП – интенсивность радиации приспособления, $P_{ирп}$ – скорость фотосинтеза при ИРП.

2. Разработать модель процесса переноса семян борщевика воздушными потоками на короткие и дальние расстояния.

Семена борщевика Сосновского по типу распространения относятся к баллистам анемохорам, то есть распространяются преимущественно с воздушными потоками, но не обладают выраженными приспособлениями для снижения терминальной скорости падения.

Процесс распространения семян можно разделить на этапы первичного и вторичного переноса. Первичный перенос семян борщевика Сосновского – это расстояние, на которое перемещается семя с момента отделения от соцветия до момента падения на поверхность земли. Вторичный перенос семян – это расстояние, на которое перемещается семя после завершения первичного переноса. Этот этап может осуществляется за счет различных механизмов: перенос турбулентными потоками над относительно ровными поверхностями (снежный покров, асфальтовое покрытие дорог), водными потоками, антропогенных воздействий.

Для моделирования процесса первичного переноса семян борщевика воздушными потоками использовали упрощенную модель, приведенную в работе R. Nathan e.a. (2001):

$$D = H*U / (F-W), \text{ где}$$

D – дистанция распространения семени, H – высота расположения соцветий над поверхностью земли, м; U – скорость ветра, м/с; F – терминальной скорость падения семени в неподвижном воздухе, м/с; W – средняя вертикальная скорость воздушного потока в течение полета семени, м/с (отрицательная величина при направлении вниз и положительная при направлении вверх).

Для борщевика Сосновского значения F были получены прямыми измерениями времени падения семян в лабораторных условиях (неподвижный воздух) с высоты 3 м. Вертикальную скорость воздушного потока принимали равной нулю. Для определения плотности вероятности дистанции переноса семян борщевика Сосновского использовали имитационное моделирование в среде R. Выполнили 20000 циклов вычислений, случайным образом выбирая значения F, H из рядов, полученных в ходе сбора данных в полевых условиях в 2012 и 2013 гг. Скорость ветра (U) брали из архива метеоданных Сыктывкарского аэропорта, расположенного в 2 км от экспериментального участка (табл. 3).

Таблица 3.

Параметры модели распространения семян борщевика Сосновского воздушными потоками

Параметры	Минимум	Максимум	Среднее и стандартное отклонение
Высота растений (H), м	1.8	3.8	2.7 ± 0.4
Скорость ветра (U), м/с	0.8	4.4	2.2 ± 0.8
Скорость падения семян (F), м/с	0.9	2.5	1.8 ± 0.3

Работоспособность модели проверяли в полевых условиях путем измерения фактических дистанций полета семян при одновременном измерении скорости ветра. Результаты моделирования показали, что в процессе первичного распространения 90 % семян опадают в радиусе 5 – 6 м от материнского растения. В единичных случаях возможно первичное распространение семян на расстояния до 15 м от материнского растения (рис. 3). Такой характер распространения обеспечивает высокую плотность почвенного банка семян внутри популяции борщевика Сосновского, что является одним из механизмов формирования и поддержания моновидовых зарослей этого вида растений. Необходимо учитывать, что приведенные результаты моделирования справедливы для одиночно стоящего растения борщевика или растения, находящегося на краю популяции. В сплошных зарослях борщевика по сравнению с отдельно стоящими особями скорость воздушных потоков заметно снижена, что сокращает дистанцию первичного распространения семян.

Таким образом, перенос семян борщевика Сосновского на дистанции более 15 м можно отнести к дальнему переносу (long distance dispersal). Вероятность дальнего переноса резко увеличивается при попадании семян на относительно ровные поверхности. Такими поверхностями являются плотный снежный покров (наст) и автомобильные дороги с твердым покрытием.

Вторичный перенос семян по поверхности плотного снежного покрова возможен благодаря значимому размеру воздушного банка семян борщевика Сосновского. По нашим данным в условиях Республики Коми размеры этого банка в марте составляют около 8 % (1500 шт. нестратифицированных семян / м^2 ценоза) от семенной продуктивности борщевика Сосновского. Возможность вторичного переноса анемохорных семян на значительные расстояния (до 50 м) за счет турбулентных воздушных потоков, создаваемых автомобилями, показана в работах (Kowarik et al., 2011; Von der Lippe et al., 2013).

