

Издатель

ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»
Российская Федерация, г.Петрозаводск, пр.Ленина,33

Научный электронный журнал

ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ

<http://ecopri.ru>

№ 1 (39). Март, 2021

Главный редактор

А. В. Коросов

Редакционный совет

В. Н. Большаков
А. В. Воронин
Э. В. Ивантер
Н. Н. Немова
Г. С. Розенберг
А. Ф. Титов

Редакционная коллегия

Г. С. Антипина
В. В. Вапиров
Т. О. Волкова
Е. П. Иешко
В. А. Илюха
Н. М. Калинкина
А. М. Макаров
А. Ю. Мейгал
В. К. Шитиков
В. Н. Якимов
A. Gugolek B.
J. B. Jakovlev
R. Krasnov
J. P. Kurhinen

Службы поддержки

А. А. Зорина
А. Г. Марахтанов
Е. В. Голубев
С. Л. Смирнова
Н. Д. Чернышева
М. Л. Киреева

ISSN 2304-6465

Адрес редакции

185910, Республика Карелия, г.Петрозаводск, пр. Ленина, 33. Каб. 453

E-mail: ecopri@psu.karelia.ru

<http://ecopri.ru>





УДК 574.42:551.438.5+004.9(470.325)

РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РАССЕЛЕНИЯ КЛЕНА ЯСЕНЕЛИСТНОГО В ОХРАННОЙ ЗОНЕ УЧАСТКА ЯМСКАЯ СТЕПЬ (ЗАПОВЕДНИК «БЕЛОГОРЬЕ»)

УКРАИНСКИЙ
Павел Александрович

*кандидат географических наук, НИУ «БелГУ»,
pa.ukrainski@gmail.com*

ТЕРЕХИН
Эдгар Аркадьевич

*кандидат географических наук, НИУ «БелГУ»,
terekhin@bsu.edu.ru*

АРБУЗОВА
Марина Владимировна

*ФГБУ "Государственный заповедник "Белогорье"",
mary-ar@mail.ru*

Ключевые слова:
инвазии
возрастная структура
клен ясенелистный
пространственная
статистика
пространственно-
временная динамика
ретроспективный анализ
Ямская степь

Аннотация: Осенью 2014 и 2015 гг. в охранной зоне участка Ямская степь (заповедник «Белогорье»), у границы второго квартала, была вырублена роща опасного интродуцента – клена ясенелистного. После рубки положение деревьев было закартографировано, и по числу годовых колец на спилах определен возраст деревьев. На основе этих данных изучена история расселения клена ясенелистного. Источником заноса является посадка клена ясенелистного в поселке Загорный, расположенном вблизи границы заповедника. Весь исследуемый участок находится в зоне ветрового переноса семян. Но закрепление первых деревьев в 1980 г. произошло только локально – в наиболее увлажненной части межевой канавы. Дальнейшее расселение первоначально происходило вдоль межевой канавы, а затем в стороны от нее. Процесс расселения можно разделить на три этапа, имеющих свои пространственные закономерности. Для первого этапа (1980–1990 гг.) характерно случайное пространственное распределение деревьев. Граница формирующейся заросли расширяется слабо, но растет плотность размещения деревьев внутри нее. Для второго этапа (1990–2000 гг.) характерно групповое пространственное распределение. Активно расширяется граница формирующейся рощи. На третьем этапе (2000–2015 гг.) формируется сплошная сомкнутая заросль, охватывающая весь исследуемый участок. Сохраняется групповой тип распределения, но с течением времени его выраженность ослабевает. Появление новых деревьев отмечается преимущественно в границах заросли. В 2015 г. предположительно начался новый этап расширения, который был искусственно прерван. На этом этапе распространение клена ясенелистного могло снова пойти за пределы заросли, в том числе на территорию заповедника.

© Петрозаводский государственный университет

Получена: 16 июня 2020 года

Подписана к печати: 18 марта 2021 года

Введение

Клен ясенелистный (*Acer negundo* L.) является крайне агрессивным инвазионным видом. Во вторичном ареале он способен обитать в широком диапазоне условий, слабо поражается болезнями и вредителями, может быстро образовывать многоярусные заросли. Клен ясенелистный нередко вытесняет аборигенные виды деревьев, создавая тем самым угрозу биологическому разнообразию (Виноградова и др., 2010; Marozas et al., 2015; Straigyte et al., 2015). Поэтому его проникновение крайне нежелательно для особо охраняемых природных территорий (ООПТ) (Арбузова, 2005; Braun et al., 2016; Dumitraşcu, Bălţeanu, 2014).

Для ряда региональных и федеральных ООПТ в степной и лесостепной зоне отмечено внедрение клена ясенелистного (Арбузова, 2005; Емельянов, Фролова, 2011; Рыжков, Рыжкова, 2012; Агишев, 2017; Фатьянова и др., 2017; Саксонов, 2018). В их число входит участок Ямская степь заповедника «Белогорье». В его охранной зоне образовалась заросль клена ясенелистного, примыкающая к границе заповедника (Арбузова, Украинский, 2017).

В большинстве существующих исследований анализируется только текущее распространение клена ясенелистного (Samenp et al., 2016). Временная динамика процесса инвазии исследуется достаточно редко. Существующие исследования такого рода сосредоточены в основном на оценке изменения площади, занятой зарослями клена ясенелистного (Колтунова, Кузьмин, 2017). Представленная работа направлена на восстановление истории расселения клена ясенелистного в охранной зоне Ямской степи. Эта задача включает в себя определение численности и плотности размещения деревьев в разные хронологические срезы, определение типа пространственного распределения, выявление основных направлений расселения.

Материалы

Исследуемая территория находится в охранной зоне участка Ямская степь заповедника «Белогорье» (Белгородская область, Губкинский городской округ). Граница исследуемой территории проведена по периметру заросли клена ясенелистного. Эта заросль имеет форму полосы, протянувшейся вдоль межевой канавы, разделяющей второй квартал Ямской степи и охранную зону заповедника. С севера на юг эта полоса про-

тягивается на 177 м. Ширина полосы колеблется от 13 до 17 м. Площадь исследуемой территории составляет 3296 м².

С запада к исследуемой территории, в центральной ее части, примыкает поселок Загорный. К настоящему времени он является фактически нежилым, за исключением кордона заповедника (рис. 1). Большая часть строений находится в полуразрушенном состоянии. На данный момент поселок уже можно считать постселитебной территорией. В Белгородской области для таких территорий характерно формирование лесных сообществ, в которых клен ясенелистный выступает видом-средообразователем (Голеусов, Артищев, 2018).

