

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРОДВИЖЕНИЯ *AMBROSIA ARTEMISIIFOLIA* L. НА СЕВЕР ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ НА ОСНОВЕ СРАВНЕНИЯ СЕВЕРНЫХ ГРАНИЦ ПЕРВИЧНОГО И ВТОРИЧНОГО АРЕАЛОВ

© 2022 Афонин А.Н.^{a, *}, Баранова О.Г.^{b, **}, Фёдорова Ю.А.^{c, ***}, Абрамова Л.М.^d, Бочко Т.Ф.^e, Коцарева Н.В.^f, Ли Ю.С., Милютин Е.А.^g, Пикалова Н.А.^e, Прохоров В.Е.^g, Сенатор С.А.^h

^a Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург 199034, Россия;

^b Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург 197376, Россия;

^c Уфимский Институт Биологии УФИЦ РАН, Уфа 450054, Россия;

^d Южно-Уральский ботанический сад-институт УФИЦ РАН, Уфа 450080, Россия;

^e Кубанский государственный университет, Краснодар 350040, Россия;

^f Белгородский ГАУ им. В.Я. Горина, Белгород 308503, Россия;

^g Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань 420008, Россия;

^h Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН, Москва 127276, Россия;

*afonin-biogis@yandex.ru (corresponding author); **OBaranova@binran.ru; ***y.fedorova383@gmail.com

Поступила в редакцию 25.11.2020. После доработки 23.11.2021. Принята к публикации 24.01.2022

В ходе экспедиционных исследований уточнена современная фактическая граница натурализации *Ambrosia artemisiifolia* на Европейской территории России. Эта граница проходит по югу Брянской, Курской и Саратовской, северу Воронежской областей. Общая протяжённость экспедиционных маршрутов составила около 8900 км, количество обследованных точек – 777. В целях выявления потенциала дальнейшего продвижения вида на север проведён сравнительный эколого-географический анализ и моделирование распространения амброзии на севере её вторичного ареала на Европейской территории России и первичного – в Канаде. Выявлено, что основным фактором, лимитирующим продвижение вида на север, служит недостаточная теплообеспеченность периода созревания семян. Для определения эколого-географической ниши амброзии была составлена глобальная карта распределения сумм активных температур с порогом выше 10 °С за период от даты перехода длины дня через 14 часов после летнего солнцестояния до устойчивого перехода осенних температур через 0 °С (САТфп). Было определено значение САТфп на самых северных точках натурализации *Ambrosia artemisiifolia* на Европейской территории России и в Канаде. Сравнение эколого-географических границ по фактору теплообеспеченности на Европейской территории России и в Канаде показало, что реализованная видом эколого-географическая ниша на Североамериканском континенте в настоящее время в целом шире, чем на Европейской территории России. Рассмотрены возможные причины, по которым амброзия не освоила всю потенциальную экологическую нишу на Европейской территории России, сделаны предположения о возможности дальнейшего продвижения вида на север. Амброзия по фактору теплообеспеченности на Европейской территории России может продвигаться дальше на север – в Брянскую, Орловскую, Липецкую, Тамбовскую, Саратовскую, Оренбургскую, южную половину Пензенской, юг Ульяновской, Самарской областей и Башкортостана. Дополнительные проблемы с продвижением вида в северо-восточном направлении на Европейской территории России могут быть обусловлены сопряжённым неблагоприятным воздействием дополнительного фактора – недостаточной влагообеспеченности, поскольку от Саратовской области и восточнее амброзия на северном пределе распространения находится в зоне экологического пессимума одновременно по показателям тепло- и влагообеспеченности.

Ключевые слова: *Ambrosia artemisiifolia*, эколого-географическая ниша, анализ и моделирование ниш, первичный и вторичный ареалы, экологический потенциал распространения.

DOI: 10.35885/1996-1499-15-1-2-12

Введение

Потенциал распространения инвазивных растений определяется экологическими условиями территории вселения и генотипом тех особей вида, которые внедряются на новую территорию. Границы вторичного ареала не всегда отражают экологический потенциал распространения инвазивного вида по ряду причин. Причиной может быть недостаточно продолжительная история вселения, а также то, что особи, проникшие на новую территорию, не полностью представляют экологический потенциал вида в генотипическом отношении: состав его экотипов и, соответственно, пределы экологических амплитуд вида. В связи с этим для составления уточнённого прогноза распространения инвазивного вида интерес представляет изучение пределов толерантности вида на его родине и определение его потенциальной эколого-географической ниши с учётом выявленных при этом экологических амплитуд. Сравнение границ эколого-географической ниши, выявленной при изучении первичного ареала с фактическим распространением вида на территории вселения, позволяет точнее определить степень охвата потенциальной ниши инвазивным видом на территории вселения и дать более точный прогноз дальнейшей динамики вторичного ареала.

Говоря об экологическом потенциале распространения инвазивного вида, мы имеем в виду наличие на рассматриваемой территории местообитаний, совокупность экологических условий которых позволяет виду натурализоваться, то есть сформировать устойчивые самоподдерживающиеся популяции [Richardson et al., 2000].

Цель нашего исследования: определение экологического потенциала распространения и возможности натурализации *Ambrosia artemisiifolia*, оценка перспектив дальнейшего расширения ареала этого вида на север Европейской территории России (ЕТР).

Материалы и методы

Объект исследования

Ambrosia artemisiifolia L. (далее амброзия) – однолетний, короткодневный, ветро-

опыляемый вид североамериканского происхождения. Пыление дружное. Сигналом к пылению является сокращение длины дня примерно до 14 ч [Deen et al., 1998]. Для северных популяций сигнальная длина дня может быть длиннее. За счёт ориентации пыления на более длинный день, у северных экотипов происходит более раннее по срокам завязывание семян, и растения получают дополнительные дни и суммы температур, необходимые для вызревания семян в условиях низкой теплообеспеченности на севере. В настоящее время северная граница вторичного ареала и натурализации амброзии на ЕТР проходит по южной части Брянской, Курской и Саратовской, северу Воронежской областей.

