

УДК 581.5

Видовой состав, структура и пространственное распределение чужеродного компонента флоры Юга Российского Причерноморья

Егошин Алексей Валентинович

ФГБУ «Сочинский национальный парк», г. Сочи, Россия;

avegoshin@gmail.com

Аннотация:

Приведён видовой состав чужеродной флоры Юга Российского Причерноморья. Проведён анализ таксономического, биоморфологического, гигроморфического спектров заносных видов. Классифицирован чужеродный компонент флоры по степени натурализации, происхождению, и времени заноса. Установлено, что иноземный компонент флоры региона наиболее представлен видами семейств *Amaranthaceae*, *Asteraceae* и *Poaceae*. По способу заноса большинство чужеродных видов растений является непреднамеренно занесенными и приурочено к нарушенным местообитаниям. При этом родиной 41 % всех непреднамеренно интродуцированных видов региона является Новый Свет. В результате пространственного моделирования установлено, что биоклиматические условия района исследований наиболее комфортны для произрастания только 74 из 182 наиболее агрессивных чужеродных видов растений. Проведено районирование изучаемого района, в ходе которого установлено, что площадь самого инвазионно-опасного района Большого Сочи составляет 1222.2 км² (36 %).

Ключевые слова: чужеродные виды, адвентивные виды, иноземные виды, инвазии, Юг Российского Причерноморья, Кавказ, Сочи, моделирование, MaxEnt, GIS.

The species composition, structure and spatial distribution of the alien component of the flora of the South of the Russian Black Sea region

Egoshin Alexey Valentinovich

Sochi National Park, Sochi, Russia; e-mail: avegoshin@gmail.com

Abstract:

The species composition of the alien flora of the South of the Russian Black Sea coast is given. The analysis of taxonomic, biomorphological, hygromorphic spectra of introduced species is carried out. The alien component of the flora is classified according to the degree of naturalization, origin, and time of introduction. It has been established that the alien component of the flora of the region is most represented by species of the families *Amaranthaceae*, *Asteraceae*, and *Poaceae*. By the method of introduction, most alien plant species confined to disturbed habitats. At the same time, the homeland of 41% of all unintentionally introduced species of the region is the Americas.

As a result of spatial modelling, it was found that the bioclimatic conditions of the research area are most comfortable for growing only 74 of the 182 most aggressive alien plant species. The zoning of the study area was carried out. It was established that the area of the most invasive-dangerous area of Greater Sochi is 1222.2 km² (36 %).

Keywords: alien species, invasions, South of the Russian Black Sea region, Caucasus, Sochi, modelling, MaxEnt, GIS.

Введение

Привнесение элементов чужеродной флоры влечёт за собой существенное изменение целого ряда параметров нативных экосистем: биологической продуктивности, обилия и константности видов, интенсивности круговорота веществ и т.д. что потенциально может способствовать изменению экосистемного разнообразия на всех уровнях (альфа, бета, гамма). В худшем случае это может привести к исчезновению некоторых аборигенных видов и трансформации экосистем в целом. В глобальном масштабе этот процесс способствует унификации флоры [6, 14, 21]. В результате интенсификации процессов глобализации и климатических изменений эта угроза с каждым годом увеличивается [19], поэтому моделирование пространственного распределения видов-вселенцев является актуальной задачей [15].

Успешность чужеродных видов на новой родине вызвана целым рядом факторов.

Во-первых, многие пришлые виды обладают чётко-выраженными физиологическими конкурентными преимуществами [3]. Эти преимущества заключаются в высокой скорости роста, а также созревания плодов и эффективных способах распространения семян, которые к тому же обладают высокой энергией роста. Именно поэтому, многие пришлые виды являются у себя на родине видами начальных стадий сукцессий [19]. Кроме того, успешные чужеродные виды зачастую вступают в различного рода аллелопатические взаимодействия, подавляя рост и развитие конкурентов. Как результат, в отсутствие специализированных фитофагов виды-вселенцы могут получать существенные конкурентные преимущества на новой родине.

Весомую роль в успешной натурализации чужеродных видов играет видовое разнообразие экосистемы-акцептора [1, 2, 9, 12, 13]. Полночленные экосистемы, отличающиеся высоким видовым разнообразием, как правило, менее подвержены внедрению чужеродных видов.

Большую роль в успешности инородных видов играют и биоклиматические условия новой родины [10]. Поэтому юг Российского Причерноморья и Кавказ, характеризующиеся большим разнообразием природно-климатических условий, потенциально способны принять большое количество инородных видов из многих флористических районов Земли.

Значительное влияние на процессы распространения иноземных видов оказывает и антропогенная деятельность, сопровождающаяся различного рода нарушениями экосистем. Эти нарушения влекут за собой изменения видового состава и обилия видов, в результате чего в экосистемах появляются свободные ресурсы, на которые могут «претендовать» чужеродные виды.

В последнее время юг Российского Причерноморья испытывает значительное антропогенное воздействие, включая «стихийную» интродукцию новых видов растений, что представляет серьёзную угрозу для уникального биоразнообразия особо охраняемых природных территорий (далее ООПТ) Западного Кавказа. Поэтому с точки зрения сохранения биоразнообразия очень важно своевременно выделить из пула чужеродных видов, те виды, которые обладают способностью внедряться в малонарушенные и ненарушенные экосистемы ООПТ, а также дать прогнозную оценку распространения этих видов.

В работе проанализирована структура и состав чужеродной флоры региона, а также проведена оценка потенциальной инвазионной опасности пришлых видов, которая была положена в основу районирования изучаемой территории.

Материал и методы исследования

Регионом исследований является район Большого Сочи, простирающийся от реки Магри – на северо-западе и до реки Псоу – на юго-востоке, на границе с Абхазией. Значительную часть площади (83 %) изучаемого района занимают особо охраняемые природные территории Федерального значения (Сочинский национальный парк, Кавказский государственный природный биосферный заповедник).

