УДК 58.056:574.91

ХАРАКТЕРИСТИКА ЧАСТОТЫ ВСТРЕЧАЕМОСТИ И ОБИЛИЯ АМБРОЗИИ ПОЛЫННОЛИСТНОЙ (*AMBROSIA ARTEMISIIFOLIA* L.) В СВЯЗИ С ОЦЕНКОЙ ПОТЕНЦИАЛА ЕЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ НА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

© 2019 Афонин А.Н.[a, *], Федорова Ю.А.[a, **], Ли Ю.С.[b, *]**

[a] Санкт-Петербургский государственный университет,
Санкт-Петербург, 199178, Россия
[b] Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, 190000, Россия
e-mail: *a.afonin@spbu.ru, ** y.fedorova383@gmail.com, *** petrelius1150@yandex.ru

Поступила в редакцию 21.03.2019. После доработки 17.05.2019. Принята к публикации 27.05.2019.

Проведённое на Европейской территории России экспедиционное обследование амброзии полыннолистной (*Ambrosia artemisiifolia* L.) позволило получить информацию о частоте её встречаемости, обилии и сделать предположение о возможных границах её натурализации. Результатом стало более точное понимание экологических пределов распространения амброзии и экологических амплитуд по отношению к лимитирующим её распространение факторам среды. На Европейской территории России фактором, определяющим продвижение вида на север, является недостаточная теплообеспеченность периода созревания семян. Восточная и юго-восточная граница продвижения на Европейской территории России определяется фактором недостаточной влагообеспеченности. В эколого-географическом анализе распространения амброзии были использованы экологические карты, составленные по данным спектрорадиометра MODIS космического аппарата Terra. Результатом явилось составление уточнённой карты потенциала распространения амброзии полыннолистной на Европейской территории России с указанием возможности её натурализации по территории.

Ключевые слова: *Ambrosia artemisiifolia* L., ареал, встречаемость, обилие, лимитирующие факторы среды, экологические амплитуды, эколого-географический анализ, потенциал распространения.

Введение

Амброзия полыннолистная (*Ambrosia artemisiifolia* L.) – однолетнее ветроопыляемое короткодневное растение. Является карантинным вредоносным видом, ограниченно распространённым на территории РФ [Россельхознадзор…, 2019]. Вредит сельскому хозяйству и угрожает здоровью людей в связи с высокой аллергенностью массово распространяемой пыльцы растений. Вид проник на территорию России с Североамериканского континента в конце XIX – начале XX в. Первые точки инвазии были отмечены в Предкавказье [Васильев, 1958]. В ходе вековой экспансии вид распространился на юге России и продвинулся на север. В настоящее время северная граница распространения доходит до Брянской, Липецкой, Тамбовской областей. Некоторые карантинно-фитосанитарные зоны по амброзии установлены и севернее – в Тульской, Рязанской и Московской областях [Россельхознадзор…, 2019], – но вопрос о возможности натурализации в них амброзии требует уточнения.

Современные методы эколого-географического моделирования ниш (environmental niche modelling) позволяют с высокой точностью определять потенциал распространения биологических объектов [Nix, 1986; Афонин, Соколова, 2018]. При этом точность выявления

границ экологической ниши зависит от точности используемых в анализе и моделировании экологических карт и информации о распространении анализируемых биообъектов.

Одна из основных проблем анализа и моделирования заключается в том, что используемые в анализе точки нахождения биообъектов чаще всего не дают информацию о частоте встречаемости, обилии и, в результате, о натурализации объекта. Очевидно, что модель экологической ниши амброзии, учитывающая инвазии без учёта натурализации, будет показывать избыточный потенциал её распространения. Поэтому, для составления наиболее информативной модели экологической ниши, следует предварительно изучить ситуацию с натурализацией рассматриваемого биообъекта в пределах его ареала. С этой целью в 2017 г. мы провели специальное маршрутное обследование экологических границ распространения амброзии, её встречаемости и обилия на границах ареала. Результатом стало составление уточнённой карты потенциала распространения этого вида на Европейской территории России (ЕТР).

Материалы и методы

Проведённый нами ранее эколого-географический анализ распространения амброзии полыннолистной показал, что основные экологические факторы, лимитирующие её распространение – это недостаточная теплообеспеченность периода созревания семян и недостаточная влагообеспеченность вегетационного периода [Афонин и др., 2016]. Поскольку амброзия является короткодневным видом, необходимые для созревания семян суммы температур должны быть набраны за период от начала цветения, которое приходится на дату наступления порогового значения фотопериода (для популяций этого вида из разных широт пороговое значение несколько варьирует, но в среднем составляет порядка 14 часов) до первых осенних заморозков.