Методика экспедиционных обследований

Современная граница натурализации амброзии на ЕТР была уточнена в ходе специальных экспедиционных обследований, проведённых нами в августе – сентябре 2017, 2019 и 2020 гг. Через каждые 10–20 км проводилась оценка обилия и встречаемости амброзии на 200-метровых трансектах, проложенных по двум сторонам вдоль обочин дорог. Обилие оценивали по шкале Друде, где 0 – отсутствие, 1 – sol (единично), 2 – sp (рассеяно), 3 – cop1 (довольно обильно), 4 – cop2 (обильно), 5 – cop3 (очень обильно) [Drude, 1890]. Вывод о натурализации делался, исходя из показателя обилия растений *Ambrosia artemisiifolia*, фазы развития растений в популяции, и встречаемости вида в ближайших точках. Методика экспедиционных обследований подробно описана в статье [Афонин и др., 2019б]. Общая протяжённость маршрутов составила около 8900 км, количество обследованных точек – 777. В ходе проведённых полевых наблюдений были выявлены самые северные точки распространения и натурализации вида на ЕТР.

Используя комплекс собранных нами ранее данных, мы также выявили самые северные точки натурализации амброзии на её родине в Северной Америке [Афонин и др., 2020].

*Методика составления карты сумм
активных температур с учётом
фотопериодического и температурного
порогов*

Для проведения эколого-географического анализа и моделирования распространения амброзии помимо доказанных точек натурализации использовались специальные экологические карты.

Основным лимитирующим фактором при продвижении *Ambrosia artemisiifolia* на север является недостаточная теплообеспеченность периода созревания семян. Исследуемый вид – короткодневный, зацветающий при сокращении дня до определённого фотопериодического порога во второй половине лета. Популяции данного вида разного происхождения могут различаться по фотопериодической чувствительности [Dickerson, Sweet, 1971], тем не менее при моделировании фаз развития сигналом перехода к пылению обычно принято считать длину дня 14 ч [Deen et al., 1998]. Нами составлена глобальная карта распределения сумм активных температур с порогом выше 10 °С за период от даты перехода длины дня через 14 ч после летнего солнцестояния до устойчивого перехода осенних температур через 0 °С (далее – САТфп). Для составления карты сумм температур были использованы данные температурного зондирования, полученные с сенсоров аппарата Modis, а именно глобальные среднемесячные температурные растры MOD11C3 [Wan et al., 2015] за период с 2000 по 2018 г. Растры среднемесячных температур за отдельные годы были пересчитаны в усреднённые среднемесячные температурные слои за 19-летний период, и на их основе по модифицированной нами методике Л.С. Кельчевской [1971] составлена растровая карта САТфп [Афонин и др., 2019а]. Пространственное разрешение карты составляет 0.05 градуса земной дуги. Были созданы растры САТфп с температурными порогами 0 и 10 °С. Оценка предикативности карт проводилась в программе Maxent [Phillips et al., 2020]. Проведённое исследование показало, что карта сумм температур с температурным порогом 10 °С точнее учитывает потребности амброзии в тепле по сравнению с температурным порогом 0 °С.

Для выявления территорий с недостаточной влагообеспеченностью в пределах аридных зон был использован среднемноголетний августовский слой нормализованного вегетационного индекса NDVI, рассчитанный нами из ежегодных среднемесячных значений NDVI (MOD13C2) [Didan, 2015]. В условиях аридной зоны NDVI является оптимальным показателем влагообеспеченности территорий. Растения наиболее остро ощущают дефицит влаги в период завязывания семян, который у амброзии в условиях ЕТР приходится чаще всего именно на август. Зоной пессимума для этого вида по влагообеспеченности считали территории со значениями августовского NDVI в диапазоне от 0.31 до 0.45, а зоной оптимума – выше 0.45.

*Методика эколого-географического анализа
и моделирования*

Эколого-географический анализ проводился в программе Idrisi Selva v. 17.0 (Clark Labs, Clark University) модифицированным конвертным методом при наложении известных точек распространения и натурализации *Ambrosia artemisiifolia* на экологические карты. Характеристика условий среды в точках обнаружения вида определялась экстракцией значений с растровых экологических карт, выбор экологически пригодных территорий проводился посредством стандартных модулей реклассификации и растровой алгебры. Подробно использованная технология эколого-географического анализа и моделирования описывается в учебно-методическом пособии [Афонин, Соколова, 2018]. Визуализация выполнена в ArcGIS 10.4.1.

Результаты и их обсуждение

При проведении эколого-географического анализа мы определили значения САТфп на самых северных точках натурализации *Ambrosia artemisiifolia*, выявленных нами на ЕТР на этапе экспедиционных обследований 2017–2020 гг.

Щетинка (Курская обл., 51.78700° с. ш., 36.23269° в. д.), САТфп = 523, это несколько выше, чем у популяций, произрастающих в самых экстремальных по условиям теплоо-

беспечности местообитаниях в Канаде (см. ниже). Популяция в Щетинке тянется на 70 м вдоль западной обочины дороги. Количество растений – около тысячи. Высота 10–25 см. На дату обследования (18.08.2019) часть растений пылила, некоторые закончили пыление, и на них начинали формироваться плоды. Встречались и более высокие растения, ещё не приступившие к цветению. Популяция к 2019 г. была самоподдерживающейся, но морфологически и фенологически ещё не выравненной.