На территории поселка Загорный сохранилась рядовая посадка, отделявшая усадьбы поселка от огородов. Эта посадка является предполагаемым и наиболее вероятным источником заноса клена ясенелистного в охранную зону Ямской степи. В результате заноса из поселка в межевой канаве и вдоль нее сформировалась полночленная популяция клена ясенелистного, размножение в которой происходило как семенным, так и вегетативным путем. На территорию прилегающего второго квартала заповедника клен ясенелистный практически не проник. Здесь было обнаружено только одно дерево (Арбузова и др., 2014). Расселению клена ясенелистного внутри заповедного участка мешал режим периодического сенокосения, поддерживаемый в Ямской степи, и наличие плотной степной дернины (Арбузова, Украинский, 2017).

Исходные данные собирались осенью 2014 и 2015 гг. В это время проводилась расчистка межевой канавы и прилегающей к ней полосы охранной зоны от клена ясенелистного. Параллельно с этим выполнялось картографирование расположения спиленных деревьев (Арбузова, Украинский, 2017). Их положение фиксировалось относительно межевой канавы. Для этого измерялось расстояние от дерева до межевой канавы и расстояние, пройденное по межевой канаве от начальной точки. По этим измерениям на миллиметровой бумаге была составлена первичная схема размещения деревьев. Географическая привязка отсканированной схемы и оцифровка положения деревьев выполнялись в программе ArcGIS.

Чтобы восстановить историю распространения клена ясенелистного, необходимо было проанализировать возраст деревьев. Для этого по спилам было посчитано число

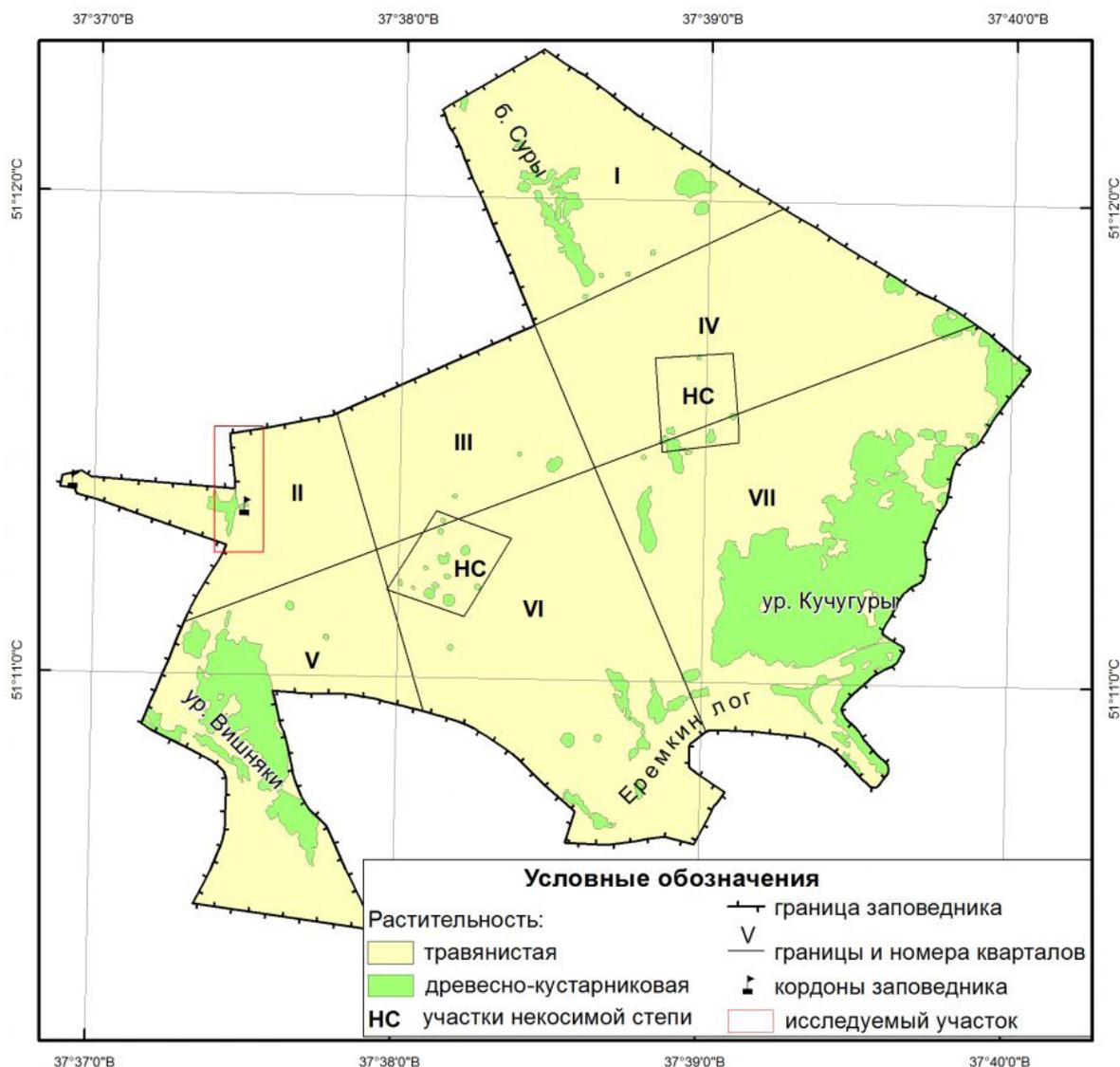


Рис. 1. Расположение исследуемой территории
Fig. 1. Location of the study area

годовых колец. Кроме этого измерялся диаметр ствола. Так как сечение ствола имело не круглую, а эллиптическую форму, то измерялось два диаметра: больший и меньший. У части деревьев от одного корня вырастали два ствола и более. В таких случаях для анализа брались измерения, выполненные по самому старому стволу.

Методы

Главной проблемой при определении возраста деревьев была частичная неполнота данных, т. к. не всегда можно было подсчитать точное число годовых колец. Среди деревьев присутствовали экземпляры с выгнившей сердцевинной. Диаметр выгнившей сердцевинной соответствовал приблизительно 2–3 годам возраста дерева. Также среди деревьев были мертвые экземпляры с полностью прогнившим, трухлявым ство-

лом. Для них возраст был восстановлен с помощью линейной регрессии. Была создана регрессионная модель, связывающая число годовых колец на спице с большим и малым диаметром спицы. Для построения модели использована выборка из деревьев с точным подсчитанным числом годовых колец. Все расчеты проведены в среде статистических вычислений R (R Core Team, 2020).

Ретроспективный анализ распространения клена ясенелистного выполнялся по семи временным срезам, которые были взяты с интервалом в пять лет, от 2015 до 1985 г. Изучение распределения деревьев в пространстве выполнено в среде статистических вычислений R с использованием дополнительных пакетов spatstat (Baddeley et al., 2015; Bivand et al., 2013) и dixon (Dixon, 2002).

