Эколого-физиологическое моделирование географических пределов распространения *Heracleum sosnowskyi* Manden.

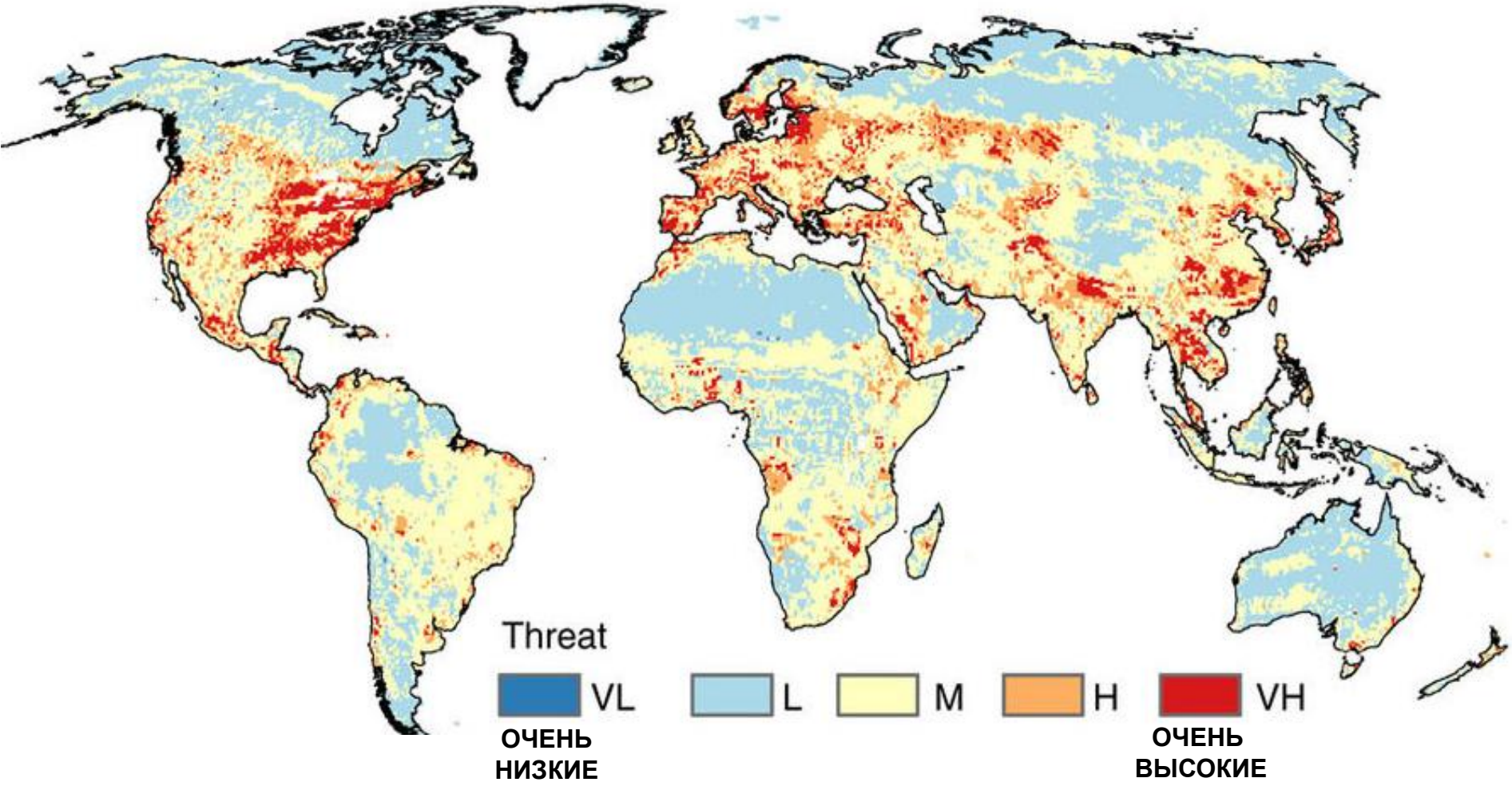
И. В. Далькэ, И. Ф. Чадин,
И. Г. Захожий, Р. В. Малышев, С. П. Маслова

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, ул. Коммунистическая, 28, Сыктывкар, Россия,167982

dalke@ib.komisc.ru

Актуальность

Глобальные угрозы вторжения в XXI веке



Early R. et al. Global threats from invasive alien species in the twenty-first century and national response capacities // Nature Communications. 2016. 7, 12485. doi:10.1038/ncomms12485

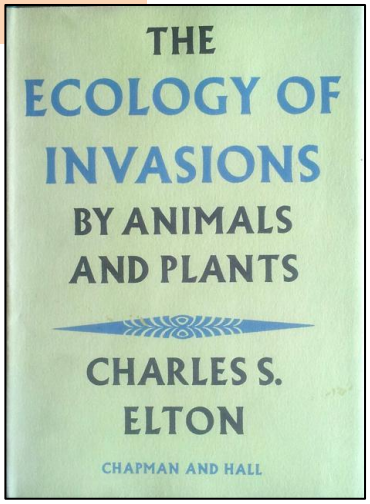
МЕСТНЫЙ, НАТИВНЫЙ ВИД, АБОРИГЕН

НЕ МЕСТНЫЙ, ЧУЖЕРОДНЫЙ ВИД, ВСЕЛЕНЕЦ

ИНВАЗИОННЫЙ КОРИДОР

ИНВАЗИЯ

ВЕКТОР



Базы данных

http://i3n.iabin.net/index.html
http://Invasive.org
http://spfnic.fs.fed.us/exfor
http://www.europe-aliens.org
http://www.europe-aliens.org/speciesTheWorst.do
http://www.gisp.org/index.asp
http://www.issg.org/database/welcome
http://www.sevin.ru/invasive

Периодические издания

Международные организации

Международный союз охраны природы (IUCN)
Северноевропейская и Балтийская сеть по инвазивным чужеродным видам (NOBANIS)
Европейский консорциум исследователей (DAISIE)
Северно-американская (NAPPO) и Европейская (EPPO) организации защиты растений
Международное общество исследования инвазивных, сорных видов (IWSS)
Центр инвазивных видов в Канаде (IAS Canada)

Глобальный реестр интродуцированных и инвазивных видов
http://www.griis.org

- Специалисты по инвазивным видам МСОП
- Аннотированные и проверенные кадастры
- Доказательства воздействия

- Для территории РФ на основе около 500 источников создано около 1300 записей (240 доказанных воздействий)

Pagad S. et al. Introducing the Global Register of Introduced and Invasive Species // Scientific Data. 2018. V. 5, 170202 doi:10.1038/sdata.2017.202

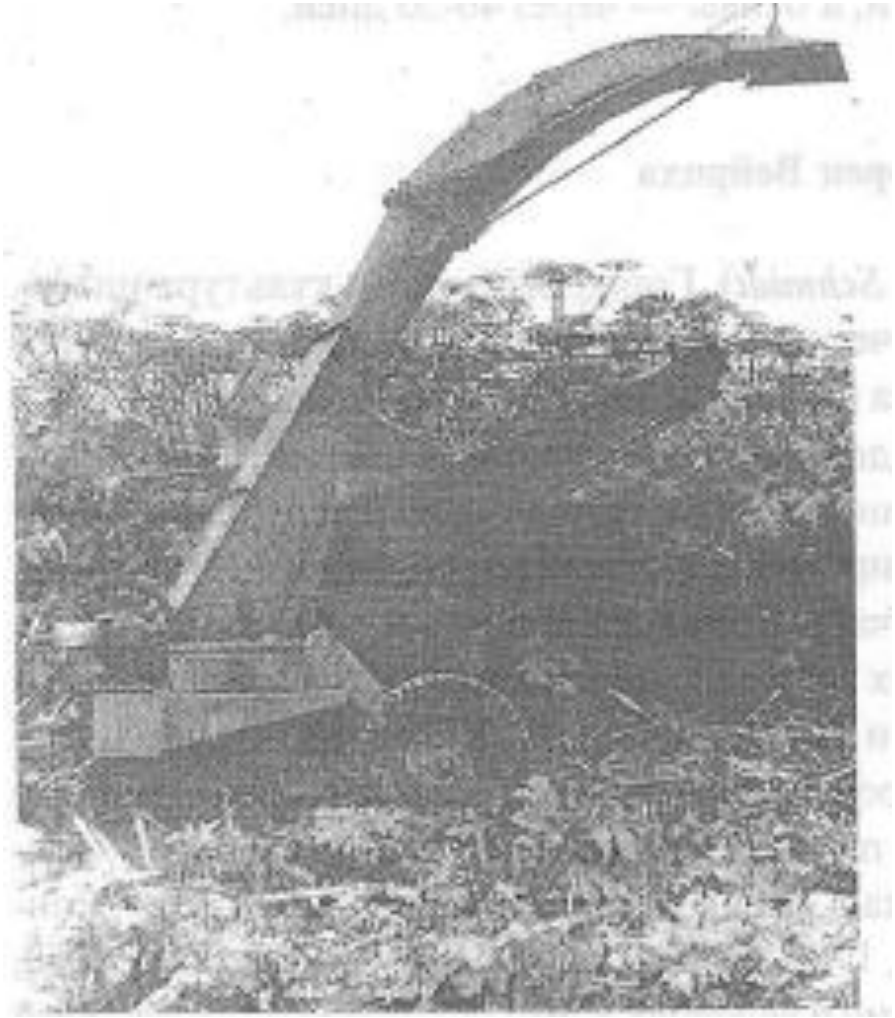
История инвазии борщевика Сосновского

Интродукция гигантских борщевиков

Борщевик Мантегацци
сад Бормио (Италия, нач. XX в)

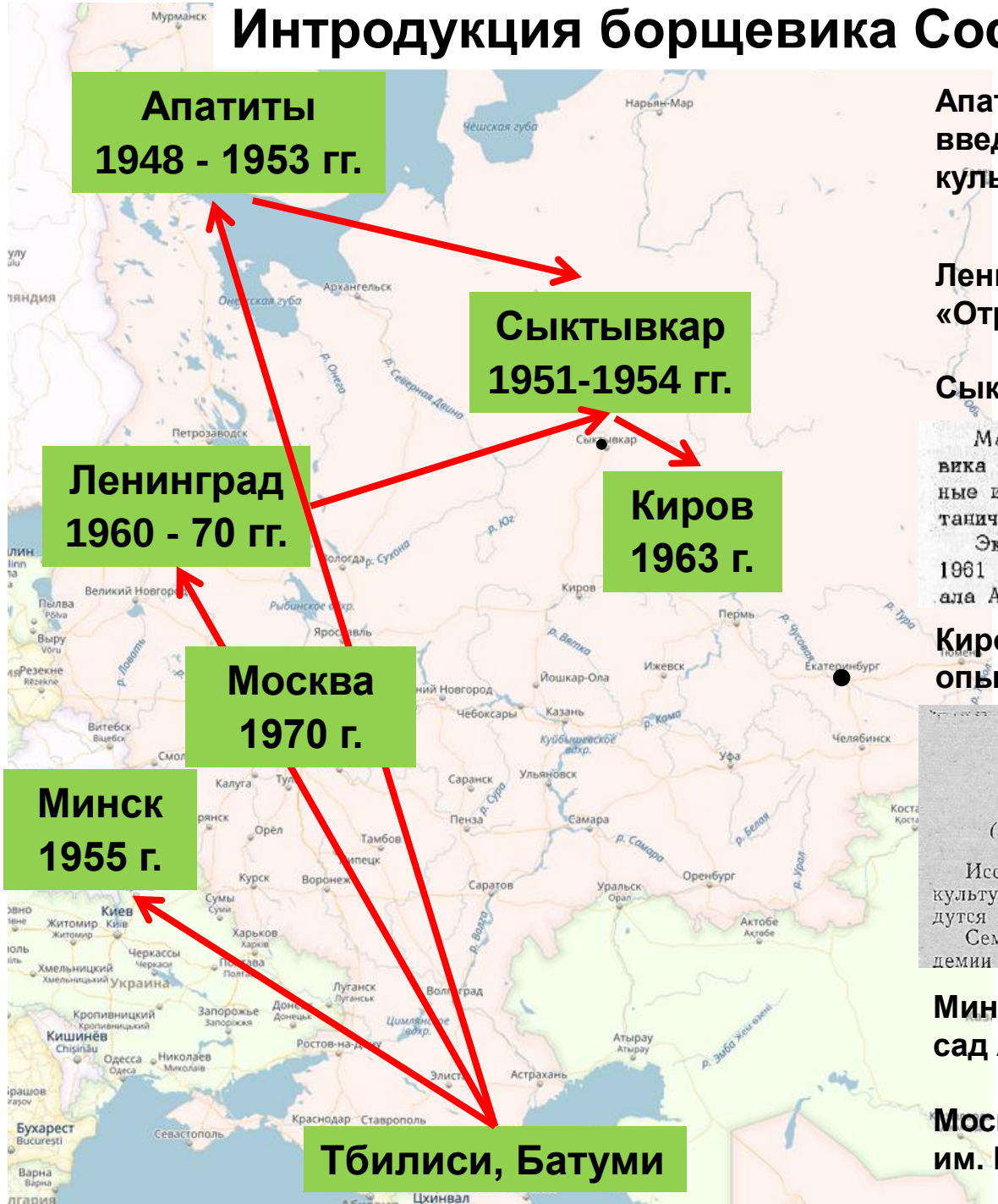
(Гельтман Д.В., 2007)

Механизированная уборка борщевика
Сосновского (Россия, кон. XX в)



Агробиологические ресурсы…, 1999)

Интродукция борщевика Сосновского



Апатиты. ПАБСИ. Первые опыты введения борщевика Сосновского в культуру как кормовое растение

Ленинград. Научно-опытная станция «Отрадное»

Сыктывкар. Коми филиал АН СССР

Материалом исследования служили растения борщевика Сосновского, б.Лемана и б.понтийского, выращенные из семян, полученных из Полярно-Альпийского ботанического сада в 1952 году.