Горшечное (Курская обл., 51.51580° с. ш., 37.98697° в. д.), САТфп = 580, также одна из самых северных доказанных точек натурализации. Представлена тысячами растений. В морфотипическом и фенологическом отношении популяция более выравнена, чем в Щетинке. Растения низкорослые: от 10–15 до 30 см. Переходят к генеративной фазе при минимальном количестве междоузлий – до 7–8. При экспедиционном обследовании в 2019 г. было отмечено, что растения популяции в Горшечном массово пылили уже в начале августа (02.08), а к 29.09 все растения амброзии дали зрелые семена и прекратили вегетацию.

Возможность натурализации самого северного из обнаруженных нами сообществ *Ambrosia artemisiifolia* в Конь-Колодезе (Липецкая обл., 52.16169° с. ш., 39.13874° в. д.), САТфп = 574, под вопросом. Сообщество малочисленное, составлено несколькими десятками растений. Морфотипический состав неоднородный. Созревание семян недружное. При обследовании растений 29.09.2019 только на некоторых из них наблюдались единичные зрелые плоды. На большинстве растений плоды были зелёными и мягкими. Возможно, что с течением лет в подобных сообществах в результате естественного отбора произойдёт селекция наиболее скороспелых генотипов, и сохранившиеся наиболее устойчивые генотипы образуют натурализовавшуюся популяцию и продвинуется ещё дальше на север.

На северо-востоке Воронежской обл. популяции, произрастающие в наиболее экстремальных условиях теплообеспеченности, были отмечены в 2017 г. недалеко от пос. Листопадовка (51.44738° с. ш.; 41.53211° в. д.) (САТфп = 559).

Популяции амброзии в Саратовской обл. немногочисленны и встречаются редко. Из отмеченных нами в наиболее экстремальных условиях произрастает популяция, обнаруженная на южной обочине трассы недалеко от пос. Песчаное (51.48274° с. ш., 44.05244° в. д.), САТфп = 594. Она тянется на 150 м по обочине дороги южной экспозиции; образована тысячами растений; обилие *sp-cop1* (от редко до довольно обильно). На обочине дороги северной экспозиции обнаружено только 7 растений. Такая диспропорция может быть обусловлена как более высокой теплообеспеченностью южного склона обочины дороги, так и преобладающим направлением продвижения инвазии *Ambrosia artemisiifolia*, которое, предположительно, направлено от Воронежа в сторону Саратова. Именно по южной стороне дороги движутся машины из Воронежа в Саратов, возможно, перенося её плоды. Популяция составлена преимущественно низкорослым морфотипом 10–15 (до 20) см, но для растений характерно большее количество узлов и облиственность, чем, например, для растений в Горшечном. Встречаются розеточные формы, отбору которых способствуют периодические подкосы обочин. Более крупные формы также встречаются, причём они успевают завязывать семена, даже будучи частично скошенными. Растения менее раннеспелые, по сравнению с растениями в Горшечном. На момент обследования 01.10.2019 у большинства растений полностью зрелых плодов было немного – до 10–20%. Популяция самоподдерживающаяся, но ещё не выравненная.

Самое северо-восточное местонахождение *Ambrosia artemisiifolia* на ЕТР, выявленное нами под Уфой – железнодорожная станция Алкино (54.63692° с. ш., 55.56572° в. д.), пока нельзя считать точкой натурализации. Сообщество представлено приблизительно 50 растениями в 15-метровой полосе вдоль железной дороги. На момент проведения обследования (24.08.2020) часть растений находилась в фазе начала пыления. На нескольких растениях начинали формироваться плоды. Последующие тёплые условия этого года позволили части завязавшихся плодов вызреть (по наблюдениям в более поздние сроки Л.М.

Абрамовой). Сообщество пока не выравнено по срокам зацветания и не имеет длительной истории адаптации к местным условиям. Возможность натурализации вида здесь пока под вопросом.

Из выявленных нами в 2017–2020 гг. натурализовавшихся популяций в самых экстремальных условиях произрастает популяция из Курской обл. (Щетинка, САТфп = 523). По значениям САТфп, снятым в этой точке, проведена эколого-географическая граница распространения *Ambrosia artemisiifolia*, которая в рассматриваемом случае представляет собой изолинию с соответствующим значением фактора. Если предположить, что из всех генотипов, попавших на территорию Европейской части России и сформировавшихся на ней, генотипы с севера Курской обл. в настоящее время характеризуются максимальной адаптированностью к условиям произрастания на севере, тогда изолиния со значениями САТфп = 523 может характеризовать локальный (ев-

ропейский) экологический потенциал распространения амброзии полыннолистной на север ЕТР. На представленной карте (рис. 1) видно, что в разных регионах ЕТР амброзия в разной степени географически реализовала свой локальный экологический потенциал и может распространиться ещё на ряд территорий: захватить юг Орловской, Липецкой и Тамбовской областей, всю Саратовскую обл. за исключением её аридных территорий (рис. 1).

Территория эколого-географической ниши, окрашенная зелёным, характеризуется значениями САТфп > 523 градуса – это эколого-географический предел распространения самых северных натурализовавшихся европейских популяций по ситуации на 2020 г. При этом тёмно-зелёный цвет (1) характеризует также оптимальные условия влагообеспеченности (NDVI > 0.45), светло-зелёный (2) – pessimalные (NDVI от 0.31 до 0.45). Точками показано среднее обилие амброзии по шкале Друде.