Для визуализации положения деревьев в каждом временном срезе был построен растр локальной плотности. При его создании использован переменный радиус поиска, определяемый по методу Абрамсона (Abramson, 1982). Кроме визуального анализа, расположение деревьев оценивалось количественными методами. С помощью теста Кларка – Эванса определялся тип пространственного распределения (Clark, Evans, 1954). С помощью теста Диксона (Dixon, 2002) оценивалась степень сегрегации молодых деревьев, появившихся за последние пять лет, и старых деревьев.

Результаты

На исследуемой территории было закартографировано положение 298 деревьев клена ясенелистного. У 220 деревьев точно подсчитано число годовых колец. У 53 деревьев из-за выгнившей сердцевины число годовых колец подсчитано частично (возраст недооценен на 2–3 года). У 25 деревьев ствол прогнил полностью, и подсчитать число годовых колец оказалось невозможным. Для этих деревьев возраст был восстановлен на основе связей между числом годовых колец и диаметрами спила (малым и большим). Для выборки деревьев, у которых полностью подсчитано число годовых колец, отмечается высокая теснота этих связей. Коэффициент корреляции Спирмена для числа колец и малого диаметра составляет $r = 0.81$ при $p = 1.49 \cdot 10^{-52}$. Коэффициент корреляции Спирмена для числа колец и большого диаметра составляет $r = 0.81$ при $p = 3.07 \cdot 10^{-51}$. Число годовых колец для полностью прогнивших стволов было рассчитано по следующей регрессионной модели:

$$C = 2.31 + 0.64 \cdot D1 - 0.01 \cdot D1 \cdot D2 + 0.39 \cdot D2,$$

где C – число колец на спиле, $D1$ – малый диаметр спила, $D2$ – большой диаметр спила. Модель, использованная для восстановления возраста деревьев с трухлявыми стволами, является статистически значимой (по результатам теста Вальда $F = 128.47$, $p = 8.85 \cdot 10^{-48}$) и имеет коэффициент детерминации $R^2 = 0.64$. Среднеквадратическая ошибка модели составляет 3.87 года.

С учетом восстановленных значений возраст деревьев клена ясенелистного колеблется от 3 до 35 лет. Средний возраст составляет 13.3 года, а стандартное отклонение возраста – 6.16 года. Распределение по пятилетним возрастным группам неравномерное, что подтверждается статистически (по результатам теста хи-квадрат $\chi^2 = 230.52$,

$p = 5.92 \cdot 10^{-47}$). Наблюдается смещение числа деревьев в пятилетних возрастных группах в сторону молодых возрастов (рис. 2).

Интенсивность увеличения количества деревьев в 1985–2015 гг. была непостоянной. До 1995 г. численность клена ясенелистного увеличивалась слабо. В среднем за год появлялось 3.1 нового дерева. В 1995–2010 гг. интенсивность увеличения количества деревьев резко выросла. В этот период за год в среднем появлялось 16.4 нового дерева. После 2010 г. интенсивность прироста численности резко снизилась, составляя 1.5 нового дерева в год. Период усиливающейся интенсивности появления новых деревьев (с 1985 по 2005 г.) совпадает со временем, когда клен ясенелистный заселял полосу вдоль межевой канавы, которая имеет лучшие условия увлажнения (рис. 3). После того как в этой полосе образовалась сомкнутая заросль и клен ясенелистный стал расселяться (в период 2005–2015 гг.) уже на прилегающие территории с худшими условиями увлажнения, интенсивность появления новых деревьев начинала снижаться.

Возраст наиболее старых деревьев, составляющий 35 лет, указывает на 1980 г. как время начала расселения клена ясенелистного вдоль межевой канавы. Большая часть исследуемой территории находится в пределах радиуса 50 м от поселка Загорный. Как раз на такое расстояние разносятся ветром крылатки клена ясенелистного (Sachse et al., 1991). Однако первоначальное заселение произошло не по всей длине межевой канавы, а преимущественно в ее южной части (см. рис. 3). Вероятно, первые деревья закрепились на участке с наиболее благоприятными условиями произрастания. В условиях Ямской степи главным лимитирующим фактором является увлажнение. Межевая канава второго квартала Ямской степи идет с севера на юг по склону вниз, от водораздела до балки Вишняки. Соответственно с севера на юг нарастает увлажнение. И первые деревья закрепились в южной части межевой канавы на расстоянии максимального ветрового переноса крылаток. Примечательно, что после того как межевая канава поворачивает на восток, вдоль северной границы второго квартала, клен ясенелистный в ней перестает обнаруживаться. В 2014 г. там не обнаружено ни одного дерева клена ясенелистного, хотя другие виды деревьев встречаются (Арбузова и др., 2014). В этой части заповедника межевая канава заходит на водораздел и уходит за пределы 50-метрового радиуса от поселка Загорный.

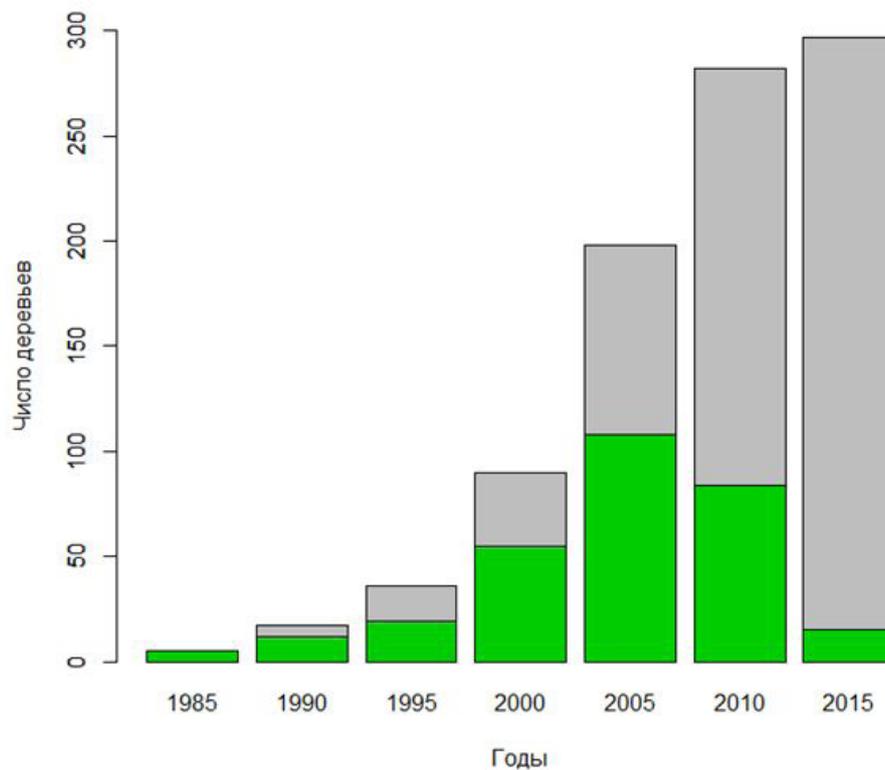


Рис. 2. Численность клена ясенелистного по пятилетним возрастным группам (зеленый цвет – численность деревьев, появившихся за прошедшие 5 лет, серый цвет – накопленная численность с начала распространения)

Fig. 2. The number of boxelder maple by five-year age groups (green color – abundance over the past 5 years, gray color – accumulated abundance from the beginning of distribution)

На открытых местах с плодородными почвами, чему в полной мере соответствует охранная зона Ямской степи, клен ясенелистный начинает плодоносить с 5 лет (Medrzycki, 2002). Поэтому к 1995 г. он мог заноситься не только из поселка Загорный, но и с деревьев, поселившихся у межевой канавы.