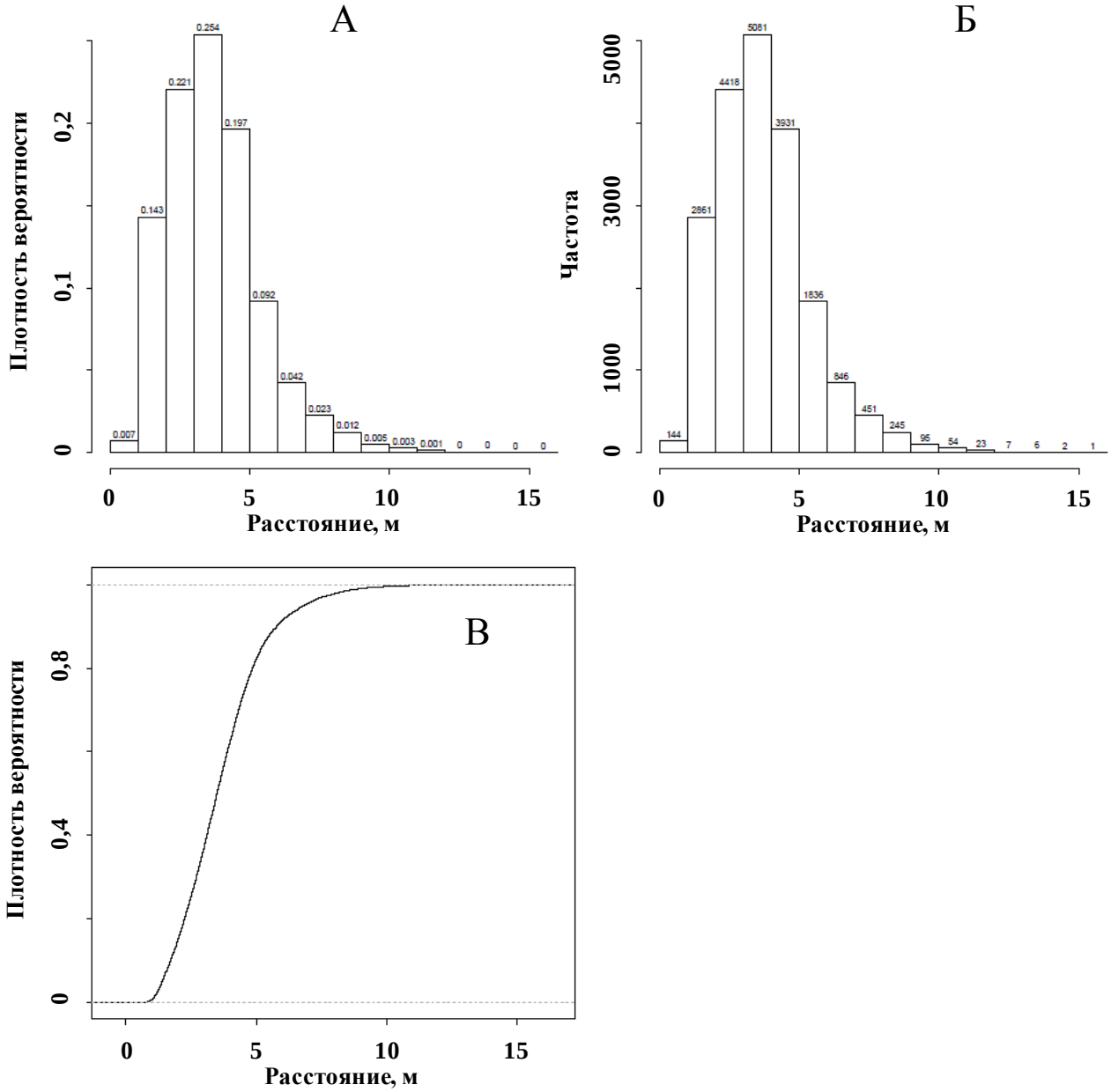

Рис.3. Результаты имитационного моделирования переноса семян борщевика Сосновского воздушными массами. А – гистограмма плотности вероятности расстояния полета семян, Б – гистограмма частоты расстояния полета семян; Г – кумулята плотности вероятности расстояния полета семян.

3. Определить сезонную динамику запаса семян борщевика в почве.

Нами показано, что борщевик ежегодно формирует значительный (до 20 000 шт. / м^2 ценоза) банк семян, основная часть которого расходуется (прорастает) за один вегетационный период, следующий за годом формирования семян. Размеры почвенного банка семян, накапливаемого в популяции борщевика хорошо согласуются с параметрами модели первичного переноса семян. В период бутонизации-цветения в почве остаются нежизнеспособные семена, число которых доходит до 30 % от весеннего размера банка семян (рис. 4).