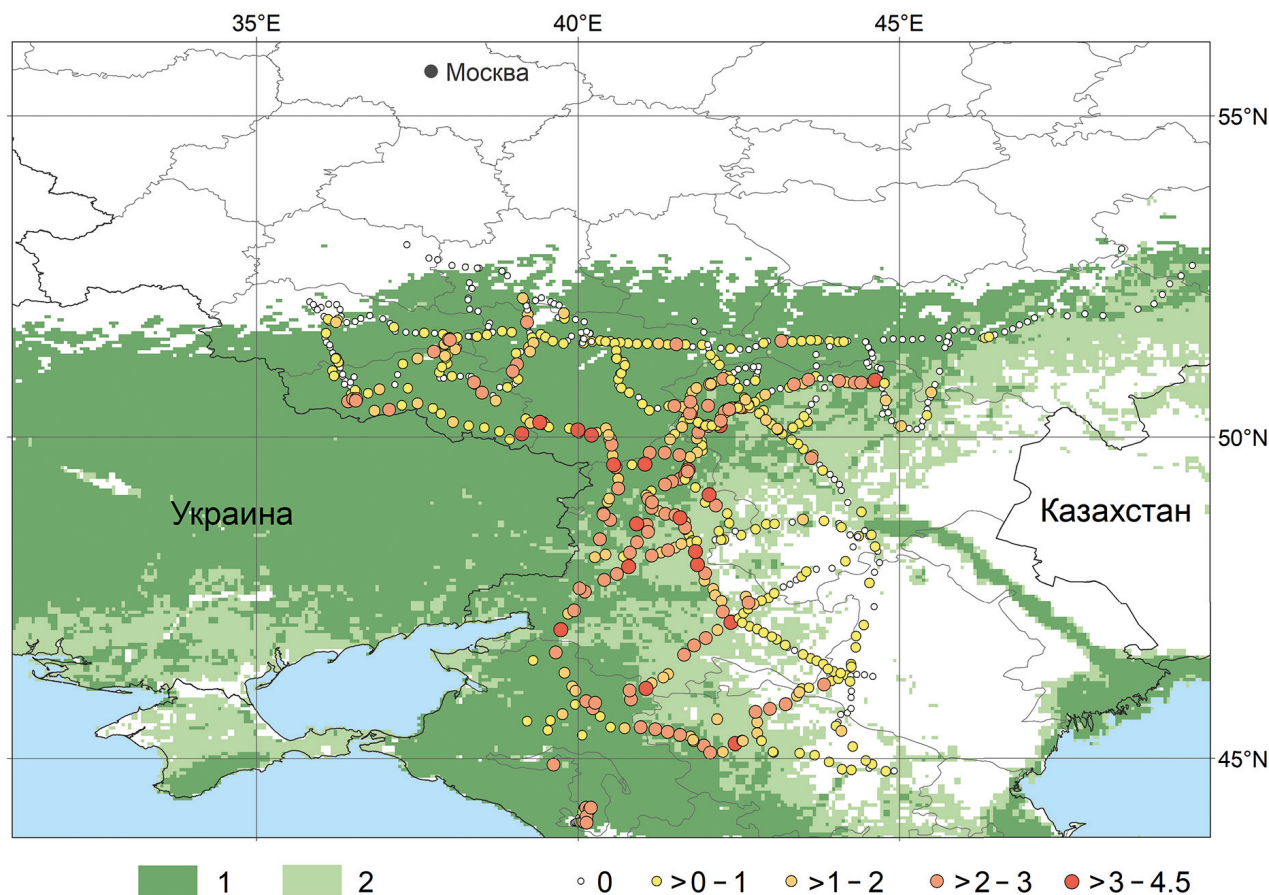


Рис. 1. Эколого-географическая ниша *Ambrosia artemisiifolia* на Европейской территории России по результатам эколого-географического анализа популяций, натурализовавшихся на Европейской территории России.

Экологические пределы по фактору теплообеспеченности, достигнутые на ЕТР самыми западными популяциями амброзии, на востоке ещё не достигнуты. Самые северные точки натурализации на востоке Воронежской и на западе Саратовской областей не достигают проведённой таким образом северной потенциальной экологической границы примерно на 100 км.

Это может быть связано с тем, что основное направление продвижения *Ambrosia artemisiifolia* с юга на север проходит по магистральям, проходящим через западные области. По ним идёт основной поток продукции растениеводства из очагов распространения амброзии. На востоке ЕТР таких интенсивных потоков нет, и она попадает сюда реже и с задержкой. Дополнительными факторами, сдерживающими продвижение вида на север на востоке ЕТР, могут служить нарастающие при продвижении на восток аридизация и континентальность климата. Следствием этого на северо-восточном пределе распространения вида на ЕТР является то, что растения испытывают одновременное и отчасти сопряжённое воздействие нескольких неблагоприятных факторов: недостаточных тепло- и влагообеспеченности.

Возникают вопросы – насколько полно эколого-географическая граница, определённая по предельным значениям лимитирующего фактора, достигнутого инвазионными популяциями на ЕТР, соответствует реальному пределу эколого-географической ниши *Ambrosia artemisiifolia*? Существуют ли её генотипы, способные существовать в условиях ещё более экстремальных?

Чтобы ответить на эти вопросы, мы рассмотрели экологический потенциал распространения *Ambrosia artemisiifolia* на север в пределах её первичного ареала – в Северной Америке [Афонин и др., 2020]. Теоретически эколого-географическая граница, проведённая по значениям САТфп, снятым в самых крайних точках нахождения самоподдерживающихся канадских популяций, могла бы проходить как севернее, так и южнее границы, определённой по показателям теплообеспеченности, снятым на ЕТР. Более северное положение эколого-географической границы

могло бы быть объяснено большим экотипическим и генотипическим разнообразием данного вида в Северной Америке – на континенте, где он сформировался. Действительно, генотипическое и экотипическое разнообразие, адаптированность и связанные с этим пределы зоны толерантности к условиям недостаточной теплообеспеченности у самых северных канадских популяций могут быть шире, чем у популяций из вторичного ареала. Обратный вариант – более южное положение реализованной эколого-географической границы могло бы быть связано с негативным воздействием биотических факторов и меньшей хозяйственной освоенностью северных территорий в Канаде, по сравнению с ЕТР. Отметим, что на ЕТР амброзия до сих пор ещё не вошла в пищевую цепь местных и чужеродных консументов.