В ходе проведения полевых исследований с 2015 по 2018 год фиксировали географические координаты мест произрастания заносных видов растений, их приуроченность к населённым пунктам, дорогам, ЛЭП (антропогенная нарушенность территории), а также водотокам и вывалам деревьев (естественная нарушенность территории). Кроме этого, для последующего моделирования использовали географические координаты мест распространения изучаемых агрессивных чужеродных видов Большого Сочи, представленные на сайте глобального информационного фонда по биоразнообразию (www.gbif.org) и картографической системы веб-документирования распространения инвазионных видов (www.eddmaps.org). Далее набор данных о распространении чужеродных видов был пространственно "прорежен" с использованием инструментария SDMtoolbox программного комплекса ArcGIS (дистанция прореживания 1 км). В результате суммарное количество мест произрастания чужеродных видов составило 420642. Минимальное количество пространственных данных о местах произрастания, использованных при дальнейшем анализе,

имел вид *Paulownia tomentosa* (Thunb.) Steud (375 точек), максимальное – *Coryza canadensis* (L.) Cronquist (20913 точек). Моделирование пространственного распределения чужеродных видов, способных проникать в нативные экосистемы различной степени нарушенности, проводили в среде MaxEnt (v. 3.3.3k) методом максимальной энтропии [18, 20]. Расчёты проводили в 15 повторностях, выполняя 10 тысяч итераций по каждому пикселю, используемых в ходе анализа растровых изображений. Для каждого изучаемого вида 25 % точек находок использовали в качестве тестовой выборки, 75 % – в качестве обучающей. [22].

При этом в качестве источника предикторных переменных использовали биоклиматические растры Worldclim (www.worldclim.org) (табл. 1).

Таблица 1 – Биоклиматические переменные BIOCLIM

Код	Биоклиматический параметр
BIO1	Средняя годовая температура
BIO2	Средняя суточная амплитуда температуры
BIO3	Изотермичность (BIO1/BIO7) * 100
BIO4	Стандартное отклонение температур
BIO5	Максимальная температура самого тёплого месяца года
BIO6	Минимальная температура самого холодного месяца года
BIO7	Годовая амплитуда температуры (BIO5-BIO6)
BIO8	Средняя температура самой влажной четверти года
BIO9	Средняя температура самой сухой четверти года
BIO10	Средняя температура самой тёплой четверти года
BIO11	Средняя температура самой холодной четверти года
BIO12	Годовая сумма осадков
BIO13	Сумма осадков в самом влажном месяце года
BIO14	Сумма осадков в самом сухом месяце года
BIO15	Коэффициент вариации осадков
BIO16	Сумма осадков во влажной четверти года
BIO17	Сумма осадков в сухой четверти года
BIO18	Сумма осадков в самой тёплой четверти года
BIO19	Сумма осадков в самой холодной четверти года

Дороги вносят существенный вклад в распространение инородных видов [16, 23]. На юге Российского Причерноморья помимо дорог “каналами” распространения чужеродных видов являются горные реки. Мощные паводки вызывают нарушения лесных экосистем и переносят семена пришлых видов, что способствует ускоренному проникновению в природные экосистемы целого ряда чужеродных видов. Поэтому при моделировании пространственного распределения пришлых видов помимо биоклиматических использовали растровые слои, содержащие данные об удалённости точек пространства, как от дорог и населённых пунктов, так и от рек (рис. 1). Эти растровые слои были получены с помощью инструмента Евклидово расстояние (Euclidean distance) в среде ArcGIS.

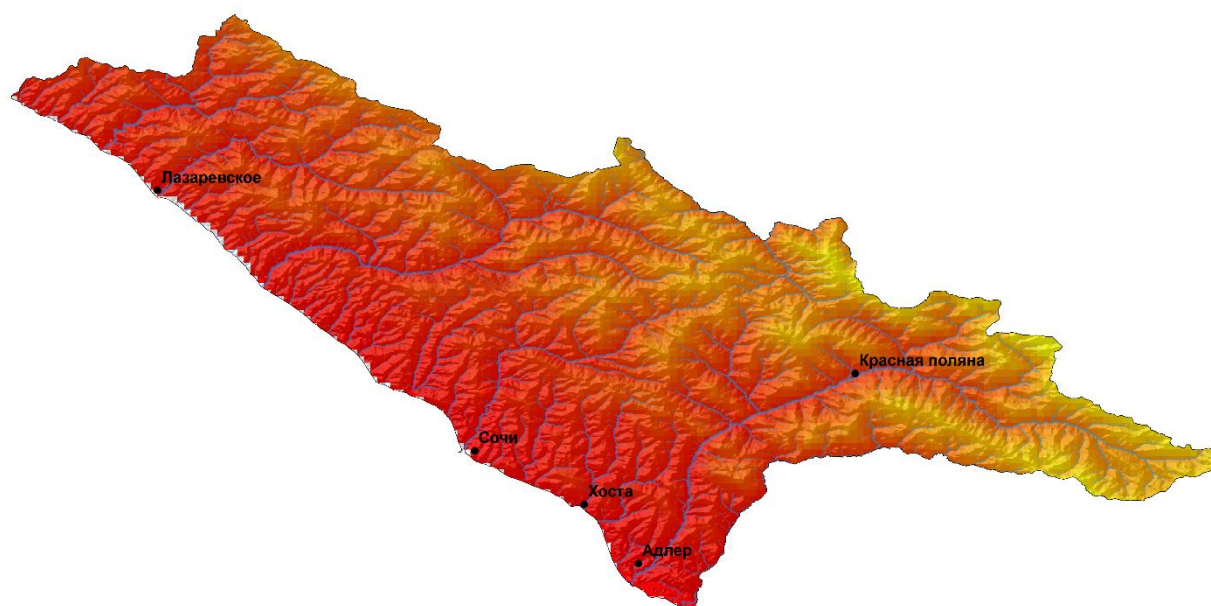


Рис. 1 – Удалённость точек пространства от водотоков, полученная с помощью инструмента *Euclidean distance* (красным цветом обозначены территории, наиболее близко расположенные к водотокам)

Результаты моделирования были представлены в виде растровых картографических изображений, каждая ячейка которых (в нашем случае площадь ячейки составляла 1 км²) содержит вероятностную оценку пригодности биоклиматических условий местности требованиям вида. Далее проводили дискретную классификацию полученного растра. Для этого в качестве порогового значения использовали 10-ый перцентиль. Значения ниже 10 перцентиля считали, как неудовлетворяющие экологическим требованиям видов.