До 1990 г. новые деревья появлялись только в первом очаге расселения. К 1995 г. формируется второй очаг расселения – клен ясенелистный закрепляется в северной части исследуемого участка. Во всех последующих временных срезах (2000–2015 гг.) этим двум первичным очагам расселения будут соответствовать зоны максимальной плотности распространения клена ясенелистного. К 2015 г. формируется специфическая картина распределения плотности, когда при перемещении вдоль межевой канавы регулярно чередуются участки повышенной и пониженной плотности деревьев. При этом протяженность таких участков приблизительно одинакова. Подобная картина наблюдается при распространении клена ясе-

нелистного в поймах рек (Абрамова и др., 2019; Valantinaite et al., 2011) и вдоль автомобильных дорог (Леонтьев, Зверева, 2016).

Ритмичная смена участков с повышенной и пониженной плотностью деревьев вдоль линейных объектов (как естественных, так и антропогенных) обуславливается сочетанием размеров и формы территории с расстоянием ветрового переноса. В случае речных долин, автомобильных дорог и межевых канав территория расселения представляет собой узкую, но протяженную полосу с благоприятными для расселения условиями. При этом длина полосыкратно больше, чем расстояние ветрового переноса семян. Мы предполагаем, что аналогично искусственным рвам и канавам расселение клена ясенелистного может происходить вдоль промоин на эродированных склонах.

На примере Ямской степи видно, что достаточно, чтобы протяженность участка превышала не максимальное, а среднее расстояние ветрового переноса (для различных видов рода *Acer* среднее расстояние ветрового переноса в 3–4 раза меньше максимально-

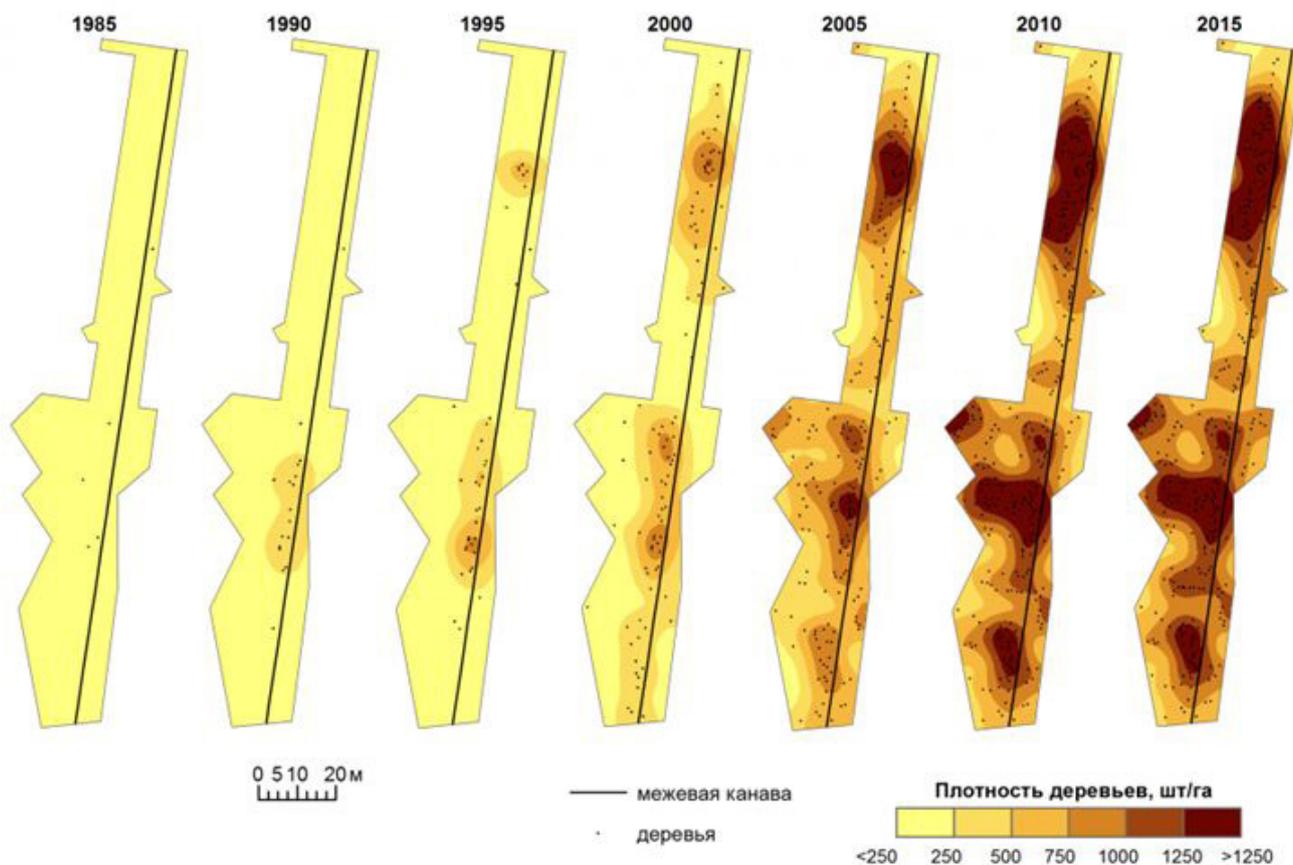


Рис. 3. Распределение деревьев клена ясенелистного на исследуемой территории в различные годы
Fig. 3. Distribution of boxelder maple in the study area in different years

го) (Евстигнеев и др., 2017). В таком случае вокруг первых заселившихся деревьев формируются участки с повышенной плотностью клена ясенелистного. Но чередование участков высокой и низкой плотности не всегда может быть таким четким, как на исследуемой нами территории. Вдоль западной границы второго квартала Ямской степи присутствовал один источник заноса клена ясенелистного. Наличие же нескольких источников заноса может существенно усложнить картину изменения плотности. Помимо ветрового переноса, для клена ясенелистного отмечается перенос водными потоками (Акатов и др., 2014). Этот дополнительный путь переноса может усложнять картину пространственного распределения плотности клена ясенелистного, расселяющегося в поймах рек.