Экспериментальная работа проводилась в период с 1961 по 1970 год на Биологической станции Коми филиала АН СССР (в 9 км от г.Сыктывкара) и в Маджском

Киров. Сельскохозяйственная опытная станция

БОРЩЕВИК И МАЛЬВА
В УСЛОВИЯХ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Р. А. КУНАЕВА

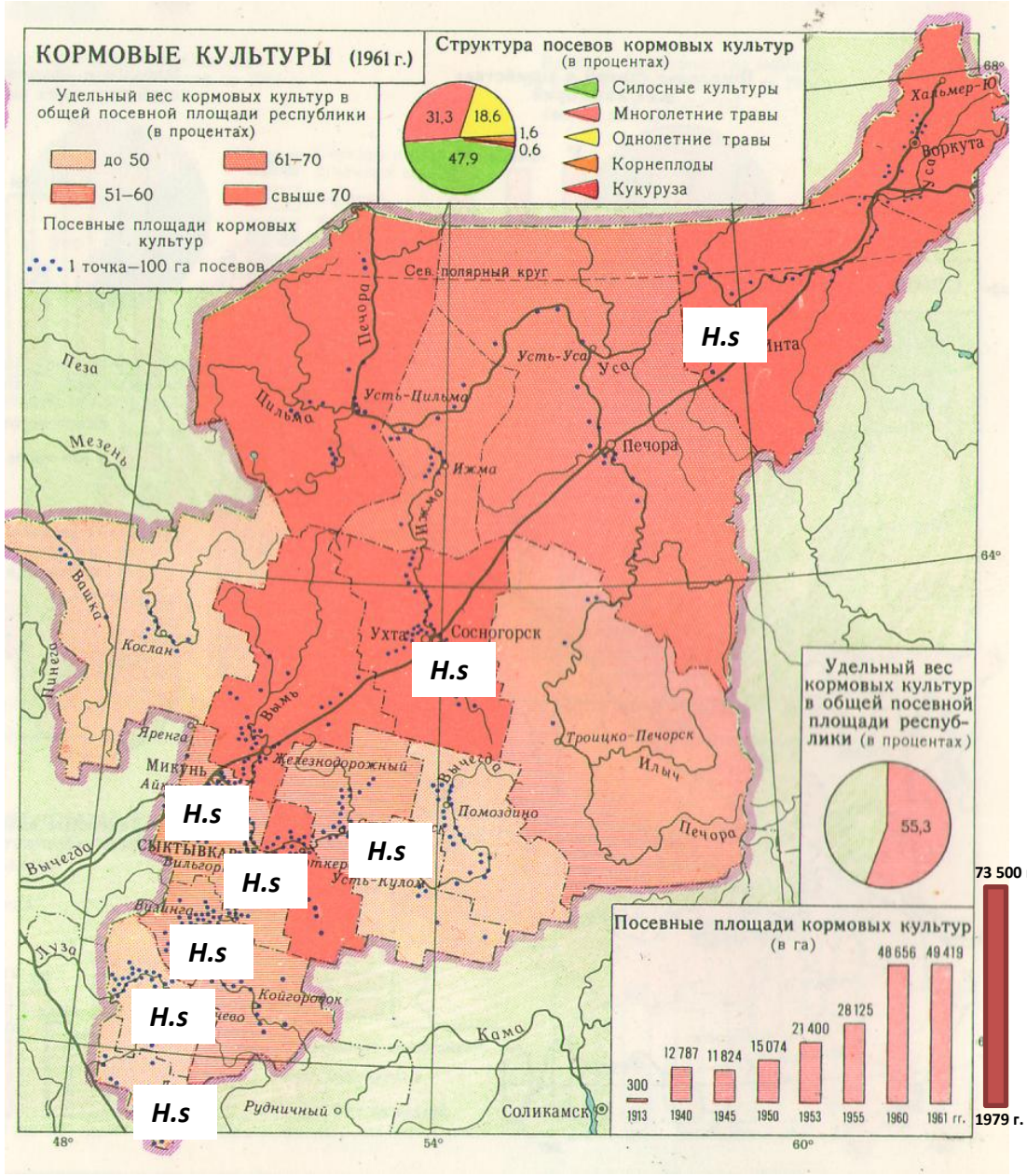
(Кировская областная сельскохозяйственная опытная станция)

Исследования по выявлению продуктивности новых сил
культур — борщевика Сосновского и мальвы кормовой
дутся на Кировской областной опытной станции с 1963 г.
Семена борщевика были получены из Коми филиала
демии наук СССР, а мальвы кормовой — с Горьковской

Минск. Центральный ботанический сад АН БССР.

Москва. Всесоюзный институт кормов им. В.Р. Вильямса.ТСХА.

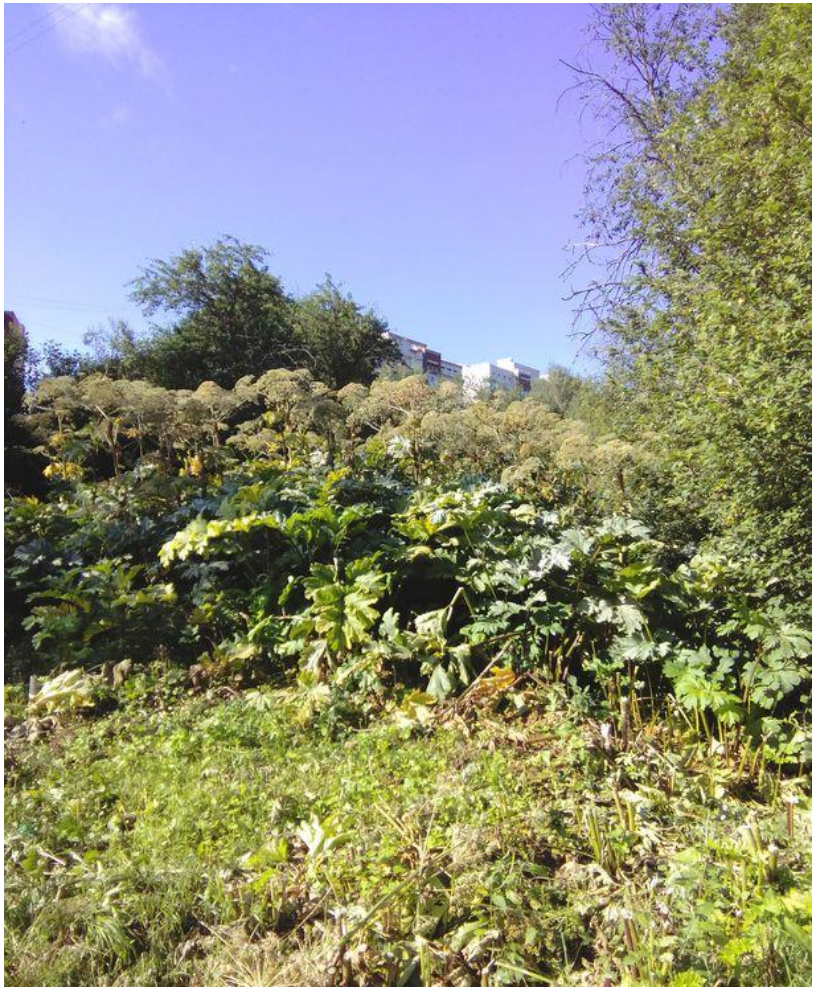
Посевные площади кормовых культур РК (1964 г.)



К 1980 г. в Коми - 4000 га борщевика:

- **33 совхоза южной и центральной зон**
- **9 совхозов северной зоны**

Заросли борщевика Сосновского в городской черте



- **Целью нашей работы было построить модель распространения и определить теоретические границы ареала борщевика Сосновского в таёжной зоне Европейской части России**

- **Для моделирования мы использовали сведения о эколого-физиологических свойствах вида, биоклиматические переменные, характеристики земной поверхности**

- **Эколого-физиологическая модель расселения позволяет предсказать потенциальное распространение борщевика Сосновского**

Методы исследования

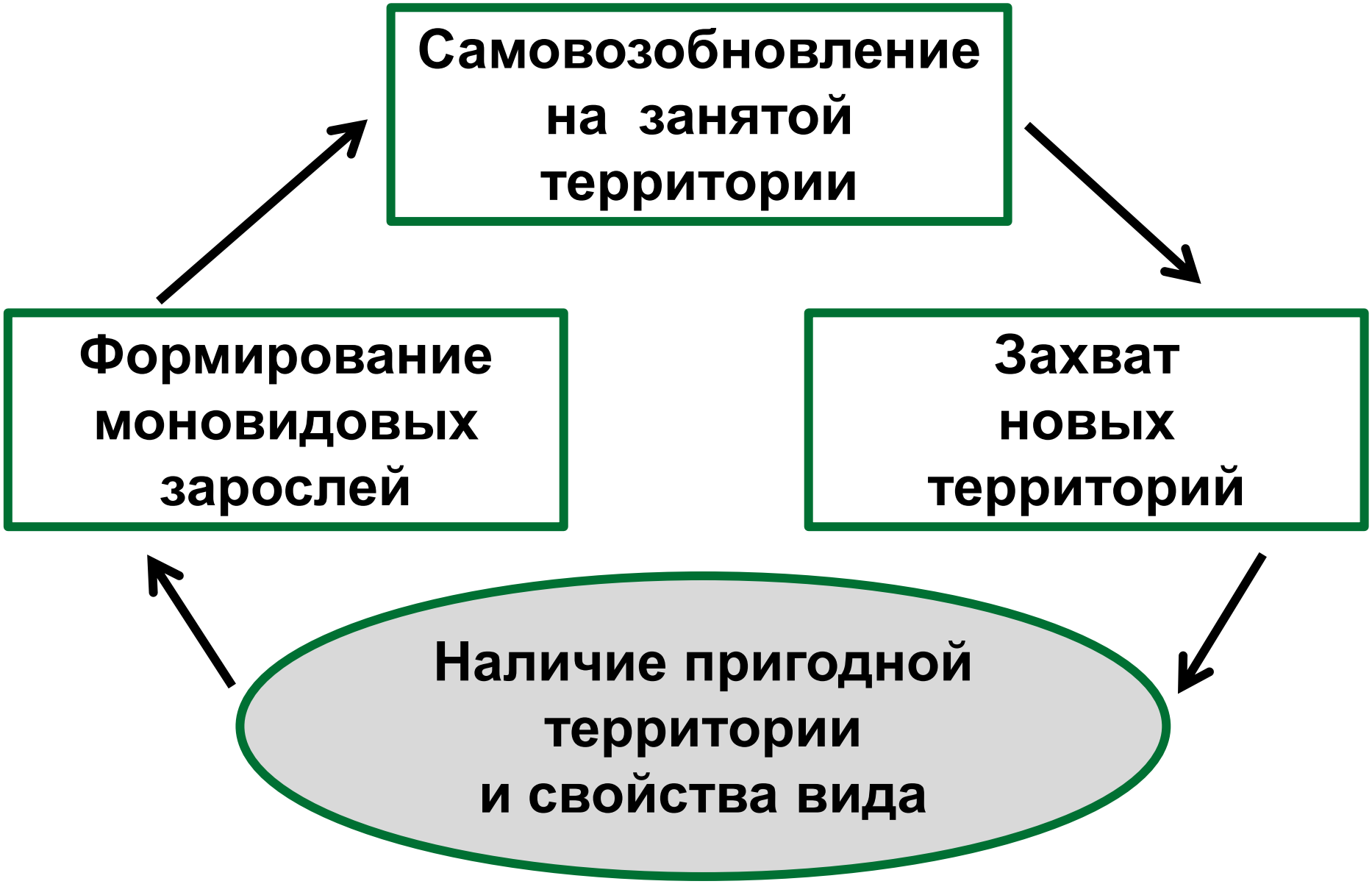
Эколого-физиологические

- Структура зарослей
- Функциональные особенности растений
- Эффективность использования ресурсов среды

Биогеографические

- Картографирование (ИС РИВР)
- Моделирование (MaxEnt)

Эколого-физиологические свойства борщевика Сосновского


Самовозобновление на занятой территории
Захват новых территорий
Наличие пригодной территории и свойства вида
Формирование моновидовых зарослей

Формирование моновидовых зарослей

На квадратный метр:

1 цветущее растение

3-4 взрослых вегетативных

7-9 ювенильных

80-120 проростков

Листовой индекс 6-7

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:10.1371/journal.pone.0142833

Структурная и функциональная характеристика листьев растений борщевика Сосновского

Группы	УППЛ, г/дм^2	КВ, моль фотонов /мольCO_2	СКП, мкмоль/м^{2}с	Фмакс, мгCO_2/г сух м ч
Проростки	0.16	0.057	43	56
Ювенильные	0.23	0.051	46	28
Вегетативные	0.63	0.055	32	25
Генеративные	0.83	0.043	25	13

Эффективность использования азота в процессе ассимиляции CO_2

Лист:

N - 2.5-3 %

Фв - 8-10 мкмоль $CO_2/м^2с$

УПП - 0.6-0.8 $г/дм^2$

PNUE, мг CO_2/(мг N ч) растений в бореальной зоне:

Борщевик Сосновского	**0.5-1**
Травы	**0.4**
Древесно-кустарничковые	**0.2**

Минеральное питание и продуктивность

Высокий уровень потребления минеральных элементов

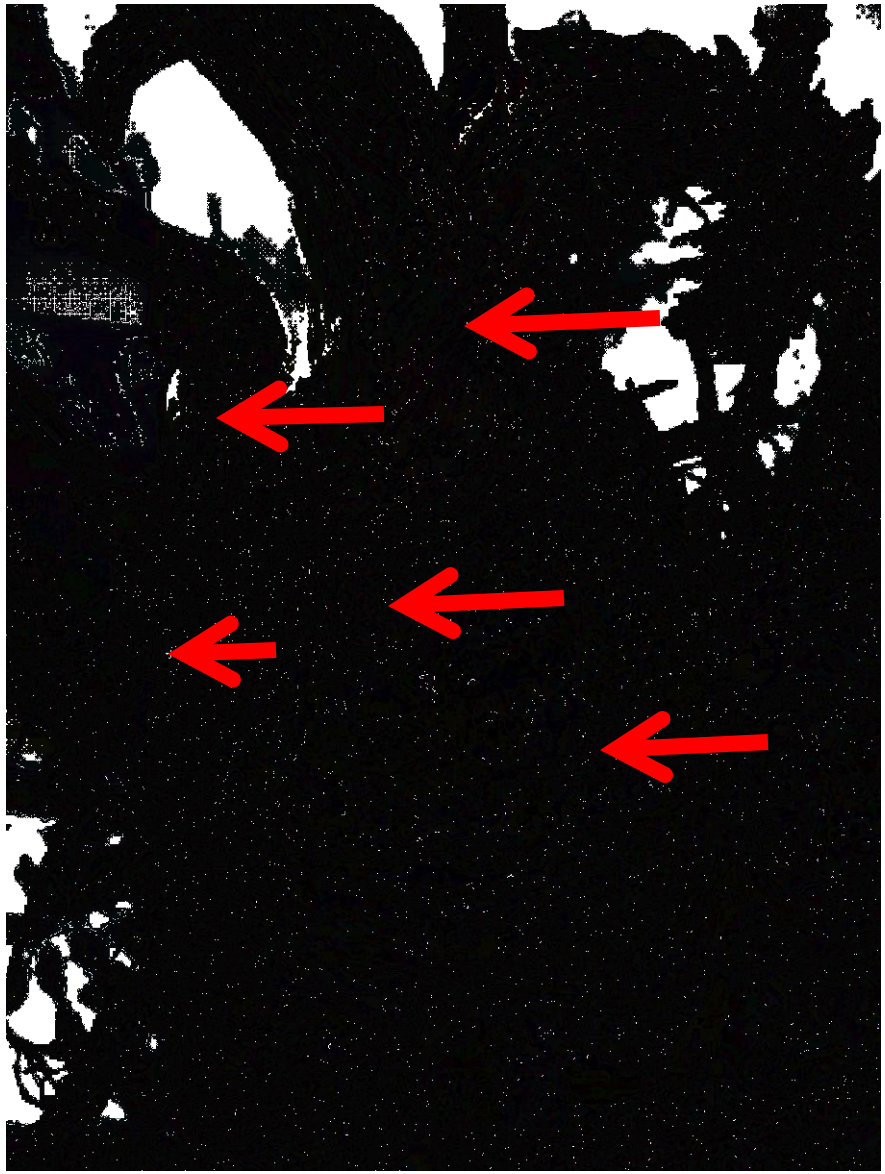
Вынос на формирование 100 ц зеленой массы:

	кг
N	20-25
P	5-10
K	67
Ca	28

Продуктивность биомассы 500-1000 ц/га

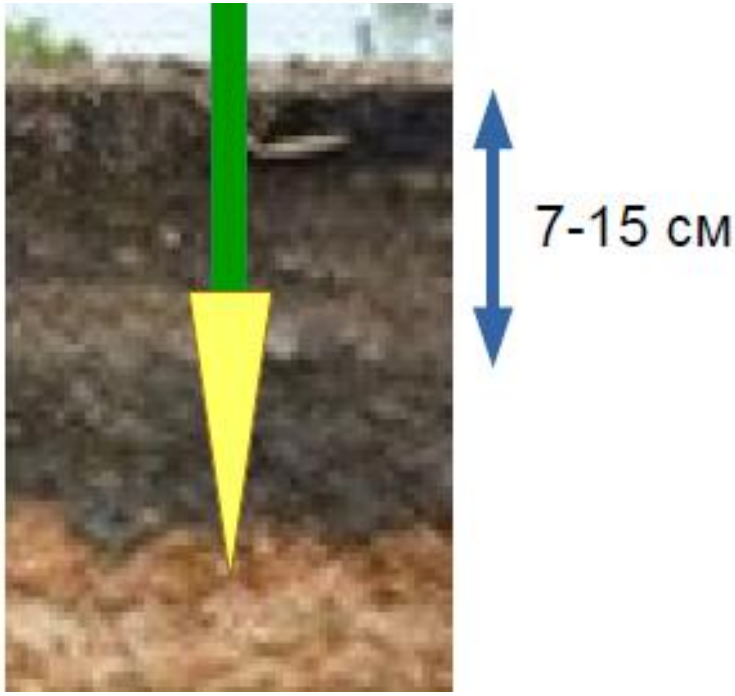
Высокие темпы минерализации

Почки возобновления



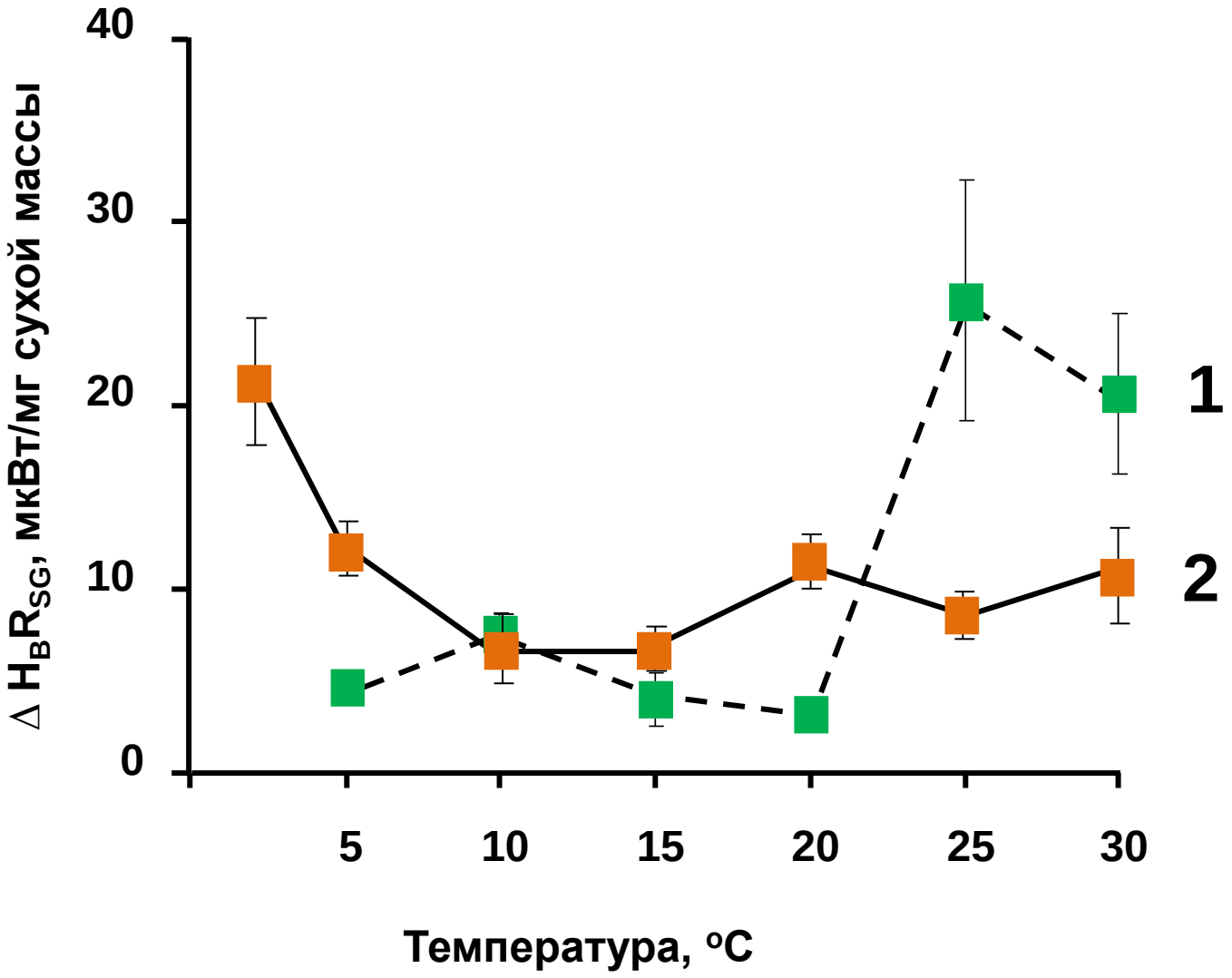
Верхушечная
Пазушные

20 шт./м^2 зарослей



Температурная зависимость запасания энергии в почках возобновления

(1 - весна, 2 - осень)



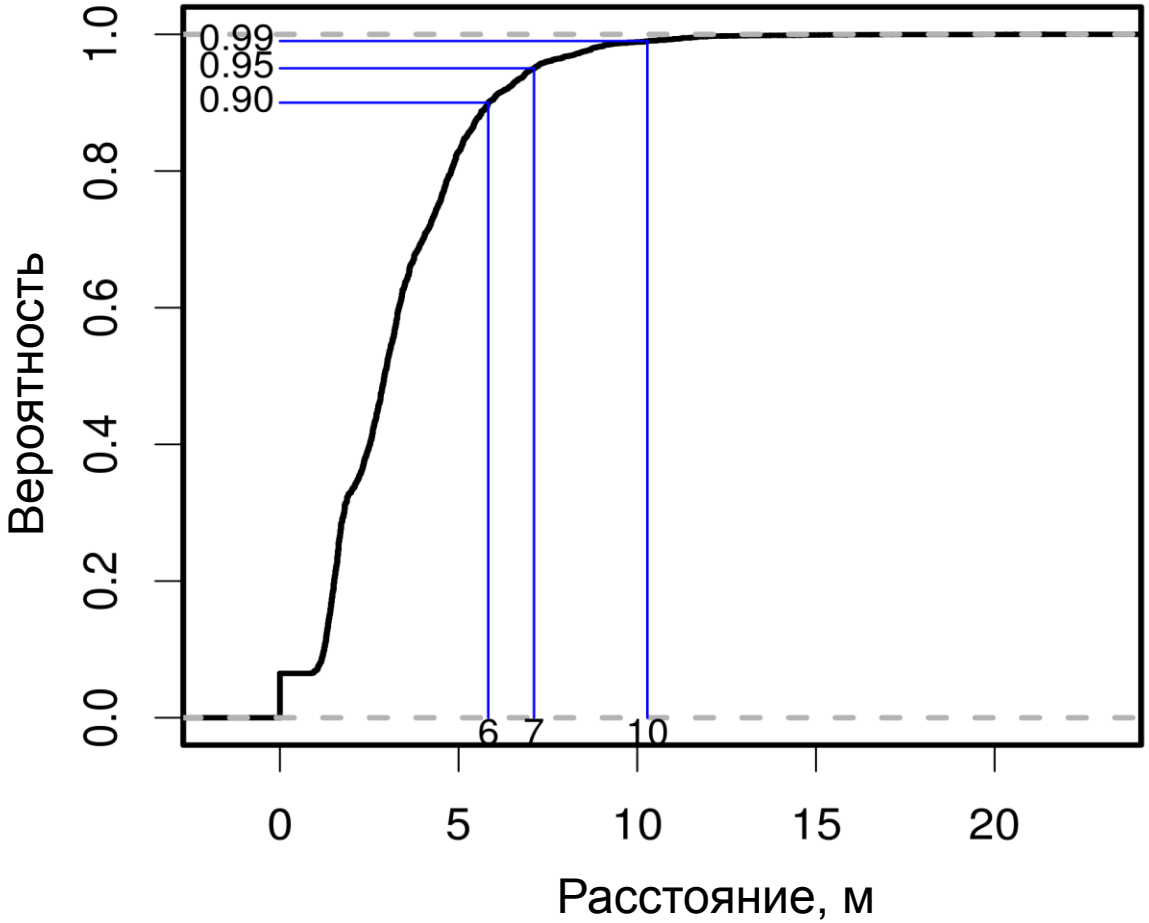
Банк семян

Ежегодно формируется и расходуется

до 20 000 семян на квадратный метр зарослей

Дистанция переноса семян

Перенос семян – единственный способ распространения
Основная часть семян (90 %) осыпается на расстоянии 6 м от материнского растения



Dalke I., Chadin I. The R script and data for *Heracleum sosnowskyi* seed dispersal modelling in Syktyvkar region (Komi Republic, Russia). 2018. URL: https://zenodo.org/record/1212547#.WsUV7YBn0pQ. DOI:10.5281/zenodo.1212547

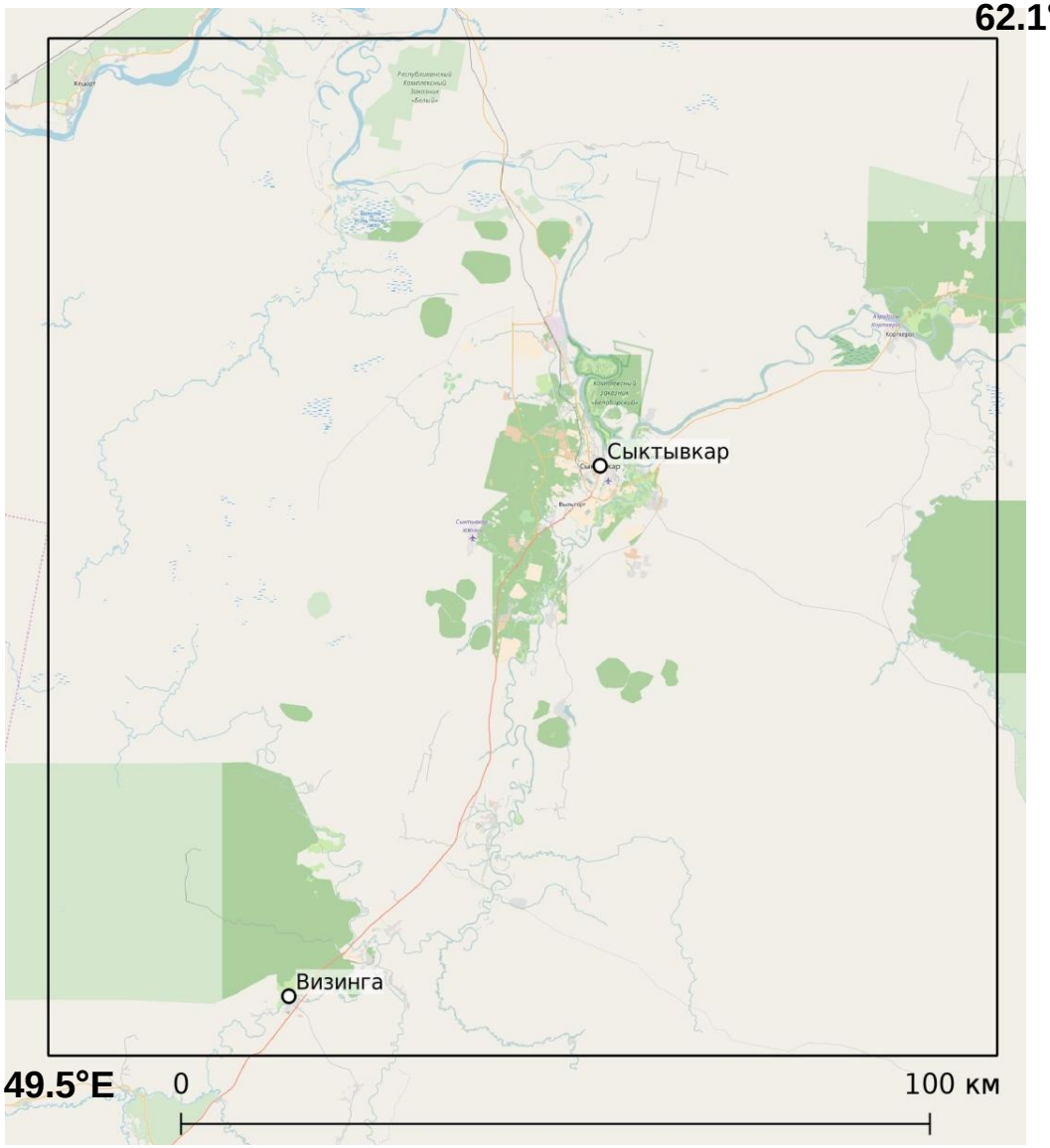
Корреляционное моделирование распространения