Полученные картографические изображения пригодности территории для произрастания пришлых видов использовали для районирования региона исследований. При этом учитывали способность чужеродных видов проникать в экосистемы различной степени нарушенности. Для этого все виды-вселенцы региона были подразделены на 6 классов:

- 1) виды, которые встречаются в местах заноса не более двух вегетационных сезонов, а затем исчезают без должного агротехнического ухода;
- 2) виды, произрастающие в местах заноса, но не размножающиеся без участия человека (растения парков);
- 3) виды, произрастающие в местах заноса продолжительное время, размножаются, но не покидают место заноса;
- 4) виды, распространяющиеся в антропогенно нарушенных экосистемах (дороги, ЛЭП и т.д.)

- 5) виды, способны внедряться не только в антропогенно-нарушенные, но и в естественно нарушенные экосистемы (прибрежные местообитания, вывалы деревьев);
- 6) виды, обладающие способностью натурализоваться в естественных экосистемах, не имеющих следов естественных и антропогенных нарушений.

На следующем этапе умножали значения ячеек полученных растров пригодности биоклиматических условий местности требованиям вида на класс и далее суммировали между собой все растры с помощью «растрового калькулятора» в среде ArcGIS. В результате получили итоговое растровое изображение территорий, каждый квадратный километр которой содержит бальную оценку потенциальной инвазионной опасности. Далее, используя алгоритм естественных границ Дженкса, разделили территорию Большого Сочи на 5 районов:

- 1) Район с крайне низким уровнем потенциальной инвазионной опасности (от 0 до 40 баллов);
- 2) Район с низким уровнем потенциальной инвазионной опасности (от 41 до 100 баллов);
- 3) Район со средним уровнем потенциальной инвазионной опасности (от 101 до 150 баллов).
- 4) Район с повышенным уровнем потенциальной инвазионной опасности (от 151 до 180 баллов).
- 5) Район с высоким уровнем потенциальной инвазионной опасности (от 181 баллов и выше).

Результаты исследования и их обсуждение

Подробный обзор флоры Российского Причерноморья приведён в работах [5, 7], в том числе и её чужеродного компонента [8, 17].

Следует отметить, что отнесение вида к чужеродным в некоторых случаях является спорным, особенно для Кавказа, который служит мостом между Азией и Европой и имеет древнюю историю интродукции множества видов живых организмов. Неудивительно, что у многих авторов в списке пришлых видов фигурируют сельскохозяйственные культуры [5], включая такой древний интродуцированный вид, как *Ficus carica* L. [1].

Опираясь на существующую терминологию [3, 19] под чужеродным компонентом флоры мы будем подразумевать совокупность видов растений не свойственных местной флоре, присутствие которых в экосистемах разной степени нарушенности прямо или косвенно связано с деятельностью человека, т.е. не является результатом естественного флорогенеза.

Общее количество преднамеренно и непреднамеренно интродуцированных видов на юге Российского Причерноморья превышает 2000. Львиная доля из них произрастает на улицах населённых пунктов, приусадебных участках, в парках и ботанических садах, не внедряясь в

естественные экосистемы. Без должного агротехнического ухода популяции этих видов, как правило угасают.

К видам, образующим самовоспроизводящиеся популяции, но не покидающим место заноса можно отнести следующие: *Acacia dealbata* Link, *Acer buergerianum* Miq., *Amaranthus albus* L., *Amaranthus blitoides* S. Watson, *Amaranthus caudatus* L., *Amaranthus cruentus* L., *Amaranthus deflexus* L., *Amaranthus graecizans* L., *Amaranthus hybridus* L., *Amaranthus powellii* S. Watson, *Amaranthus viridis* L., *Ampelopsis brevipedunculata* (Maxim.) Trautv., *Aster novi-belgii* L., *Avena sativa* L., *Baccharis halimifolia* L., *Berberis julianae* C.K. Schneid., *Bromus scoparius* L., *Campsis radicans* (L.) Seem, *Carya illinoensis* (Wangenh.) K.Koch, *Cedrus deodara* Loud., *Coreopsis tinctoria* Nutt., *Coriaria sinica* Maxim., *Coronopus didymus* (L.) Sm., *Cortaderia selloana* (Shult. et Schult. Fil.), *Cupressus lusitanica* Mill., *Cupressus sempervirens* L., *Cyclachaena xanthiifolia* (Nutt.) Fresen., *Elaeagnus angustifolia* L., *Elaeagnus umbellata* Thunb, *Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl., *Foeniculum vulgare* Mill., *Fraxinus pennsylvanica* Marsh., *Gleditsia triacanthos* L., *Grindelia squarrosa* (Pursh) Dunal, *Helianthus annuus* L., *Helianthus tuberosus* L., *Hydrangea macrophylla* (Thunb. ex Murr.) Ser., *Ipomoea lacunosa* L., *Ipomoea purpurea* (L.) Roth, *Juglans nigra* L., *Juglans regia* L., *Laburnum anagyroides* Medikus., *Lepidium virginicum* L., *Liquidambar styraciflua* L., *Lobularia maritima* (L.) Desv., *Lonicera japonica* Thunb., *Lonicera ligustrina* Wall., *Lunaria annua* L., *Malus domestica* Borkh., *Mirabilis jalapa* L., *Myriophyllum aquaticum* (Vellozo) Verdcourt, *Narcissus poeticus* L., *Oenothera erythrosepala* Borbas, *Oxalis latifolia* Kunth., *Oxalis violacea* L., *Phyllostachys aurea* Riviere & C. Riviere, *Phyllostachys bambusoides* Sieb. et Zucc, *Phyllostachys viridiglaucescens* A. & C. Riviere, *Pinus pallasiana* D. Don., *Pinus pinaster* Alton, *Pinus pinea* L., *Pittosporum tobira* Ait., *Platanus acerifolia* Willd., *Platyclusus orientalis* (L.) Franco, *Pseudosasa japonica* (Siebold & Zucc. ex Steud.) Makino ex Nakai, *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, *Rhus typhina* L., *Setaria italica* (L.) P.Beauv., *Solanum cornutum* Lam., *Vaccaria hispanica* (Mill.) Rauschert.

