

БОТАНИКА

УДК 581.9

doi: 10.17223/19988591/50/2

А.Н. Афонин¹, О.Г. Баранова², Ю.А. Федорова¹

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

² Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

Характеристика северной границы распространения *Ambrosia artemisiifolia* L. в Канаде в связи с определением экологических лимитов распространения вида на север

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-05-00610.

Проведен эколого-географический анализ встречаемости амброзии полыннолистной (*Ambrosia artemisiifolia* L.) на северном пределе ее распространения в Канаде. В качестве ведущего фактора, лимитирующего распространение вида на север, выступает недостаточная теплообеспеченность периода созревания семян. Составлена глобальная карта сумм среднесезонных температур за период созревания семян амброзии. Выявлены самые северные точки, в которых вид формирует самоподдерживающиеся популяции. По результатам комплексной оценки вероятности натурализации амброзии в самых северных известных местах ее произрастания в первичном ареале доказана натурализация для 5 агломераций точек. Местонахождения самых северных самоподдерживающихся популяций нанесены на карты сумм температур и определено значение сумм температур в этих местонахождениях. Установлено, что современная фактическая граница натурализации амброзии в первичном ареале не выходит за пределы территорий с суммами активных температур выше 660°C. С учетом количественно определенного экологического лимита проведена потенциальная эколого-географическая граница распространения амброзии на север, за которую принята изолиния минимальных сумм температур, достаточных для созревания семян у растений в самых северных популяциях амброзии на ее родине. Соответствующая изолиния фактора может быть принята за северную эколого-географическую границу реализованной на данный момент экологической ниши амброзии.

Ключевые слова: *Ambrosia artemisiifolia*; натурализация; инвазии; эколого-географический анализ; пределы распространения.

Введение

Амброзия полыннолистная (*Ambrosia artemisiifolia* L.) внесена в список карантинных растений, ограниченно распространенных на территории Рос-

сии. Растение является сорным на полях и опасно для здоровья человека, так как вызывает поллинозы. Родиной амброзии полыннолистной является Северная Америка. Отсюда вид распространился в Европу и Азию. Вероятно, процесс инвазии еще не закончен – амброзия не достигла экологических пределов распространения и продолжает свое продвижение на север. В настоящее время северная граница натурализации в Европе проходит по северу Германии, Польши, южной границе Беларуси, далее по европейской части России (Курской, югу Липецкой и Саратовской областей) [1–4]. В целях планирования эффективных мероприятий для борьбы против инвазии *A. artemisiifolia* необходимо знать перспективы дальнейшего расширения видом своего вторичного ареала. В этом отношении информация о северных пределах распространения на ее родине в Северной Америке и, в частности, в Канаде, представляет особый интерес, поскольку позволяет оценить экологические лимиты амброзии и дать более точный прогноз ее распространения в зонах инвазий. Логично предположить, что на своей родине она характеризуется наибольшим экотипическим разнообразием, а более долгая история расселения – последнее постгляциальное наступление амброзии на север в Америке продолжалось многие тысячи лет в сравнении с немногим более чем столетней историей ее распространения в Европе – могла позволить американским популяциям амброзии наиболее полно занять экологические ниши, пригодные для ее существования. Изучение географии и экологии вида в Америке особенно актуально в настоящее время, поскольку современные технологии эколого-географического анализа позволяют при сопоставлении известных точек мест произрастания растений с экологическими картами получать количественную информацию об экологических амплитудах отдельных видов и на основе этой информации моделировать потенциал их распространения на новые территории. При этом для анализа важна не просто совокупность точек нахождения амброзии, а, прежде всего, места обнаружения самоподдерживающихся популяций на пределе их экологических потребностей. Именно такие точки мы предполагали выделить, изучая особенности распространения амброзии на северной границе ареала в Северной Америке. Таким образом, цель исследования – выявление самых северных точек натурализации амброзии на территории ее первичного ареала с целью количественного определения эколого-географического предела распространения амброзии на север.

Материалы и методики исследования

На североамериканском континенте амброзия встречается практически на всей территории США за исключением высокогорных и засушливых районов. Интерес при изучении потенциала распространения *A. artemisiifolia* на север представляет территория Канады, поскольку именно по югу Канады проходит современная северная граница естественного ареала вида.

Отметим, что и на родине амброзии часть ее ареала считается инвазионным [5]. Это связано с тем, что в ходе длительной истории существования амброзии на североамериканском континенте ее ареал испытывал многочисленные пульсации. В периоды оледенений границы ареала отступали к югу, в периоды потеплений продвигались далеко на север [6]. В ходе этих многочисленных флюктуаций происходили многократные процессы ренатурализации амброзии на тех территориях, где она в историческом процессе когда-то присутствовала, потом элиминировалась, затем снова появлялась. Современное смещение ареала происходит в северном и западном направлениях и связано с изменением климата и продвижением антропогенной деятельности в западные и северные районы. Территории, занятые амброзией в Северной Америке на протяжении индустриального периода, считаются зонами инвазии. Сложность применения термина «ренатурализация» заключается в том, что мы не знаем точно самого северного предела, до которого за миллионы лет существования вида продвигалась амброзия. Поэтому современное продвижение амброзии на север может быть как ренатурализацией – вторичной натурализацией в точках, в которых она когда-то произрастала, так и натурализацией – появлением ее в регионах, в которые она никогда ранее не проникала. Скорее всего, что мы наблюдаем ренатурализацию, поскольку за время существования вида были периоды, когда климат был существенно теплее, чем современный. Следует отметить, что для нашего исследования различия между понятиями «натурализация» и «ренатурализация» не существенны. Поэтому в дальнейшем мы используем термин «натурализация». В своей работе мы придерживаемся трактовки термина, предложенного D.M. Richardson et al. в 2000 г. [7]: натурализация – это стадия в инвазионном процессе, на которой вид на местах заноса свободно оставляет потомство и формирует самоподдерживающиеся популяции.

Сводная информация о точках местонахождения амброзии на всей территории Канады приведена в 1975 г. в работе I.J. Bassett и C.W. Crompton [8]. При составлении карты ареала *A. artemisiifolia* авторы использовали данные о фактических местонахождениях, полученные в ходе обследований юга Канады, а также информацию из различных гербарных коллекций и флористических описаний. К сожалению, карта выполнена в мелком масштабе как иллюстрация к публикации и является по существу обзорной. Дополнительная информация о натурализации амброзии в указанных точках не приводится, поэтому некоторые из них могут представлять не области натурализации, а точки случайных ненатурализованных заносов.

Более современные карты распространения амброзии полыннолистной опубликованы в 2015 г. J.T. Kartesz et al. [9]. Его карта и карта сайта EDDMaps [10] показывают довольно детально распространение амброзии в США, но не захватывают территорию Канады. Обобщенный североамериканский ареал *A. artemisiifolia* на карте Департамента сельского хозяйства США [11] представлен очень схематично – с точностью до штатов и провин-

ций. Обобщенная крупномасштабная карта распространения вида в Канаде отсутствует. Довольно подробная карта распространения амброзии полыннолистной с указанием встречаемости представлена только для провинции Квебек [12].

Одним из важных источников достоверной информации о распространении амброзии и динамике инвазионного процесса служат гербарные материалы, которые широко используются при изучении инвазий [13–14]. К сожалению, далеко не всегда по гербарным этикеткам можно установить, являлись ли гербаризированные растения случайными заносами или входили в состав натурализовавшихся популяций.

Большие массивы координатно привязанных данных представлены в открытом доступе в базах данных, таких как Глобальная база данных по объектам биоразнообразия (Global Biodiversity Information Facility, GBIF).

В базе данных GBIF [15] имеется обширный материал по распространению *A. artemisiifolia* в Канаде, но при этом информация о статусе амброзии в приведенных точках отсутствует. В связи с этим точки произрастания амброзии из этой базы могут быть использованы только после тщательной проверки и подтверждения их как мест натурализации. Например, в базе GBIF представлено огромное количество местонахождений *A. artemisiifolia* на юге Швеции и Финляндии, и при некритичном использовании точек БД GBIF эти точки могут быть отнесены к территории ее натурализации. Однако при проверке выясняется, что все они фиксируют ненатурализованные заносы, которые связаны преимущественно с поставками птичьих кормов, содержащих примесь амброзии. Натурализовавшиеся популяции в Скандинавии до настоящего времени не отмечены [16–17]. Первоочередной задачей исследования ставилось выявление из всей совокупности известных северных точек распространения амброзии только тех, на которых представлены ее натурализовавшиеся популяции, и исключение из анализа точек случайных заносов.

Важную информацию для определения мест натурализации амброзии представляют данные аэропалинологических наблюдений. Аэропалинологические станции ежегодно отмечают количественно спектры пыльцы, и в состав изучаемых комплексов обязательно входит и индекс пыльцы ragweed (амброзия). Количество пыльцы и ее постоянство из года в год в периоды пыления могут служить индикатором натурализации амброзии на прилегающей к аэропалинологической станции территории. Максимальное количество аэропалинологических станций работало в Канаде в начале становления аэропалинологической сети в 1950–1960-е гг. Данные наблюдений за индексами пыльцы амброзии на станциях и методика расчета индексов приведены в монографиях I.J. Bassett et al. [18–19] и серии его статей о распространении амброзии в отдельных провинциях: Британская Колумбия, Манитоба, Саскачеван, Онтарио [20–22]. В те годы действовало 238 аэропалинологических станций, что представляло собой очень густую сеть

для территории Канады. Недостатком данных исторической сети является сравнительно короткий срок (1–5 лет) существования многих станций, и, соответственно, небольшие ряды наблюдений. В настоящее время в Канаде работают 33 аэропалинологические станции, которые имеют ряды непрерывных наблюдений до 20 лет (Daniel Coates, персональное сообщение). К сожалению, агрегатор современных аэропалинологических данных является коммерческой структурой, и его данные по станциям за современный период не представлены в открытом доступе.