Районы моделирования

Район моделирования 1

15 230 км^2

62.1°N, 51.8°E



61.0°N, 49.5°E

Картоосновahttps://www.openstreetmap.org

WorldClim - Global Climate Data

Free climate data for ecological modeling and GIS

Contact

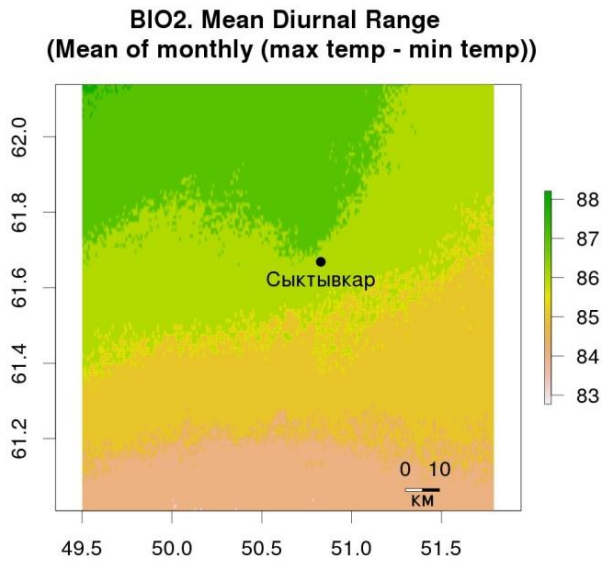
Температура и Осадки

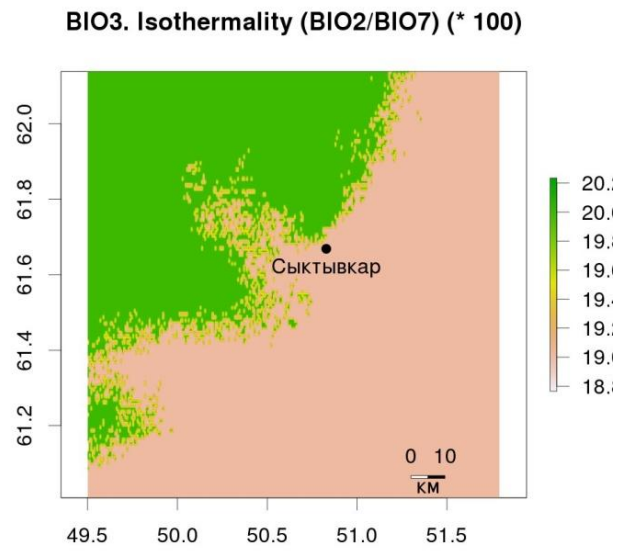
BIO1 = Annual Mean Temperature
BIO2 = Mean Diurnal Range (Mean of monthly (max temp - min temp))
BIO3 = Isothermality (BIO2/BIO7) (* 100)
BIO4 = Temperature Seasonality (standard deviation *100)
BIO5 = Max Temperature of Warmest Month
BIO6 = Min Temperature of Coldest Month
BIO7 = Temperature Annual Range (BIO5-BIO6)
BIO8 = Mean Temperature of Wettest Quarter
BIO9 = Mean Temperature of Driest Quarter
BIO10 = Mean Temperature of Warmest Quarter
BIO11 = Mean Temperature of Coldest Quarter
BIO12 = Annual Precipitation
BIO13 = Precipitation of Wettest Month
BIO14 = Precipitation of Driest Month
BIO15 = Precipitation Seasonality (Coefficient of Variation)
BIO16 = Precipitation of Wettest Quarter
BIO17 = Precipitation of Driest Quarter
BIO18 = Precipitation of Warmest Quarter
BIO19 = Precipitation of Coldest Quarter

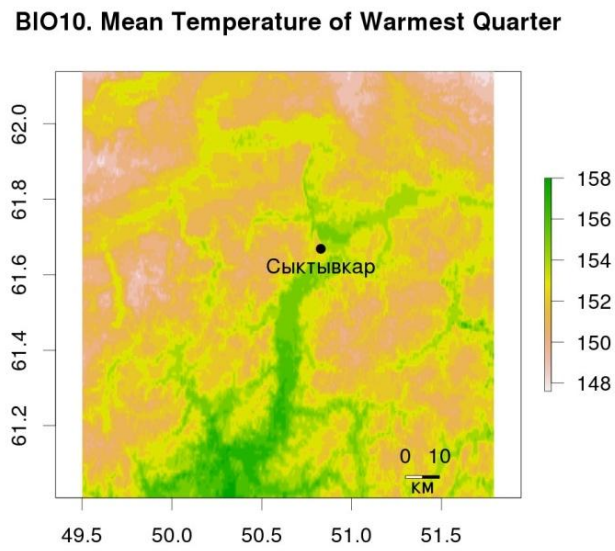
Hijmans et al., 2005

Слои-предикторы

Некоррелированные биоклиматические переменные



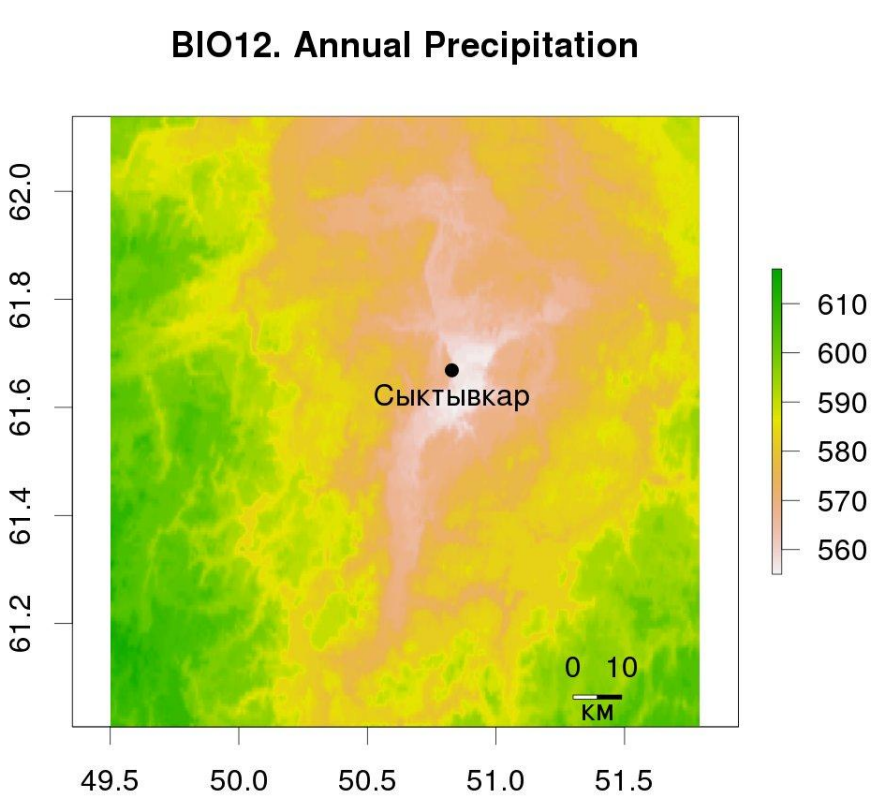


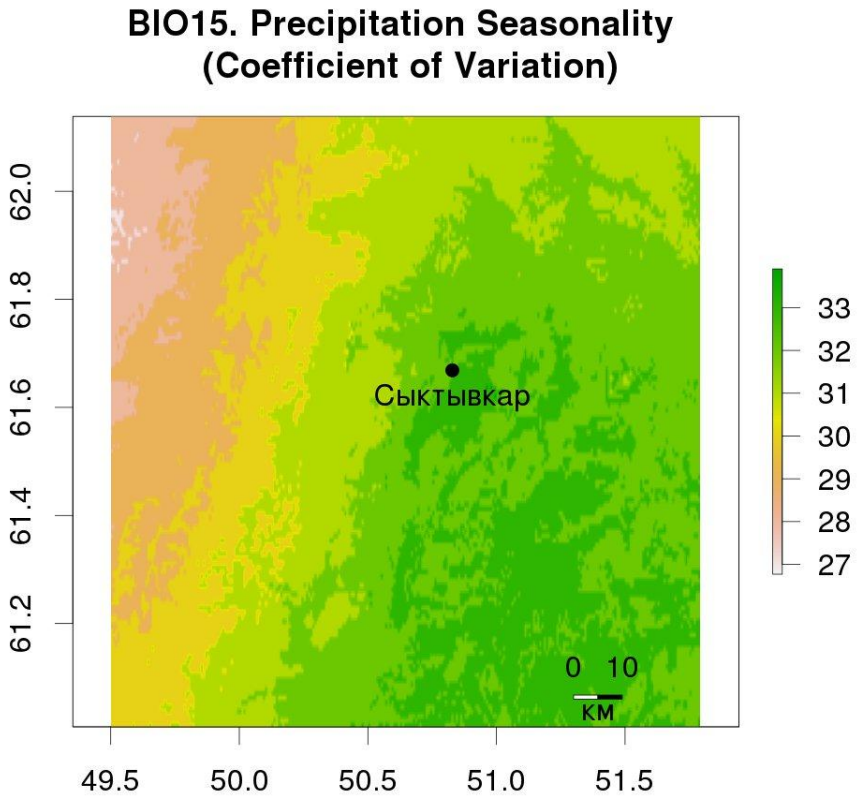


≈ 50 м / пиксел

Слои-предикторы

Некоррелированные биоклиматические переменные

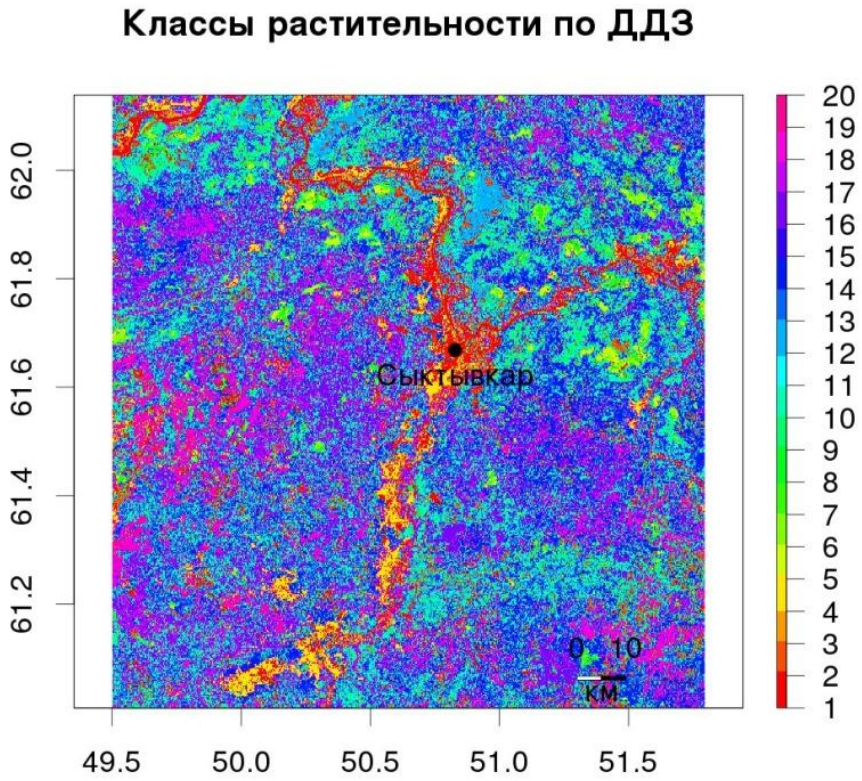


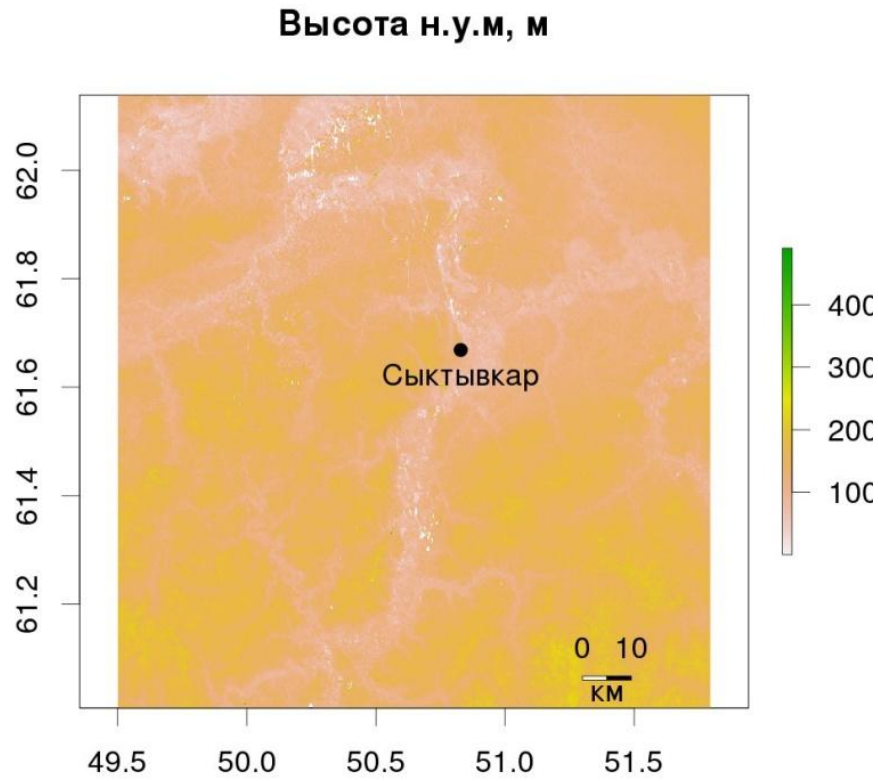


≈ 50 м / пиксел

Слои-предикторы

Свойства земной поверхности по данным дистанционного зондирования (ДДЗ)