К видам, активно распространяющимся в антропогенно-нарушенных экосистемах (дороги, ЛЭП и т.д.) можно отнести: *Abutilon theophrasti* Medikus, *Acalypha australis* L., *Acer negundo* L., *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle, *Amaranthus blitum* L., *Amaranthus retroflexus* L., *Amorpha fruticosa* L., *Anagallis arvensis* L., *Andropogon virginicus* L., *Arthraxon hispidus* (Thunb.) Makino, *Asclepias syriaca* L., *Borago officinalis* L., *Briza maxima* L., *Commelina communis* L., *Cyclospermum leptophyllum* (Pers.) Sprague, *Cynodon dactylon* (L.) Pers., *Cyperus difformis* L., *Cyperus eragrostis* Lam., *Cyperus longus* L., *Cyperus rotundus* L., *Dichrocephala integrifolia* (L. f.) Kuntze, *Digitaria ischaemum* (Schreb.) H.L. Muhl., *Digitaria pectiniformis* (Henrard) Tzvelev, *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop., *Digitaria violascens* Link., *Elaeagnus pungens* Thunb., *Eleusine indica* (L.) Gaertn., *Elsholtzia ciliata*

(Thunb.) Hyl., *Epilobium pseudorubescens* A.K. Skvortsov, *Eschscholzia californica* Cham., *Euphorbia dentata* Michaux, *Euphorbia humifusa* Willd., *Euphorbia peploides* Gouan, *Froriepia subpinnata* (Ledeb.) Baill., *Galinsoga ciliata* (Raf.) Blake, *Galinsoga parviflora* Cav., *Helminthotheca echioides* (L.) Holub, *Hydrocotyle ramiflora* Maxim., *Hyoscyamus niger* L., *Juncus tenuis* Willd., *Laurus nobilis* L., *Ligustrum lucidum* W.T. Aiton, *Miscanthus sinensis* Andersson, *Muhlenbergia schreberi* J.F. Gmel., *Oenothera biennis* L., *Oenothera oakesiana* (A.Gray) Robbins ex S.Walt. et Couit., *Oxalis corniculata* L., *Oxalis stricta* L., *Panicum capillare* L., *Panicum dichotomiflorum* Michx., *Parthenocissus quinquefolia* (L.) Planch., *Paspalum dilatatum* Poir., *Paspalum paspaloides* (Michx.) Scribn, *Paspalum setaceum* Michx., *Paspalum thunbergii* Kunth ex Steud., *Perilla nankinensis* (Lour.) Decne., *Phalaris minor* Retz., *Physalis philadelphica* Lam., *Pueraria lobata* (Willd.) Ohwi, *Robinia pseudoacacia* L., *Rosa multiflora* Thunb., *Saponaria officinalis* L., *Secale cereale* L., *Sedum reflexum* L., *Setaria pumila* (Poir.) Roem. & Schult., *Setaria viridis* (L.) P. Beauv., *Sigesbeckia orientalis* L., *Solanum nigrum* L., *Solidago canadensis* L., *Solidago gigantea* Aiton, *Sorghum halepense* (L.) Pers., *Spartium junceum* L., *Sporobolus fertilis* (Steud.) Clayton, *Trachycarpus fortunei* (Hook.) H.Wendl., *Verbena brasiliensis* L., *Verbena hastata* L., *Verbena venosa* Gill. & Hook., *Wistaria sinensis* Sweet., *Xanthium orientale* L., *Xanthium spinosum* L., *Xanthium strumarium* L.

К видам, способным внедряться не только в антропогенно-нарушенные, но и в естественно нарушенные экосистемы (прибрежные местообитания, вывалы деревьев) можно отнести: *Ambrosia artemisiifolia* L., *Bidens bipinnata* L., *Bidens frondosa* L., *Buddleja davidii* Franch, *Carthamus lanatus* L., *Catalpa ovata* D. Don., *Conyza bonariensis* (L.) Cronqist, *Conyza canadensis* (L.) Cronqist, *Conyza chilensis* Sprengel, *Conyza sumatrensis* (Retz.) E. Walker, *Conyzanthus graminifolius* (Sprengel) Tamamsch., *Erechtites valerianifolia* (E.L. Wolf ex Rchb.) DC., *Euphorbia maculata* L., *Euphorbia nutans* Lag., *Ficus carica* L., *Hemerocallis fulva* L., *Microstegium japonicum* (Miq.) Koidz., *Microstegium vimineum* (Trin.) A. Camus, *Morus alba* L., *Paulownia tomentosa* (Thunb.) Steud., *Phalacroloma annuum* (L.) Dumort., *Phalacroloma septentrionale* (Fernald & Wiegand) Tzvelev, *Phytolacca americana* L., *Salix babylonica* L., *Xanthium albinum* (Widder) H. Scholz.

К видам, обладающим способностью натурализоваться в экосистемах, не имеющих следов нарушений можно отнести *Duchesnea indica* (Andrews) Focke.

Общее число видов, обладающих чётко-выраженной способностью внедряться в естественные экосистемы различной степени нарушенности, в регионе исследований составляет 182. Они относятся к 53 семействам. Спектр семейств по числу чужеродных видов выглядит следующим образом: Асерасеае (2 вида), Амарантасеае (11), Амарыллидасеае (1),

Anacardiaceae (1), Apiaceae (4), Arecaceae (1), Asclepiadaceae (1), Asteraceae (30), Berberidaceae (1), Bignoniaceae (3), Boraginaceae (2), Brassicaceae (4), Buddlejaceae (1), Caprifoliaceae (2), Caryophyllaceae (2), Commelinaceae (1), Convolvulaceae (2), Coriariaceae (1), Crassulaceae (1), Cupressaceae (3), Cyperaceae (4), Elaeagnaceae (3), Euphorbiaceae (6), Fabaceae (9), Haloragaceae (1), Hamamelidaceae (1), Hydrangeaceae (2), Hydrocharitaceae (2), Juglandaceae (3), Juncaceae (1), Lamiaceae (2), Lauraceae (1), Liliaceae (1), Malvaceae (1), Moraceae (2), Nyctaginaceae (1), Oleaceae (2), Onagraceae (2), Onagraceae (2), Oxalidaceae (4), Papaveraceae (1), Phytolaccaceae (1), Pinaceae (6), Pittosporaceae (1), Platanaceae (1), Poaceae (33), Primulaceae (1), Rosales (4), Salicaceae (1), Simaroubaceae (1), Solanaceae (4), Verbenaceae (3), Vitaceae (2).