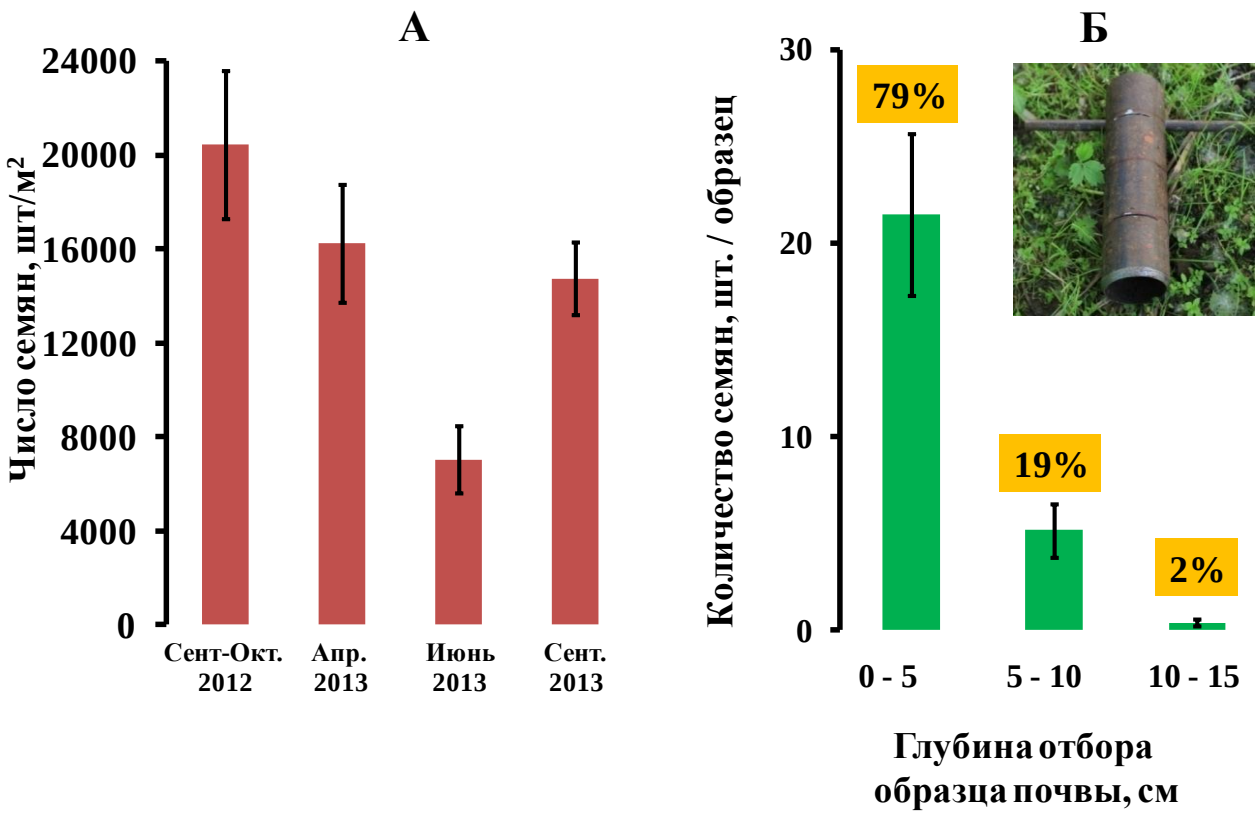

Рис. 4. Сезонная динамика банка семян борщевика Сосновского (А) и вертикальное распределение численности семян в почве (Б).

4. Оценить устойчивость разных типов местообитаний к заражению семенами борщевика

Инвазибельность различных растительных сообществ в подзоне средней тайги по отношению к борщевику Сосновскому определили путем картирования его распространения в окрестностях г. Сыктывкара в радиусе 100 км от города. Общая протяженность маршрутов учета составила более 500 км. Собраны сведения о местах произрастания борщевика в 6000 точках. Результаты опубликованы в сети Интернет (http://proborshevik.ru/map). На основании

этих сведений и эколого-физиологических параметров растений борщевика Сосновского была дана оценка устойчивости растительных сообществ к инвазии, согласно классификации растительности, использованной для построения карты растительности Республики Коми масштаба 1:500000 (http://gis.rkomi.ru, табл. 4).

Таблица 5.