Проблемой прямой диагностики натурализации амброзии полыннолистной по данным аэропалинологических наблюдений является также невысокая точность определения видовой принадлежности пыльцы. В комплекс «амброзия» (ragweed) при палинологическом мониторинге включаются пыльцевые зерна родственных амброзии полыннолистной (*A. artemisiifolia*) видов, относящихся не только к роду *Ambrosia* (*A. trifida* L., *A. psilostachya* DC.), но также и другим родам (*Cyclachaena*, *Xanthium*) [19]. Учитывая, что *Cyclachaena* проникает несколько дальше на север по сравнению с амброзией полыннолистной, присутствие ее пыльцы может снижать точность использования аэропалинологического метода при поиске северных пределов распространения интересующего нас вида. Возможность дальнего транспорта пыльцы из более южных местообитаний также снижает прогностическую точность аэропалинологических данных. Однако в случае длительных рядов наблюдений этот недостаток нивелируется.

Наличие существенного количества пыльцы комплекса амброзии не может служить однозначным доказательством натурализации амброзии на территории, но данные исторической сети мониторинга пыльцы амброзии являются ценным компонентом комплексной оценки при поиске точек натурализации амброзии в регионах Канады.

На основе собранных данных о местонахождениях амброзии полыннолистной по данным GBIF, аэропалинологических наблюдений в Канаде, а также других источников, нами разработаны критерии и способ комплексной оценки вероятности натурализации амброзии в ее местонахождениях. Этот способ применен для оценки вероятности натурализации амброзии полыннолистной в точках ее обнаружения на территории Канады.

Критериями выделения точек натурализации служили:

1. Плотность точек обнаружения амброзии на территории. Большее количество обнаруженных точек с большей вероятностью свидетельствует о натурализации амброзии на рассматриваемой территории. При этом следует учитывать, что это не абсолютный, а косвенный показатель, и возможны варианты обнаружения большого количества растений амброзии на некоторых территориях, где она не натурализовалась. В нашем варианте комплексной оценки точкам, в радиусе 100 км от которых, по данным GBIF, обнаруживалось не менее 5 местонахождений амброзии, присваивался балл 2; от 2 до 4 – балл 1; не более одного местонахождения – балл 0.

2. Индекс пыльцы комплекса ragweed на территории. Показателем вероятности натурализации амброзии на северных территориях также может являться стабильно высокое в сезон цветения количество пыльцевых зерен комплекса амброзия на изучаемой территории. Балл 3 присвоен точкам, если в радиусе 200 км от них находились аэропалинологические станции, показывающие индекс пыльцы ragweed более 1,5; балл 2 – 0,9–1,5; балл 1 – 0,3–0,8; балл 0 при индексе пыльцы менее 0,3 или в случае отсутствия аэропалинологических станций в радиусе 200 км от точки.

3. Наличие подходящей антропогенной инфраструктуры для обитания вида. Места обитания амброзии полыннолистной связаны с антропогенным или естественным нарушением растительного покрова. Оценка пригодности местообитаний для амброзии проводилась по космическим снимкам высокого и среднего разрешения. Для этого точки нахождения, полученные из GBIF, экспортировались в Google Earth и каждое местонахождение в Канаде проверялось на наличие инфраструктуры, соответствующей местам натурализации амброзии: рудеральные и сегетальные местообитания (поля, дороги и т.п.). При этом точкам GBIF, соответствующим потребностям амброзии, присваивался балл 1. Точкам, попадающим на массивы естественных растительных сообществ (леса, болота и проч.), не характерным для произрастания амброзии, присваивался балл 0. Хотя по нашим наблюдениям в США вид растет единичными особями на опушках в лесных массивах и по краям лесных тропок даже в пределах природных резерватов, вероятно, эти находки следует считать случайными заносами.

4. Широта. Амброзия – короткодневный вид, поэтому возможность продвижения на север связана с накоплением достаточных для созревания семян сумм температур, рассчитываемых от даты перехода пороговой для начала пыления длины дня до первых заморозков. Дата наступления порогового фотопериода связана с широтой. Для более низких широт дата наступления порогового фотопериода более ранняя, что делает период созревания семян более продолжительным. Опыт изучения натурализации амброзии на Европейской территории России показывает, что южнее 49°30' северной широты амброзия встречается и натурализуется повсеместно, тогда как севернее, до 51°30' с.ш., частота встречаемости и обилие уменьшаются, и севернее 51°30' с.ш. амброзия формирует самоподдерживающиеся популяции только в интразональных местообитаниях или представлена в виде ненатурализованных заносов [23]. При комплексной оценке мы учитывали влияние широты на вероятность натурализации. Балл 1 присвоен точкам обнаружения амброзии на широте южнее 50° с.ш.; балл 0 – более северным точкам (табл. 1).

Комплексная оценка вероятности натурализации амброзии на точке ее обнаружения рассчитывалась как сумма баллов по всем четырем критериям. Самые высокие показатели комплексной оценки предполагают самую высокую вероятность натурализации вида. Натурализация амброзии в точке считается доказанной, если при высоких показателях комплексной оценки

удается найти дополнительные прямые указания на присутствие популяций амброзии полыннолистной на рассматриваемой точке.

Выявленные точки натурализации в совокупности с подготовленными экологическими картами послужили материалом для проведения эколого-географического анализа, позволившего количественно определить экологический лимит амброзии при продвижении ее на север. Следует отметить, что современные методы моделирования распространения видов (Species distribution modelling [SDM]) использовались для составления региональных моделей распространения амброзии полыннолистной в Австрии [24–26], Китае [27]. Глобальное моделирование распространения амброзии проводили S. Cunze et al. [28], D.S. Chapman et al. [29–30]. В отличие от ранее проведенных исследований, мы сделали акцент на определении только северного экологического предела распространения вида. С этой целью из всей совокупности известных точек распространения амброзии мы провели тщательный отбор для эколого-географического анализа только точек ее натурализации на самом северном пределе естественного ареала. Также при моделировании впервые использованы специально составленные нами карты сумм температур за период от даты перехода длины дня через 14 часов в конце лета до первых осенних заморозков. Амброзия полыннолистная – однолетнее короткодневное растение. Сигналом для начала пыления его и, соответственно, завязывания семян служит сокращение длины дня до некоторого порогового значения – обычно это 14 часов. На широте, где проходит северный предел распространения амброзии, сокращение длины дня до 14 часов наступает в конце лета, и период созревания семян при этом приходится на осень, когда сумм активных температур может не хватить для вызревания семян. Поэтому именно фактор теплообеспеченности периода созревания семян определяет северную границу распространения амброзии.

В эколого-географическом анализе потенциала распространения амброзии на север нами использована глобальная растровая карта сумм активных температур воздуха выше 0°C в приземном слое за период от перехода длины дня в конце лета через 14 часов до первых осенних заморозков. Далее для простоты называем ее картой сумм температур. Эта карта создана нами на базе месячных слоев глобальных температур из набора WorldClim 2 [31–32]. Точки доказанной натурализации амброзии полыннолистной в Канаде были наложены на карту сумм температур, и температурные значения с самых северных местонахождений были экстрагированы. Минимальные экстрагированные значения показывают экологический лимит для амброзии по суммам температур. Последующая реклассификация карты сумм температур по значению выявленного экологического лимита позволила представить на карте потенциальную северную границу распространения амброзии полыннолистной, по сути, провести изолинию по самому экстремальному значению экологического фактора, при котором обнаружены натурализовавшиеся популяции амброзии. Детальное описание примененной методики

эколого-географического анализа дано в работе А.Н. Афонина и Ю.В. Соловой [33].

Результаты исследования

Для расчета показателей комплексной оценки натурализации амброзии на карты накладывались слои точек местонахождения амброзии по базе GBIF и станций пыльцевого мониторинга с обозначением индексов пыльцы на станциях. Из анализа рис. 1, *a*, *b* видно, что западные провинции Канады характеризуются гораздо меньшей встречаемостью амброзии, чем восточные.

Картографическое представление точек в ГИС позволяет легко посчитать количество точек в агломерациях в пределах 100-километрового буфера и выявить диапазоны значений индексов пыльцы.

В **Британской Колумбии** по базе GBIF на настоящее время отмечено 15 местонахождений амброзии (см. рис. 1, *a* и табл. 1). Из них 9 расположены на западном побережье в городской агломерации Ванкувера (49°15'N, 123°7'W) и его окрестностей в пределах 100 километрового радиуса (см. рис. 1, *a*, агломерация 1). Остальные разбросаны по территории провинции.

Историческая сеть в этой провинции состояла из 17 аэропалинологических станций, действовавших в начале 1950-х гг. Индекс пыльцы комплекса амброзии был равен или близок к нулю почти на всех станциях Британской Колумбии. Только на острове Ванкувер индексы пыльцы на станциях Виктория и Ванкувер составляли соответственно 0,8 и 0,3 [18]. Распространение амброзии или занос пыльцы в эту область в принципе возможен из расположенного в 200 км южнее Ванкувера района Уэнатчи (Wenatchee, 47°26'N, 120°19'W), штат Вашингтон, индекс пыльцы в котором очень высокий – более 40 [22].