Наиболее богаты чужеродными видами семейства *Amaranthaceae*, *Asteraceae* и *Poaceae*. На их долю приходится 41 % всех заносных видов региона. Биоморфологическая структура изучаемых видов следующая: фанерофиты (древесные растения с не отмирающими на зиму почками возобновления) – 57, гемикриптофиты (многолетние травянистые растения, у которых почки возобновления зимуют на уровне почвы) – 23, криптофиты (многолетние травянистые растения, почки возобновления которых закладываются на корневищах глубоко под землей) – 15, терофиты (однолетние травянистые растения, переживающие неблагоприятное время года в виде семян) – 87, хамефиты (полукстарниковые растения, у которых почки возобновления находятся у поверхности почвы) – 1. При этом гигроморфическая структура выглядит следующим образом (в порядке возрастания требовательности к условиям увлажнения): ксерофиты (растения сухих мест обитания) – 0, мезоксерофиты – 7, ксеромезофиты – 49, мезофиты (растения, приуроченные к местообитаниям со средними условиями увлажнения) – 94, гигромезофиты – 24, мезогигрофиты – 2, гигрофиты (растения влажных местообитаний) – 6.

По способу распространения большинство рассматриваемых чужеродных видов являются автохорами (растения, распространяющиеся без участия внешних факторов) – 96. Остальные виды принадлежат к анемохорам (семена распространяются ветром) – 49, зоохорам (семена распространяются при помощи животных) – 35 и гидрохорам (семена распространяются при помощи воды) – 2. По способу заноса 84 вида являются ксенофитами (непреднамеренно занесенные виды растений), 25 – ксеноэргазиофитами (виды с промежуточным типом заноса) и 73 – эргазиофитами (преднамеренно занесенными видами). По времени заноса большинство видов относится к неофитам (видам, занесенным после открытия Америки) – 153. На долю археофитов (видов, занесенных в более позднее время) приходится 29 видов.

Родиной 74 видов является Северная и Центральная Америка, 59 видов родом из Азии (Восточная Азия – 34 вида, Юго-Восточная Азия – 9, Япония – 6, Передняя Азия – 6, Центральная Азия – 3, Южная Азия – 1), 20 видов являются пришлыми из Средиземноморья. Из Южной Америки успешно натурализовалось на юге Российского Причерноморья 17 видов, из Европы – 9, Африки – 2, Новой Зеландии – 1 вид.

Число наиболее агрессивных чужеродных видов на юге Российского Причерноморья составляет 28. При этом 46 % из них относится к семейству Asteraceae, 50 % видов являются мезофитами. По способу заноса 68 % самых агрессивных заносных видов региона являются ксенофитами, а по времени заноса – 79 % неофитами.

Процесс биологических инвазий имеет иерархическую структуру. Климат является доминирующим фактором на макроуровне, тогда как топографические особенности местности и характер землепользования играют важную роль на мезоуровне, и, наконец, в локальных масштабах почвенные условия, нарушения растительного покрова и биотические взаимодействия играют детерминирующую роль в распространении чужеродных видов. В ходе моделирования пространственного распределения изучаемых видов была оценена роль только факторов макроуровня этой иерархической структуры.

Согласно результатам моделирования пространственного распределения, в среде MaxEnt, биоклиматические условия изучаемого района наиболее комфортны только для 74 чужеродных видов, которые способны внедряться в естественные экосистемы разной степени нарушенности. Статистический анализ показал высокую точность моделирования. Средние значения AUC для повторностей принимали значения от 0.774 (*Acer Negundo* L.) до 0.990 (*Microstegium japonicum* (Miq.) Koidz.), Стандартные отклонения от 0.001 (*Microstegium japonicum* (Miq.) Koidz) до 0.006 (*Euphorbia humifusa* Willd). Каждый из изучаемых видов имеет свои особенности пространственного распределения. По расположению и разорванности территории, потенциально пригодной для произрастания можно выделить следующие группы чужеродных видов.

1. Виды, для произрастания которых наиболее пригодны биоклиматические условия приморской части территории (рис. 2 и 3). Такое пространственное распределение характерно для видов: *Paspalum dilatatum* Poir., *Abutilon theophrasti* Medikus, *Commelina communis* L., *Conyza bonariensis* (L.) Cronquist, *Ligustrum lucidum* W.T. Aiton, *Oxalis corniculata* L., *Catalpa ovata* G.Don., *Catalpa bignonioides* Walter, *Trachycarpus fortunei* (Hook.) H. Wendl. Для некоторых видов потенциально более пригодная территория простирается на значительное расстояние от берега моря (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle, *Phytolacca americana* L., *Rosa multiflora* Thunb., *Bidens frondosa* L., *Setaria pumila*

(Poir.) Roem. & Schult., *Setaria viridis* (L.) P. Beauv., *Acer negundo* L., *Sorghum halepense* (L.) Pers., *Solanum nigrum* L. и т.д.) (рис. 4 и 5).