Сравнение эколого-географических границ по фактору теплообеспеченности на ЕТР и в Канаде показало, что реализованная амброзией эколого-географическая ниша на Североамериканском континенте в настоящее время несколько шире, чем на ЕТР. При этом большинство известных местонахождений амброзии в Канаде [GBIF, 2020] укладываются в пределы экологической амплитуды вида, выявленной по значениям САТфп для популяций, произрастающих на ЕТР (рис. 2). То есть территория, занятая этим растением в Европейской части России, является для адаптированных канадских генотипов зоной экологического оптимума. Однако при этом в Канаде в районах Сагеня и Римуски существуют самоподдерживающиеся популяции, произрастающие даже в более суровых условиях по теплообеспеченности [Larouche, Savard, 2006; Lavoie et al., 2007; Simard, Benoît, 2010; Афонин и др., 2020]. Диапазон значений САТфп в местообитаниях этих популяций составляет 401–524 (n=34) (рис. 2, 3).

Территория, окрашенная зелёным, соответствует экологическим значениям САТфп > 523 градуса, характеризующим современный экологический предел распространения натурализовавшихся популяций во вторичном ареале. Жёлтым цветом окрашена дополнительная территория, соответствующая эколого-

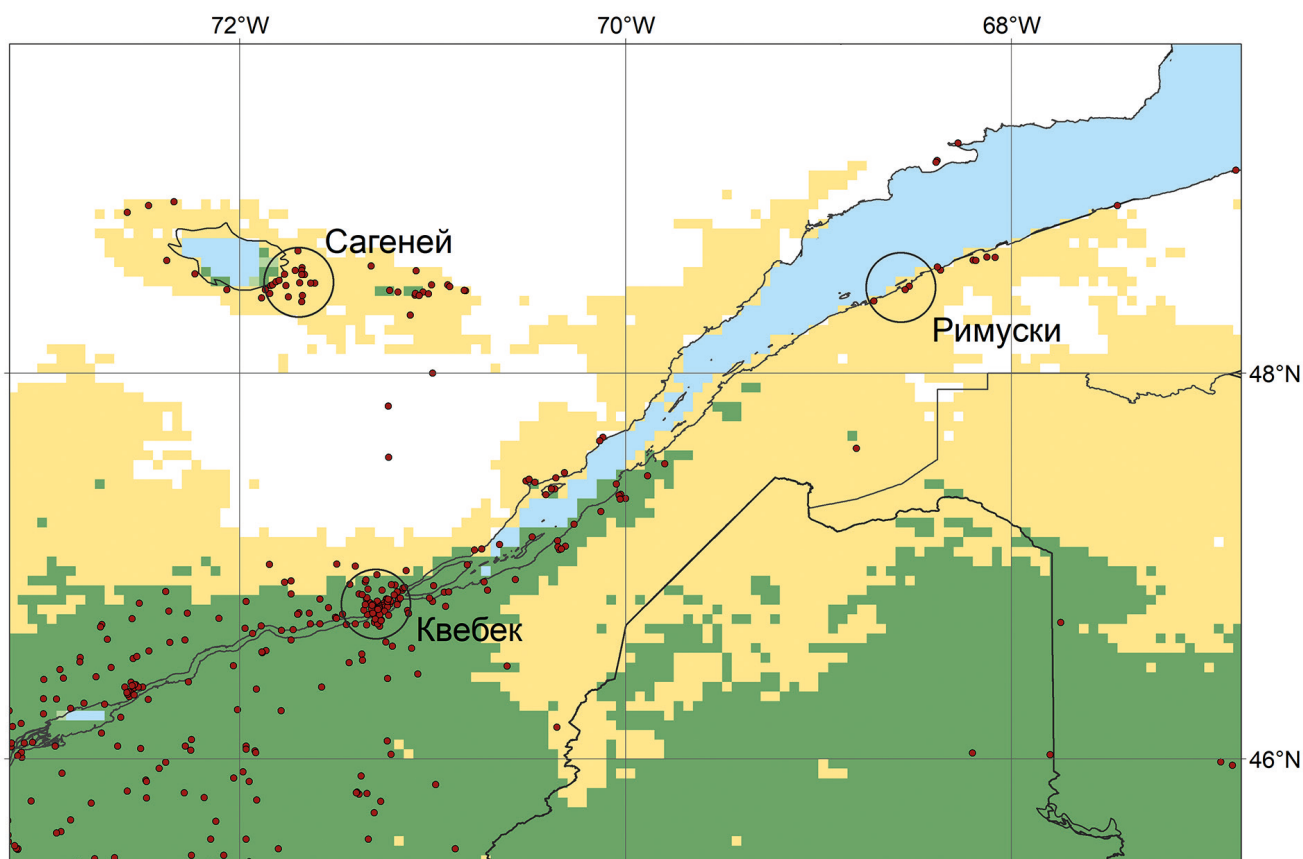


Рис. 2. Северный фрагмент эколого-географической ниши *Ambrosia artemisiifolia* в Канаде.

гическим пределам натурализации амброзии в первичном ареале в Канаде – САТфп > 400. Красные точки – это известные местонахождения вида на юго-востоке Канады по данным GBIF [2020].

Элементом валидации точности выявленной нами по показателю САТфп эколого-географической границы является то, что она (рис. 2) хорошо описывает территорию фактического распространения амброзии в Квебеке (рис. 3).