Соответствующие экологические карты были нами созданы. Карта сумм температур за период от перехода длины дня через 14 часов до первых осенних заморозков была составлена из среднемесячных слоёв температур по модифицированной методике Л. С. Кельчевской [1971]. Слои среднемесячных температур при этом были подготовлены нами по материалам температурного космического зондирования поверхности Земли спектрорадиометром MODIS космического аппарата Terra (MODIS/Terra [Wan et al., 2015]). Температурные слои, составленные по данным космического зондирования, отличаются более высокой детализацией по сравнению с температурными картами, составленными по метеостанционным данным, в том числе наиболее часто используемыми при эколого-географическом моделировании картами WorldClim [Hijmans et al., 2005]. Карты средних температур на каждый месяц осреднялись за период температурных измерений аппарата Terra с 2000 по 2014 г.

Наиболее точным показателем влагообеспеченности аридных территорий могут служить индексы растительности. От гумидных территорий к аридным проективное покрытие растительности, её биомасса и фотосинтетическая активность закономерно уменьшаются, как и отражающие эти показатели значения индексов растительности. Для характеристики влагообеспеченности территории мы использовали стандартный нормализованный индекс растительности (NDVI). Среднемесячные глобальные слои NDVI также были составлены по материалам космического зондирования поверхности Земли MODIS/Terra [Didan, 2015]. Поскольку для амброзии наиболее критичен дефицит влаги в период цветения, который приходится на август, в качестве показателя влагообеспеченности мы использовали карту с августовскими значениями NDVI, усреднёнными за аналогичный 15-летний период наблюдений с 2000 по 2014 г.

Информация о распространении амброзии может быть получена из различных довольно многочисленных источников: базы данных GBIF [GBIF.org, 2019] и Россельхознадзора [Россельхознадзор…, 2019], BONAP [Kartesz, 2015]; публикации [Basset, Crompton, 1975; Nadtochii, Budrevskaya, 2008]. Информация в указанных материалах представлена как в то-