Вероятность формирования зарослей борщевика Сосновского в различных типах растительности

Тип растительности	Вероятность произрастания и распространения растений борщевика Сосновского
Сельскохозяйственные угодья	Высокая вероятность
Молодняки и средневозрастные березовые леса	Возможно формирование генеративных особей. Распространение затруднено.
Молодняки и средневозрастные осиновые леса	Возможно формирование генеративных особей. Распространение затруднено.
Спелые березовые леса	Возможно формирование вегетативных растений
Спелые осиновые леса	Возможно формирование вегетативных растений
Молодняки и средневозрастные еловые леса	Низкая вероятность
Молодняки и средневозрастные сосновые леса	Низкая вероятность
Пойменные луга и кустарники	Низкая вероятность
Равнинные болота	Низкая вероятность
Спелые и перестойные еловые леса	Низкая вероятность
Спелые и перестойные кедровые леса	Низкая вероятность
Спелые и перестойные пихтовые леса	Низкая вероятность
Спелые и перестойные сосновые леса	Низкая вероятность

5. Разработать программу освобождения территории населенного пункта от нежелательных зарослей борщевика.

Разработана программа освобождения территории сельского поселения Зеленец от нежелательных зарослей борщевика Сосновского была составлена на основе картирования распространения борщевика Сосновского. Общая площадь, занятая борщевиком составила 150 га из 583 га административной территории сельского поселения (рис. 5).

На основании эколого-физиологической характеристики борщевика Сосновского, выявленных особенностей формирования банка семян и процессов распространения семян была продолжена программа поэтапного освобождения территории населенного пункта от нежелательных зарослей борщевика Сосновского с учетом приоритетности функциональным зонам генерального плана СП «Зеленец» .

583 гектара земли, протяжённость административной территории составляет 12 километров. За администрацией сельского поселения закреплены земли сельхозназначения в количестве 2021 гектар земли.