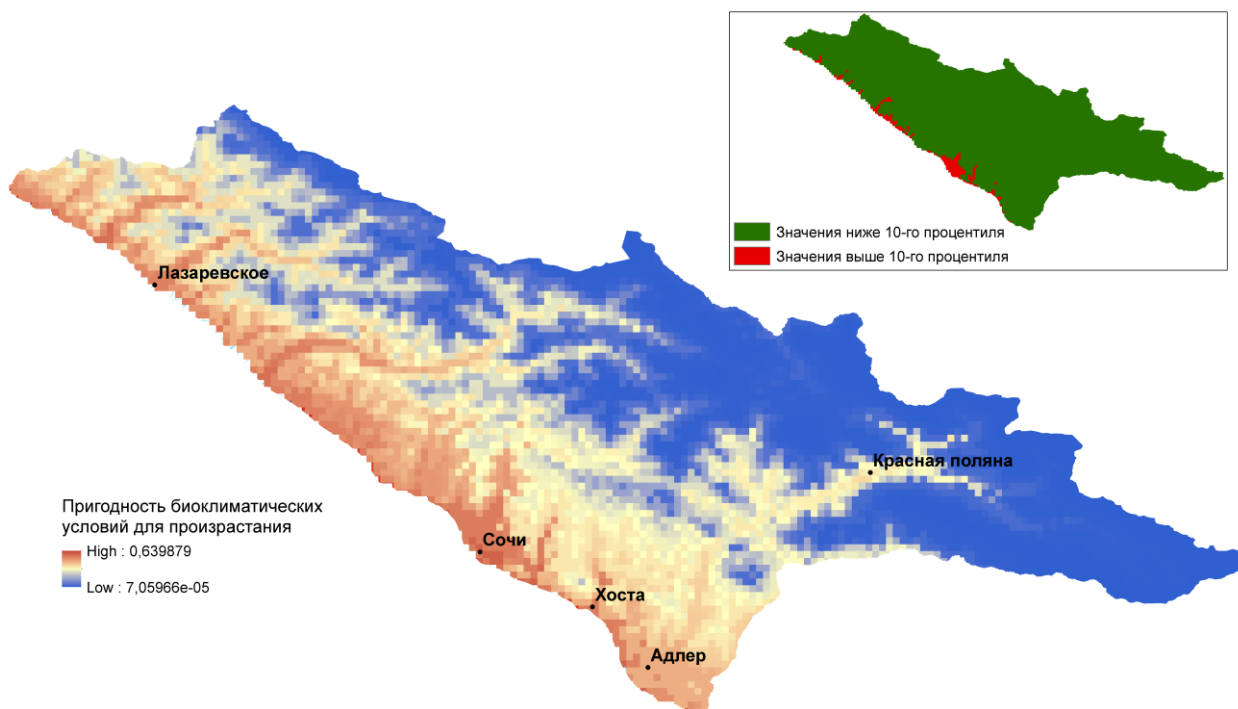


Рис. 2 – Пригодность биоклиматических условий для произрастания *Rasputum dilatatum* Poir (AUC 0.881). Наибольший вклад в построение модели вносят факторы: *bio1* – 24.4 % (коэффициент пермутации – 9.8 %), *bio11* – 41.2 % (коэффициент пермутации – 26.9 %).

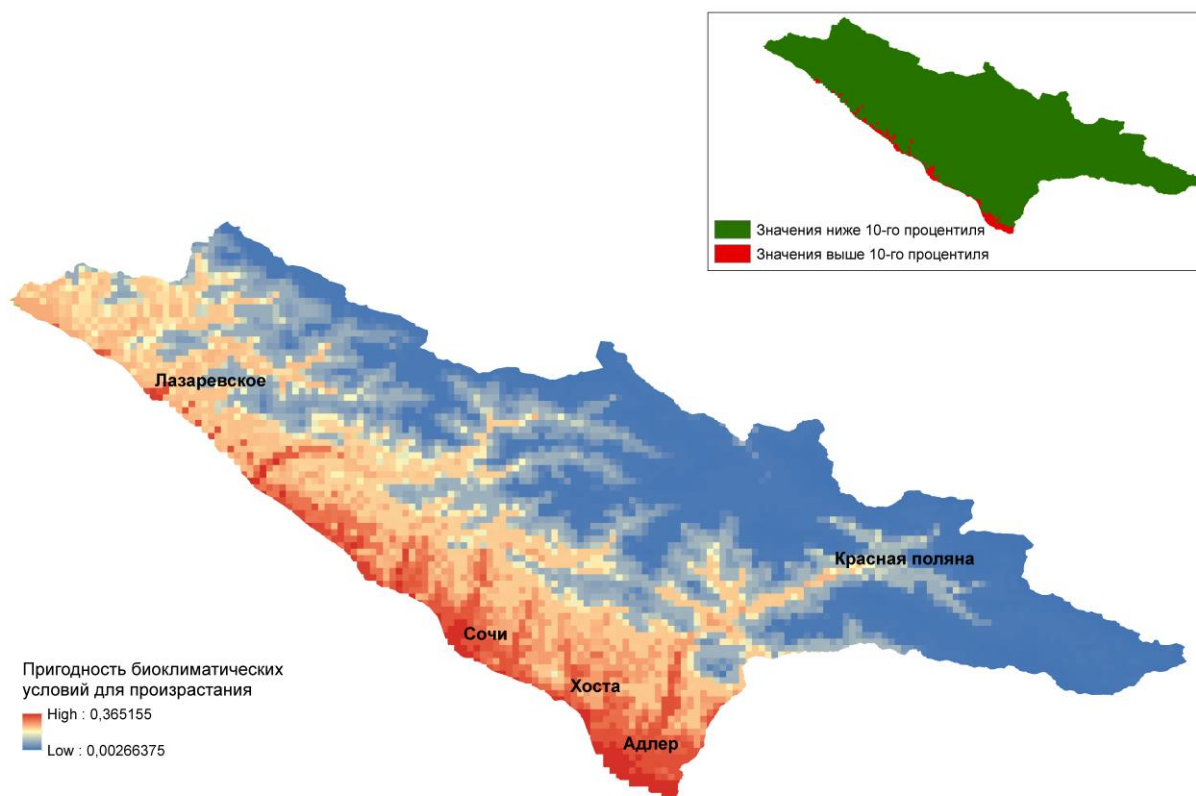


Рис. 3 – Пригодность биоклиматических условий для произрастания *Ligustrum lucidum* W.T. Aiton (AUC 0.954). Наибольший вклад в построение модели вносят факторы: *bio1* – 17.5 % (коэффициент пермутации – 3.8 %), *bio11* – 17.0 % (коэффициент пермутации – 24.6 %), *bio14* – 18.8 % (коэффициент пермутации – 5.2 %).