До 2000 г. две первые заросли клена ясенелистного (северная и южная), появившиеся вокруг первичных очагов распространения, продолжают разрастаться вдоль межевой канавы. Одновременно с этим начинается распространение в стороны от межевой канавы. В 2000 г. деревья клена ясенелистного появляются в самой южной части ис-

следуемого участка, удаленной от поселка Загорный более чем на 50 м. Сюда новые деревья заселились уже явно из полосы вдоль межевой канавы.

К 2005 г. северная и южная заросль клена ясенелистного соединяются. И после 2005 г. основное расселения идет уже не вдоль межевой канавы, а вбок от нее. Формируется сплошная сомкнутая заросль.

Кроме увеличения плотности размещения и расширения границы распространения клена ясенелистного в период 1985–2015 гг. менялся тип пространственного распределения деревьев. Для временных срезов 1985 и 1990 гг. величина критерия Кларка – Эванса статистически значимо не отличается от 1.0 (табл. 1). Это указывает на случайное пространственное распределение. А с 1995 по 2015 г. отмечается групповое пространственное распределение, когда значения критерия Кларка – Эванса статистически значимо меньше, чем 1.0 (см. табл. 1).

Степень выраженности группового распределения в пространстве изменялась, что видно по динамике значения критерия Кларка – Эванса. Уменьшение этого значения говорит об усилении тенденции к груп-

пированию, а увеличение – об ослаблении этой тенденции.

В 1995 г. отмечается наибольшая выраженность группового распределения. Это совпадает со временем существования двух четко разделенных групп деревьев – первых двух очагов распространения клена ясенелистного

вдоль межевой канавы. По мере срастания зарослей, формирующихся вокруг двух очагов первичного расселения, выраженность группового распределения ослабевает, а величина критерия Кларка – Эванса растет.

Таблица 1. Результаты теста Кларка – Эванса

Год	R критерий	p значение
1985	1.32	0.17
1990	0.8	0.12
1995	0.54	$1.09 \cdot 10^{-7}$
2000	0.84	0.004
2005	0.91	0.02
2010	0.92	0.01
2015	0.93	0.03

Новые деревья клена ясенелистного появлялись как за пределами формирующейся заросли, так и внутри ее. В первом случае расширялись границы заросли, а во втором – увеличивалась плотность размещения деревьев. В разные периоды жизни заросли

соотношение этих двух процессов отличалось. О том, какой из них преобладал, можно судить по степени пространственной сегрегации молодых (младше 5 лет) и старых деревьев (табл. 2).

Таблица 2. Результаты теста Диксона

Год	Сопоставляемые возрастные группы	S критерий	p значение
1990	Младше 5 лет и 5–10 лет	1.88	0.39
1995	Младше 5 лет и 5–15 лет	4.3	0.12
2000	Младше 5 лет и 5–20 лет	16	0.0003
2005	Младше 5 лет и 5–25 лет	11.52	0.003
2010	Младше 5 лет и 5–30 лет	1.85	0.4
2015	Младше 5 лет и 5–35 лет	27.37	$1.14 \cdot 10^{-6}$

Для временных срезов 1990 и 1995 гг. молодые и старые деревья территориально не отделены друг от друга. Новые деревья появляются в основном в пределах первого очага расселения, расположенного в южной части исследуемой территории. В следующие два временных среза (2000 и 2005 гг.) новые деревья появляются в основном за пределами заросли. По мере срастания двух зарослей, сформировавшихся вокруг первых очагов расселения, величина S-критерия, показывающего степень сегрегации, уменьшается. Резко она увеличивается в 2015 г., достигая максимального значения за весь анализируемый период времени. Возможно, в это время начинался следующий этап расширения заросли клена ясенелистного, который был искусственно прерван.

Изменение степени сегрегации молодых (младше пяти лет) и старых деревьев (см. табл. 2) связано с влиянием древесного по-

лога на прорастание и развитие клена ясенелистного. С одной стороны, известно, что клен ясенелистный теневынослив и хорошо прорастает под пологом деревьев (Костина и др., 2013). Проростки и молодые особи всегда встречаются внутри зарослей клена ясенелистного (Дайнеко и др., 2017). При этом затенение все-таки оказывает влияние на развитие проростков под пологом деревьев (Ефимова, Антонова, 2012). Известно, что на освещенных участках число проростков может быть в два раза больше, чем на затененных (Дайнеко и др., 2017).

Сведения, приведенные в табл. 2, подтверждают влияние затенения. По мере развития заросли клена ясенелистного происходит смыкание крон, увеличение проективного покрытия и, как следствие, увеличение затенения. Из-за этого новые деревья начинают появляться преимущественно по периферии заросли, а не в ее глубине. Соответ-

ственно увеличивается степень сегрегации. Но рост этого показателя (С-критерия) не постоянен. В отдельные периоды может происходить уменьшение степени сегрегации старых и молодых деревьев. Это уменьшение может быть с двумя факторами – отмиранием наиболее старых деревьев внутри заросли клена ясенелистного и наличием позитивного влияния древесного полога на его прорастание. С отмиранием старых деревьев внутри заросли улучшаются условия освещения и увеличивается количество проростков. Позитивное влияние древесного полога на прорастание клена ясенелистного в плакорных условиях заключается в повышенном снегонакоплении внутри заросли, что повышает увлажнение почвы (Сапанов, 2009). До достижения определенной плотности деревьев положительное влияние повышенного снегонакопления превышает отрицательное влияние затенения на прорастание клена ясенелистного под древесным пологом. Для исследуемой территории при плотности до 750 деревьев на гектар молодые деревья появляются в основном под пологом заросли. При плотности свыше 750 деревьев на гектар они начинают появляться преимущественно за пределами заросли (см. рис. 3).

Заключение

В охранной зоне участка Ямская степь, у границы второго квартала, за 35 лет образовалась сомкнутая заросль клена ясенелистного. Процесс ее образования разделяется на три этапа. Первый этап (1980–1990 гг.) начался с появления первых деревьев и закончился образованием первого очага расселения клена ясенелистного вдоль межевой канавы. В это время деревья имели случайное пространственное распределение. Новые деревья появлялись преимущественно вну-

три первого очага расселения. Граница формирующейся заросли расширилась слабо, но росла плотность размещения деревьев внутри нее.

На втором этапе (1990–2000 гг.) заросль клена ясенелистного формируется уже вокруг двух отдельных очагов расселения, к которым в будущем будут приурочены участки максимальной плотности размещения деревьев. Деревья имеют групповое пространственное распределение, тенденция к группированию самая выраженная за весь анализируемый временной период. Новые деревья появляются преимущественно за пределами существующей границы заросли. В основном идет распространение клена ясенелистного вдоль межевой канавы, а также начинается расселение вбок от нее.