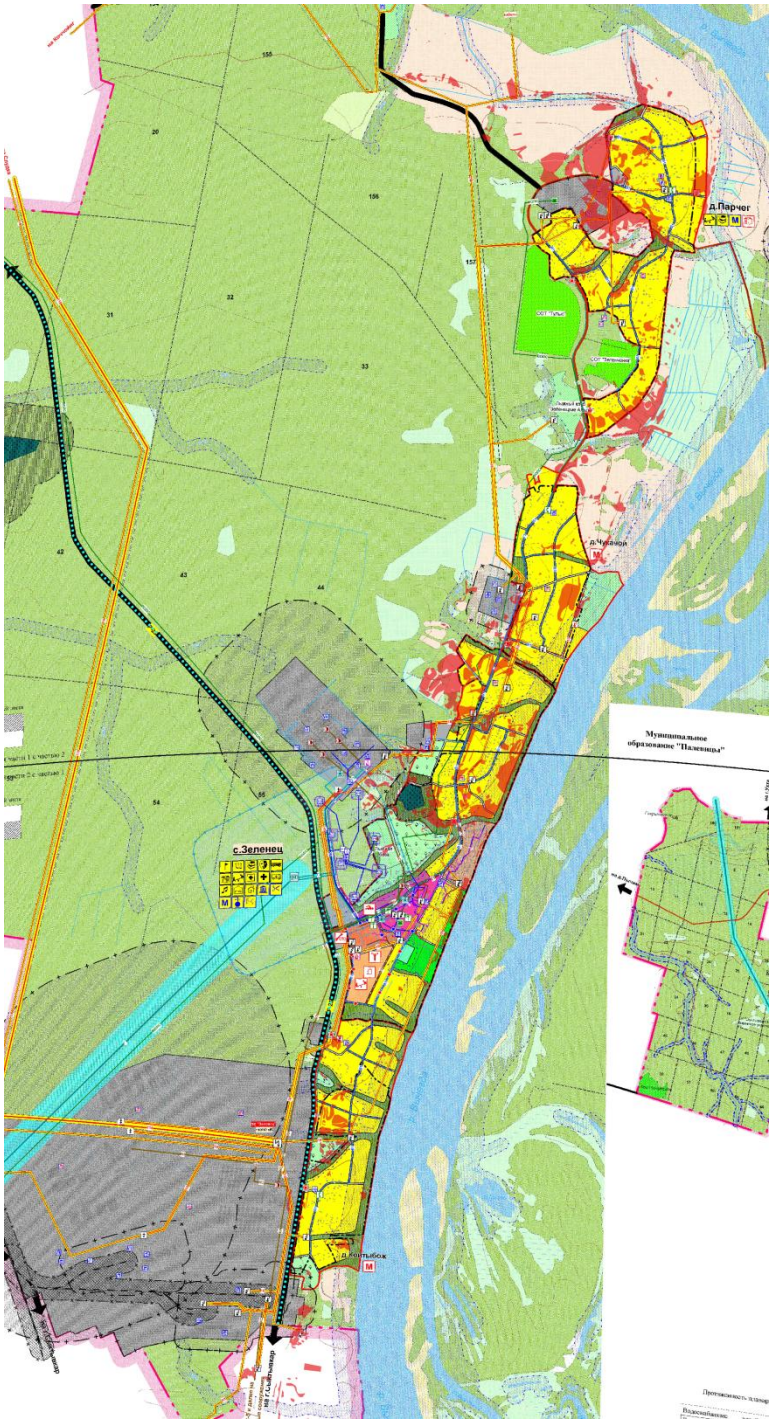

Рис. 5. Схема распространения зарослей борщевика Сосновского (выделено красным) на территории сельского поселения Зеленец. В качестве основы использован Генеральный план сп «Зеленец» http://www.zelenec.ru/page/479.

Кавказский ареал борщевика Сосновского в пределах лесной (буковые, пихтово-буковые леса и криволесья) и субальпийской зоны (высокотравье) органичен климатическими (умеренно-влажный климат, температура, снежный покров) и эдафическими требованиями вида. Установлены закономерности расселения вида во вторичном ареале на территории Республики Коми, показано возрастание ценотической значимости борщевика. В новых условиях растение можно классифицировать как детерминант луговых цензов - устойчивый абсолютный доминант с выраженной средообразующей способностью. Выявлена структура фитоценозов, горизонты фитоценоза неравномерно заняты особями борщевика разных возрастных групп. На высоте 100-200 см расположено 80 % листовой поверхности ценоза. Формирование сомкнутого полога взрослыми вегетативными и генеративными растениями, под которым произрастают ювенильные особи и проростки, обеспечивает высокую устойчивость и конкурентоспособность борщевика по отношению к травянистым видам природной флоры. Функциональные особенности ассимиляционного аппарата, позволяют особям разных возрастных групп и ярусов эффективно использовать ресурсы среды (свет, вода) и поддерживать ценоз с оптимальным листовым индексом 5-6.

Успех инвазии борщевика Сосновского напрямую зависит от самоподдержания на занятых территориях и эффективности его распространения. Регуляция ростовой активности проростков и ювенильных особей осуществляется на ценотическом уровне. Освещение под пологом регулирует метаболизм проростков и ювенильных растений на уровне поддержания. В случае элиминации взрослых растении и нарушения полога, растения быстро наращивают свое участие в сложении ценоза за счёт фонда проростков (85 шт./м^2 ценоза) и спящих почек (около 30 почек/м^2 ценоза). Растения характеризуются высокой семенной продуктивностью (до 20 тыс. шт. семян/м^2 ценоза) и интенсивным расходом почвенного банка семян в течение вегетации. Экспансия борщевика обеспечивается только за счет перенесения его семян ветром и другими агентами. На основании результатов измерения скорости падения семян борщевика и максимальных суточных значений скорости ветра в сентябре (данные 2005 - 2011 гг.) показано, что основная часть семян (75 %) опадают на расстоянии до 4 м от материнского растения.

Практическая значимость полученных результатов. Расширены информационные и функциональные возможности ресурса http://proborshevik.ru. Подготовлена карта площадей занятых борщевиком на территории с. Зеленец Сыктывдинского района Республики Коми.

Методы и подходы, используемые в ходе выполнения проекта

Основная часть данных в ходе выполнения проекта была получена на модельном участке в окрестностях г. Сыктывкара (61.645794 с.ш., 50.758781 в.д.). Микроклиматические условия (температуру воздуха, влажность воздуха, солнечную радиацию, скорость ветра и направление) определяли Data Logger LI-1400 с набором соответствующих датчиков (Licor.Inc., США). Отбор проб и измерения проводили по трансекте участка.

Изучали структуру зарослей, плотность побегов, вертикальное распределение массы органов, ассимиляционной поверхности, соотношение между возрастными группами растений борщевика (Работнов, 1984). Полученные изображения растений их частей анализировали в ImageJ 1.45S (http://imagej.nih.gov/ij/). Репродуктивный потенциал оценивали по количеству почек в пазухах листьев подземной и надземной части побега, структуре банка семян.