Однако надежных опубликованных свидетельств присутствия натурализовавшихся популяций амброзии полыннолистной в Британской Колумбии нет. Комплексная оценка вероятности натурализации для самой северной точки нахождения амброзии по базе GBIF (точка 19192 вблизи Салмон Вэлли) по сумме всех четырех критериев составляет 0 баллов. Также маловероятно присутствие натурализовавшихся популяций амброзии в точках GBIF, расположенных вблизи Фрейзера (14634), Вернона (14897), Армстронга (15108) и ряда других точек с баллом вероятности натурализации от 1 до 3 (см. табл. 1).

Рассчитанная нами комплексная оценка вероятности натурализации амброзии полыннолистной в районе **Ванкувера** составила 5 баллов. Учитывая наличие некоторого количества пыльцы комплекса амброзии, наблюдавшегося в пыльцевых спектрах на острове Ванкувер в прошлом и наблюдаемых на ныне действующих аэропалинологических станциях Victoria и Vancouver, а также агрегацию 9 точек обнаружения ее вблизи г. Ванкувер, по данным GBIF, наличие соответствующих местообитаний и подходящую широту места, можно сделать предположение о возможности натурализации амброзии полыннолистной в Ванкувере и его окрестностях, а также наличии экологического потенциала для ее продвижения в этот регион в будущем.

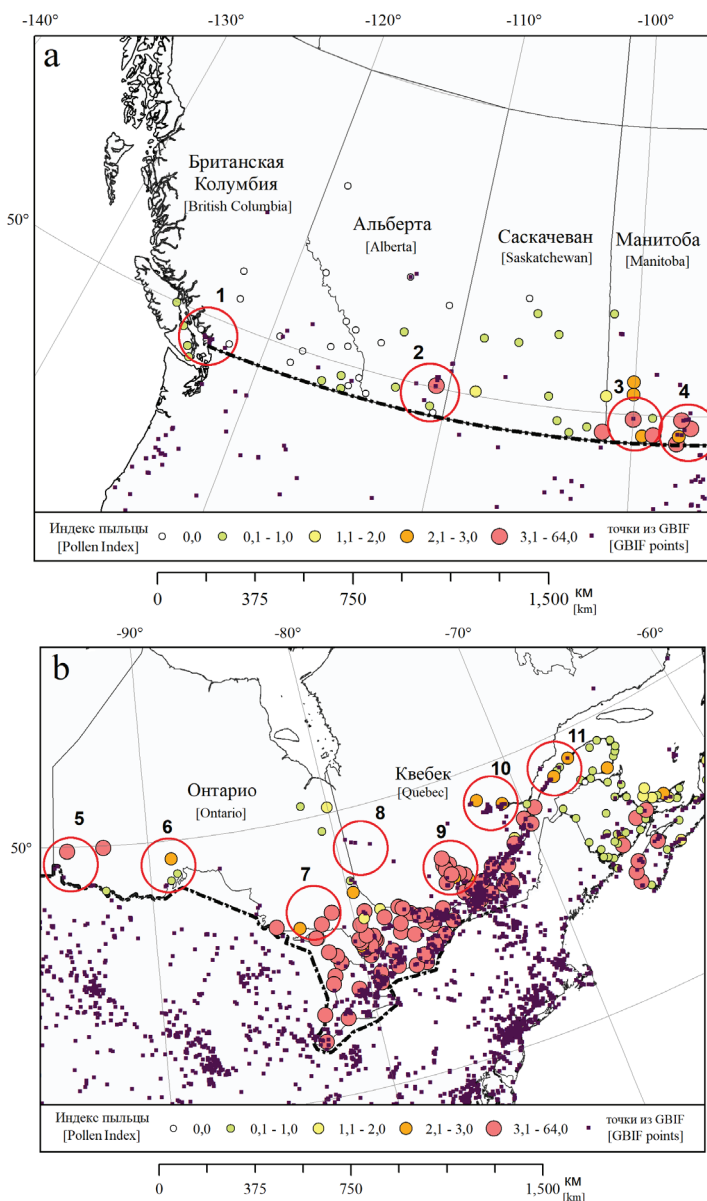


Рис. 1. Сопоставление точек нахождения *Ambrosia artemisiifolia* L. в Канаде по данным GBIF [15] с данными пыльцевого мониторинга [18].
Условные обозначения: красными окружностями помечены комплексы точек нахождения *Ambrosia artemisiifolia* по базе GBIF, перспективные с позиции вероятности натурализации на них амброзии; а – западная часть территории Канады, б – восточная

[Fig. 1. Comparison of the points of *Ambrosia artemisiifolia* L. distribution in Canada according to GBIF [15] with pollen monitoring data [18].
[Legend: Red circles indicate clusters of common ragweed location points with a high probability of ragweed naturalization based on the GBIF data; a - Western Canada, b - Eastern Canada]

Таблица 1 [Table 1]

**Комплексная оценка вероятности натурализации амброзии в точках
ее обнаружения по БД GBIF в провинции Британская Колумбия**
[Comprehensive assessment of the probability of *Ambrosia artemisiifolia* naturalization
at its location points in British Columbia based on the GBIF database]

№	Населен- ный пункт [Location]	Широта [Latitude]	Плотность точек об- наружения [Density of points]	Ландшафт [Landscape]	Индекс пыльцы [Pollen index]	Комплекс- ная оценка [Compre- hensive assessment]
14293	—	49°18' (1)	9 (2)	Море [Sea shore] (0)	0,8 (1)	—
14253	Ванкувер [Vancouver]	49°12' (1)	9 (2)	Городская агломерация [Urban area] (1)	0,8 (1)	5
14228	Ванкувер [Vancouver]	49°12' (1)	9 (2)	Городская агломерация [Urban area] (1)	0,8 (1)	5
14209	Ванкувер [Vancouver]	49°12' (1)	9 (2)	Городская агломерация [Urban area] (1)	0,8 (1)	5
14210	Ванкувер [Vancouver]	49°12' (1)	9 (2)	Городская агломерация [Urban area] (1)	0,8 (1)	5
14286	Ванкувер, Кокуитлам [Vancouver, Coquitlam]	49°18' (1)	9 (2)	Городская агломерация [Urban area] (1)	0,8 (1)	5
14285	Ванкувер, Кокуитлам [Vancouver, Coquitlam]	49°18' (1)	9 (2)	Городская агломерация [Urban area] (1)	0,8 (1)	5
14141	Ванкувер, Суррей [Vancouver, Surrey]	49°6' (1)	9 (2)	Окраина Ванку- вера [Vancouver boundary] (1)	0,8 (1)	5
14177	Чилливак [Chilliwack]	49°12' (1)	9 (2)	Город [City] (1)	0,8 (1)	5
14897	Вернон [Vernon]	50°12' (0)	2 (1)	Городок [Small town] (1)	0 (0)	3
15108	Армстронг [Armstrong]	50°30' (0)	2 (1)	Поля, фермер- ские постройки [Fields, farm buildings] (1)	0 (0)	3
15630	—	51°0' (0)	1 (0)	Горы [Mountains] (0)	0 (0)	0
14634	Фрейзер [Fraser]	49°36' (0)	1 (0)	Луг, фермерские постройки [Meadows, farm buildings] (1)	0 (0)	2
14565	Ферни [Ferne]	49°30' (0)	1 (0)	Поселок [Small town] (1)	0 (0)	2
19192	Салмон Вэлли [Salmon Valley]	54°6' (0)	1 (0)	Вырубка [Felling place] (0)	0 (0)	0

Примечание. В скобках указаны баллы для каждого критерия, учитываемого при расчете комплексной оценки вероятности натурализации.

[Note. The score for each factor is indicated in brackets].

В провинции **Альберта** перспективным с позиции натурализации амброзии представляется регион Medicine Hat (50°2'N, 110°42'W). В радиусе 100 км от этого населенного пункта по БД GBIF обнаружено 6 местонахождений амброзии полыннолистной (см. рис. 1, а, агломерация 2). Индекс пыльцы амброзии по расположенной здесь станции составлял 7. Подтверждение натурализации амброзии в Альберте в районе Medicine Hat и Empress (50°57'N, 110°1'W) находим в работе L.L. Kennedy [34]. Наряду с обильно произрастающими в этих регионах видами *Cyclachaena xanthifolia* (Nutt.) Fresen. и *Iva axillaris* Pursh наземные обследования показывают и постоянное присутствие популяций амброзии. Поэтому натурализацию ее для этого региона можно считать установленной.

Саскачеван. В базе данных GBIF отмечена только одна точка обнаружения амброзии полыннолистной на всю провинцию. В провинции наблюдались сравнительно невысокие индексы пыльцы комплекса ragweed, и даже эти невысокие значения могли быть вызваны пыльцой *C. xanthifolia* [21]. Упоминаний в литературе о самоподдерживающихся популяциях амброзии полыннолистной в Саскачеване не найдено.

Манитоба. На 2019 г. в Манитобе в базе GBIF зафиксировано 13 точек, 7 из них входят в комплекс точек, группирующихся вокруг Виннипега. На основе аэропалинологических данных и точек GBIF нами выделены комплексы Брандон (49°50'N, 99°55'W) и Виннипег (49°52'N, 97°10'W) (см. рис. 1, а, комплексы 3 и 4). Расположенные в пределах комплекса Брандон аэропалинологические станции показывают значения индекса пыльцы от 0,1 до 5, а в Виннипеге – от 2,1 до 18,6 [18].