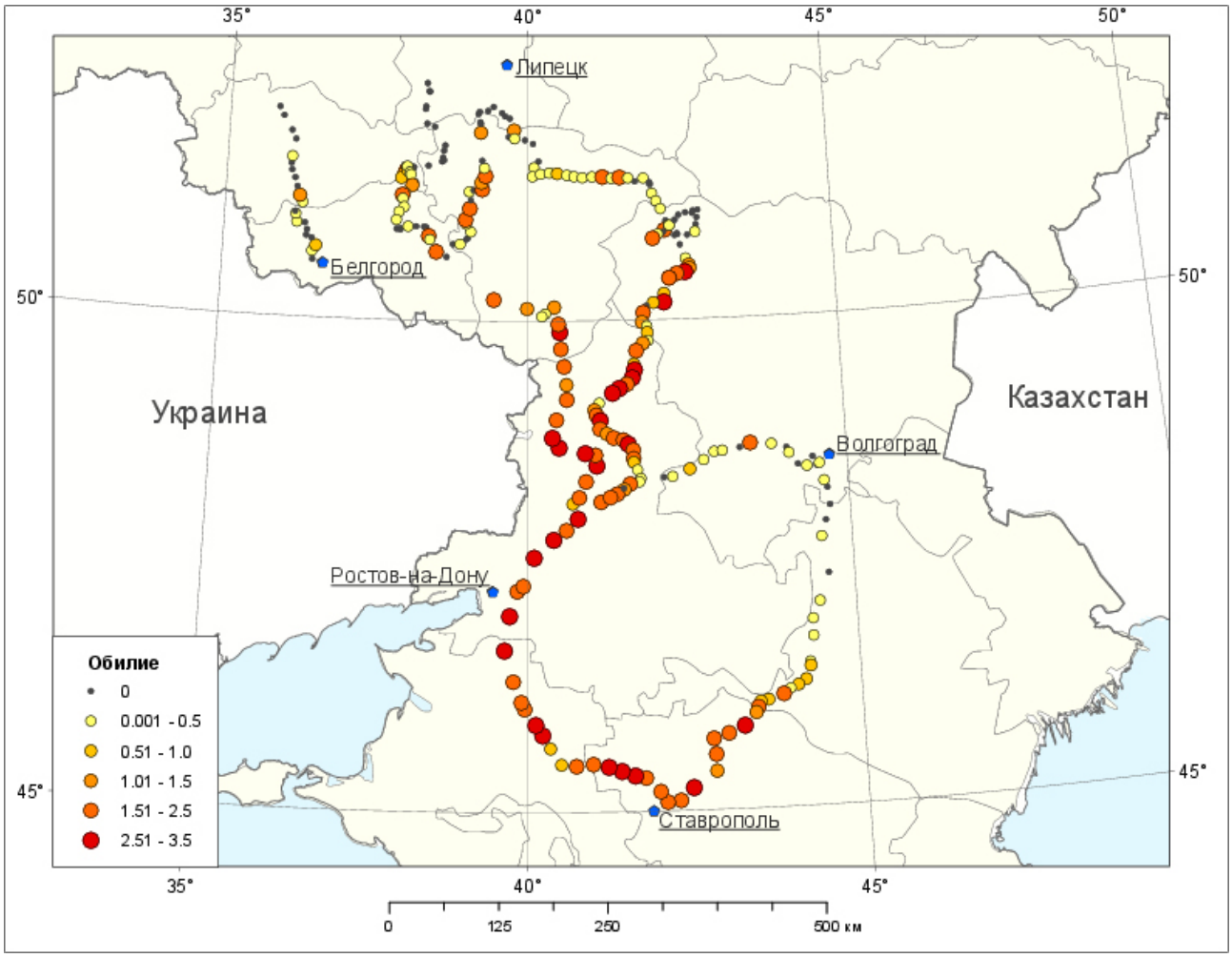

Рис. 1. Обилие амброзии полыннолистной в пределах её распространения на Европейской территории России по данным маршрутного обследования 2017 г. Обилие показано как среднее на точке значение по шкалы Друде, где 0 – отсутствие особей вида, 1 – *sol*, 2 – *sp*, 3 – *cop1*, 4 – *cop2*, 5 – *cop3*.

чечном виде, так и в виде площадных ареалов.

Указание на точечное местоположение объекта даёт информацию только о присутствии биообъекта в той или иной точке. Площадные карты ареалов дают информацию только в категориях присутствия и отсутствия объектов без указания их обилия в той или иной точке и частоты встречаемости на том или ином фрагменте территории. Сведения об ареалах карантинных объектов в категориях только присутствия и отсутствия не позволяют с высокой степенью определённости судить о ситуации с инвазией, и оценивать перспективы распространения инвазивных объектов. Необходимая для более точных прогнозов информация должна содержать также сведения о встречаемости и обилии объекта, поскольку частота встречаемости и обилие растений в сумме могут характеризовать степень натурализации растений в условиях той или иной зоны.

Частота встречаемости вида на территории может быть оценена как количество точек, на которых вид встречается, по отношению к общему числу обследованных точек. Обилие характеризуется количеством особей вида на единицу площади или длину обследованной трансекты. Для оценки частоты встречаемости и обилия амброзии полыннолистной на территории её вторичного ареала, нами в 2017 г. было проведено специальное экспедиционное обследование.

Экспедиция была проведена в августе 2017 г., в ходе её были изучены частота встречае-

мости и обилие исследуемого вида на Европейской территории России. Особенное внимание при маршрутных обследованиях было уделено предполагаемым границам ареала: на севере – Курская, Липецкая, Воронежская, Белгородская области, на востоке – республика Калмыкия и Волгоградская область. Точки обследования на маршруте располагались на расстоянии около 10 км друг от друга, расстояния определялись по спидометру автомобиля. Всего было обследовано 278 точек (рис. 1), на каждой из которых определялись: обилие амброзии полыннолистной вдоль дорог и на полях, размер растений, фенофаза, отмечались географические координаты, проводилось краткое описание местности, фотографировались популяции и местообитание.

Встречаемость по областям была рассчитана по материалам маршрутного обследования как отношение количества маршрутных точек, на которых амброзия была встречена, к общему количеству обследованных на территории области точек. Обилие оценивалось как среднее обилие амброзии на точках, на которых она встречалась в пределах области (при этом при оценке обилия не учитывались точки, на которых это растение не было встречено).