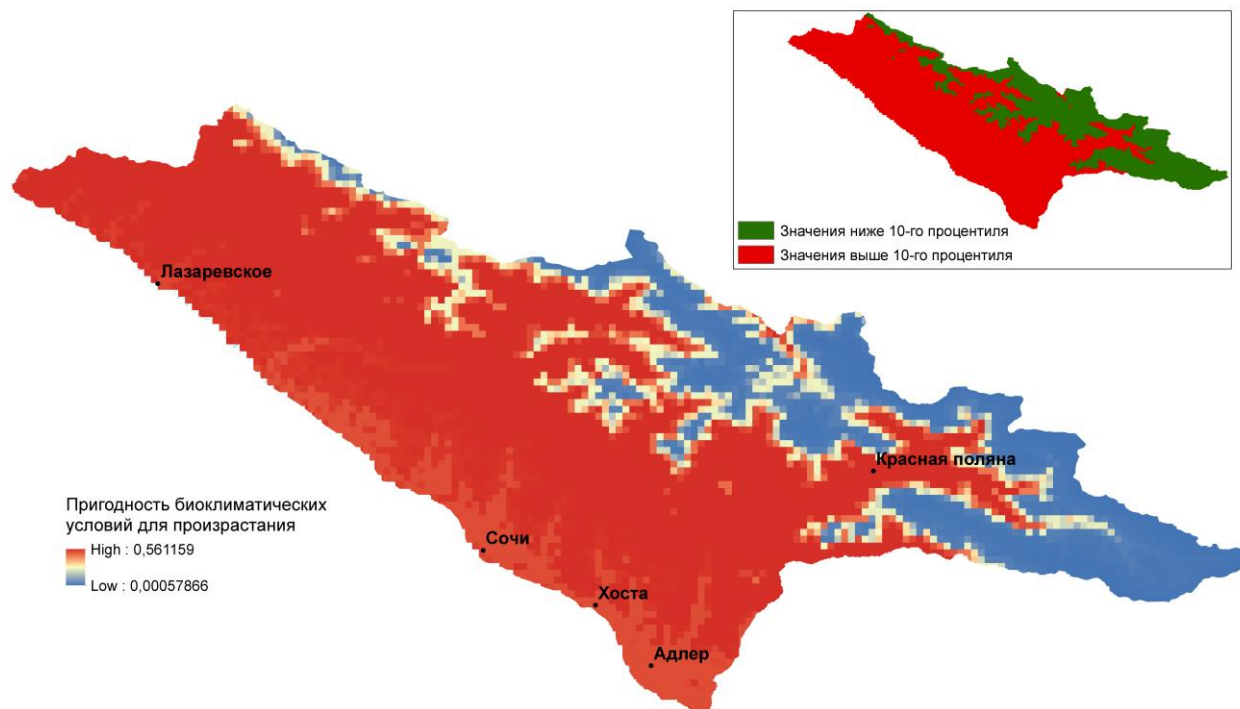


Рис. 4 – Пригодность биоклиматических условий для произрастания *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle (AUC 0.847). Наибольший вклад в построение модели вносят факторы: *bio1* – 28.5% (коэффициент пермутации – 20.7%), *bio11* – 13.2% (коэффициент пермутации – 5.8%), *bio19* – 22.1% (коэффициент пермутации – 18.2%).

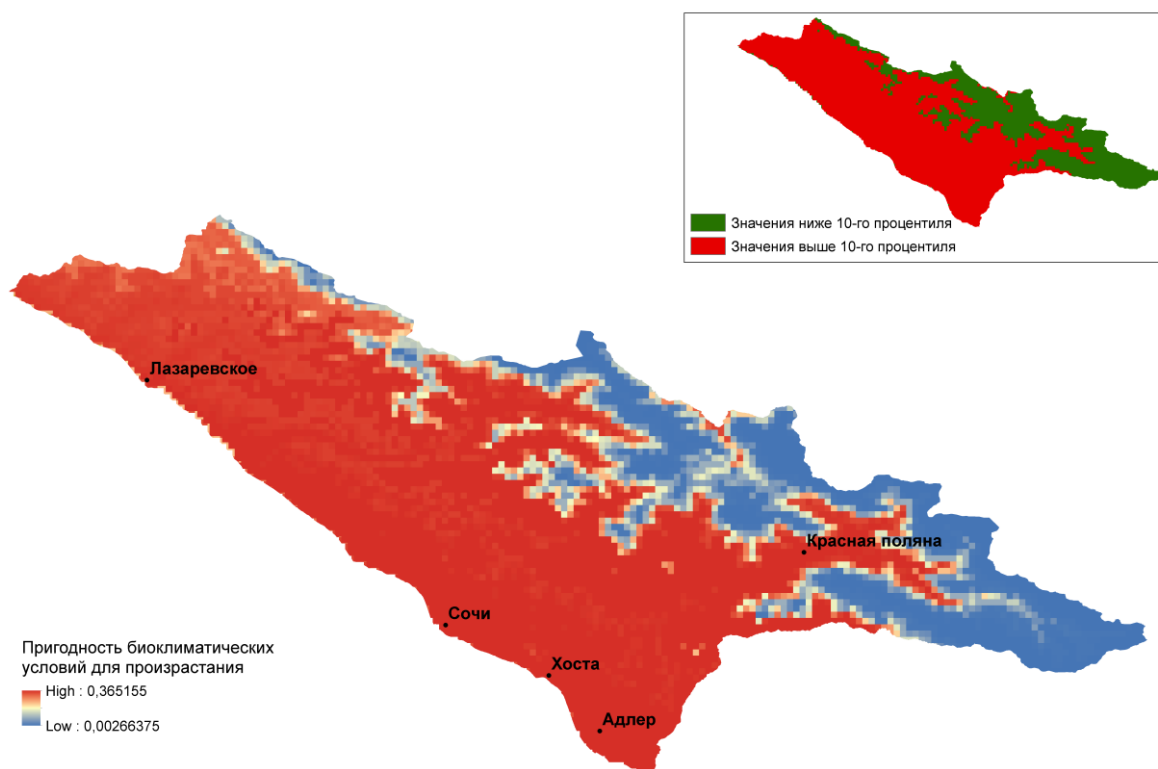


Рис. 5 – Пригодность биоклиматических условий для произрастания *Phytolacca americana* L. (AUC 0.935). Наибольший вклад в построение модели вносят факторы: *bio1* – 36.2 % (коэффициент пермутации – 12.7 %), *bio19* – 14.7 % (коэффициент пермутации – 8.5 %).

2. Виды, для которых территория, имеющая наиболее благоприятные биоклиматические условия для произрастания, несколько удалена от берега моря (*Amaranthus retroflexus* L., *Buddleja davidii* Franch., *Galinsoga parviflora* Cav., *Nemerocallis fulva* L., *Oenothera biennis* L., *Oxalis stricta* L., *Paulownia tomentosa* (Thunb.) Steud. и т.д.) (рис. 6 и 7).