В публикации о пыльцевом мониторинге в провинциях Манитоба и Саскачеван [21] сообщается о повышенных индексах пыльцы в Моррисе и Эмерсоне – 60 и 95 км к югу от Виннипега, долина реки Рэд, и о наличии там *Ambrosia trifida* L. Амброзия полыннолистная также встречается, но данные о ее обилии не сообщаются. В 2016 г. амброзия полыннолистная была встречена только на 0,1% из 658 обследованных полей с однолетними культурами в Манитобе. Там, где амброзия отмечена, ее встречаемость составила 0,3 растения на 1 м² [35].

Онтарио. Юго-восточная часть провинции Онтарио издавна является областью натурализации амброзии полыннолистной. При этом процесс распространения амброзии продолжается с начала XX в. Так, в городе Парри-Саунд (45°20'N, 80°2'W) в 1934–1935 гг. индекс пыльцы составлял 8, а при измерениях 1955–1956 гг. – выше 19. В 1955–1956 гг. на 8 из 44 станций на юге Онтарио наблюдались значения выше 10, что считается экстремально высоким уровнем. На 7 из этих станций нахождение амброзии подтверждено натурными наблюдениями [20].

Наиболее интересны северные точки обнаружения амброзии полыннолистной по базе GBIF – комплексы Кенора (49°48'N, 94°24'W), Тандер-Бей (48°25'N, 89°18'W), Большой Садбери (46°33'N, 81°0'W) (см. рис. 1, b, ком-

плексы 5–7). Вблизи этих пунктов низкая плотность точек по базе GBIF (от 1 до 3 находок), и натурализация амброзии в этих точках не подтверждена литературными источниками. Однако данные расположенных вблизи и даже севернее аэропалинологических станций уже в 1950-х гг. показывали высокие индексы пыльцы амброзии [18], в связи с чем можно сделать предположение о потенциальной вероятности натурализации амброзии полынно-листной на этих точках.

Квебек. Имеется обширный литературный материал о встречаемости амброзии и динамике ее распространения на северо-западной границе естественного ареала в провинции Квебек. Карта распространения в Квебеке с указанием градаций встречаемости представлена в Identifier l'herbe à roux, 2002 [12]. В этой провинции отмечено 656 местонахождений амброзии полыннолистной [15]. Перспективными с позиции натурализации амброзии в самых северных для провинции агломерациях точек обнаружения амброзии полыннолистной по БД GBIF представляются комплексы: Абитиби (48°41'N, 79°28'W), Номининг (46°24'N, 75°2'W 46,40°), Сагеней (48°23'N, 91°8'W), Римуски (48°26'N, 68°33'W).

В **Абитиби** четыре точки обнаружения сконцентрированы в сельской местности к востоку от одноименного озера (см. рис. 1, *b*, агломерация 8). Исторические аэропалинологические станции были расположены к югу и северу от этой области. На них были зафиксированы индексы пыльцы комплекса амброзии 0,3 и 1,0 соответственно. Комплексная оценка – 5 баллов. Литературных данных, подтверждающих натурализацию амброзии в Абитиби, найти не удалось. На карте распространения ее в Квебеке этот регион представлен как область редкой встречаемости. Можно сделать предположение о потенциальной экологической пригодности региона Абитиби для натурализации амброзии полыннолистной. Этот регион интересен тем, что по температурным характеристикам периода созревания семян он является наиболее суровым для амброзии. Поэтому появление в его пределах натурализовавшихся популяций амброзии может сигнализировать о выявлении генотипов, в несколько большей степени приспособленных к существованию в неблагоприятных северных условиях, и возможности дальнейшего смещения фронта распространения амброзии на север.

В базе GBIF представлены 3 точки нахождения амброзии в **Номининге** (см. рис. 1, *b*, агломерация 9). В радиусе 100 км от поселения преимущественно к югу от него в направлении к Монреалю обнаружено еще 21 местонахождение. Индекс пыльцы в Номининге составлял 6,5. Балл комплексной оценки потенциала натурализации для территории Номининга максимальный: 7. Обилие амброзии в регионе подтверждается постановлениями муниципалитета о необходимости борьбы с амброзией [36]. Видовая принадлежность амброзии при этом не указываются. В работе I.J. Bassett и C.W. Crompton [8] сообщается о натурализации в этом регионе амброзии многолетней (*Ambrosia psilostachya* DC.). При этом вблизи от расположенно-

го в 120 км к юго-востоку от Номининга Монреале доминирующим рудеральным видом является *A. artemisiifolia* [37]. С большой долей уверенности можно считать Номининг точкой натурализации и амброзии полыннолистной.

По результатам нашей комплексной оценки регион **Сагений-лак-Сен-Жан** (см. рис. 1, *b*, агломерация 10) с максимальной вероятностью может являться областью натурализации амброзии. В базе GBIF для этого региона приводится 30 ее местонахождений. Исторический индекс пыльцы амброзии составляет 3. Комплексная оценка – 7. Предположение о пригодности этого региона для натурализации подтверждают литературные данные. В настоящее время амброзия в этом регионе натурализовалась и встречается с высокой частотой и в большом обилии. Все колонии амброзии, отмеченные в Сагений-Лак-Сен-Жан, связаны с дорожной системой и не выходят на поля. Амброзия тянется вдоль дорог непрерывными полосами шириной 25–150 см при проективном покрытии 40–80% на протяжении нескольких километров, при этом плотность растений амброзии может составлять более тысячи на квадратный метр [38]. Сагений-лак-Сен-Жан представляет наибольший интерес как доказанный регион натурализации амброзии с самыми суровыми условиями вегетационного периода.

Территория вокруг **Римуски** (см. рис. 1, *b*, агломерация 11) представлена множеством небольших поселений на побережье залива Сен-Лоран, к 190 км к востоку от Сагения, на той же широте (48°24' с.ш.). По всему побережью амброзия полыннолистная встречается преимущественно вдоль дорог, а также на пустырях и строительных площадках [39]. Количество находок амброзии по базе GBIF – 13. Индекс пыльцы на четырех станциях в радиусе 100 км меняется от 0,2 до 3. Комплексная оценка – 7. Натурализацию амброзии в регионе Римуски можно считать доказанной.

Комплексная оценка вероятности натурализации по 11 предполагаемым точкам натурализации амброзии приведена в табл. 2.

Таблица 2 [Table 2]

Комплексная оценка вероятности натурализации *Ambrosia artemisiifolia* L.

для территорий Канады

**[Comprehensive assessment of the probability
of *Ambrosia artemisiifolia* L. naturalization in Canada]**

№ п/п	Название территории [Location]	Средняя широта [Average latitude]	Плотность точек GBIF в радиусе 100 км [Density of GBIF points]	Ландшафт [Landscape]	Индекс пыльцы [Pollen index]	Ком- плекс- ная оценка [Compre- hensive assess- ment]	SumT WC2
1	Ванкувер [Vancouver]	49°12' (1)	8 (2)	Крупный город в прибрежной зоне [Large city] (1)	0,2–0,8 (1)	5	1200

Окончание табл. 2 [Table 2 (end)]

№ п/п	Название территории [Location]	Средняя широта [Average latitude]	Плотность точек GBIF в радиусе 100 км [Density of GBIF points]	Ландшафт [Landscape]	Индекс пыльцы [Pollen index]	Ком- плекс- ная оценка [Compre- hensive assess- ment]	SumT WC2
2	Медисин Хат [Medi- cine Hat]	50°0' (0)	9 (2)	Сельская мест- ность, поля [Countryside, fields] (1)	2,4 (3)	6	720
3	Брандон [Brandon]	49°48' (1)	1 (0)	Сельская мест- ность, поля [Countryside, fields] (1)	4 (3)	5	660
4	Виннипег [Winnipeg]	49°64' (1)	7 (2)	Крупный город, окружен полями [Large city surrounded by fields] (1)	8 (3)	7	680
5	Кенора [Kenora]	49°48' (1)	3 (1)	Леса, озера, сель- ское хозяйство не ведется [Forests, lakes, no farming] (0)	6,2 (3)	4	680
6	Тандер-Бей [Thunder Bay]	48°24' (1)	2 (1)	Городок на по- бережье, поля [Small town on a shore, fields] (1)	1,1 (2)	5	700
7	Большой Садбери [Greater Sudbury]	46°30' (1)	1 (0)	Леса, озера, холмистая мест- ность [Forest, lakes, hilly terrain] (0)	4,4 (3)	4	730
8	Абитибии [Abitibi]	48°42' (1)	4 (1)	Сельская мест- ность, поля [Countryside, fields] (1)	0,3 (1)	4	590
9	Номининг [Nomingue]	46°24' (1)	24 (2)	Леса, поселки, до- роги [Forests, small towns, roads] (1)	6,2 (3)	7	740
10	Сагней [Saguenay]	48°24' (1)	30 (2)	Небольшой город, поля [Small town, fields] (1)	3 (3)	7	660
11	Римушки [Rimouski]	48°24' (1)	13 (2)	Небольшие города на побережье; поля [Small towns on a shore, fields] (1)	1,6 (3)	7	680

Примечание. В скобках указаны баллы для каждого критерия, учитываемого при рас-
счете комплексной оценки вероятности натурализации. SumT/WC2 – суммы температур
за период от даты перехода длины дня через 14 часов в конце лета до окончания вегета-
ционного периода.