На каждой точке производился обход вдоль дороги по 100 м с обеих сторон, отдельно на каждом 10-метровом интервале оценивалось обилие вида по шкале Друде. Каждой градации шкалы Друде [Понятовская, 1964] было присвоено численное значение от 0 до 5, где 0 – отсутствие вида на точке, 1 – *sol*, 2 – *sp*, 3 – *cop1*, 4 – *cop2*, 5 – *cop3*. Это позволило численно выразить обилие на точках обследования как среднее значение нумерованной шкалы.

Обсуждение и результаты

В ходе проведённого исследования мы изучили распространение амброзии полыннолистной на Европейской территории России, отработали методику оценки её частоты встречаемости и обилия, оценили эти показатели в разных географических зонах и представили соответствующую карту встречаемости, обилия и возможности натурализации данного вида на ЕТР. Обилие вида на точках обследования показано на карте (рис. 1), оценки частоты встречаемости и среднего обилия по областям приведены в таблице.

Северный Кавказ и западные области Южного федерального округа: Ставропольский и Краснодарский край, Ростовская область

Таблица. Встречаемость и обилие амброзии полыннолистной по областям на Европейской территории России

Встречаемость	Количество обследованных точек		Встречаемость по области, %	Среднее обилие по области
	Точек всего	Точек присутствия		
Волгоградская обл. – север	40	22	55	1.18
Волгоградская обл. – юг	18	11	61	0.31
Респ. Калмыкия	16	13	81	0.62
Ставропольский край	15	15	100	2.21
Краснодарский край	9	9	100	1.92
Ростовская обл.	50	48	96	1.7
Воронежская обл. – север	52	29	56	0.68
Воронежская обл. – юг	8	8	100	1.46
Белгородская обл.	29	14	48	0.64
Курская обл.	28	12	43	0.92
Липецкая обл.	13	0	0	0

– входят в зону повсеместной встречаемости и высокого обилия амброзии (таблица). Это связано как с экологическим оптимумом для этого вида по условиям теплообеспеченности и влагообеспеченности, так и с тем, что эта территория имеет наиболее длительную историю распространения его инвазии. Именно на Северный Кавказ были произведены первые вселения вида и отсюда началось распространение его на территорию России [Флёров, 1938; Afonin et al., 2018]. Территории, расположенные восточнее, – Волгоградская обл. и Калмыкия – характеризуются резко выраженным градиентом влагообеспеченности и восточными, и южными своими частями входят в зоны экологического пессимума амброзии по условиям увлажнения. На западе Волгоградской обл. она встречается повсеместно и обильно, но по мере продвижения на восток и юг встречаемость и обилие снижаются. На севере Волгоградской обл., помимо засушливости, начинает действовать дополнительный лимитирующий фактор – недостаточная теплообеспеченность периода созревания семян, что приводит к элиминированию вида из части придорожных сообществ. В Калмыкии условия теплообеспеченности благоприятны для амброзии, но недостаточная влагообеспеченность препятствует её развитию и массовому распространению почти на всей территории за исключением самой западной части республики. Условия в южной части Воронежской обл. в целом благоприятны для исследуемого растения по условиям теплообеспеченности и влагообеспеченности. На юге области оно произрастает повсеместно и обильно, однако по мере продвижения на север недостаточность ресурсов тепла приводит к снижению