На третьем этапе (2000–2015 гг.) формируется сплошная сомкнутая заросль клена ясенелистного, охватывающая весь исследуемый участок. Деревья по-прежнему имеют групповое распределение в пространстве, но с каждым временным срезом оно все менее выраженное. Новые деревья появляются в основном в границах заросли.

Выявленные пространственные закономерности расселения клена ясенелистного вдоль линейных объектов (межевых канав) обусловлены сочетанием конфигурации территории, расположения источника заноса и расстояния массового ветрового переноса семян. Эти закономерности могут быть экстраполированы на территории, схожие с окрестностями Ямской степи по климатическим, геоморфологическим условиям и характеру землепользования. Такие условия наблюдаются на возвышенностях лесостепной зоны Восточно-Европейской равнины (Приднепровская, Среднерусская и Приволжская возвышенности).

Библиография

- Агишев В. С. Таксономический состав пойменных прирусловых черноольшаников реки Боровка национального парка «Бузулукский бор» // Actualscience. 2017. Т. 3. № 1. С. 3–4.
- Абрамова Л. М., Агишев В. С., Хазиахметов Р. М. Вселение клена ясенелистного (*Acer negundo* L., Asteraceae) в пойменные леса северо-запада Оренбургской области // Российский журнал биологических инвазий. 2019. Т. 12. № 2. С. 2–24.
- Акатов В. В., Акатов Т. В., Гребенко Е. А. Изменения верхней границы распространения акации белой и клена ясенелистного в долине реки Белая (Западный Кавказ) // Лесоведение. 2014. № 1. С. 21–33.
- Арбузова М. В. Древесные интродуценты в особо охраняемых природных территориях Белгородской области // Лесопользование, экология и охрана лесов: фундаментальные и прикладные аспекты: Материалы международной научно-практической конференции (г. Томск, 21–22 марта 2005 г.). Новосибирск: STT, 2005. С. 21–22.
- Арбузова М. В., Украинский П. А. Клен ясенелистный (*Acer negundo* L.) в условиях Ямской степи (Белгородская область) // Флора и растительность Центрального Черноземья: Материалы межрегиональной научной конференции, посвященной Году особо охраняемых природных

- территорий и экологии (г. Курск, 8 апреля 2017 г.). Курск: Мечта, 2017. С. 134–135.
- Арбузова М. В., Украинский П. А., Щербаков К. В. Древесно-кустарниковая растительность межевой канавы и прилегающей к ней территории Ямской степи // Флора и растительность Центрального Черноземья: Материалы межрегиональной научной конференции (г. Курск, 5 апреля 2014 г.). Курск: Мечта, 2014. С. 107–112.
- Виноградова Ю. К., Майоров С. Р., Хорун Л. В. Черная книга флоры Средней России. М.: ГЕОС, 2010. 512 с.
- Голеусов П. В., Артищев В. Е. Постселитебные геосистемы как ренатурационные элементы экологической сети Белгородской области // Современные проблемы ландшафтоведения и геоэкологии: Материалы VI Международной научной конференции (к 100-летию со дня рождения профессора В. А. Дементьева). Минск: БГУ, 2018. С. 116–119.
- Дайнеко Н. М., Тимофеев С. Ф., Булохов А. Д., Панасенко Н. Н. Инвазия клена ясенелистного (*Acer negundo* L.) в условиях Добрушского района Гомельской области // Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины. 2017. № 3. С. 35–39.
- Евстигнеев О. И., Мурашев И. А., Коротков В. Н. Анемохория и дальность рассеивания семян деревьев восточноевропейских лесов // Лесоведение. 2017. № 1. С. 45–52.
- Емельянов А. В., Фролова С. В. Клен ясенелистный (*Acer negundo* L.) в прибрежных фитоценозах реки Ворона // Российский журнал биологических инвазий. 2011. Т. 4. № 2. С. 40–43.
- Ефимова И. В., Антонова И. С. Развитие однолетних проростков *Acer negundo* L. в разных климатических и экологических условиях // Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. 3. Биология. 2012. № 3. С. 31–37.
- Колтунова А. И., Кузьмин Н. И. Клен ясенелистный (*Acer negundo* L.) в Оренбуржье // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 5. С. 211–213.
- Костина М. В., Минькова Н. О., Ясинская О. И. Особенности клена ясенелистного в зеленых насаждениях Москвы // Российский журнал биологических инвазий. 2013. № 4. С. 32–43.
- Леонтьев Д. Ф., Зверева К. А. Инвазия клена ясенелистного и облепихи по Московскому тракту на участке «Иркутск-Ангарск» // Бюллетень науки и практики. 2016. № 11. С. 40–44. DOI: 10.5281/zenodo.166777.
- Рыжков О. В., Рыжкова Г. А. Использование ГИС-картографирования для изучения динамики растительного покрова пастбища Центрально-Черноземного заповедника и проектирования заповедно-режимных мероприятий // Режимы степных особо охраняемых природных территорий: Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 130-летию со дня рождения профессора В. В. Алехина (г. Курск – пос. Заповедный, 15–18 января 2012 г.). Курск, 2012. С. 168–187.
- Саксонов С. С. Инвазии *Acer negundo* L. (Aceraceae) в Ульяновской области // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2018. Т. 27. № 3. С. 215–219. DOI: 10.24411/2073-1035-2018-10072.
- Сапанов М. К. Защитное лесоразведение в аридных регионах: исторический опыт и современные решения // Структура и функции лесов Европейской России. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2009. С. 346–368.
- Фатьянова Е. В., Лисицына О. В., Антонова И. С. Расселение клена ясенелистного (*Acer negundo* L.) в европейской лесостепи на примере некоторых географических пунктов Белгородской области и Республики Татарстан // Биоразнообразие: подходы к изучению и сохранению: Материалы Международной научной конференции, посвященной 100-летию кафедры ботаники Тверского государственного университета (г. Тверь, 8–11 ноября 2017 г.). Тверь: Тверской гос. ун-т, 2017. С. 418–420.
- Abramson I. On bandwidth variation in kernel estimates – a square root law // Annals of Statistics. 1982. Vol. 10. № 4. P. 1217–1223.
- Baddeley A., Rubak E., Turner R. Spatial point patterns: methodology and applications with R. London: Chapman and Hall/CRC Press, 2015. 810 p.
- Bivand R. S., Pebesma E., Gómez-Rubio V. Applied Spatial Data Analysis with R. NY: Springer New York, 2013. 405 p. DOI: 10.1007/978-1-4614-7618-4.
- Braun M., Schindler S., Essl F. Distribution and management of invasive alien plant species in protected areas in Central Europe // Journal for Nature Conservation. 2016. Vol. 33. P. 48–57. DOI: 10.1016/j.jnc.2016.07.002.
- Camenen E., Porté A. J., Benito Garzón M. American trees shift their niches when invading Western Europe: evaluating invasion risks in a changing climate // Ecology and evolution. 2016. Vol. 20. № 6. P. 7263–7275. DOI: 10.1002/ece3.2376.
- Clark P. J., Evans F. C. Distance to Nearest Neighbor as a Measure of Spatial Relationships in Populations // Ecology. 1954. Vol. 35. № 4. P. 445–453. DOI: 10.2307/1931034.
- Dixon P. M. Nearest-neighbor contingency table analysis of spatial segregation for several species // Ecoscience. 2002. Vol. 9. № 2. P. 142–151. DOI: 10.1080/11956860.2002.11682700.
- Dumitrașcu M., Bălțeanu D. Invasive Terrestrial Plant Species in the Romanian Protected Areas: A Geographical Approach // Revue Roumaine de Géographie / Romanian Journal of Geography. 2014. Vol. 58. № 2. P. 145–160.