[Note. The score for each factor is indicated in brackets. SumT/WC2 - The sum of average daily temperatures
from the date of day length transition after 14 hours to the end of summer until the end of the growing season].

Таким образом, из 11 рассмотренных агломераций точек распространения вида 4 имеют самую высокую комплексную оценку – 7 (Виннипег, Номининг, Сагеней-Лак-Сен-Жан, Римуски). Литературные данные или муниципальные распоряжения также подтверждают присутствие в этих департаментах существенного количества амброзии полыннолистной, поэтому натурализацию в них амброзии можно считать доказанной. Территория вблизи Медисин Хат также имеет высокую комплексную оценку, и здесь натурализация вида также доказана по литературным источникам. Еще 4 местонахождения с комплексной оценкой 5 могут считаться точками предположительной натурализации амброзии на северном пределе ее распространения в Канаде. Для территорий Кенора и Большой Садбери вероятность натурализации амброзии на данный момент находится под сомнением.

Самые северные доказанные точки натурализации использованы нами в последующем эколого-географическом анализе, который позволил выявить минимальные значения сумм температур, необходимых популяциям амброзии для обеспеченного созревания семян и натурализации. Для эколого-географического анализа даже немногочисленные доказанные точки натурализации видов, обнаруженные на границах их ареалов, являются ценными и при наложении на экологические карты позволяют количественно охарактеризовать экологические пределы распространения видов.

Амброзия полыннолистная – однолетний, короткодневный вид. Растения зацветают и переходят к пылению на коротком дне в конце вегетационного периода. Сигналом для зацветания и пыления растений служит переход длины дня через пороговое значение, которым считается 14 часов [40]. С этого момента происходит завязывание семян. Созревание семян на севере продолжается от момента завязывания до первых осенних заморозков, и возможность продвижения вида на север определяется достаточной теплообеспеченностью этого периода. Определив минимальные суммы температур, достаточные для созревания семян амброзии для самых северных популяций на ее родине, и имея глобальную карту сумм температур за период от перехода длины дня через 14 часов до окончания периода вегетации, можно выделить на этой карте все территории, удовлетворяющие минимальным требованиям вида по теплообеспеченности как в Америке, так и в Евразии.

Нами составлены карты сумм температур за период от перехода длины дня через 14 часов в конце лета до первых осенних заморозков. Наложив на составленную карту выявленные северные местоположения предполагаемой натурализации амброзии, мы получили значения сумм температур в этих точках (см. табл. 2). Самыми низкими суммами температур характеризовалась территория доказанной натурализации ее в районе Сагеней-лак-Сен-Жан – 660°C. Местоположение агломерации доказанных точек натурализации вида на западе Канады в регионе Medicine Hat располагается вблизи изолинии с близкими значениями сумм температур. Популяция в Римуски также располагается в нешироком прибрежном поясе полуострова Гаспе, ха-

рактирующего аналогичными температурами (рис. 2). Таким образом, можно предположить, что современная фактическая граница натурализации амброзии в первичном ареале не выходит за пределы территорий с температурами выше 660°C , и это значение может быть принято за эколого-географическую границу реализованной на данный момент экологической ниши амброзии и экологической границей ее распространения в высокие широты.

Представленная ниже карта потенциала распространения амброзии на север составлена с использованием выше описанной карты сумм осенних температур (см. рис. 2).

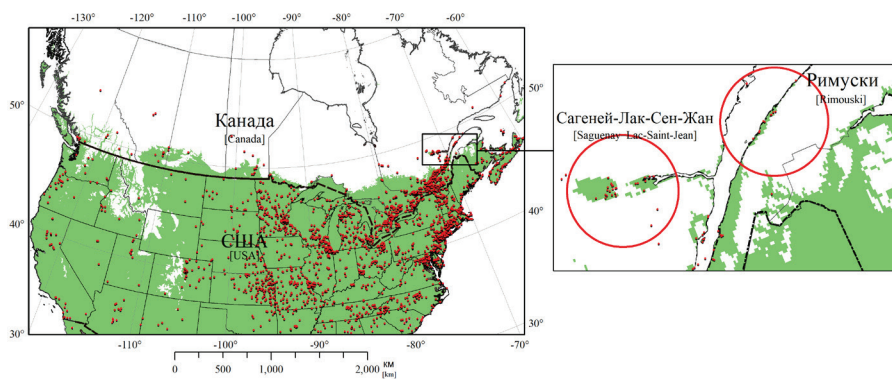


Рис. 2. Сопоставление точек фактического обнаружения *Ambrosia artemisiifolia* L. в Канаде по данным GBIF [15] с экологически пригодной для ее натурализации территории. Зеленым цветом показаны экологически пригодные для амброзии полыннолистной территории, сумма температур на которых выше 660°C , белым – территории, характеризующиеся суммами температур ниже этого значения [Fig. 2. Points of *Ambrosia artemisiifolia* L. distribution in Canada according to GBIF [15] in relation to an ecologically suitable territory for its naturalization]

Note. Green colour indicates ecologically suitable territories for ragweed where day degrees are above 660°C ; white colour indicates territories characterized by the sums of temperatures below this value]

Точки, представленные в GBIF, в основном укладываются в экологически пригодную для натурализации вида территорию. Часть точек выходит за пределы экологически пригодной для натурализации территории. Это может объясняться различными причинами: точки могут являться ненатурализованными заносами, или в этих точках могут находиться немасштабные фрагменты интразональных местообитаний, удовлетворительные по суммам температур (склоны южных экспозиций, острова тепла, связанные с селитебными территориями, и т.п.). Выход популяций амброзии за пределы моделируемой экологически пригодной зоны в некоторых точках может также объясняться и тем, что популяции вида на ряде территорий генетически адаптированы к меньшим суммам температур, чем 660°C , или ориентируются при переходе к пылению на более длинный, чем 14-часовой, день. Такие популяции представляют наибольшую опасность в плане инвазионного

риска дальнейшего продвижения их на север. Выявление и изучение таких популяций представляет большой научный и практический интерес.

Заключение

Комплексная оценка вероятности натурализации амброзии полынно-листной позволила выявить места ее натурализации на северном пределе распространения в Канаде. Самые северные доказанные точки натурализации использованы в последующем эколого-географическом анализе, который позволил предположить, что современная фактическая граница натурализации амброзии в первичном ареале не выходит за пределы территорий с температурами выше 660°C, и это значение может быть принято за экологическую границу реализованной на данный момент экологической ниши амброзии и эколого-географическую границу ее распространения в высокие широты. Последующее сопоставление эколого-географических границ распространения амброзии в первичном и вторичных ареалах позволяет количественно оценить потенциал дальнейшего распространения амброзии в зонах инвазии, в том числе на территории России.

Литература

1. Essl F., Biró K., Brandes D., Broennimann O., Bullock J.M., Chapman D.S., Chauvel B., Dullinger S., Fumanal B., Guisan A., Karrer G., Kazinczi G., Kueffer C., Laitung B., Lavoie C., Leitner M., Mang T., Moser D., Müller-Schärer H., Petitpierre B., Richter R., Schaffner U., Smith M., Starfinger U., Vautard R., Vogl G., von der Lippe M., Follak S. Biological flora of the British Isles: *Ambrosia artemisiifolia* // Journal of Ecology. 2015. Vol. 103, № 4. PP. 1069–1098. doi: [10.1111/1365-2745.12424](https://doi.org/10.1111/1365-2745.12424)
2. Резник С.Я. Факторы, определяющие границы ареалов и плотность популяций амброзии полыннолистной *Ambrosia artemisiifolia* L. (Asteraceae) и амброзиевого листоеда *Zygogramma suturalis* F. (Coleoptera, Chrysomelidae) // Вестник защиты растений. 2009. № 2. С. 20–28.
3. Aфонин А.Н., Luneva N.N., Fedorova Y.A., Kletchkovskiy Yu.E., Chebanovskaya A.F. History of introduction and distribution of common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) in the European part of the Russian Federation and in the Ukraine // EPPO Bulletin. 2018. Vol. 48, № 2. PP. 266–273. doi: [10.1111/epp.12484](https://doi.org/10.1111/epp.12484)
4. Терехина Т.А. Карантинные сорные растения Южной Сибири // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии : сб. науч. ст. по материалам XIV Междунар. науч.-практ. конф. Барнаул : Изд-во АлтГУ, 2015. С. 41–46.
5. Invasive Alien Plants in Canada, Summary report. Ottawa : Canadian Food Inspection Agency, 2008. 22 p.
6. Basset I.J., Terasmae J. Ragweeds, *Ambrosia* species, in Canada and their history in postglacial time // Canadian Journal of Botany. 1962. Vol. 40, № 1. PP. 141–150. doi: [10.1139/b62-015](https://doi.org/10.1139/b62-015)
7. 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, № 2. PP. 93–107. doi: [10.1046/j.1472-4642.2000.00083.x](https://doi.org/10.1046/j.1472-4642.2000.00083.x)