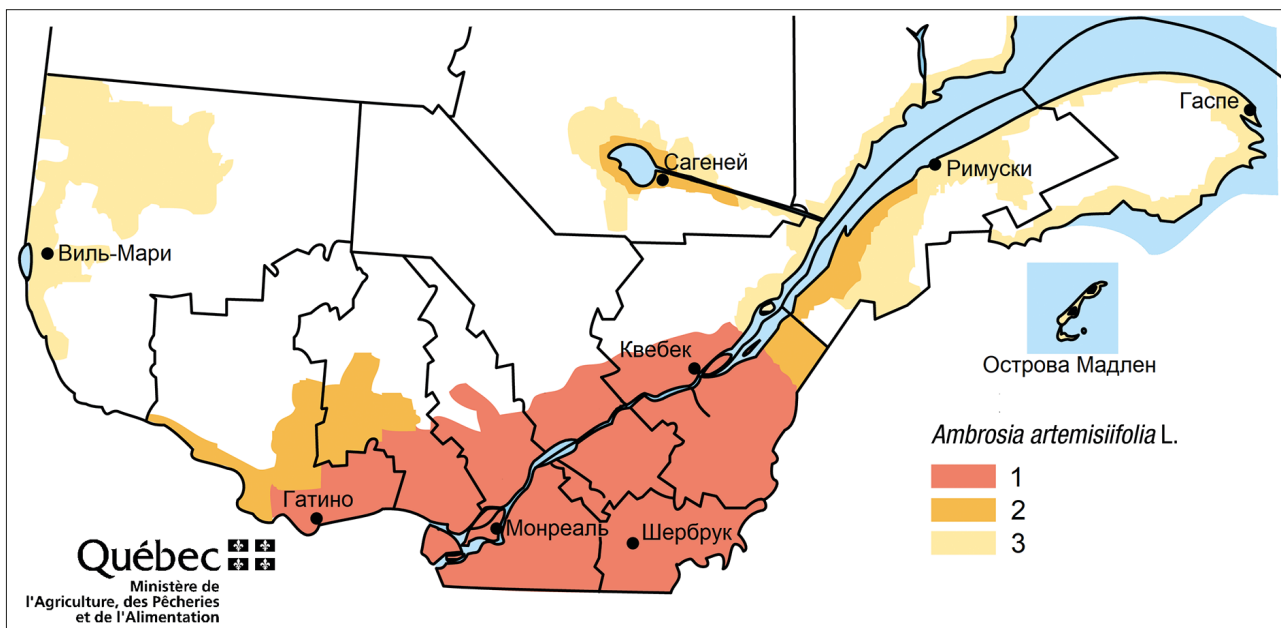


Рис. 3. Фактическая зона распространения *Ambrosia artemisiifolia* на севере Канады в провинции Квебек [Bernier, Beaumont, 2002]. Условные обозначения: 1 – обильно, 2 – часто, вредоносность низкая, 3 – редко.

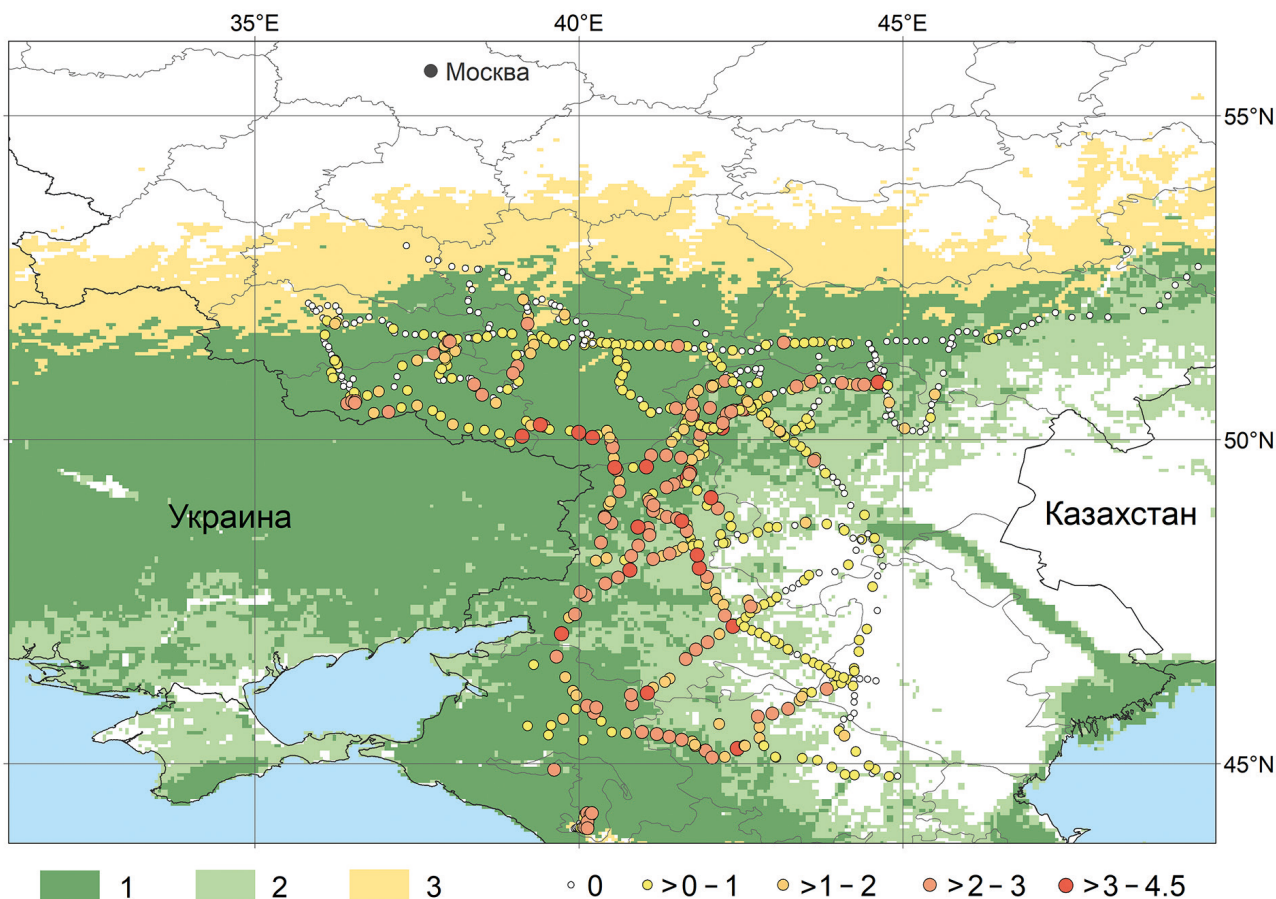


Рис. 4. Сравнение потенциальной и реализованной эколого-географических ниш *Ambrosia artemisiifolia* на Европейской территории России.