- Marozas V., Cekstere G., Laivins M., Straigyte L. Comparison of neophyte communities of *Robinia pseudoacacia* L. and *Acer negundo* L. in the eastern Baltic Sea region cities of Riga and Kaunas // Urban Forestry & Urban Greening. 2015. Vol. 14. № 4. P. 826–834. DOI: 10.1016/j.ufug.2015.08.003.
- Mędrzycki P. Inwazja amerykańskiego klonu *Acer negundo* L. a użytkowanie ziemi w Puszczy Białowieskiej / Praca doktorska. Warszawa: Uniwersytet Warszawski, 2002. 96 p.
- R Core Team. 2020. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. URL: <https://www.R-project.org>.
- Sachse U., Starfinger U., Kowarik I. Synanthropic woody species in the urban area of Berlin (West) // Urban ecology. The Hague: SPB Academic Publishing, 1990. P. 233–243.
- Straigyte L., Cekstere G., Laivins M., Marozas V. The spread, intensity and invasiveness of the *Acer negundo* in Riga and Kaunas // Dendrobiology. 2015. Vol. 74. P. 157–168. DOI: 10.12657/denbio.074.016.
- Valantinaite A., Straigyte L., Jurksiene G. Comparative analysis of invasion intensity of box elder (*Acer negundo* L.) and sosnowskyi hogweed (*Heracleum sosnowskyj* Manden) // Rural Development in Global Changes. 2011. Vol. 5. № 2. P. 161–166.

Благодарности

Исследование проведено при финансовой поддержке РФФИ (проект 18-35-20018 мол_а_вед).

RETROSPECTIVE ANALYSIS OF SPATIAL PATTERNS OF OF ASH-LEAVED MAPLE SETTLEMENT IN THE PROTECTIVE ZONE OF THE YAMSKAYA STEPPE (BELOGORYE NATURE RESERVE)

UKRAINSKY

Pavel Aleksandrovich

PhD, BelSU, pa.ukrainski@gmail.com

TEREKHIN

Edgar Arkadievich

PhD, BelSU, terekhin@bsu.edu.ru

ARBUZOVA

Marina Vladimirovna

FSBI "State Reserve" Belogorye ", mary-ar@mail.ru

Keywords:

ash-leaved maple
invasions
retrospective analysis
spatial statistic
spatio-temporal
dynamics
Yamskaya steppe

Summary: In the fall of 2014 and 2015, in the protective zone of the Yamskaya Steppe (Belogorye nature reserve), near the border of the second quarter, a grove of dangerous introducer – ash-leaved maple was cut down. After felling, we mapped the position of the trees and estimated their age by the number of annual rings on saw cuts. Based on these data, we studied the history of settlement of ash-leaved maple. The source of bringing is the planting of ash-leaved maple in the village of Zagorny, located near the border of the reserve. The entire study area is in the zone of wind transfer of seeds. But the first trees were fixed in 1980 only locally – in the most humid part of the boundary ditch. Further resettlement initially took place along the boundary ditch, and then to the sides of it. The resettlement process can be divided into three stages, which have their spatial patterns of settlement. The first stage (1980–1990) is characterized by a random spatial distribution of trees. The border of the forming thicket expands slightly, but the density of trees inside it increases. The second stage (1990–2000) is characterized by a group spatial distribution. The border of the emerging grove is actively expanding. At the third stage (2000–2015), a continuous closed thicket is formed, covering the entire studied area. The group type of distribution is preserved, but over time its severity weakens. The appearance of new trees is noted mainly within the boundaries of the thicket. In 2015, presumably, a new expansion stage began, which was artificially interrupted. At this stage, the spread of ash-leaved maple could again go beyond the thicket, including the territory of the reserve.

Received on: 16 June 2020

Published on: 18 March 2021

References

- Abramova L. M. Agishev V. S. Haziahmetov R. M. Immigration of *Acer negundo* L., Asteraceae into the floodplain forests of the north-west of the Orenburg region, *Rossiyskiy zhurnal biologicheskikh invaziy*. 2019. T. 12. No. 2. P. 2–24.
- Abramson I. On bandwidth variation in kernel estimates – a square root law, *Annals of Statistics*. 1982. Vol. 10. No. 4. P. 1217–1223.
- Agishev V. S. Taxonomical structure of bottomland riverbed black alder forest of the river Borovka of the National park «Buzuluk bor», *Actualscience*. 2017. T. 3. No. 1. P. 3–4.
- Akatov V. V. Akatov T. V. Grebenko E. A. Change of the altitudinal limit of black locust and american maple growth in Belaya river valley, Western Caucasus, *Lesovedenie*. 2014. No. 1. P. 21–33.
- Arbuzova M. V. Ukrainskiy P. A. Scherbakov K. V. Tree-shrubby vegetation of a boundary ditch and the adjacent territory of the Yamskaya steppe, *Flora i rastitel'nost' Central'nogo Chernozem'ya: Materialy mezhhregional'noy nauchnoy konferencii* (g. Kursk, 5 aprelya 2014 g.). Kursk: Mechta, 2014. P. 107–112.
- Arbuzova M. V. Ukrainskiy P. A. Ash-leaved maple (*Acer negundo* L.) in the conditions of the Yamskaya steppe