8. Bassett I.J., Crompton C.W. The Biology of Canadian Weeds: 11. *Ambrosia artemisiifolia* L. and *A. psilostachya* DC. // Canadian Journal of Plant Science. 1975. Vol. 55, № 2. PP. 463–476. doi: [10.4141/cjps75-072](https://doi.org/10.4141/cjps75-072)
9. Kartesz J.T. Floristic Synthesis of North America, Version 1.0. The Biota of North America Program (BONAP) // North American Plant Atlas. 2015. Chapel Hill, N.C. URL: <http://bonap.net/napa> (дата обращения: 20.01.2020).
10. EDDMapS. Common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) profile. Early Detection & Distribution Mapping System. 2020. The University of Georgia – Center for Invasive Species and Ecosystem Health. URL: <https://www.eddmaps.org/distribution/uscounty.cfm?sub=5076&map=density> (дата обращения: 20.01.2020).
11. United States Department of Agriculture. *Ambrosia artemisiifolia* Plant profile. 2019. URL: <https://plants.usda.gov/core/profile?symbol=AMAR2> (дата обращения: 20.01.2020).
12. Identifier l'herbe à poux. Distribution Géographique De L'herbe À Poux Au Québec. 2002. URL: <http://extranet.santemonteregie.qc.ca/userfiles/file/sante-publique/sante-environnementale/NUISANCE-POUX-identifier.pdf> (дата обращения: 20.01.2020).
13. 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, № 10. PP. 1751–1761. doi: [10.1111/j.1365-2699.2007.01730.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2007.01730.x)
14. Chauvel B., Dessaint F., Cardinal-Legrand C., Bretagnolle F. The historical spread of *Ambrosia artemisiifolia* L. in France from herbarium records // Journal of Biogeography. 2006. Vol. 33, № 4. PP. 665–673. doi: [10.1111/j.1365-2699.2005.01401.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2005.01401.x)
15. GBIF.org (17 November 2019) GBIF Occurrence Download. doi: [10.15468/dl.9lsqy5](https://doi.org/10.15468/dl.9lsqy5)
16. Scalone R., Lemke A., Štefanić E., Kolseth A.K., Rašić S., Andersson L. Phenological variation in *Ambrosia artemisiifolia* L. facilitates near future establishment at Northern latitudes // PLoS One. 2016. Vol. 11, № 11. doi: [10.1371/journal.pone.0166510](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0166510)
17. Dahl Å., Strandhede S., Wihl J.-Å. Ragweed – an allergy risk in Sweden? // Aerobiologia. 1999. Vol. 15, № 4. PP. 293–297. doi: [10.1023/A:1007678107552](https://doi.org/10.1023/A:1007678107552)
18. Bassett I.J., Crompton C.W., Francon C. Canadian havens from hay fever. Ottawa : Department of Northern Affairs and National Resources, 1976. 24 p.
19. Bassett I., Crompton C., Parmelee J. An Atlas of Airborne Pollen Grains and Common Fungus Spores of Canada. Ottawa : Biosystematics Research Institute, 1978. 321 p.
20. Bassett I.J. Surveys of air-borne ragweed pollen in Canada with particular reference to sites in Ontario // Canadian Journal of Plant Science. 1959. Vol. 39, № 4. PP. 491–497. doi: [10.4141/cjps59-066](https://doi.org/10.4141/cjps59-066)
21. Bassett I.J. Air-borne pollen surveys in Manitoba and Saskatchewan // Canadian Journal of Plant Science. 1964. Vol. 44, № 1. PP. 7–14. doi: [10.4141/cjps64-002](https://doi.org/10.4141/cjps64-002)
22. Bassett I.J., Crompton C.W. Air-borne pollen surveys in British Columbia // Canadian Journal of Plant Science. 1967. Vol. 47, № 3. PP. 251–261. doi: [10.4141/cjps67-046](https://doi.org/10.4141/cjps67-046)
23. Афонин А.Н., Федорова Ю.А., Ли Ю.С. Характеристика частоты встречаемости и обилия амброзии полыннолистной (*Ambrosia artemisiifolia* L.) в связи с оценкой потенциала ее распространения на Европейской территории России // Российский журнал биологических инвазий. 2019. № 2. С. 30–38. doi: [10.1134/S2075111719030032](https://doi.org/10.1134/S2075111719030032)
24. Essl F., Dullinger S., Kleinbauer I. Changes in the spatio-temporal patterns and habitat preferences of *Ambrosia artemisiifolia* during its invasion of Austria // Preslia. 2009. № 81. PP. 119–133.
25. Dullinger S., Kleinbauer I., Peterseil J., Smolik M., Essl F. Niche based distribution modelling of an invasive alien plant: effects of population status, propagule pressure and invasion history // Biological Invasions. 2009. Vol. 11, № 10. PP. 2401–2414. doi: [10.1007/s10530-009-9424-5](https://doi.org/10.1007/s10530-009-9424-5)
26. Smolik M., Dullinger S., Essl F., Kleinbauer I., Leitner M., Peterseil J., Stadler L.-M., Vogl G. Integrating habitat distribution models and interacting particle systems to predict

- the spread of an invasive alien plant // Journal of Biogeography. 2010. Vol. 37, № 3. PP. 411–422. doi: [10.1111/j.1365-2699.2009.02227.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2009.02227.x)
27. Chen H., Chen L.J., Albright T.P. Predicting the potential distribution of invasive exotic species using GIS and information-theoretic approaches: A case of ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) distribution in China // Chinese Science Bulletin. 2007. Vol. 52, № 9. PP. 1223–1230. doi: [10.1007/s11434-007-0192-2](https://doi.org/10.1007/s11434-007-0192-2)
28. Cunze S., Leiblein M.C., Tackenberg O. Range expansion of *Ambrosia artemisiifolia* in Europe is promoted by climate change // ISRN Ecology. 2013. PP. 1–9. doi: [10.1155/2013/610126](https://doi.org/10.1155/2013/610126)
29. Chapman D.S., Haynes T., Beal S., Essl F., Bullock J.M. Phenology predicts the native and invasive range limits of common ragweed // Global Change Biology. 2014. Vol. 20, № 1. PP. 192–202. doi: [10.1111/gcb.12380](https://doi.org/10.1111/gcb.12380)
30. Chapman D.S., Makra L., Albertini R. et al. Modelling the introduction and spread of non-native species: international trade and climate change drive ragweed invasion // Global Change Biology. 2016. Vol. 22, № 9. PP. 67–79. doi: [10.1111/gcb.13220](https://doi.org/10.1111/gcb.13220)
31. Fick S.E., Hijmans R.J. Worldclim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas // International Journal of Climatology. 2017. Vol. 37, № 12. PP. 4302–4315. doi: [10.1002/joc.5086](https://doi.org/10.1002/joc.5086)
32. Афонин А.Н., Милютина Е.А., Федорова Ю.А. Создание глобальных карт сумм активных температур в связи с составлением долгосрочных прогнозов распространения биологических объектов // Глобальные климатические изменения: региональные эффекты, модели, прогнозы : материалы международной науч.-практ. конф. Воронеж : Цифровая полиграфия, 2019. Т. 1. С. 32–34.
33. Афонин А.Н., Соколова Ю.В. Эколого-географический анализ и моделирование распространения биологических объектов с использованием ГИС : учеб. пособие (практикум). СПб. : Изд-во ВВМ, 2018. 121 с.
34. Kennedy L.L. Alberta pollen survey // Journal of Allergy and Clinical Immunology. 1953. Vol. 24, № 4. PP. 355–363. doi: [10.1016/0021-8707\(53\)90181-6](https://doi.org/10.1016/0021-8707(53)90181-6)
35. Leeson J.Y., Gaultier J., Grenkow L. Manitoba Weed Survey of Annual Crops in 2016. Saskatoon : Agriculture and Agri-Food Canada, Saskatoon Research Centre, 2016. 203 p.
36. Canada Province De Québec Municipalité De Nominingue Règlement Numéro 2008-312 Règlement concernant les nuisances. URL: http://www.municipalitenominingue.qc.ca/fra/wp-content/uploads/reglements/Reglement_2008-312_FINAL.pdf (дата обращения: 20.01.2020).
37. 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, № 4. PP. 549–557. doi: [10.4141/CJPS09174](https://doi.org/10.4141/CJPS09174)
38. Savard M., Larouche B. 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.
39. CISSS du Bas-Saint-Laurent. Herbe à poux. 2019. URL: <https://www.cisss-bsl.gouv.qc.ca/vivre-en-sante/sante-environnement/herbe-a-poux04/12/19> (дата обращения: 20.01.2020).
40. 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, № 5. PP. 561–568. doi: [10.1017/S0043174500091104](https://doi.org/10.1017/S0043174500091104)

Поступила в редакцию 06.02.2020 г.; повторно 07.04.2020 г.;
принята 30.04.2020 г.; опубликована 19.06.2020 г.

Авторский коллектив:

Афонин Александр Николаевич – канд. с.-х. наук, доцент кафедры геоэкологии и природопользования, Институт наук о Земле, Санкт-Петербургский государственный университет (Россия, 199034, г. Санкт-Петербург, Университетская набережная, д. 7–90).

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-6433-8073>

E-mail: a.afonin@spbu.ru

Баранова Ольга Германовна – профессор, д-р биол. наук, в.н.с. отдела Ботанический сад Петра Великого, Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН (Россия, 197376, г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, 2).

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-2964-0832>

E-mail: OBaranova@binran.ru

Федорова Юлия Андреевна – магистрант кафедры геоэкологии и природопользования, Институт Наук о Земле, Санкт-Петербургский государственный университет (Россия, 199034, г. Санкт-Петербург, Университетская набережная, д. 7–90).