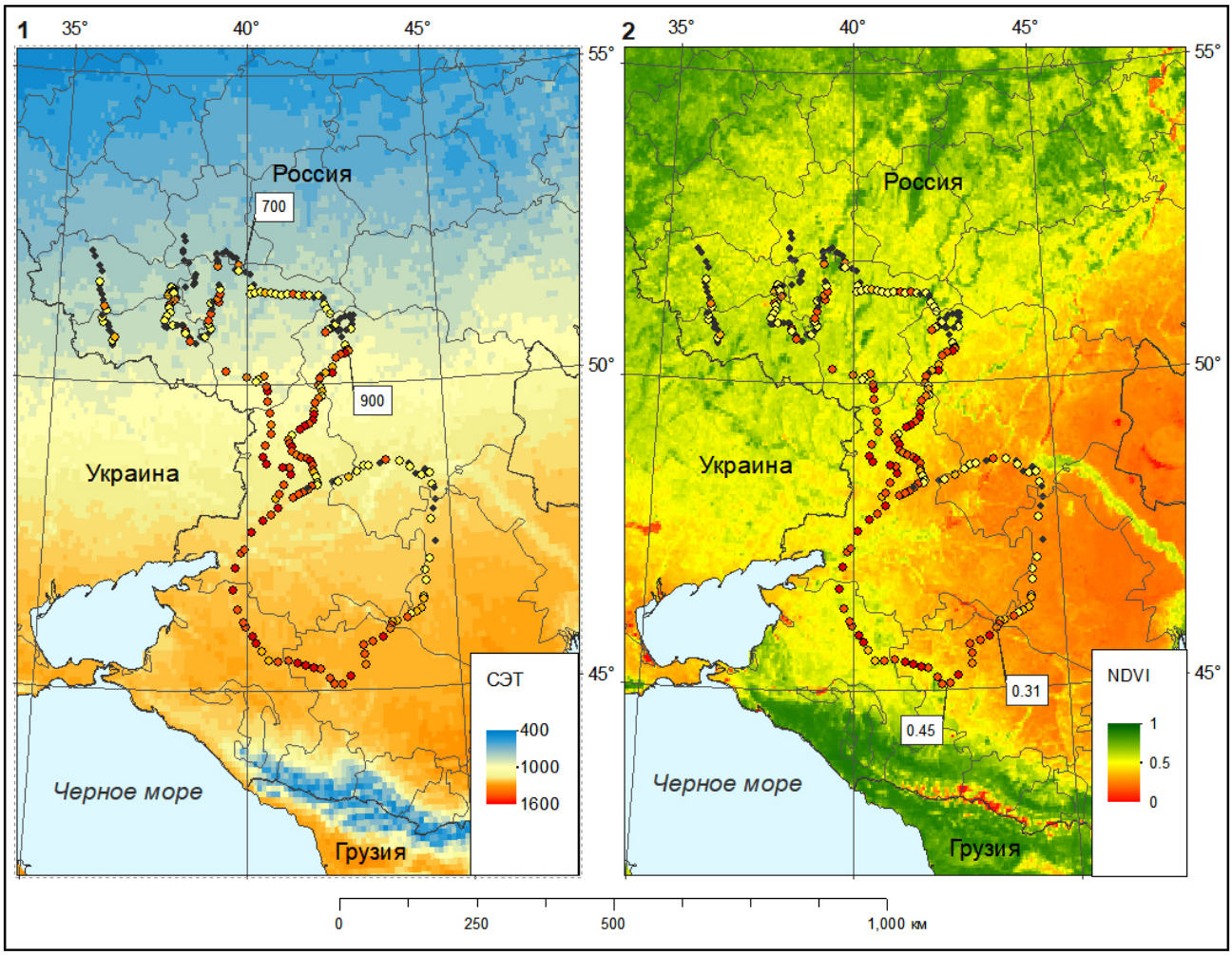

Рис. 2. Выявление диапазонов значений экологических факторов среды на границах разной степени встречаемости и обилия амброзии.

его встречаемости и обилия. Белгородская обл. почти полностью входит в зону температурного пессимума. Соответственно амброзия произрастает в ней не повсеместно, хотя местами обильно. Ещё реже она встречается на юге Курской обл., а север области можно отнести к территории интразональной встречаемости, где экологическим потребностям вида соответствуют лишь небольшие внезональные фрагменты. Также к территориям интразональной встречаемости могут быть отнесены, по данным обнаружения амброзии фитосанитарными службами, Тамбовская, Липецкая, Орловская, юг Брянской и, возможно, самый юг Тульской, Рязанской областей и часть Московской обл. [Россельхознадзор…, 2019].

Наложение точек с известными характеристиками обилия вида на карты экологических факторов среды позволяет выявить связь обилия и встречаемости с определёнными диапазонами экологических факторов среды и количественно оценить эти диапазоны (рис. 2).

Расчёт производится при наложении точек с известными характеристиками встречаемости