Изучали структуру и динамику почвенного банка семян борщевика (Thompson, Grime, 1979). Для отбора образцов на глубину почвы до 15 см разработали пробоотборник. В лабораторных условиях определяли всхожесть и энергию прорастания семян, проводили стратификацию семян, изучали тип покоя и условия для их прорастания (Николаева и др., 1999).

Для оценки распространения семян борщевика на короткие расстояния на границе ценопопуляции и вокруг одиночных (модельных) особей определяли массу и скорость падения семян. Рассчитывали …(о терминальной скорости или….)

Для получения географических координат мест произрастания борщевика использовали GPS-навигаторы Montana 650 и Oregon 300 (Garmin, США). По полученным данным очерчивали территории занятые растением (полигоны) с помощью редактора JOSM (https://josm.openstreetmap.de/). Рассчитывали площади этих участков. Карты строили….

Информация о взаимодействии с организациями, в интересах которых выполнялся проект

Проект выполнен в рамках Соглашения между Правительством Республики Коми, УрО РАН, Коми НЦ, направленного на совместную реализацию государственной научной, инновационной и научно-образовательной политики в Республике Коми (Соглашение заключено 18 августа 2011 г.).

Сложившихся тенденций и современного уровня решения проблемы в отечественной науке и за рубежом

В настоящее время авторами предлагаемого проекта и другими исследователями (Методические рекомендации…, 2008, Ламан и др., 2009, Якимович и др., 2011, NYSDEC Giant Hogweed Control Program, 2011, Методические рекомендации…, 2013) разработаны методы уничтожения нежелательных зарослей борщевика. Выявлены типичные местообитания этого растения, разработана методика картирования распространения борщевика на антропогенно изменённых ландшафтах. Однако до настоящего времени, все имеющиеся разработки не позволили успешно реализовать ни одну масштабную программу по освобождению территории от нежелательных зарослей борщевика (Латвия признала поражение в борьбе с борщевиком, 2012).

Основным недостатком планов по освобождению территории от зарослей борщевика является отсутствие эффективных мер по ограничению распространения его семян на новые участки и по предотвращению повторного заражения семенами уже освобожденных участков. Выработка мер, препятствующих расширению ареала этого инвазионного вида позволит:

1) освобождать отдельные населенные пункты от зарослей борщевика при сохранении связи этих территорий с местами массового произрастания борщевика;

2) проводить мероприятия по уничтожению борщевика поэтапно, сократив потребность в значительных разовых расходах, и позволив более рационально использовать денежные средства, ежегодно выделяемые на борьбу с борщевиком (например, для реализации широко распространенного и при этом низкоэффективного метода борьбы с борщевиком – кошения).

Единственным способом распространения растений борщевика Сосновского в естественных условиях является семенное размножение. Разработка мер по ограничению распространения семян этого вида на новые территории должна основываться на модели, описывающей их перенос на малые и большие расстояния. Особое внимание при этом необходимо уделить механизму переноса семян на большие дистанции (Nathan e. a., 2002). Борщевик Сосновского анемохорный вид и его семена приспособлены для преимущественного распространения с помощью ветра. В последние годы опубликовано несколько математических моделей, описывающих распространение семян анемохорных древесных и травянистых растений (Nathan, Katul e. a., 2002, Soons e. a., 2004, Horn e. a., 2001). Разработаны экспериментальные подходы к изучению параметров переноса семян с помощью ветра, в том числе для растений, родственных борщевику Сосновского (Jongejans,

Telenius, 2001, Nathan e. a., 2003).

Таким образом, для достижения поставленной цели необходимо решить задачу выбора и оптимизации модели, описывающей процесс переноса семян на короткие и длинные дистанции. Для этого будут собраны и проанализированы экспериментальные данные о направлении и скорости горизонтальных и вертикальных воздушных потоков в типичных местообитаниях борщевика, распределении семян по форме, данные о массе и скорости падения семян, уровне расположения зонтиков борщевика. Будет предсказана вероятность переноса семян борщевика на определенные дистанции по заданным направлениям, разработаны меры по изоляции зарослей борщевика и предотвращению его дальнейшей экспансии.