E-mail: y.fedorova383@gmail.com

Для цитирования: Афонин А.Н., Баранова О.Г., Федорова Ю.А. Характеристика северной границы распространения *Ambrosia artemisiifolia* L. в Канаде в связи с определением экологических лимитов распространения вида на север // Вестн. Том. гос. ун-та. Биология. 2020. № 50. С. 28–51. doi: 10.17223/19988591/50/2

For citation: Afonin AN, Baranova OG, Fedorova YuA. Northern border of *Ambrosia artemisiifolia* L. distribution in Canada in relation to the establishing of its environmental limits. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya* = *Tomsk State University Journal of Biology*. 2020;50:28–51. doi: 10.17223/19988591/50/2 In Russian, English Summary

Alexandr N. Afonin¹, Olga G. Baranova², Yulia A. Fedorova¹

¹ Institute of Earth Sciences, Saint-Petersburg State University, St. Petersburg, Russian Federation

² Peter the Great Botanical Garden, Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russian Federation

Northern border of *Ambrosia artemisiifolia* L. distribution in Canada in relation to the establishing of its environmental limits

On the territory of Russia, ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) is included on the list of quarantine plants. It is an invasive species that distributes to the north. Currently, the northern border of ragweed distribution in Europe passes through the north of Germany, Poland and the southern border of Belarus, then along the European part of Russia (Kursk and the south of Lipetsk and Saratov regions). In order to plan effective protection against *A. artemisiifolia* invasion, it is necessary to know the prospects for its further expansion. Information on the northern distribution limits in its homeland in North America, particularly in Canada, is of special interest in this respect, since it allows to estimate the ecological limits of ragweed and to give a more accurate forecast of its distribution in invasion zones. It is logical to assume that in its homeland ragweed has the biggest ecotypic diversity, and a longer history of habitation could allow American ragweed populations to more fully occupy its fundamental ecological niche. Therefore, the aim of the research was to identify the northernmost self-sustaining ragweed populations in its homeland in Canada to estimate the ecological amplitude and define the potential northern ecological and geographic boundary of ragweed distribution. Data for the analysis were obtained from various sources: herbarium data, information from the Global Biodiversity Information Facility, aerological observational data and literary sources. To identify the sites of *A. artemisiifolia* naturalization, we developed 4 criteria. The criteria for identifying naturalization points were: density of ragweed

detected points; pollen index of the ragweed complex; the suitability of landscape for the growth of the species; latitude of location. Ragweed naturalization at the point of detection was calculated as the sum of the scores for all four criteria (See Table 1).

Naturalization points were identified on the basis of the four developed criteria before carrying out ecological and geographical analysis, which allowed us to define the quantitative ecological limit of *A. artemisiifolia* in the north (See Table 1). The layers of ragweed distribution according to GBIF and points of pollen monitoring stations were overlaid to calculate the complex estimation of ragweed naturalization. Comparison of ragweed locations in Canada (See Fig. 1a and 1b) shows that the western provinces of Canada are characterized by a much lower occurrence of *A. artemisiifolia* than the eastern ones. We analyzed ragweed locations in each province of Canada. The highest value of integrated assessment suggests the highest probability of naturalization of the species at the point. The naturalization of ragweed at a point is considered proven if it is possible to find additional indications of the presence of ragweed populations at the point in literature. 11 agglomerations of ragweed location points were selected for a comprehensive assessment of the probability of *A. artemisiifolia* naturalization. We found that the four agglomerations have the highest integrated rating of “7” (Winnipeg, Naming, Saguenay-Lac-Saint-Jean, Rimouski) (See Table 2). Another proven point of naturalization is the area near Medicine Hat. For the remaining territories, the naturalization of the species is currently doubtful. For ecological and geographical analysis of the potential *A. artemisiifolia* spreading to the north, we used a global raster computer map of the Day Degrees above 0 °C in the period from the transition of the day length after 14 hours to the first autumn frosts. This indicator is taken because ragweed is a short-day species and shortened day length is a signal factor for flowering and the beginning of ragweed pollination. The reduction in the length of the day to 14 hours at the end of summer is the threshold value for the start of pollination, and, hence, the start of seed development. Seed ripening in the north continues from the start of seed development until the first autumn frosts, and the possibility of moving the species to the north is determined by the sufficient heat supply of this particular period. A map of Day Degrees taking into account the threshold value of the photoperiod was created on the basis of the layers of monthly average temperatures of the WorldClim 2 set. Points of ragweed naturalization in Canada were overlaid on a map of temperature sums, and temperature values from the northernmost locations were extracted (See Fig. 2). Potential ecological boundary for the distribution of ragweed to the north was drawn taking into account the quantitatively determined ecological limit in its homeland in Canada.

Ecological and geographical analysis showed that the current actual naturalization border of *A. artemisiifolia* in the primary distribution area does not extend beyond territories with temperatures above 660 °C (See Fig. 2). This quantitative value can be taken as the ecological and geographical border of the currently existing *A. artemisiifolia* ecological niche and ecological boundary of its distribution in high latitudes. The isoline of temperature sums of 660 °C for the period from the transition of the day length after 14 hours to the end of the growing season describes the actual distribution of northern populations of ragweed in its native land in Canada with high accuracy. This confirms the predictivity of the selected environmental factor and allows using it to predict the expansion of the secondary range of ragweed in invasion zones.

The paper contains 2 Figures, 2 Tables and 40 References.

Key words: *Ambrosia artemisiifolia*; naturalization; biological invasion; ecological niche modelling; species distribution modeling.

Funding: The research was supported by the Russian Foundation for Basic Research (Grant No 19-05-00610).

The Authors declare no conflict of interest.

References

1. Essl F, Biró K, Brandes D, Broennimann O, Bullock JM, Chapman DS, Chauvel B, Dullinger S, Fumanal B, Guisan A, Karrer G, Kazinczi G, Kueffer C, Laitung B, Lavoie C, Leitner M, Mang T, Moser D, Müller-Schärer H, Petitpierre B, Richter R, Schaffner U, Smith M, Starfinger U, Vautard R, Vogl G, von der Lippe M, Follak S. Biological flora of the British Isles: *Ambrosia artemisiifolia*. *J Ecology*. 2015;103(4):1069-1098. doi: [10.1111/1365-2745.12424](https://doi.org/10.1111/1365-2745.12424)
2. Reznik SYa. Factors determining geographic ranges and population densities of common ragweed *Ambrosia artemisiifolia* L. (Asteraceae) and ragweed leaf beetle *Zygogramma suturalis* F. (Coleoptera, Chrysomelidae). *Plant Protection News (St. Petersburg)*. 2009;2:20-28. In Russian
3. Afonin AN, Luneva NN, Fedorova YA, Kletchkovskiy YuE, Chebanovskaya AF. History of introduction and distribution of common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) in the European part of the Russian Federation and in the Ukraine. *EPPO Bulletin*. 2018;48(2):266-273. doi: [10.1111/epp.12484](https://doi.org/10.1111/epp.12484)
4. Terekhina TA. Quarantine weeds of Southern Siberia. In: *Problemy botaniki Yuzhnoy Sibiri i Mongolii: sbornik nauchnykh statey po materialam XIV mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Problems of Botany in Southern Siberia and Mongolia: Proceedings (Barnaul, Russia, 25-29 May, 2015)]. Shmakov AI and Kopytina TM, editors. Barnaul: AltGU Publ.; 2015. pp. 41-46. In Russian
5. *Invasive Alien Plants in Canada, Summary report*. Ottawa, ON: Canadian Food Inspection Agency; 2008. 22 p.
6. Bassett IJ, Terasmae J. Ragweeds, *Ambrosia* species, in Canada and their history in postglacial time. *Canadian J Botany*. 1962;40(1):141-150. doi: [10.1139/b62-015](https://doi.org/10.1139/b62-015)
7. Richardson DM, Pyšek P, Rejmánek M, Barbour MG, Panetta FD, West CJ. Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. *Diversity and Distributions*. 2000;6(2):93-107. doi: [10.1046/j.1472-4642.2000.00083.x](https://doi.org/10.1046/j.1472-4642.2000.00083.x)
8. Bassett IJ, Crompton CW. The Biology of Canadian Weeds: 11. *Ambrosia artemisiifolia* L. and *A. psilostachya* DC. *Canadian J Plant Science*. 1975;55(2):463-476. doi: [10.4141/cjps75-072](https://doi.org/10.4141/cjps75-072)
9. Kartesz JT. Floristic Synthesis of North America, Version 1.0. The Biota of North America Program (BONAP). 2015. North American Plant Atlas. Chapel Hill, N.C. [Electronic resource]. Available at: <http://bonap.net/napa> (accessed 20.01.2020).
10. *EDDMapS*. 2020. Common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) profile. Early Detection & Distribution Mapping System. The University of Georgia – Center for Invasive Species and Ecosystem Health. [Electronic resource]. Available at: <https://www.eddmaps.org/distribution/uscounty.cfm?sub=5076&map=density> (accessed 20.01.2020).
11. *United States Department of Agriculture*, 2019. *Ambrosia artemisiifolia* Plant profile. [Electronic resource]. Available at: <https://plants.usda.gov/core/profile?symbol=AMAR2> (accessed 20.01.2020).
12. *Identifier l'herbe à poux*, 2002. Distribution Géographique De L'herbe À Poux Au Québec. [Electronic resource]. Available at: <http://extranet.santemonteregie.qc.ca/userfiles/file/sante-publique/sante-environnementale/NUISANCE-POUX-identifier.pdf> (accessed 20.01.2020). In French
13. Lavoie C, Jodoin Y, Merlis A. How did common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) spread in Quebec? A historical analysis using herbarium records. *J Biogeography*. 2007;34(10):1751-1761. doi: [10.1111/j.1365-2699.2007.01730.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2007.01730.x)
14. Chauvel B, Dessaint F, Cardinal-Legrand C, Bretagnolle F. The historical spread of *Ambrosia artemisiifolia* L. in France from herbarium records. *J Biogeography*. 2006;33(4):665-673. doi: [10.1111/j.1365-2699.2005.01401.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2005.01401.x)
15. *GBIF.org* (17 November 2019) *GBIF Occurrence Download*. doi: [10.15468/dl.9lsqy5](https://doi.org/10.15468/dl.9lsqy5)