Если принять за современный эколого-географический предел распространения вида экстремальное значение САТфп, которое мы наблюдаем в Канаде (=400), и применить его для ЕТР, то можно прогнозировать дальнейшее расширение границ натурализации его во вторичном ареале (рис. 4). Разница между потенциальной и реализованной эколого-географическими границами натурализации *Ambrosia artemisiifolia* на ЕТР составляет порядка 100–200 км.

Современная реализованная эколого-географическая ниша показана зелёным цветом. Жёлтым цветом показана территория возможного дальнейшего распространения амброзии, полученная по результатам эколого-географического моделирования на основе данных из нативного американского ареала (см. пояснения к рис. 2).

В таком варианте потенциальная эколого-географическая граница распространения амброзии по фактору теплообеспеченности на ЕТР

может продвинуться дальше на север – в Брянскую, Орловскую, Липецкую, Тамбовскую, Саратовскую, Оренбургскую, южную половину Пензенской, юг Ульяновской, Самарской областей и Башкортостана. При этом распространение вида в Саратовской обл. и восточнее в Заволжье будет, по-видимому, задерживаться сопряжённым воздействием двух факторов – одновременными экстремально-низкими значениями тепло- и влагообеспеченности.

Пристального внимания заслуживают сообщения Брянского Россельхознадзора о формировании устойчивых очагов *Ambrosia artemisiifolia* на юго-западе Брянской обл. [Россельхознадзор..., 2019]. Это подтверждают и самые последние данные по распространению вида, публикуемые на сайте iNaturalist [Ueda, 2020]. По результатам эколого-географического анализа, формирующиеся в условиях Брянской обл. популяции могут быть сопоставимы по толерантности с самыми северными популяциями в Канаде.

Выводы

1. В результате сравнения северных границ первичного и вторичного ареалов выявлены региональные различия в эколого-географических амплитудах *Ambrosia artemisiifolia* по отношению к фактору теплообеспеченности. На основе выявленных различий сделан прогноз дальнейшего распространения вида на север в фрагменте вторичного ареала, а именно на территории Европейской части России.

2. Натурализовавшиеся популяции амброзии полыннолистной на ЕТР к настоящему времени в основном ещё не достигли крайнего экологического предела, достигнутого популяциями в первичном ареале. Это может быть связано как с более короткой историей расселения, так и с меньшим экотипическим разнообразием инициальных популяций.

3. Дальнейшее продвижение *Ambrosia artemisiifolia* ещё севернее на ЕТР (предположительно на 100–200 км) возможно, если в пределах чужеродного пула присутствуют экотипы, соответствующие толерантности особей самых северных нативных популяций.

4. В условиях ЕТР не исключено, что при отсутствии естественных врагов реализуемая экологическая ниша *Ambrosia artemisiifolia* в будущем может оказаться даже шире, чем у себя на родине.

5. Дополнительным фактором, способствующим продвижению амброзии на север, может стать дальнейшее изменение климата.

Благодарности

Авторы признательны Морозовой Ираиде Михайловне, педагогу Детского эколого-биологического центра «Росток» (г. Уфа) – за помощь с обнаружением самых северных популяций амброзии на территории Башкортостана.

Финансирование работы

Исследование проведено при поддержке гранта РФФИ 19-05-00610 А и гранта Российского научного фонда № 21-16-00050, <https://rscf.ru/project/21-16-00050/>.

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Соблюдение этических стандартов

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

Литература

- Афонин А.Н., Баранова О.Г., Фёдорова Ю.А. Характеристика северной границы распространения *Ambrosia artemisiifolia* L. в Канаде в связи с определением экологических лимитов распространения вида на север // Вестник Томского гос. университета. Биология. 2020. № 50. С. 28–51.
- Афонин А.Н., Милютин Е.А., Фёдорова Ю.А. Создание глобальных карт сумм активных температур в связи с составлением долгосрочных прогнозов распространения биологических объектов // В сб.: Глобальные климатические изменения: региональные эффекты, модели, прогнозы. Мат. Международ. науч.-практ. конф. Воронеж: Цифровая полиграфия, 2019а. Т. 1. С. 32–34.
- Афонин А.Н., Соколова Ю.В. Эколого-географический анализ и моделирование распространения биологических объектов с использованием ГИС: Учебное пособие (практикум). СПб.: Изд-во ВВМ, 2018. 121 с.
- Афонин А.Н., Фёдорова Ю.А., Ли Ю.С. Характеристика частоты встречаемости и обилия амброзии полыннолистной (*Ambrosia artemisiifolia* L.) в связи с оценкой потенциала её распространения на Европейской территории России // Российский журнал биологических инвазий. 2019б. № 2. С. 30–38.
- Кельчевская Л.С. Методы обработки наблюдений в агроклиматологии. Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1971. 216 с.
- Россельхознадзор. Видео: Специалисты Россельхознадзора рассказали о фитосанитарной обстановке по распространению амброзии полыннолистной в Брянской области. 19.07.2019 // (<https://fsvps.gov.ru/fsvps/press/654985.html>). Проверено 23.11.2020.
- Bernier D., Beaumont J.-P. Identifier l'herbe à poux. 2002 // (<http://extranet.santemonteregie.qc.ca/userfiles/file/sante-publique/sante-environnementale/NUISANCE-POUX-identifier.pdf>). Accessed on 23.11.2020.
- Deen W., Hunt L.A., Swanton C.J. Photothermal time describes common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) phenological development and growth // Weed Science. 1998. Vol. 46. No. 5. P. 561–568.
- Dickerson C.T., Sweet R.D. Common ragweed ecotypes // Weed Science. 1971. Vol. 19. P. 64–66.
- Didan K. MOD13C2 MODIS/Terra Vegetation Indices Monthly L3 Global 0.05Deg CMG V006. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. 2015. doi: 10.5067/MODIS/MOD13C2.006. Accessed on 17.11.2020.
- Drude O. Handbuch der Pflanzengeographie. Stuttgart: Engelhorn, 1890. 690 p.
- GBIF.org. GBIF Occurrence Download. 2020. doi: 10.15468/dl.bn2vvh. Accessed on 22.11.2020.
- Larouche B., Savard M. Répartition singulière des herbes à poux (*Ambrosia artemisiifolia*, *Ambrosia trifida*, *Iva*