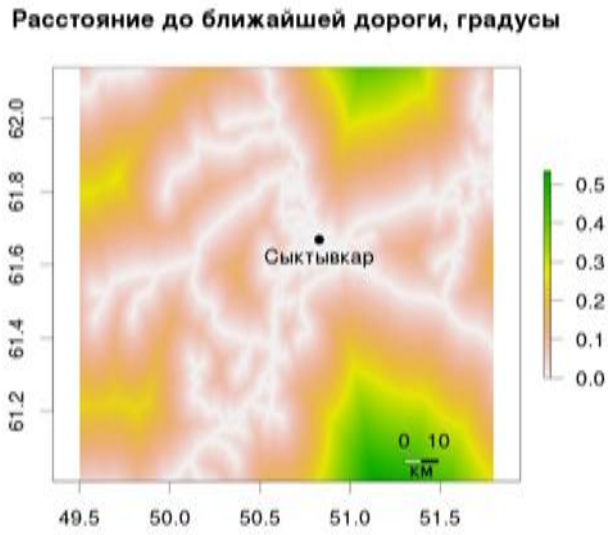


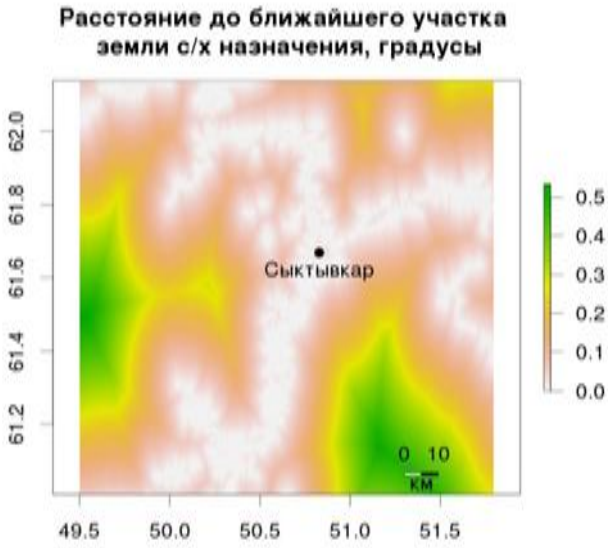


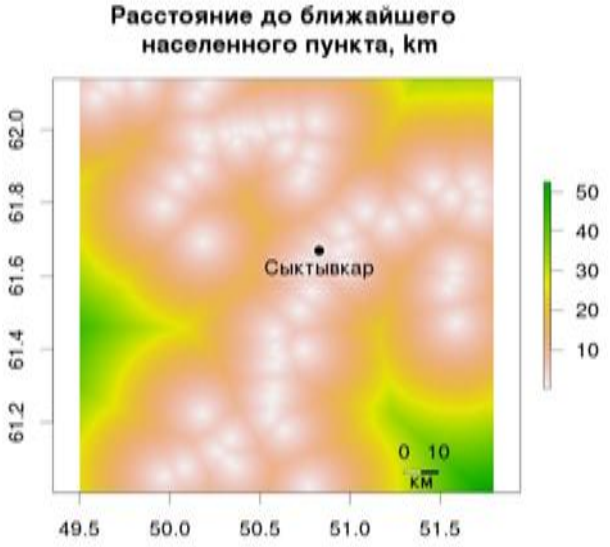
≈ 50 м / пиксел

Слои-предикторы

Расстояния до антропогенных объектов

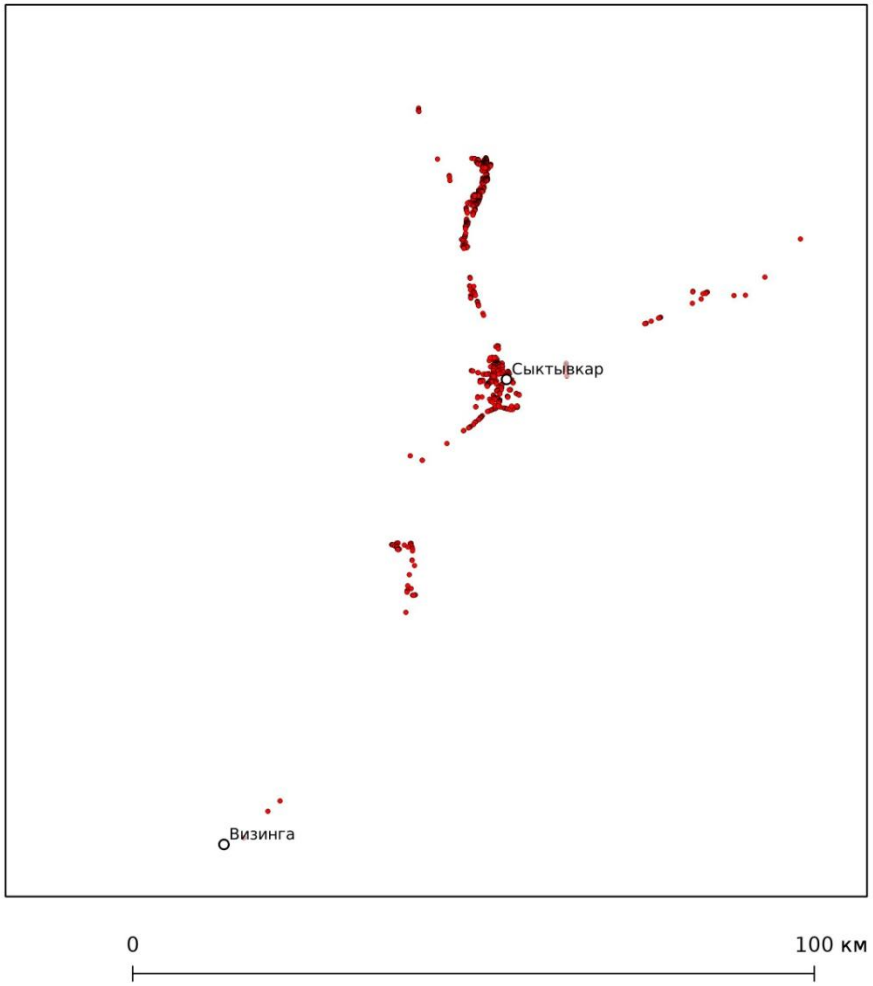






≈ 50 м / пиксел

Географические точки мест произрастания
растений борщевика Сосновского



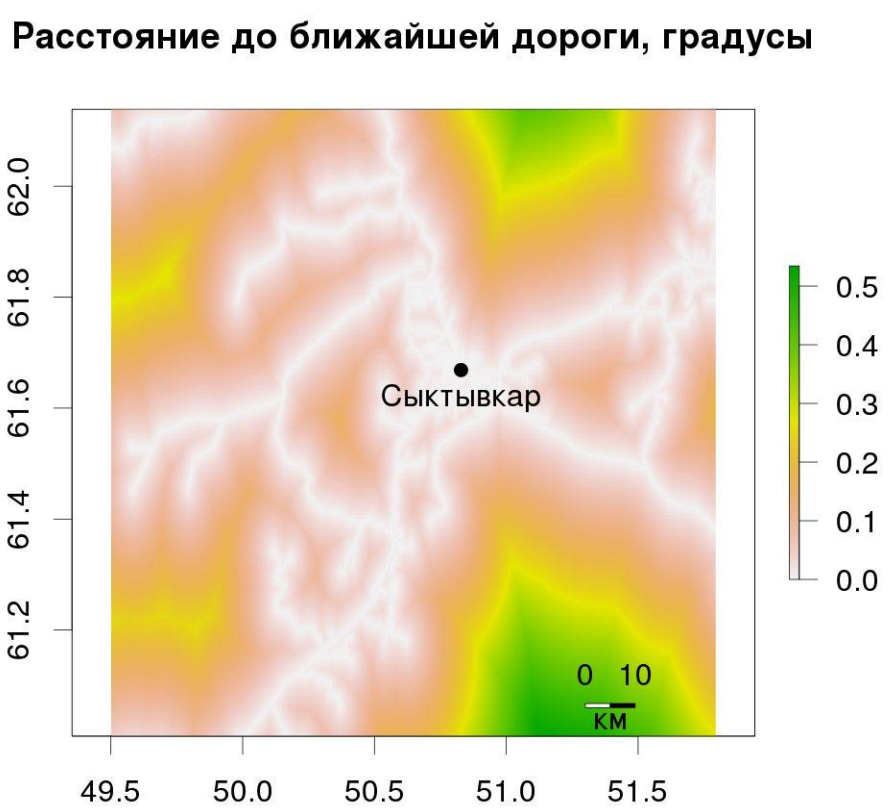
905 точек отобрано случайно из 8 820 точек

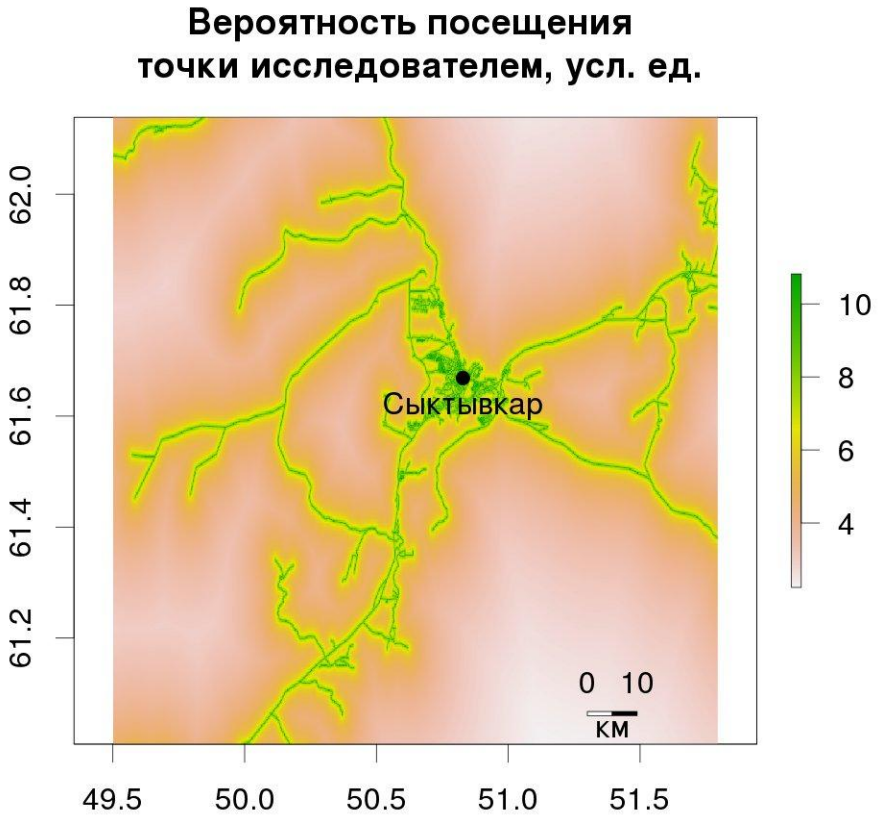
100 м – минимальное расстояние между точками

70 % (633 шт.) – обучающая выборка
30 % (272 шт.) – тестовая выборка

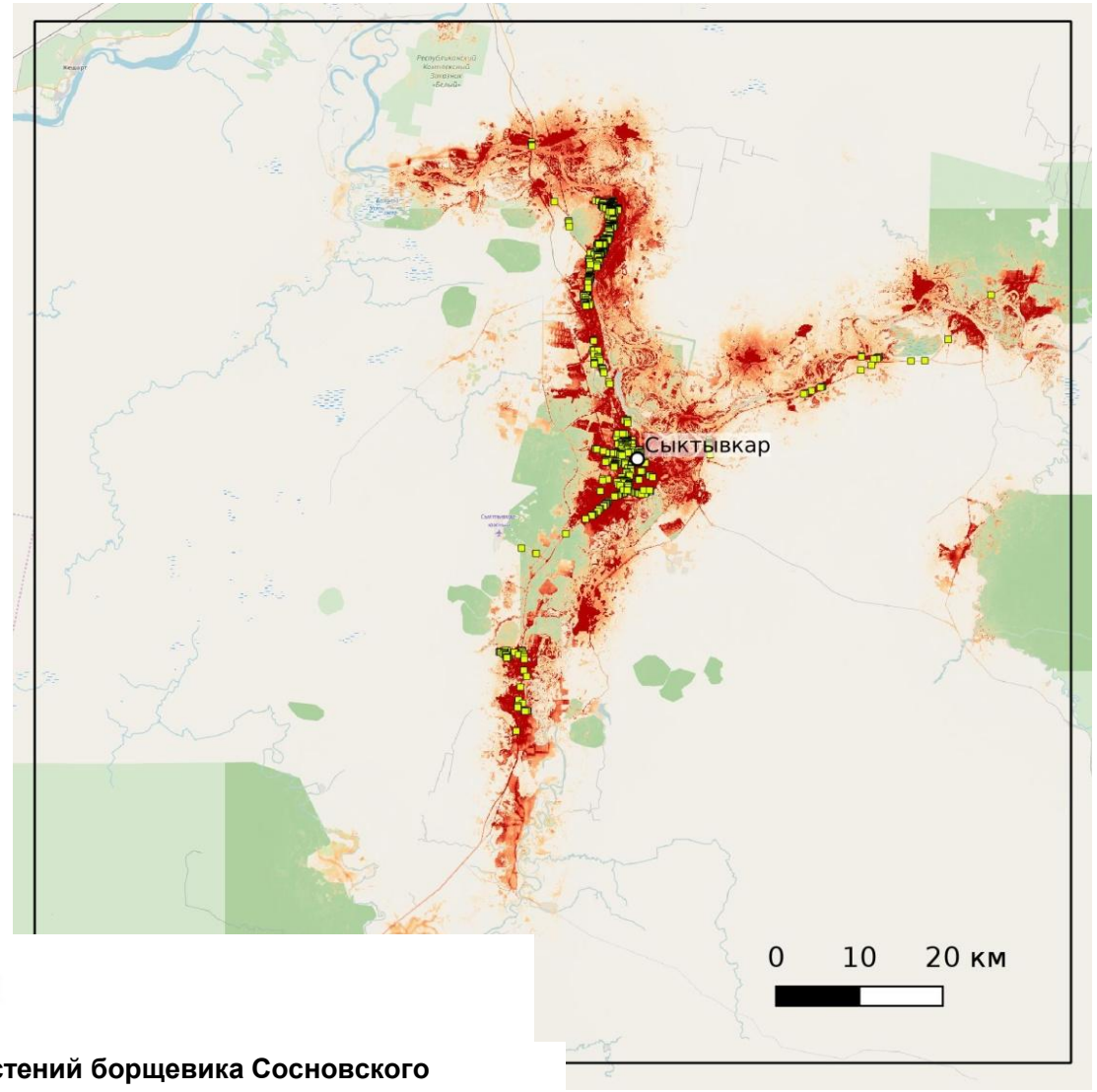
Источник данных: ИС РИВР https://ib.komisc.ru/add/rivr/