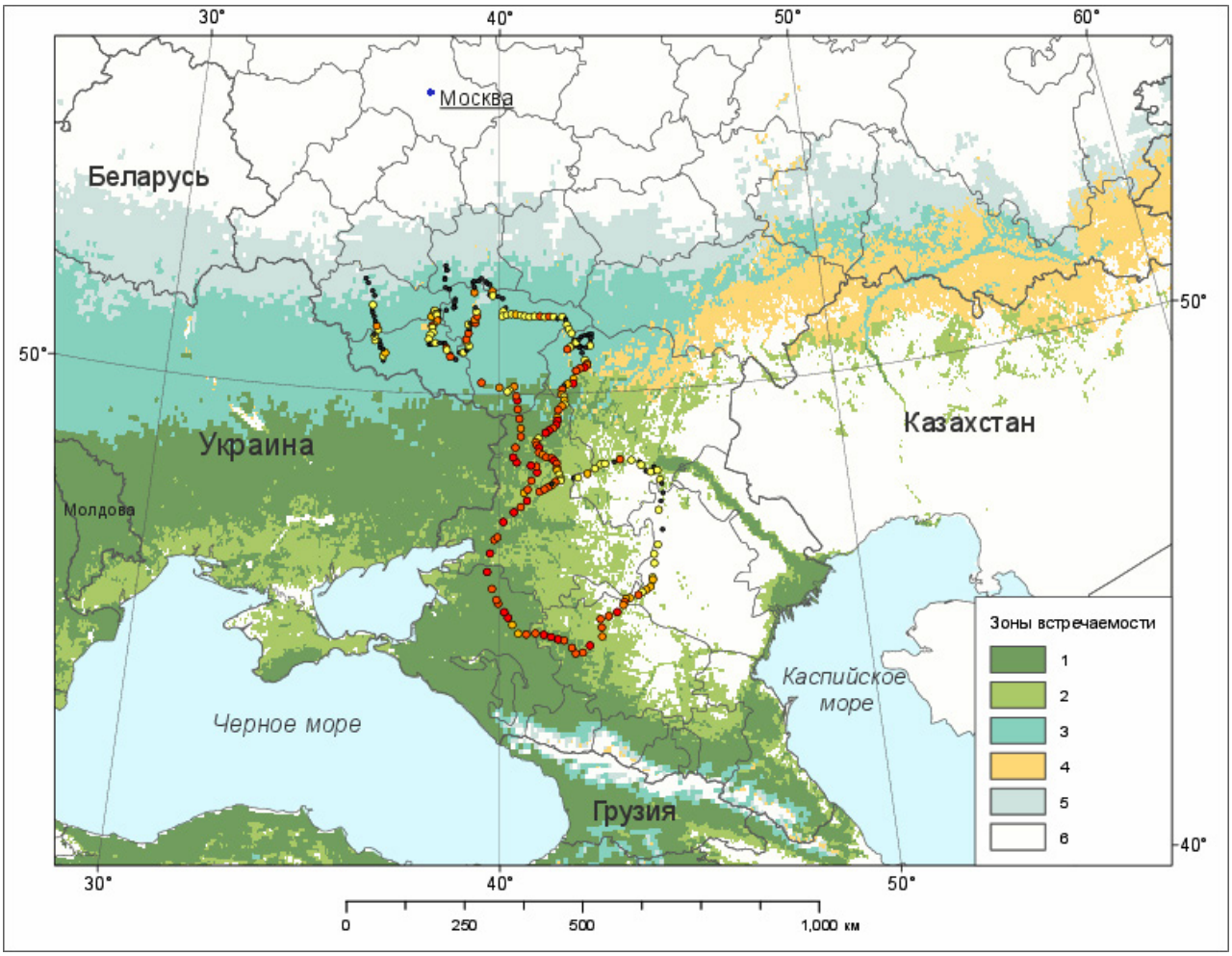

Рис. 3. Зоны степени экологической пригодности территории для амброзии полыннолистной в связи с возможностью её натурализации.

1 – зона оптимума по теплообеспеченности и влагообеспеченности с повсеместной встречаемостью и высокой степенью обилия. Натурализация возможна по всей территории. 2 – зона оптимума по теплообеспеченности и пессимума по влагообеспеченности с неповсеместной встречаемостью. Натурализация возможна на фрагментах территории. 3 – зона оптимума по влагообеспеченности и пессимума по теплообеспеченности с неповсеместной встречаемостью. Натурализация возможна на фрагментах территории. 4 – зона пессимума по теплообеспеченности и влагообеспеченности с редкой встречаемостью. Натурализация возможна на редких фрагментах территории. 5 – территория интразональной встречаемости с экстремальными условиями теплообеспеченности; вид встречается спорадически. Возможность натурализации требует дополнительного изучения. 6 – зона, экологически непригодная для вида. Точки показывают обилие вида, условные обозначения к точкам даны в подрисуночной подписи к рис. 1.

и обилия вида на карты экологических факторов среды: 1) на карты сумм эффективных температур (СЭТ) за период созревания семян; 2) на карты гумидности территории по показателю NDVI.

Зная экологические лимиты вида и имея карты соответствующих лимитирующих факторов среды, можно в пределах ареала выделить территории экологических оптимумов и пессимумов, связав их с характером встречаемости и обилия. По результатам проведённого эколого-географического анализа мы определили эколого-географические амплитуды амброзии и границы её экологических зон оптимумов, пессимумов и интразональной встречаемости.