- (Belgorod region), *Flora i rastitel'nost' Central'nogo Chernozem'ya: Materialy mezhtsebnogo nauchnoy konferencii, posvyaschenoy Godu osobo ohranyaemykh prirodnykh territoriy i ekologii* (g. Kursk, 8 aprelya 2017 g.). Kursk: Mechta, 2017. P. 134–135.
- Arbuzova M. V. Wood introducentes in natural protected areas of the Belgorod region, *Lesopol'zovanie, ekologiya i ohrana lesov: fundamental'nye i prikladnye aspekty: Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii* (g. Tomsk, 21–22 marta 2005 g.). Novosibirsk: STT, 2005. P. 21–22.
- Baddeley A., Rubak E., Turner R. *Spatial point patterns: methodology and applications with R*. London: Chapman and Hall/CRC Press, 2015. 810 p.
- Bivand R. S., Pebesma E., Gómez-Rubio V. *Applied Spatial Data Analysis with R*. NY: Springer New York, 2013. 405 p. DOI: 10.1007/978-1-4614-7618-4.
- Braun M., Schindler S., Essl F. Distribution and management of invasive alien plant species in protected areas in Central Europe, *Journal for Nature Conservation*. 2016. Vol. 33. P. 48–57. DOI: 10.1016/j.jnc.2016.07.002.
- Camenen E., Porté A. J., Benito Garzón M. American trees shift their niches when invading Western Europe: evaluating invasion risks in a changing climate, *Ecology and evolution*. 2016. Vol. 20. No. 6. P. 7263–7275. DOI: 10.1002/ece3.2376.
- Clark P. J., Evans F. P. Distance to Nearest Neighbor as a Measure of Spatial Relationships in Populations, *Ecology*. 1954. Vol. 35. No. 4. P. 445–453. DOI: 10.2307/1931034.
- Dayneko N. M., Timofeev S. F., Bulohov A. D., Panasenko N. N. Invasion of boxelder maple (*Acer negundo* L.) in conditions of the Dobrush district of the Gomel region, *Izvestiya Gomel'skogo gosudarstvennogo universiteta imeni F. Skoriny*. 2017. No. 3. P. 35–39.
- Dixon P. M. Nearest-neighbor contingency table analysis of spatial segregation for several species, *Ecoscience*. 2002. Vol. 9. No. 2. P. 142–151. DOI: 10.1080/11956860.2002.11682700.
- Dumitrașcu M., Bălțeanu D. Invasive Terrestrial Plant Species in the Romanian Protected Areas: A Geographical Approach, *Revue Roumaine de Géographie, Romanian Journal of Geography*. 2014. Vol. 58. No. 2. P. 145–160.
- Efimova I. V., Antonova I. S. Seedlings development of *Acer negundo* L. in different climatic and ecological conditions, *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Ser. 3. Biologiya*. 2012. No. 3. P. 31–37.
- Emel'yanov A. V., Frolova S. V. *Acer negundo* L. in coastal phytocenoses of the Vorona river, *Rossiyskiy zhurnal biologicheskikh invaziy*. 2011. T. 4. No. 2. P. 40–43.
- Evstigneev O. I., Murashev I. A., Korotkov V. N. Wind dispersal and the range of the dispersal of tree seeds in east-european forests, *Lesovedenie*. 2017. No. 1. P. 45–52.
- Fat'yanova E. V., Lisicyna O. V., Antonova I. S. Settlement of *Acer negundo* L. in European forest-steppe zone on the examples of some geographical points of the Belgorod region and the Republic of Tatarstan, *Bioraznoobrazie: podhody k izucheniyu i sohraneniyu: Materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferencii, posvyaschenoy 100-letiyu kafedry botaniki Tverskogo gosudarstvennogo universiteta* (g. Tver', 8–11 noyabrya 2017 g.). Tver': Tverskoy gop. un-t, 2017. P. 418–420.
- Goleusov P. V., Artischev V. E. Post-residential geosystems as renaturation elements of the ecological network of the Belgorod region, *Sovremennye problemy landshaftovedeniya i geoekologii: Materialy VI Mezhdunarodnoy nauchnoy konferencii (k 100-letiyu so dnya rozhdeniya professora V. A. Dement'eva)*. Minsk: BGU, 2018. P. 116–119.
- Koltunova A. I., Kuz'min N. I. Ash-leaved maple (*Acer negundo* L.) in the Orenburg region, *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2017. No. 5. P. 211–213.
- Kostina M. V., Min'kova N. O., Yasinskaya O. I. Some biological features of *Acer negundo* L. in green plantations of Moscow, *Rossiyskiy zhurnal biologicheskikh invaziy*. 2013. No. 4. P. 32–43.
- Leont'ev D. F., Zvereva K. A. The invasion of ash-leaved maple and sea buckthorn on the Moscow path on the site Irkutsk-Angarsk, *Byulleten' nauki i praktiki*. 2016. No. 11. P. 40–44. DOI: 10.5281/zenodo.166777.
- Marozas V., Cekstere G., Laivins M., Straigyte L. Comparison of neophyte communities of *Robinia pseudoacacia* L. and *Acer negundo* L. in the eastern Baltic Sea region cities of Riga and Kaunas, *Urban Forestry & Urban Greening*. 2015. Vol. 14. No. 4. P. 826–834. DOI: 10.1016/j.ufug.2015.08.003.
- Mędrzycki P. Inwazja amerykańskiego klonu *Acer negundo* L. a użytkowanie ziemi w Puszczy Białowieskiej, *Praca doktorska*. Warszawa: Uniwersytet Warszawski, 2002. 96 p.
- R Core Team. 2020. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. URL: <https://www.R-project.org>.
- Ryzhkov O. V., Ryzhkova G. A. The use of GIS-mapping to study the dynamics of the vegetation cover of the pasture of the Central Chernozem Reserve and the design of reserve regime measures, *Rezhimy stepnykh osobo ohranyaemykh prirodnykh territoriy: Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyaschenoy 130-letiyu so dnya rozhdeniya professora V. V. Alehina* (g. Kursk – pop. Zapovednyy, 15–18 yanvarya 2012 g.). Kursk, 2012. P. 168–187.
- Sachse U., Starfinger U., Kowarik I. Synanthropic woody species in the urban area of Berlin (West), *Urban*

- ecology. The Hague: SPB Academic Publishing, 1990. P. 233–243.
- Saksonov S. S. Invasion of *Acer negundo* L. (Aceraceae) in the Ulyanovsk region, Samarskaya Luka: problemy regional'noy i global'noy ekologii. 2018. T. 27. No. 3. P. 215–219. DOI: 10.24411/2073-1035-2018-10072.
- Sapanov M. K. Protective afforestation in arid regions: historical experience and modern solutions, *Struktura i funkcii lesov Evropeyskoy Rossii*. M.: Tovarischestvo nauchnyh izdaniy KMK, 2009. P. 346–368.
- Straigyte L., Cekstere G., Laivins M., Marozas V. The spread, intensity and invasiveness of the *Acer negundo* in Riga and Kaunas, *Dendrobiology*. 2015. Vol. 74. P. 157–168. DOI: 10.12657/denbio.074.016.
- Valantinaite A., Straigyte L., Jurksiene G. Comparative analysis of invasion intensity of box elder (*Acer negundo* L.) and sosnowskyi hogweed (*Heracleum sosnowskyj* Manden), *Rural Development in Global Changes*. 2011. Vol. 5. No. 2. P. 161–166.
- Vinogradova Yu. K. Mayorov S. R. Horun L. V. *The black book of flora of Central Russia*. M.: GEOS, 2010. 512 p.