Слой для компенсации смещения выборки





Результат моделирования по алгоритму MaxEnt



Точки находок H. sosnowskyi

Границы модели

Относительная встречаемость растений борщевика Сосновского

0

0.0536

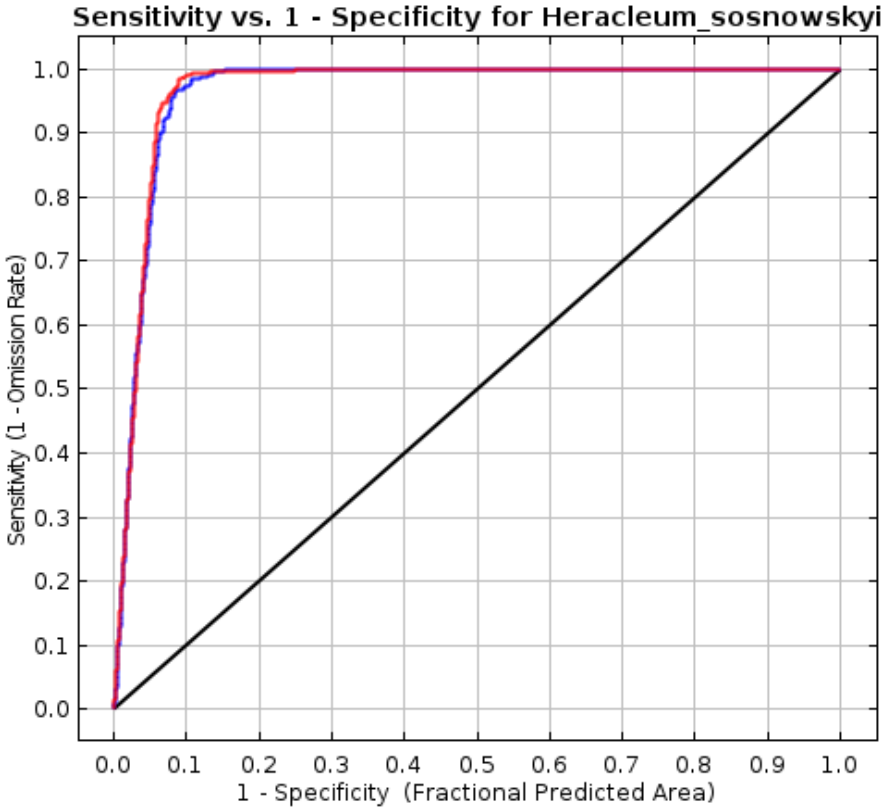
0.107

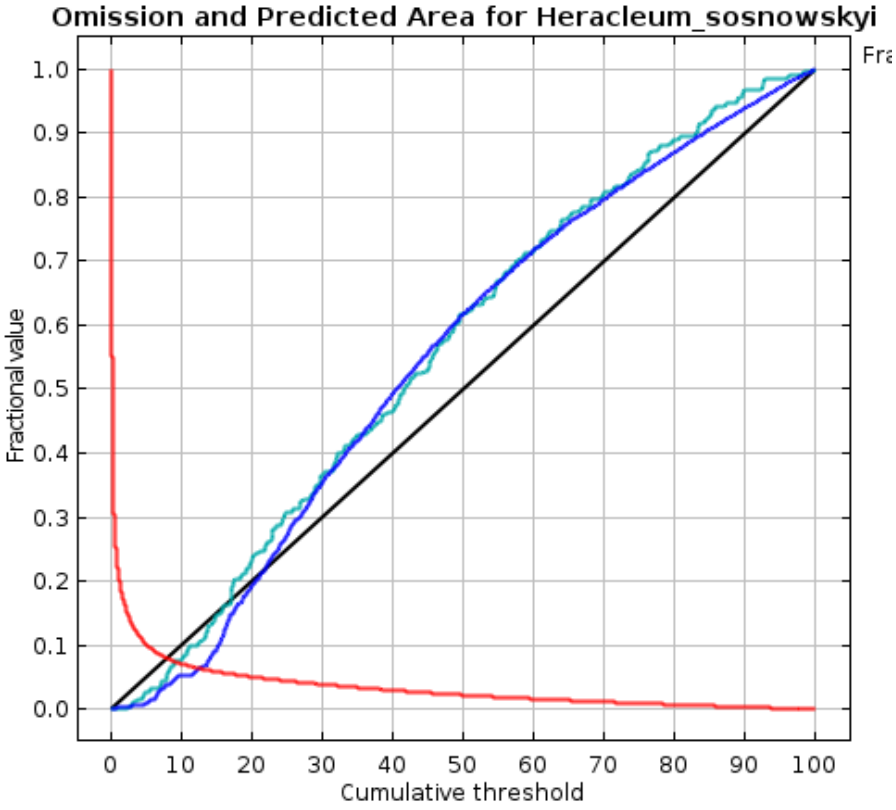
0.161

0.214

Результат моделирования по алгоритму MaxEnt

ROC-анализ





Training data (AUC = 0.968)
Test data (AUC = 0.966)
Random Prediction (AUC = 0.5)

Fraction of background predicted
Omission on training samples
Omission on test samples
Predicted omission

Результат моделирования по алгоритму MaxEnt

Анализ вклада предикторов в результат моделирования

Предиктор	Вклад предиктора, %	Оценка вклада переменной на основании теста перестановки, %
Расстояние до земель с/х назначения	34.9	25.0
Класс растительного покрова	23.6	14.0
BIO12. Кол-во осадков в год	16.7	13.7
Расстояние до населенных пунктов	9.1	6.7
BIO2. Суточный размах температуры	5.3	0.0
Расстояние до дорог	5.0	4.4
BIO15. Коэф. вариации кол-ва осадков между сезонами	2.9	32.3
BIO3. Изотермальность (BIO2/BIO7)	1.4	0.6
BIO10. Средняя температура наиболее теплого квартала	0.7	2.9
Высота н.у.м	0.3	0.4

Район моделирования 2

Район моделирования 2

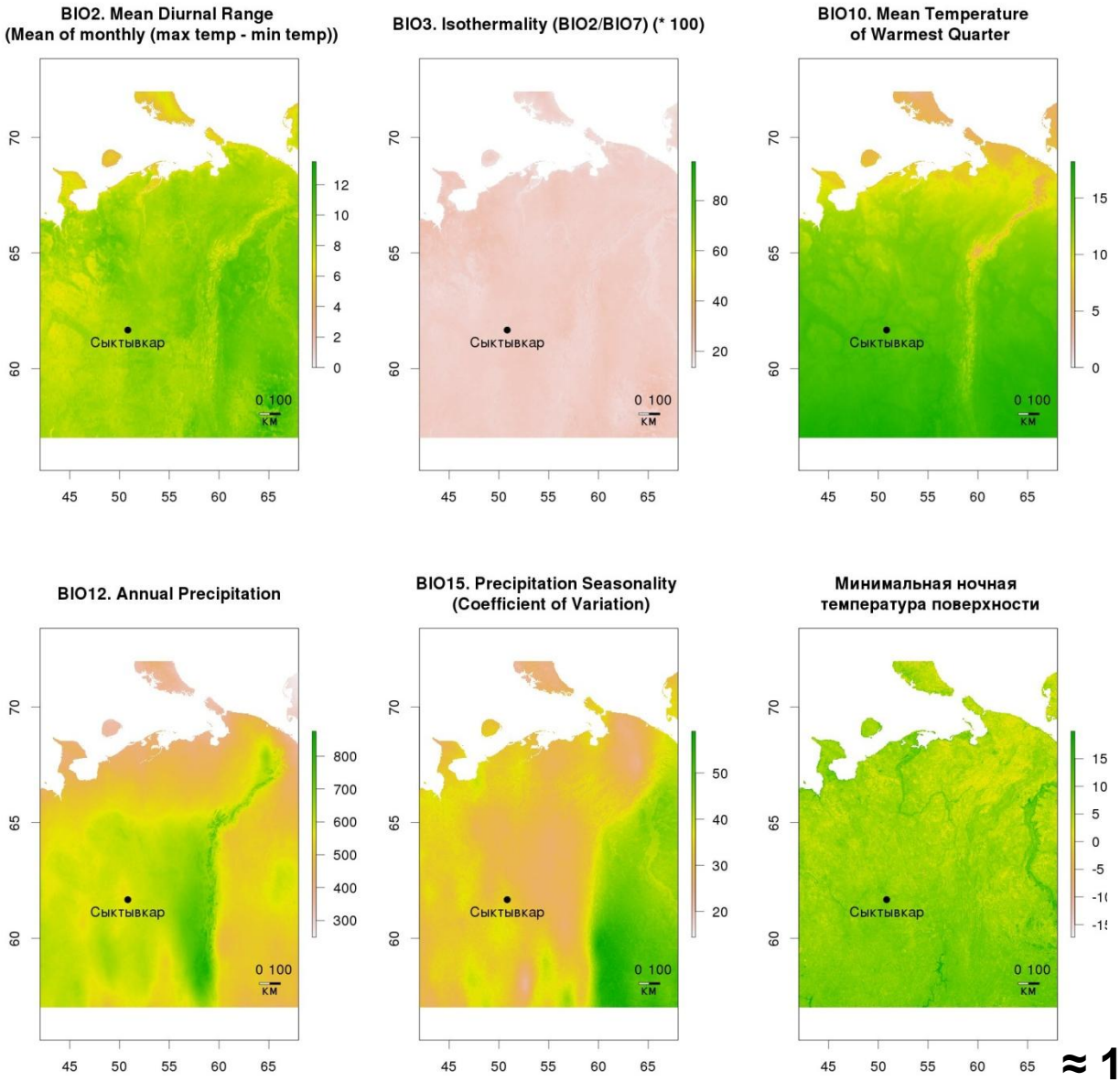
2 066 267 км^2

68.7°N, 57.0°E

57.0°N, 42.0°E

Слои предикторы

Биоклиматические переменные

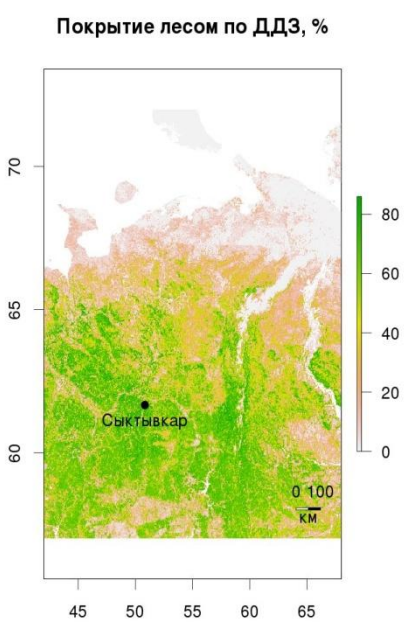


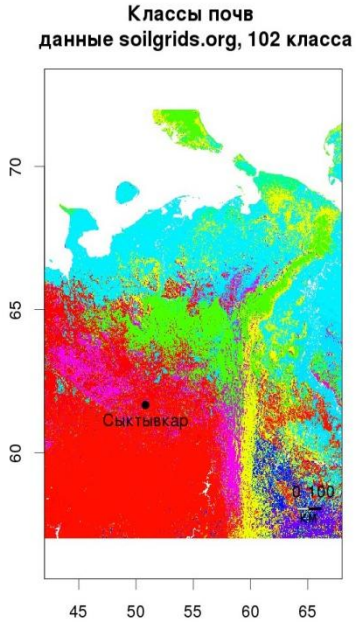
≈ 1 км / пиксел

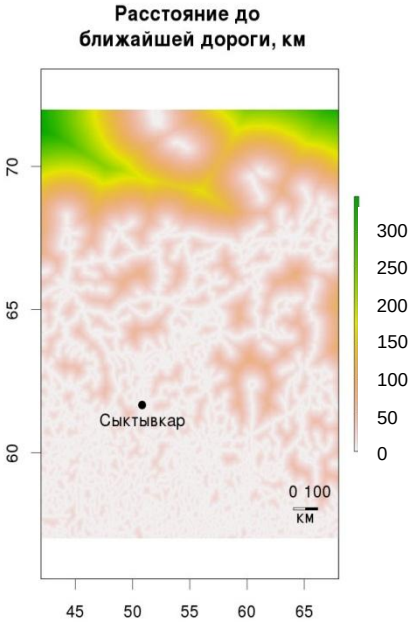
Источник данных: http://www.worldclim.org/bioclim

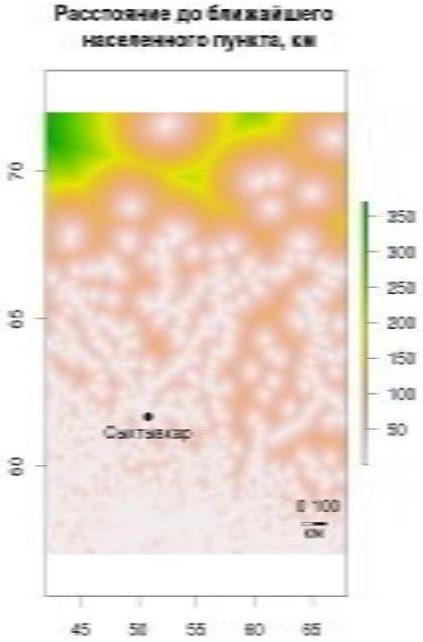
Слои предикторы

Характеристики земной поверхности





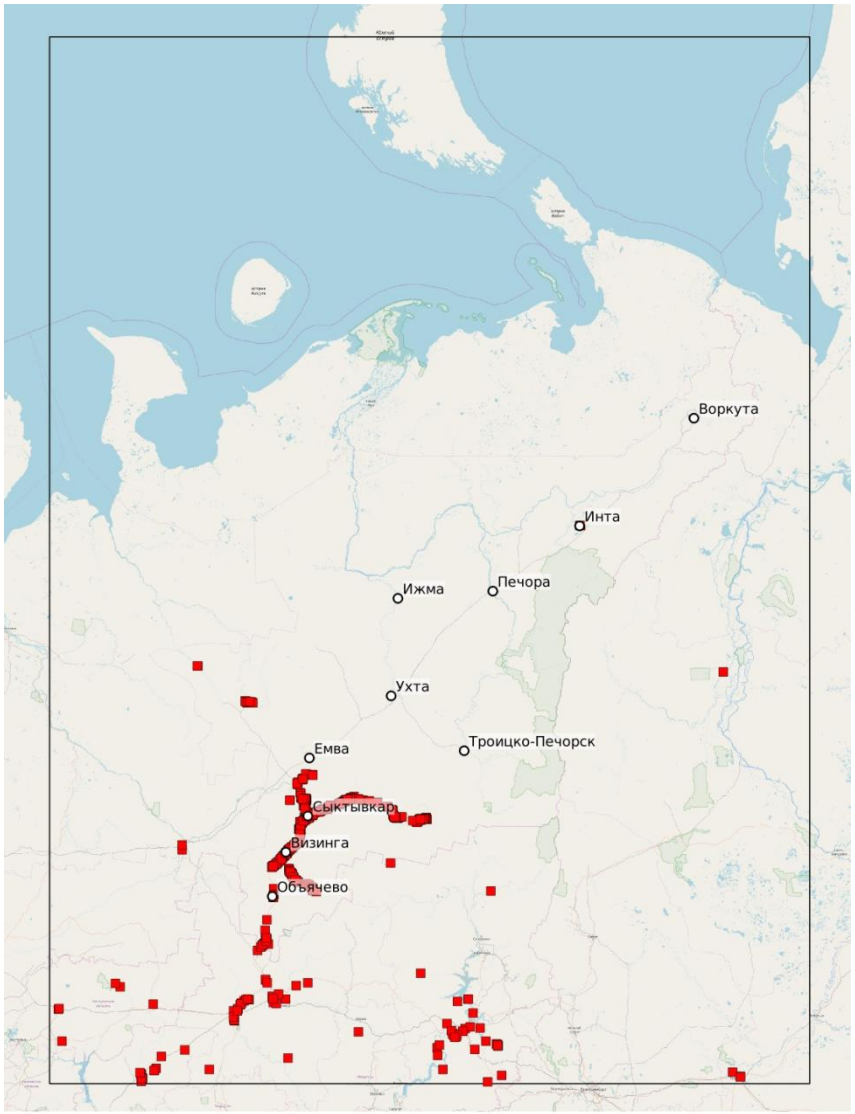




≈ 1 км / пиксел

Географические точки мест произрастания

Heracleum sosnowskyi



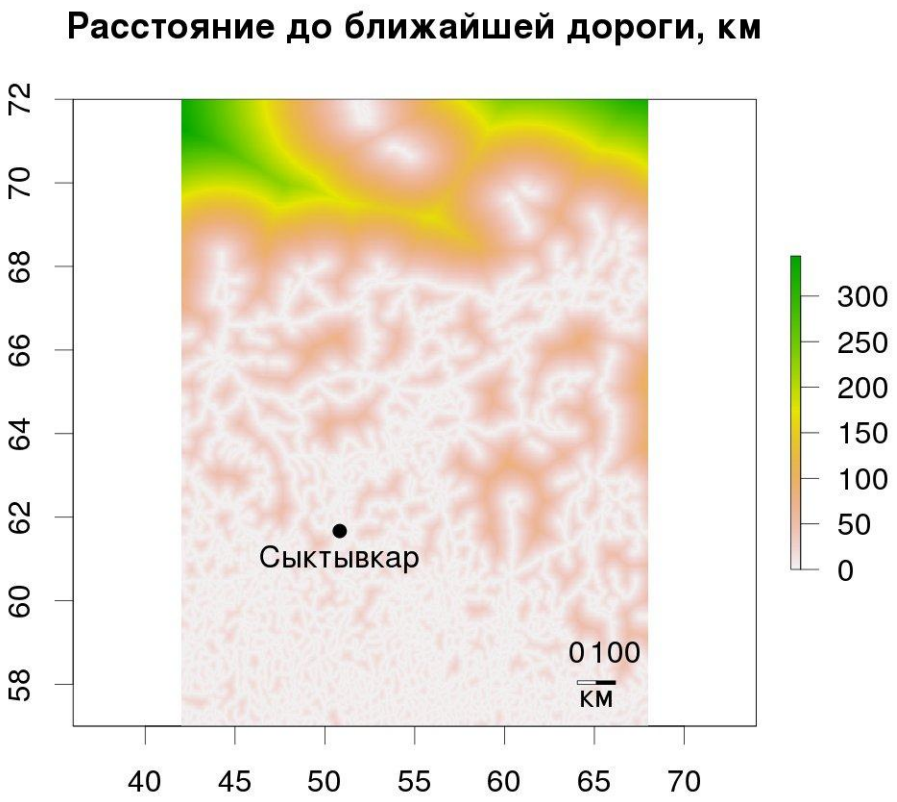
599 точек отобрано случайно из 11 241 точек