Зона экологического оптимума включает территории с суммой эффективных температур (СЭТ) > 900 и NDVI > 0.45. Амброзия на территории этой зоны встречается повсеместно и характеризуется обилием *cop1* и выше. Зона экологического пессимума включает территории с 700 < СЭТ < 900 и 0.31 < NDVI < 0.45. Вид на территории этой зоны встречается не повсеместно и характеризуется обилием *sol-sp*. Зона интразональной встречаемости включает территории с 600 < СЭТ < 700 и NDVI < 0.31. На территории этой зоны вид встречается очень редко и характеризуется низким обилием.

Зона оптимума по основным лимитирующим распространение амброзии факторам среды является зоной наибольшей её встречаемости и обилия. Вид в пределах этой зоны встречается почти повсеместно и характеризуется высокой степенью обилия. В зонах пессимума по любому из двух рассмотренных экологических факторов он встречается реже. Чем экстремальнее значения лимитирующего фактора, тем реже встречаемость и меньше обилие. На границах ареала можно выделить территории интразональной встречаемости – где в условиях зоны, в целом выходящей за пределы экологических лимитов вида, всё же встречаются отдельные незональные фрагменты территорий, пригодные для роста и развития амброзии. На севере, где возможность распространения её определяется фактором теплообеспеченности, такими фрагментами могут быть склоны южной экспозиции. На востоке, где лимитом служит недостаточная влагообеспеченность, данное растение может находить местообитания с достаточным увлажнением в местах выклинивания грунтовых вод, на склонах северных экспозиций и вблизи водных объектов.

На карте представлены зоны степени экологической пригодности территории для амброзии и связанной с этим встречаемостью, обилием и возможностью её натурализации (рис. 3).

Выводы

В ходе экспедиционного обследования амброзии полыннолистной на территории Европейской части России получена информация о частоте её встречаемости и обилии в пределах вторичного ареала и на его границах. Наложение точек обследования с известными характеристиками обилия на карты экологических факторов среды позволили выявить экологические амплитуды по отношению к факторам, лимитирующим распространение вида именно в пределах зоны его натурализации. По полученным значениям на картах экологических факторов среды были выделены зоны обилия и встречаемости амброзии (рис. 3).

Европейская часть России до 48–50° с. ш. может считаться зоной повсеместной натурализации и встречаемости данного вида при условии достаточной гумидности территории. Примерно от 50 до 52° с. ш. на ЕТР располагается зона температурного пессимума, в которой вид встречается и натурализуется не повсеместно. Севернее этой границы существование его возможно на интразональных фрагментах территории, характеризующихся повышенной теплообеспеченностью: склонах южных экспозиций, городских островах тепла.

К районам интразональной встречаемости предположительно можно отнести фрагменты Тульской, Рязанской и Московской областей, в которых установлены карантинные фитосанитарные зоны по амброзии, но на них могут быть представлены и ненатурализовавшиеся растения.

На ЕТР фактором, лимитирующим продвижение амброзии на север, является недостаточная теплообеспеченность периода созревания семян. Восточная и юго-восточная граница продвижения вида на ЕТР определяется фактором недостаточной влагообеспеченности. Экологическая амплитуда по фактору теплообеспеченности составляет от 600 градусов СЭТ и более за период от начала пыления амброзии до конца периода вегетации по температурам поверхности Земли, снятым с сенсора спектрорадиометра MODIS. Экологическая амплитуда по степени увлажнения составляет от 0.31 значений индекса августовского NDVI.

По результатам проведённой работы была составлена карта потенциала распространения амброзии полыннолистной на Европейской территории России.

Финансирование работы

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 19-05-00610А.

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Соблюдение этических стандартов

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

Литература

Афонин А.Н., Севрюков С.Ю., Соловьев П.А., Лунева Н.Н. Веб-ГИС для решения задач эколого-географического анализа и моделирования: новые возможности // Вестник Санкт-Петербургского Университета. 2016. Серия 7: Геология, География. С. 97–111.

Афонин А.Н., Соколова Ю.В. Эколого-географический анализ и моделирование распространения биологических объектов с использованием ГИС. СПб.: Изд-во ВВМ, 2018. 121 с.

Васильев Д.С. Амброзия полыннолистная и меры борьбы с ней. Краснодар: Советская Кубань, 1958. 84 с.