Для наиболее полного описания процесса распространения борщевика на новых территориях следует описать условия, при которых семена этого вида смогут успешно прорасти и дать начало новому поколению растений. Для разработки теоретического решения этой проблемы необходимо изучить типы покоя семян борщевика и условия необходимые для его преодоления, исследовать экофизиологические особенности борщевика (Николаева, и др., 1999). Природа разнокачественности зрелых семян борщевика Сосновского была описана в работах, посвященных семеноводству этой культуры (Сацыперова, 1984, Скупченко, 1989). Считается, что эндогенный органический покой семян борщевика является формой «сложного морфофизиологического покоя, обусловленным приостановкой развития зародыша на материнском растении» (Скупченко, 1989. стр. 58). Однако, направленность работ на семеноводство борщевика Сосновского не позволила установить условия, обеспечивающие формирование устойчивого банка семян в почве. Современные инструментальные методы измерения метаболической активности семян, позволят выявить условия преодоления физиологического покоя семян и объяснить факт прорастания семян борщевика под снежным покровом при температурах близких к 0 ºС.

В результате выполнения проекта ОФИ №12-4-009-КНЦ были охарактеризованы способности генеративных растений борщевика Сосновского эффективно использовать ресурсы среды (свет, вода, азот, тепло). Показано, что в генеративном возрастном состоянии борщевик инвестирует значительную часть ассимилированного углерода на рост листовой поверхности и генеративных органов, обеспечивая тем самым конкурентные преимущества в росте и семенном размножении. По эффективности использования азота на фотосинтез растения борщевика в несколько раз превышают травянистые растениями природной флоры бореальной зоны (Далькэ, Головко, 2011). Полученные в ходе выполнения предлагаемого проекта сведения об эффективности использования ресурсов растениями борщевика в возрастных состояниях от проростков до имматурных растений позволит теоретически

обосновать пригодность (инвазибельность) различных типов местообитании для успешного развития новых популяций борщевика.

Для практической проверки и корректировки теоретических выводов необходимо экспериментальным путем оценить устойчивость разных типов местообитаний к захвату растениями борщевика с помощью семян. Для этого предполагается провести серию экспериментов по внесению различных доз (норм высева) семян борщевика в местообитания, приуроченные к основным типам растительных сообществ подзоны средней тайги Европейского Северо-Востока России.

Если для экспансии борщевика основную роль играет перенос семян на дальние расстояния, способность семян прорастать и давать начало жизнеспособным растениям, то для поддержания численности популяций растения обеспечивают устойчивый семенной банк. В литературе имеются сведения о динамике и составе семенного банка близкородственного к борщевику Сосновского вида – борщевика Мантегацци (*H.mantegazzianum* Sommier & Levier) (Krinke e. a., 2005). В рамках настоящего проекта предполагается установить динамику численности и жизнеспособности семян, соотношение числа семян в состоянии покоя и готовых к прорастанию, что позволит предсказывать реакцию растений борщевика Сосновского на меры по уничтожению зарослей этого вида.

Практическая значимость для организации-партнера и других потенциальных потребителей результатов работы

Борщевик Сосновского был интродуцирован на территорию Республики Коми как новое силосное растение. Естественный ареал этого вида охватывает средний и верхний горные пояса Кавказа. В середине прошлого столетия в бывшем СССР были начаты работы по интродукции борщевика и использованию его в кормопроизводстве. На территорию Республики Коми борщевик был интродуцирован в 60-х годах (Моисеев и др., 1963; Новые силосные .., 1966), производственные посевы борщевика занимали около 4 тыс. га (Коюшев, Гавринцева, 1980). Посевы борщевика имелись в 33 совхозах южной и центральной зон и в 9 совхозах северной зоны республики. Однако в конце 80-х годов борщевик перестали сеять. Отказ от данной культуры был обусловлен тем, что в результате контакта с растениями появлялись дерматиты кожи, а контакт с пыльцой и семенами нередко вызывал аллергическую реакцию. Поедание животными биомассы борщевика, особенно в свежем виде, приводило к появлению в молоке и другой продукции потенциально опасных фурокумаринов и продуктов их распада. Накопление в растениях биологически активных веществ защищает борщевик от повреждения насекомыми и болезнями. Остатки биомассы борщевика, попадая в почву, проявляют алелопатическое действие на другие виды растений.