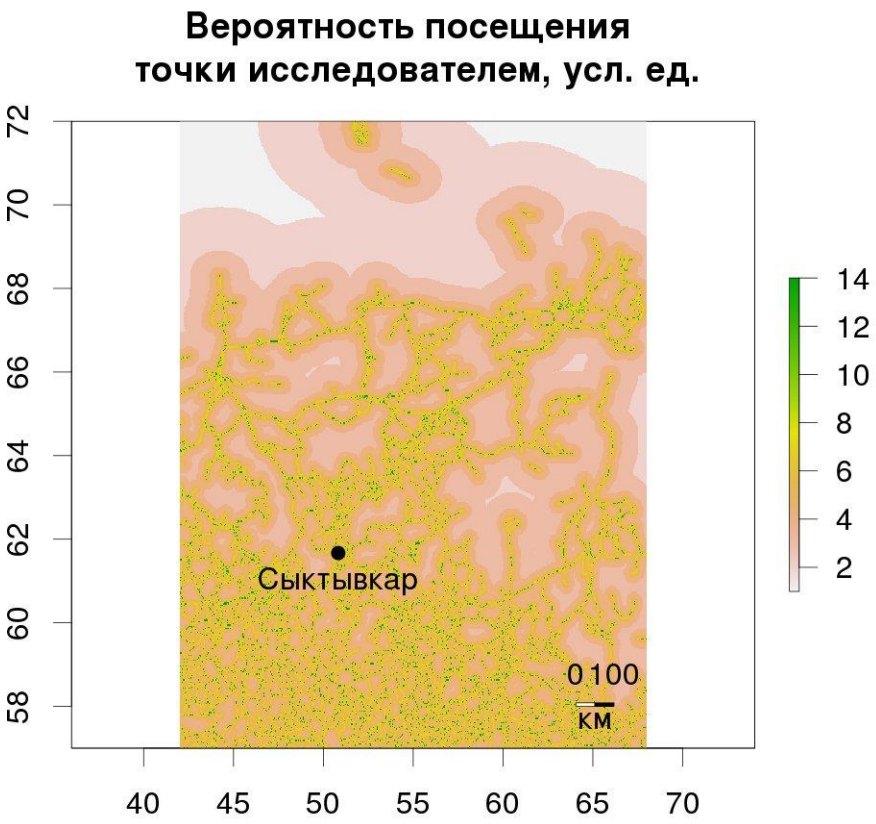
1 км – минимальное расстояние между точками

70 % (461 шт.) – обучающая выборка
30 % (138 шт.) – тестовая выборка

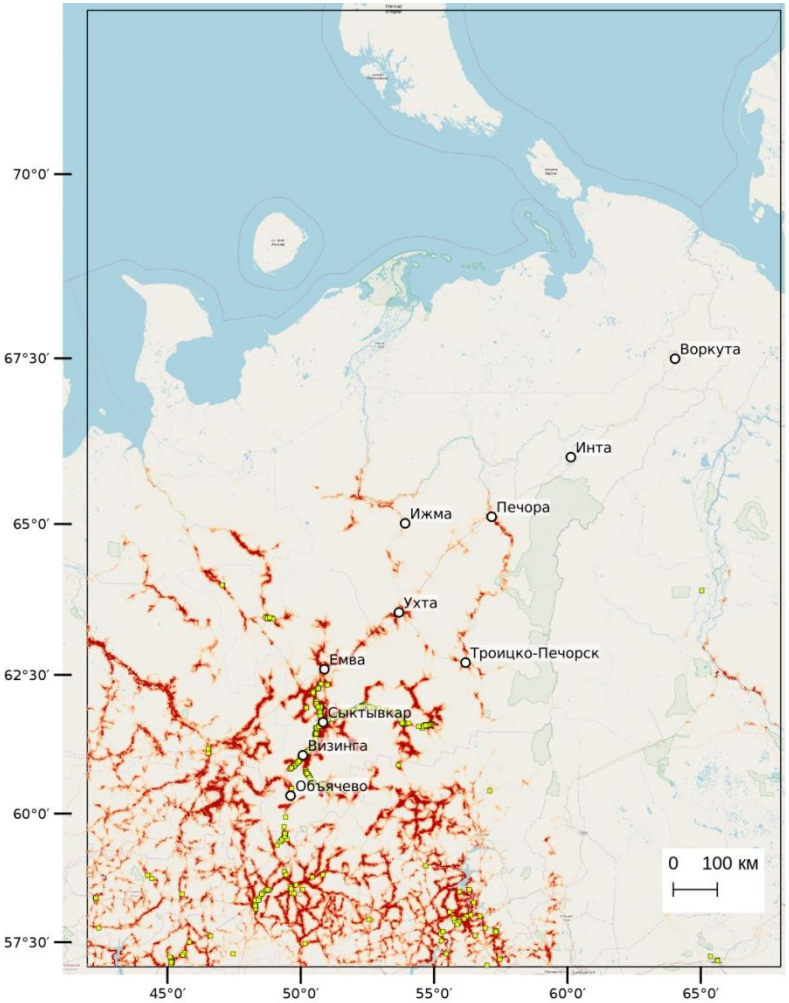
Источник данных: ИС РИВР https://ib.komisc.ru/add/rivr/

Слой для компенсации смещения выборки





Результаты моделирования

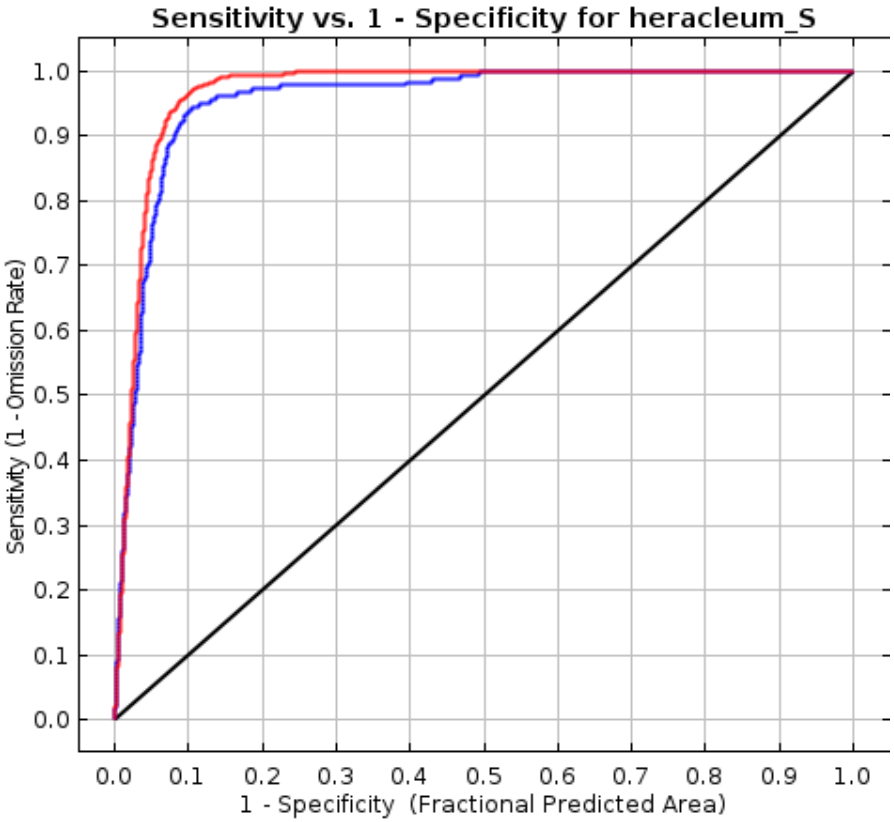


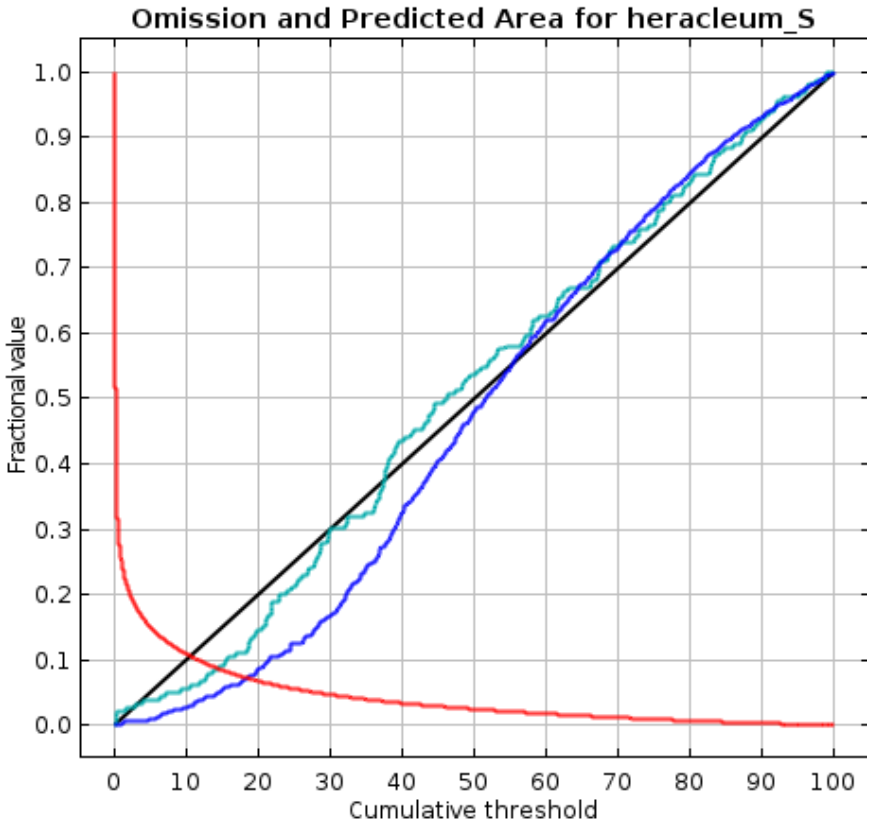
Относительная встречаемость растений борщевика Сосновского

- *0.023*
- *0.046*
- *0.069*
- *0.092*
- *Изолиния суммы активных температур. Модель 1*
- *Изолиния суммы активных температур. Модель 2*
- *Точки обнаружения H. sosnowskyi*

Результат моделирования по алгоритму MaxEnt

ROC-анализ





Training data (AUC = 0.969)
Test data (AUC = 0.956)
Random Prediction (AUC = 0.5)

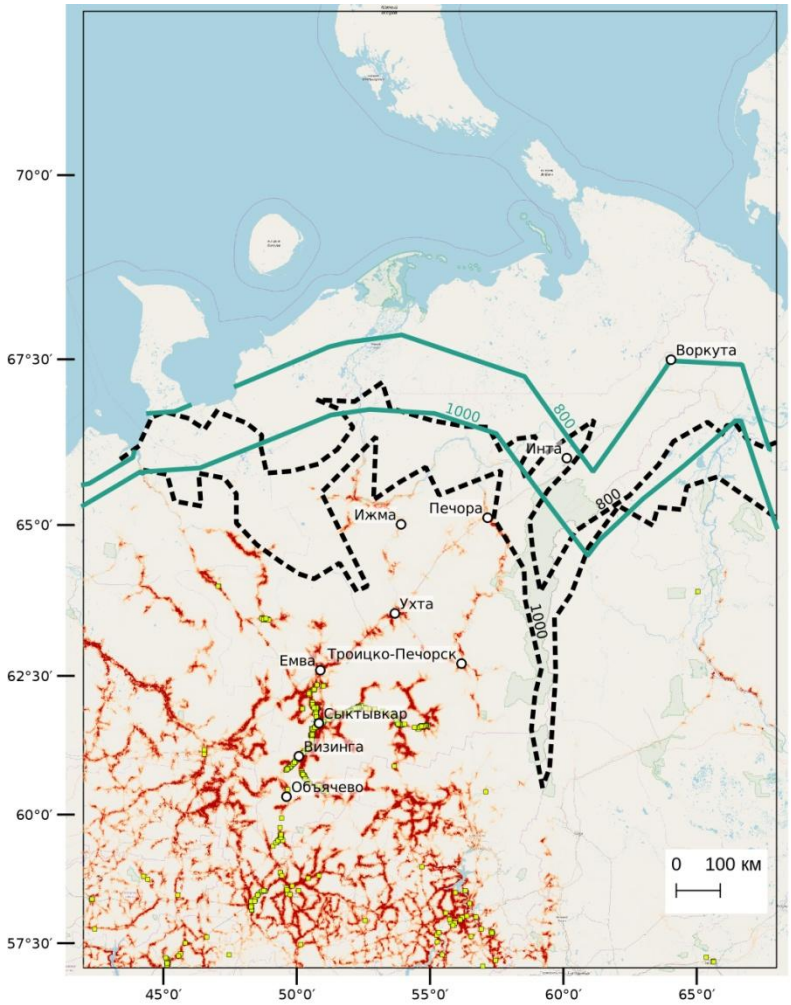
Fraction of background predicted
Omission on training samples
Omission on test samples
Predicted omission