Кельчевская Л.С. Методы обработки наблюдений в агроклиматологии. Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1971. 216 с.

Понятовская В.М. Учёт обилия и особенности размещения видов в естественных растительных сообществах // Полевая геоботаника. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1964. Т. 3. С. 209–299.

Россельхознадзор. Карантинные фитосанитарные зоны, установленные на территории Российской Федерации, 01.02.2019. (Электронный документ) // (http://www.fsvps.ru/fsvps-docs/ru/usefulinf/files/phytoquarantine2019-02-01.pdf). Проверено 12.02.2019.

Флёров А.Ф. Список растений Северного Кавказа и Дагестана. Ростов-на-Дону: Ростовское областное книгоиздательство, 1938. 702 с.

Afonin A.N., Luneva N.N., Fedorova Y.A., Kletchkovskiy Y.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. No. 2. P. 266–273.

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). P. 463–476.

Didan K. MOD13C2 MODIS / Terra Vegetation Indices Monthly L3 Global 0.05Deg CMG V006 (Набор данных) // NASA EOSDIS LP DAAC, 2015 // (https://lpdaac.usgs.gov/dataset_discovery/modis/modis_products_table/mod13c2_v006). Проверено: 22.02.2019.

GBIF. The Global Biodiversity Information Facility. 2019 (Электронный ресурс) // (https://www.gbif.org). Проверено: 22.02.2019.

Hijmans R.J., Cameron S.E., Parra J.L., Jones P.G., Jarvis A. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas // International Journal of Climatology. 2005. Vol. 25. P. 1965–1978.

Kartesz J.T. The Biota of North America Program (BONAP). Taxonomic Data Center. (База данных) // (http://www.bonap.net/tdc). Chapel Hill, N.C. 2015. Проверено: 21.02.2019.

Nadtochii I., Budrevskaya I. *Ambrosia artemisiifolia* L. // In A.N. Afonin, S.L. Greene, N.I. Dzyubenko, A.N. Frolov (eds.). Interactive Agricultural Ecological Atlas of Russia and Neighboring Countries. Economic Plants and their Diseases, Pests and Weeds. 2008. (Электронный ресурс) // (http://www.agroatlas.ru/en/content/weeds/Ambrosia_artemisiifolia/map/index.html) Проверено: 22.02.2019.

Nix H.A. A biogeographic analysis of Australian elapid snakes. Atlas of Australian Elapid Snakes. Bureau of Flora Fauna, Canberra, Australia. 1986. P. 4–15.

Wan Z., Hook S., Hulley G. MOD11C3 MODIS/Terra Land Surface Temperature / Emissivity Monthly L3 Global 0.05Deg CMG V006 (Набор данных) // NASA EOSDIS LP DAAC, 2015 // (https://lpdaac.usgs.gov/dataset_discovery/modis/modis_products_table/mod11c3_v006). Проверено: 22.02.2019.

CHARACTER OF OCCURRENCE AND ABUNDANCE OF COMMON RAGWEED (*AMBROSIA ARTEMISIIFOLIA* L.) WITH EVALUATION OF ITS DISTRIBUTION POTENTIAL IN EUROPEAN RUSSIA

© 2019 Afonin A.N.[a, *], Fedorova Y.A.[a, **], Li Yu.S.[b, *]**

[a] St. Petersburg State University, St. Petersburg, 199178, Russia;
[b] N.I.Vavilov Research Institute of Plant Industry, Saint-Petersburg, 190000, Russia;
e-mail: *a.afonin@spbu.ru, **y.fedorova383@gmail.com, *** petrelius1150@yandex.ru

A field study conducted in the European territory of Russia provided the data on abundance, occurrence of common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) and, as a result, allowed to assume the possible boundaries of its naturalization. The result was a better understanding of ecological limits of common ragweed distribution in correlation with limiting factors of the environment. In European Russia the accumulated heat during the seed ripening period is the main limiting factor of ragweed's invasion to the north. The eastern and southeastern boundaries of the common ragweed range in European Russia are limited by insufficient moisture supply. In order to conduct environmental niche modeling of ragweed distribution, considerably accurate ecological maps were used, which were compiled using the data from the MODIS/Terra satellite sensors. As a result, an accurate map of common ragweed distribution for European Russia was produced, showing the possibilities of its naturalization throughout the territory.

Key words: common ragweed, distribution potential, range, occurrence, abundance, environmental limiting factors, ecological amplitudes, environmental niche modeling.