- xanthifolia*) au Saguenay-Lac-Saint-Jean, Québec. Saguenay-Lac-Saint-Jean: Agence de la santé et des services sociaux du Saguenay-Lac-Saint-Jean, 2006. 62 p.
- Lavoie C., Jodoin Y., Merlis A. How did common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) spread in Quebec? A historical analysis using herbarium records // *Journal of Biogeography*. 2007. Vol. 34. No. 10. P. 1751–1761.
- Phillips S.J., Dudík M., Schapire R.E. Maxent software for modeling species niches and distributions (Version 3.4.1) // (http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/). Accessed on 15.11.2020.
- Richardson D.M., Pyšek P., Rejmánek M., Barbour M.G., Panetta F.D., West C.J. Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions // *Diversity and Distributions*. 2000. Vol. 6. No. 2. P. 93–107.
- Simard M.-J., Benoît D.-L. Distribution and abundance of an allergenic weed, common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.), in rural settings of southern Quebec, Canada // *Canadian Journal of Plant Science*. 2010. Vol. 90. No. 4. P. 549–557.
- Ueda K. iNaturalist Research-grade Observations. iNaturalist.org. Occurrence dataset. 2020. doi: 10.15468/ab3s5x. Accessed on 20.11.2020.
- Wan Z., Hook S., Hulley G. MYD11C3 MODIS/Aqua Land Surface Temperature and the Emissivity Monthly L3 Global 0.05Deg CMG. NASA LP DAAC. 2015. doi: 10.5067/MODIS/MYD11C3.006. Accessed on 20.11.2020.

ECOLOGICAL AND GEOGRAPHICAL POTENTIAL OF *AMBROSIA ARTEMISIIFOLIA* L. DISTRIBUTION TO THE NORTH OF THE EUROPEAN RUSSIA BASED ON A COMPARISON OF THE NORTHERN BOUNDARIES OF THE PRIMARY AND SECONDARY RANGES

© 2022 Afonin A.N.^{a,*}, Baranova O.G.^{b,**}, Fedorova Y.A.^{c,***},
Abramova L.M.^d, Boshko T.F.^e, Kotsareva N.V.^f, Li Yu.S., Milyutina E.A.^a,
Pikalova N.A.^e, Prokhorov V.E.^g, Senator S.A.^h

^a Saint Petersburg state University, Saint Petersburg 199034, Russia

^b Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg 197376, Russia

^c Ufa Institute of Biology, Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Ufa 450054, Russia

^d South-Ural Botanical Garden-Institute, Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences,
Ufa 450080, Russia

^e Kuban state University, Krasnodar 350040, Russia

^f Belgorod State Agrarian University named after V.Ya. Gorin, Belgorod 308503, Russia

^g Kazan Federal University, Kazan 420008, Russia

^h N.V. Tsitsin's Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences, Moscow 127276, Russia

*afonin-biogs@yandex.ru, **OBaranova@binran.ru, ***y.fedorova383@gmail.com

During the expeditionary research, we specified the modern actual border of naturalization of *Ambrosia artemisiifolia* in the European territory of Russia. This border passes through Kursk and Saratov Region, as well as the north of Voronezh regions. The total length of the expeditionary routes was around 8900 km with 777 locations surveyed. In order to identify the potential for its further spread to the north we performed comparative ecological and geographical analysis and modeling of the ragweed distribution in the north of its secondary range in the European Russia and in the primary range in Canada. Insufficient heat supply during the seed ripening period is the main factor limiting the spread of ragweed to the north. To determine the ecological and geographic niche of ragweed, we compiled a global map of the distribution of accumulated degree days above 10 °C for the period from the transition of the day length under 14 hours to the stable frosts in autumn (ADD_{fp}). The ADD_{fp} values were determined at the northernmost points of naturalization of *Ambrosia artemisiifolia* in the European Russia and in Canada. Comparison of the ecological and geographical boundaries regarding the heat supply in the European Russia and in Canada showed that the ecological and geographical niche realized by ragweed in the North America is now generally wider than the one on the European Russia. We considered the possible reasons for the under-occupation of a potential ecological niche in the European Russia and made assumptions about the possibility of its further spread to the north. Regarding the factor of heat supply in the European Russia, ragweed can spread further to the north – in Bryansk, Oryol, Lipetsk, Tambov, Saratov, Orenburg regions, southern half of Penza Region, the south of Ulyanovsk and Samara regions and Bashkortostan. Additional difficulties with the species' distribution in the northeastern direction in the European Russia can be attributed to an adverse effect of an additional factor: insufficient moisture supply, since in the Saratov Region and to the east ragweed is in the ecological pessimum simultaneously in terms of heat and moisture supply at its northern limit of distribution.

Keywords: *Ambrosia artemisiifolia*, ecological and geographical niche, niche modelling and analysis, primary and secondary ranges, ecological potential of distribution.