Результат моделирования распространения борщевика Сосновского по алгоритму MaxEnt

Анализ вклада предикторов в результат моделирования

Предиктор	Вклад предиктора, %	Оценка вклада переменной на основании теста перестановки, %
Расстояние до населенного пункта	43.4	21.2
Расстояние до дороги	24.9	25.7
BIO15. Коэф. вариации кол-ва осадков между сезонами	7.8	13.5
BIO10. Средняя температура наиболее теплого квартала	6.6	8.7
Минимальная ночная температура поверхности земли	5.9	10
BIO12. Кол-во осадков в год	4.8	11
Класс почвы	2.8	0.8
Доля лесопокрытой площади	2	2.1
BIO2. Суточный размах температуры	1.1	6
BIO3. Изотермальность (BIO2/BIO7)	0.5	1

Результаты моделирования



Относительная встречаемость растений борщевика Сосновского

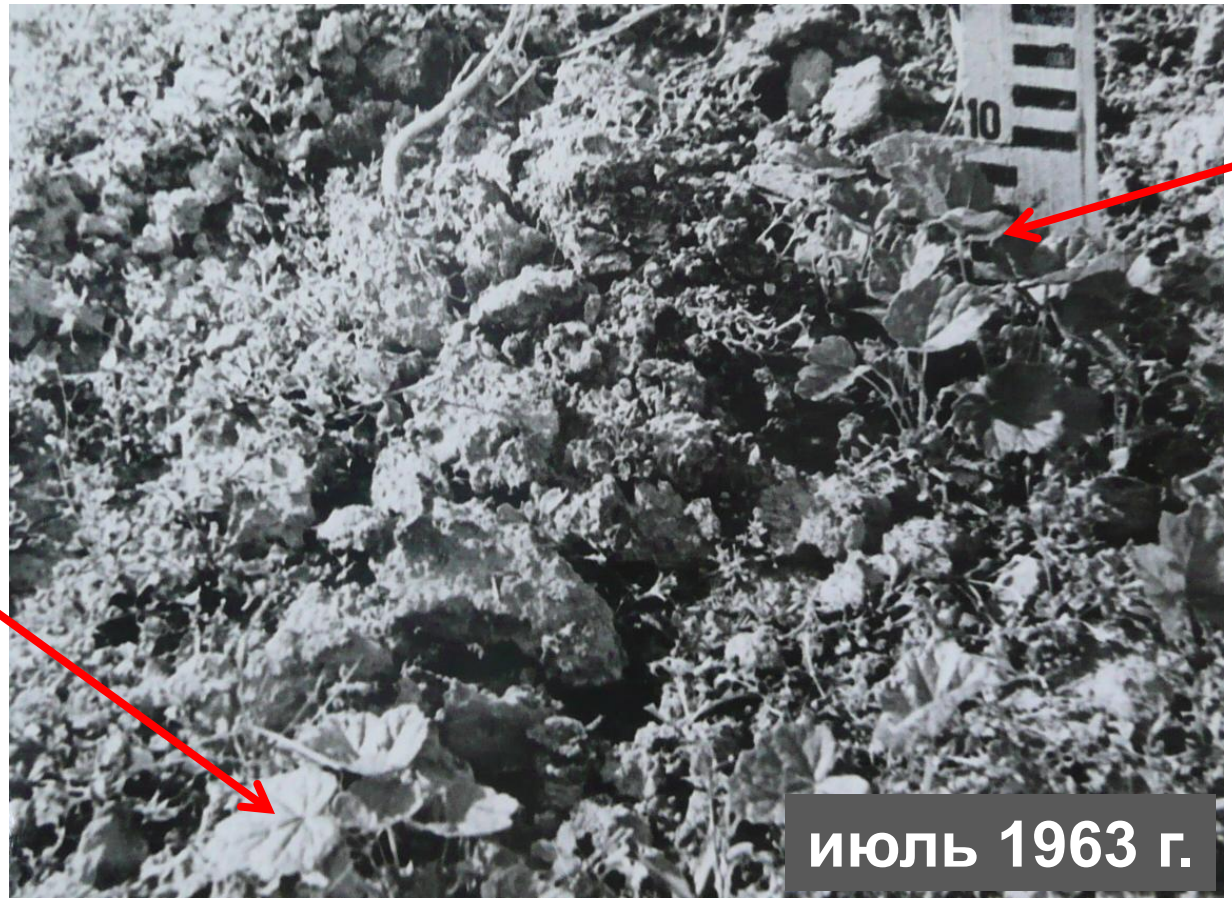
- *0.023*
- *0.046*
- *0.069*
- *0.092*
- *Изолиния суммы активных температур. Модель 1*
- *Изолиния суммы активных температур. Модель 2*
- *Точки обнаружения H. sosnowskyi*

Заросли борщевика Сосновского на заброшенных сельхозугодиях (А) и в городской черте (Б) 66°02′ с.ш. 60°08′ в.д., г. Инта

А

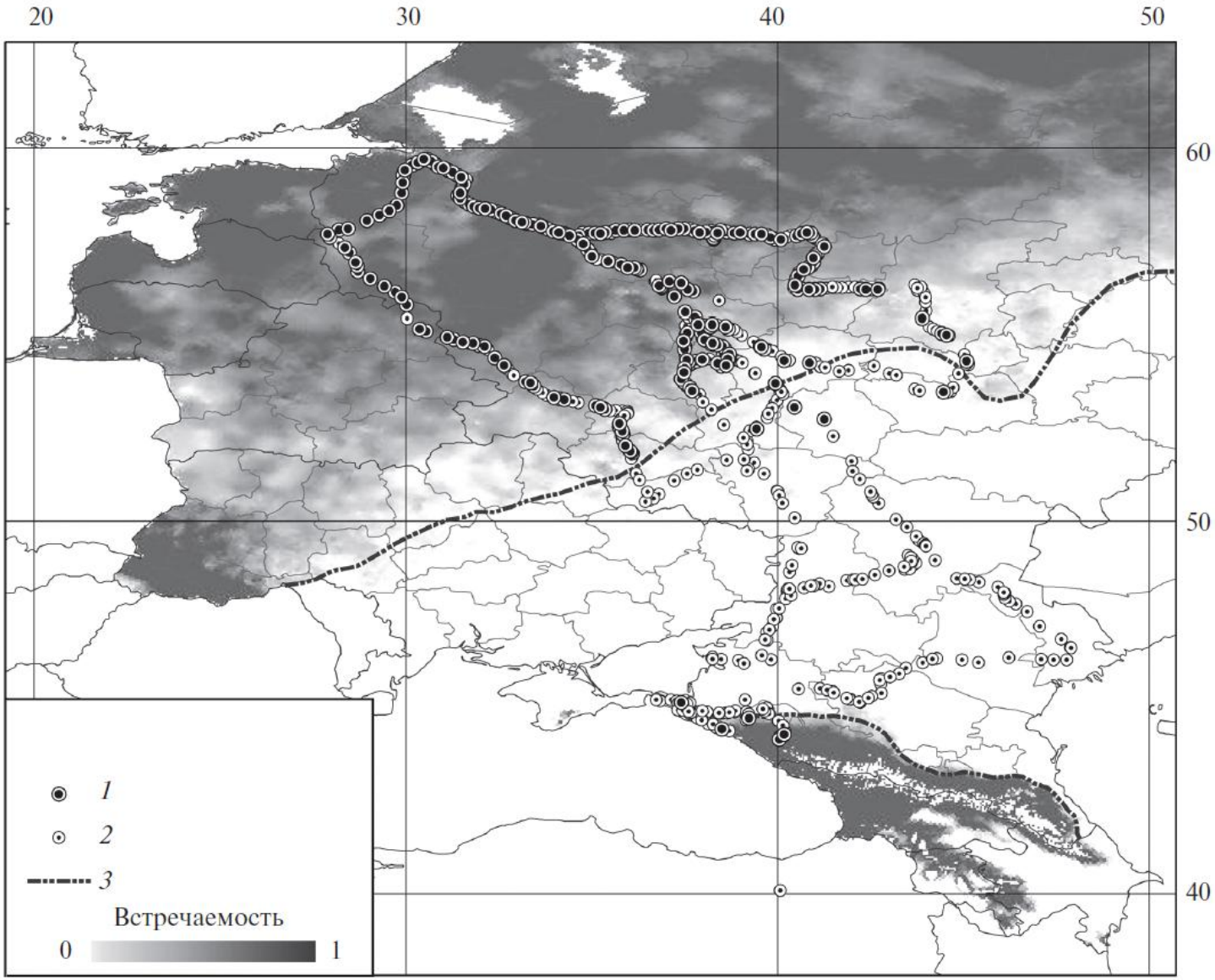
Б

Всходы борщевика Сосновского в тундре 67°30′ с. ш. 64°02′ в. д., Воркута



«В 1962 и 1963 гг. были испытаны в условиях тундры посевы растений борщевика Сосновского, которые оказались совершенное непригодными для возделывания как в пойме, так и на материковых участках» (Хантимер, 1974).

Экологическая пригодность территории Европейской России для произрастания борщевика Сосновского (Афонин и др., 2017)



ГТК > 1.25

ГТК > 1.25

Эколого-физиологическая модель распространения борщевика Сосновского

$$P = f(L, N, T, H)$$

$P -$ **вероятность занятия борщевиком участка**

$L -$ **суммарное поступление солнечной радиации в ценоз**

$N -$ **содержание азота в почве**

$T -$ **сумма активных температур**

$H -$ **количество влаги и режим увлажнения почв**

Эколого-физиологическая модель распространения борщевика Сосновского

$$P = f(L, N, T, H)$$

$P = 1$, **при:**

$L -$ **> 1800 МДж/м²**

$N -$ **> 90 мг/100 г сухой навески почвы**

$T -$ **> 800 ° С**

$H -$ **требует количественной оценки (хорошо дренированные при ГТК не менее 1.25)**

Выводы

Были изучены эколого-физиологические свойства борщевика Сосновского обеспечивающие успех его инвазии в таежной зоне европейской части России.

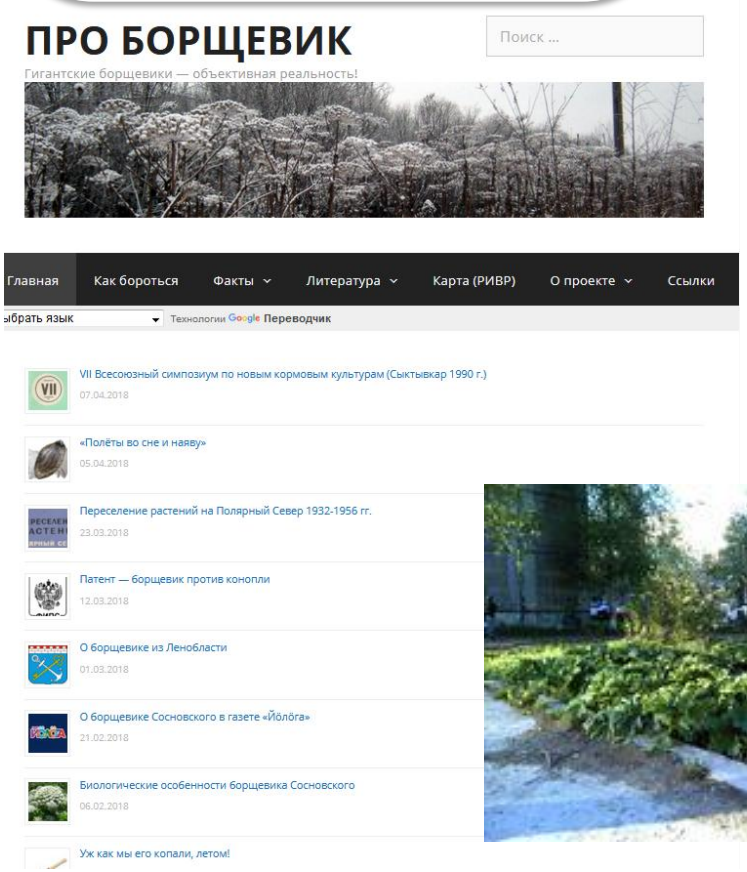
Выявлены особенности метаболизма, обеспечивающие адаптацию растений борщевика к низким температурам в зимний период и высокие темпы роста ранней весной.

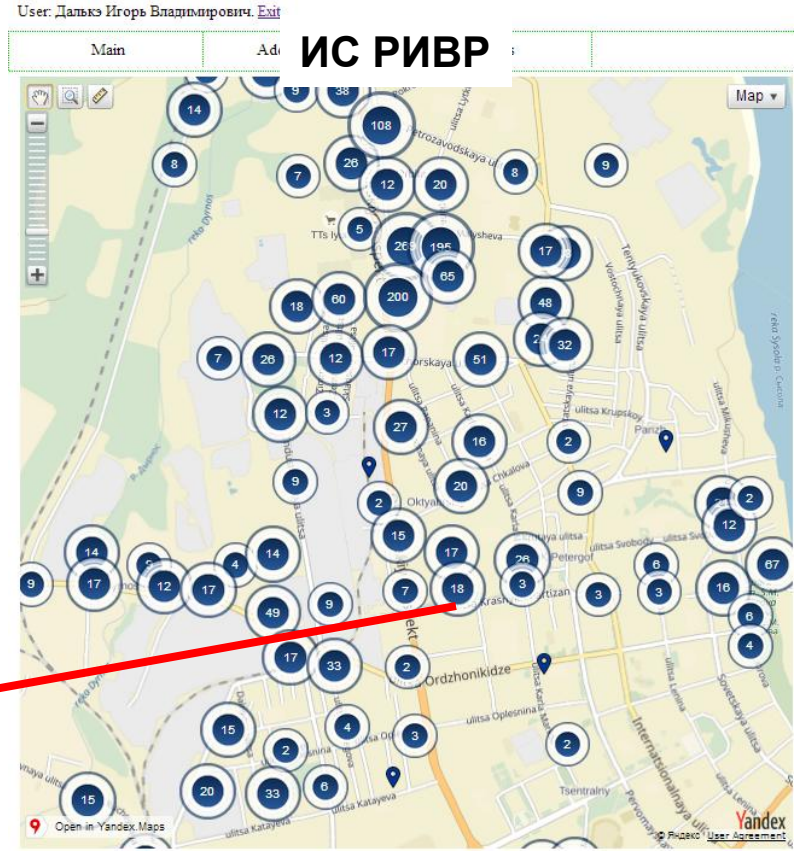
Установлено, что распространение инвазии борщевика ограничено требованиями вида к условиям среды, наиболее важными из которых являются: сумма активных температур, освещенность, режим увлажнения и богатство почвы. Границей потенциального вторичного ареала борщевика Сосновского в северном направлении является интервал между изолиниями САТ от 800 до 1000 °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.

Наши ресурсы

- http://proborshevik.ru
- http://ib.komisc.ru/add/rivr





Благодарю за внимание!