16. Scalone R, Lemke A, Štefanić E, Kolseth AK, Rašić S, Andersson L. Phenological variation in *Ambrosia artemisiifolia* L. facilitates near future establishment at Northern latitudes. *PLoS One*. 2016;11(11):e0166510. doi: [10.1371/journal.pone.0166510](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0166510)
17. Dahl Å, Strandhede S, Wihl JÅ. Ragweed – an allergy risk in Sweden? *Aerobiologia*. 1999;15(4):293-297. doi: [10.1023/A:1007678107552](https://doi.org/10.1023/A:1007678107552)
18. Bassett IJ, Crompton CW, Francton C. Canadian havens from hay fever. Ottawa, Ontario: Dept. Northern Affairs and Nat. Resources; 1976. 24 p.
19. Bassett IJ, Crompton CW, Parmelee J. An Atlas of Airborne Pollen Grains and Common Fungus spores of Canada. Ottawa, Ontario: Biosystematics Research Institute; 1978. 321 p.
20. Bassett IJ. Surveys of air-borne ragweed pollen in Canada with particular reference to sites in Ontario. *Canadian J Plant Science*. 1959;39(4):491-497. doi: [10.4141/cjps59-066](https://doi.org/10.4141/cjps59-066)
21. Bassett IJ. Air-borne pollen surveys in Manitoba and Saskatchewan. *Canadian J Plant Science*. 1964;44(1):7-14. doi: [10.4141/cjps64-002](https://doi.org/10.4141/cjps64-002)
22. Bassett IJ, Crompton C.W. Air-borne pollen surveys in British Columbia. *Canadian J Plant Science*. 1967;47(3):251-261. doi: [10.4141/cjps67-046](https://doi.org/10.4141/cjps67-046)
23. Afonin AN, Fedorova YA, Li YuS. Characterization of the occurrence and abundance of the common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) with regard to assessment of its expansion potential in European Russia. *Russian J Biological Invasions*. 2019;10(3):220-226. doi: [10.1134/S2075111719030032](https://doi.org/10.1134/S2075111719030032)
24. Essl F, Dullinger S, Kleinbauer I. Changes in the spatio-temporal patterns and habitat preferences of *Ambrosia artemisiifolia* during its invasion of Austria. *Preslia*. 2009;81(2):119-133.
25. Dullinger S, Kleinbauer I, Peterseil J, Smolik M, Essl F. Niche based distribution modelling of an invasive alien plant: effects of population status, propagule pressure and invasion history. *Biological Invasions*. 2009;11(10):2401-2414. doi: [10.1007/s10530-009-9424-5](https://doi.org/10.1007/s10530-009-9424-5)
26. Smolik MG, Dullinger S, Essl F, Kleinbauer I, Leitner M, Peterseil J, Stadler LM, Vogl G. Integrating habitat distribution models and interacting particle systems to predict the spread of an invasive alien plant. *J Biogeography*. 2010;37(3):411-422. doi: [10.1111/j.1365-2699.2009.02227.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2009.02227.x)
27. Chen H, Chen LJ, Albright TP. Predicting the potential distribution of invasive exotic species using GIS and information-theoretic approaches: A case of ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) distribution in China. *Chinese Science Bulletin*. 2007;52(9):1223-1230. doi: [10.1007/s11434-007-0192-2](https://doi.org/10.1007/s11434-007-0192-2)
28. Cunze S, Leiblein MC, Tackenberg O. Range expansion of *Ambrosia artemisiifolia* in Europe is promoted by climate change. *ISRN Ecology*. 2013:1-9. doi: [10.1155/2013/610126](https://doi.org/10.1155/2013/610126)
29. Chapman DS, Haynes T, Beal S, Essl F, Bullock JM. Phenology predicts the native and invasive range limits of common ragweed. *Global Change Biology*. 2014;20(1):192-202. doi: [10.1111/gcb.12380](https://doi.org/10.1111/gcb.12380)
30. Chapman DS, Makra L, Albertini R, Bonini M, Páldy A, Rodinkova V, Šikoparija B, Weryszko-Chmielewska E, Bullock JM. Modelling the introduction and spread of non-native species: International trade and climate change drive ragweed invasion. *Global Change Biology*. 2016;22(9):3067-3079. doi: [10.1111/gcb.13220](https://doi.org/10.1111/gcb.13220)
31. Fick SE, Hijmans RJ. Worldclim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International J Climatology*. 2017;37(12):4302-4315. doi: [10.1002/joc.5086](https://doi.org/10.1002/joc.5086)
32. Afonin AN, Milyutina EA, Fedorova YA. Sozdanie global'nykh kart summ aktivnykh temperatur v svyazi s sostavleniem dolgosrochnykh prognozov rasprostraneniya biologicheskikh ob"ektov [Making of global growing degree-day maps in relation to long-term forecasting of distribution of biological objects]. In: *Global'nye klimaticheskie izmeneniya: regional'nye efekty, modeli, prognozy: Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Global Climate Changes: Regional Effects, Models, Forecasts: Proceedings of the Int. Sci. and Prac. Conf. (Voronezh, 3-5 October, 2019)]. Kurolap SA,

- Akimov LM and Dmitrieva VA, editors. Voronezh: Tsifrovaya poligrafiya Publ.; 2019. Vol. 1. pp. 32-34. In Russian
33. Afonin AN, Sokolova Yu V. Ekologo-geograficheskiy analiz i modelirovanie rasprostraneniya biologicheskikh ob"ektov s ispol'zovaniem GIS [Ecological and geographical analysis and modeling of the distribution of biological objects using GIS]. St. Petersburg: VVM Publ.; 2018. 121 p. In Russian
34. Kennedy LL. Alberta pollen survey. *J Allergy*. 1953;24(4):355-363. doi: [10.1016/0021-8707\(53\)90181-6](https://doi.org/10.1016/0021-8707(53)90181-6)
35. Leeson JY, Gaultier J, Grenkow L. Manitoba Weed Survey of Annual Crops in 2016. Saskatoon, Saskatchewan: Agriculture and Agri-Food Canada, Saskatoon Research Centre; 2016. 203 p.
36. Canada Province De Québec Municipalité De Nominique Règlement Numéro 2008-312 Règlement concernant les nuisances. [Electronic resource]. Available at: http://www.municipalitenominique.qc.ca/fra/wp-content/uploads/reglements/Reglement_2008-312_FINAL.pdf (accessed 20.01.2020). In French
37. Simard MJ, Benoît DL. Distribution and abundance of an allergenic weed, common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.), in rural settings of southern Quebec, Canada. *Canadian J Plant Science*. 2010;90(4):549-557. doi: [10.4141/CJPS09174](https://doi.org/10.4141/CJPS09174)
38. Savard M, Larouche B. Répartition singulière des herbes à poux (*Ambrosia artemisiifolia*, *Ambrosia trifida*, *Iva xanthifolia*) au Saguenay-Lac-Saint-Jean. Québec: Agence de la santé et des services sociaux du Saguenay-Lac-Saint-Jean, Direction de santé publique, Service de santé environnementale. 2006. 62 p. In French
39. CISSS du Bas-Saint-Laurent. 2019. Herbe à poux [Electronic resource]. Available at: <https://www.cisss-bsl.gouv.qc.ca/vivre-en-sante/sante-environnement/herbe-a-poux> 04/12/19 (accessed 20.01.2020). In French
40. Deen W, Hunt LA, Swanton CJ. Photothermal time describes common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) phenological development and growth. *Weed Science*. 1998;46(5):561-568. doi: [10.1017/S0043174500091104](https://doi.org/10.1017/S0043174500091104)

Received 06 February 2020; Revised 07 April 2020;

Accepted 30 April 2020; Published 19 June 2020.

Author info:

Afonin Alexandr N, Cand. Sci. (Agric.), Assoc. Professor, Department of Geoecology, Institute of Earth Sciences, Saint-Petersburg State University, 7-9 Universitetskaya Nab., St. Petersburg 199034, Russian Federation.

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-6433-8073>

E-mail: a.afonin@spbu.ru

Baranova Olga G, Professor, Dr. Sci. (Biol.), Leading Researcher, Department of the Peter the Great Botanical Garden, Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences, 2 Prof. Popov Str., St. Petersburg 197376, Russian Federation.

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-2964-0832>

E-mail: OBaranova@binran.ru

Fedorova Yulia A, Master's Degree Student, Department of Geoecology, Institute of Earth Sciences, Saint-Petersburg State University, 7-9 Universitetskaya Nab., St. Petersburg 199034, Russian Federation.

E-mail: y.fedorova383@gmail.com