Борщевик оказался выносливым и устойчивым растением, выйдя из-под контроля, он распространился на значительных площадях. В республике заросли борщевика Сосновского занимают обочины дорог, встречаются на заброшенных полях, по лесным опушкам, на лугах, на залежах и всякого рода антропогенно трансформированных участках (Методические рекомендации…, 2008). Распространился борщевик в городских районах, в парках и скверах, на территории сельских поселений. Он образует практически монодоминантные сообщества, вытесняя аборигенные виды. Это приводит к смене существующих природных растительных сообществ на замещающие, с доминированием чужеродного вида, что отрицательно сказывается на биоразнообразии региона. Особенно опасным является расселение растений борщевика в лесной полосе вдоль дорог. Эти участки, как правило, остаются вне контроля и являются источником семян. Неконтролируемое распространение борщевика представляет реальную угрозу здоровью населения и отдельных видов сельскохозяйственных животных.

Несмотря на негативное влияние и масштабы распространения борщевика Сосновского в разных субъектах Российской Федерации до 2012 года это растение официально считалось кормовой культурой и было включено в Государственный реестр селекционных достижений. Это затрудняло разработку стратегии и тактики борьбы с данным видом. В соответствии с официальным бюллетенем ФГБУ «Государственная комиссия Российской Федерации по испытанию и охране селекционных достижений» от 24.05.2012 г. № 176, окончен допуск борщевика Сосновского к использованию по причине утраты хозяйственной полезности. Основными потребителями результатов работы являются: Министерство экономического развития Республики Коми, Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Коми, Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Коми, Органы местного самоуправления, Федеральная служба по ветеринарному и фитосанитарному надзору по Республике Коми.

На основе данных о способах, скорости и направлении распространения семян борщевика, которые будут получены в ходе реализации проекта, с учетом опыта по уничтожению растений борщевика (Методические рекомендации…, 2008, Ламан и др., 2009, Якимович и др., 2011, NYSDEC Giant Hogweed Control Program, 2011, Методические рекомендации…, 2013) будет разработан план поэтапного освобождения территории населенного пункта от зарослей борщевика (на примере с. Зеленец Сыктывдинского района Республики Коми). План будет содержать детальное описание порядка выполнения основных этапов борьбы с инвазионным видом.

Имеющийся у коллектива научный задел по проекту

Ранее в рамках интродукционных программ были проведены исследования роста, развития, биологической и семенной продуктивности борщевика (Новые силосные .., 1966; Александрова, Коломийцева, 1966; Биологические исследования …, 1974; Коюшев, Гавринцева, 1980). Нами (Далькэ, Чадин, 2010) для выявления оптимальных доз применения глифосатсодержащего гербицида была проведена функциональная диагностика растений по показателям СО2-газообмена. Показано, что при обработке растений гербицидом существенно снижается скорость фотосинтеза, возрастает дыхательная активность, нарушается энерго-массообмен. Получен патент на «Способ уничтожения зарослей гигантского борщевика на землях несельскохозяйственного назначения» (Чадин, Далькэ, 2010).

Анализ имеющихся в литературе данных (Tiley, 1992; Nielsen e. a., 2005; Ламан и др., 2009) позволяют предположить, что инвазивность борщевика обусловлена комплексом биологических особенностей: способность отрастать ранней весной до появления другой растительности; быстрый рост, высокая плотность проростков; высокая семенная продуктивность и всхожесть семян; расселение семян с помощью ветра. Описаны функциональные свойства взрослых генеративных растений данного вида в природных условиях (Далькэ и др., 2012). В результате исследований выполненных проекта № 12-4-009-КНЦ УрО РАН 2012-2013 гг. было установлено, что по морфофизиологическим показателям листьев борщевик Сосновского можно отнести к группе умеренно светолюбивых видов с выраженными признаками функциональной пластичности. Растения инвестируют значительную часть ассимилированного углерода на формирование листовой поверхности и репродуктивных органов, обеспечивая тем самым конкурентные преимущества в росте и семенном размножении. Почвенный банк семян в монодоминтных сообществах борщевика насчитывает около 12000 штук/м^2 фитоценоза. Основная часть семенного фонда находится в верхнем слое почвы. Высокая семенная продуктивность и всхожесть семян обеспечивают быстрое размножение и продвижение растений на новые территории. В настоящее время растения расселились и натурализовались преимущественно по антропогенно нарушенным местообитаниям. Борщевик часто встречается по обочинам дорог, на заброшенных полях, пустырях. На основе данных картирования установлено, что в радиусе 100 км вокруг г. Сыктывкара нежелательные заросли борщевика занимают около 150 га. По результатам эколого-физиологических исследований и картографическим данным можно полагать, что опасность внедрения данного вида в лесные сообщества с сомкнутым древостоем невысока. Проникновение борщевика в лесные фитоценозы происходит только вдоль лесных дорог, на вырубках.