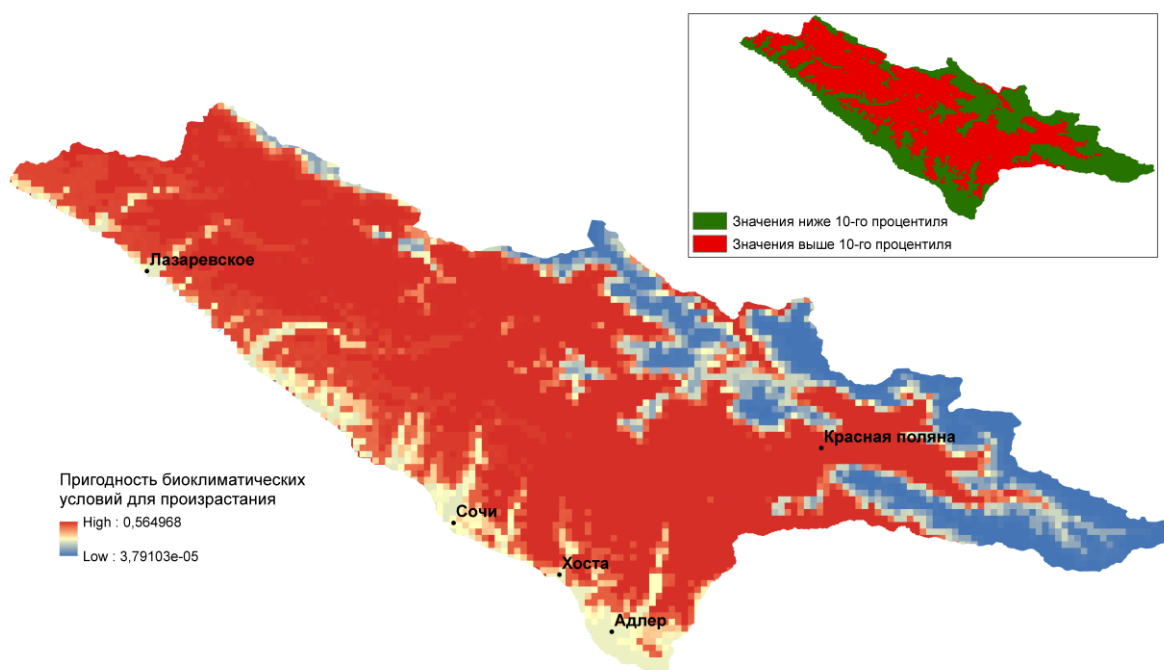


Рис. 6. – Пригодность биоклиматических условий для произрастания *Buddleja davidii* Franch. (AUC 0.837). Наибольший вклад в построение модели вносят факторы: *bio1* – 16.4 % (коэффициент пермутации – 19.3 %), *bio11* – 20.1% (коэффициент пермутации – 27.3 %), *bio14* – 17.8 % (коэффициент пермутации – 0.4 %), *bio19* – 21.3 % (коэффициент пермутации – 11.4 %).

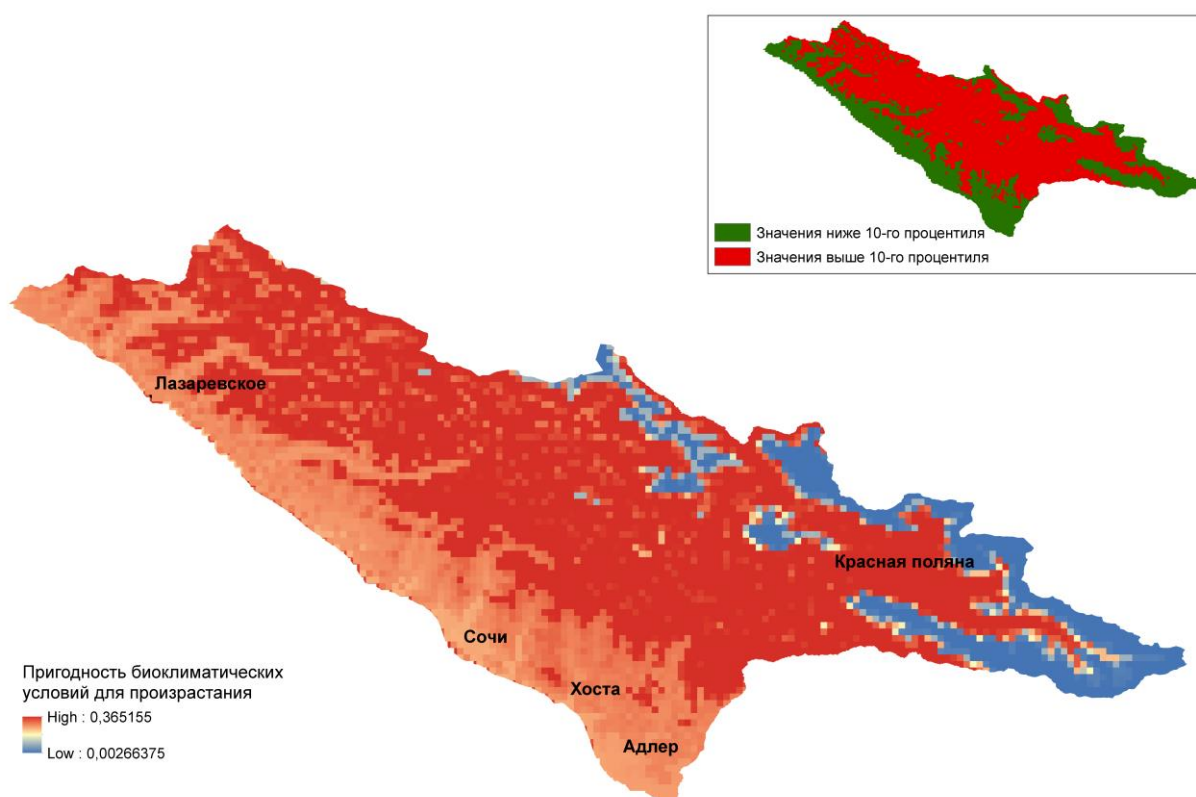


Рис. 7 – Пригодность биоклиматических условий для произрастания *Nemerocallis fulva* L. (AUC 0.954). Наибольший вклад в построение модели вносят факторы: *bio1* – 25.1 % (коэффициент пермутации – 9.1 %), *bio14* – 31.2 (коэффициент пермутации – 2.1 %).

3. Виды, пространственное распределение которых, согласно результатам моделирования, носит дизъюнктивный характер (*Galinsoga quadriradiata* Ruiz & Pav., *Microstegium japonicum* (Miq.) Koidz., *Muhlenbergia schreberi* J.F. Gmel, *Euphorbia humifusa* Willd., *Physalis philadelphica* Lam. и т.д.) (рис. 8 и 9).

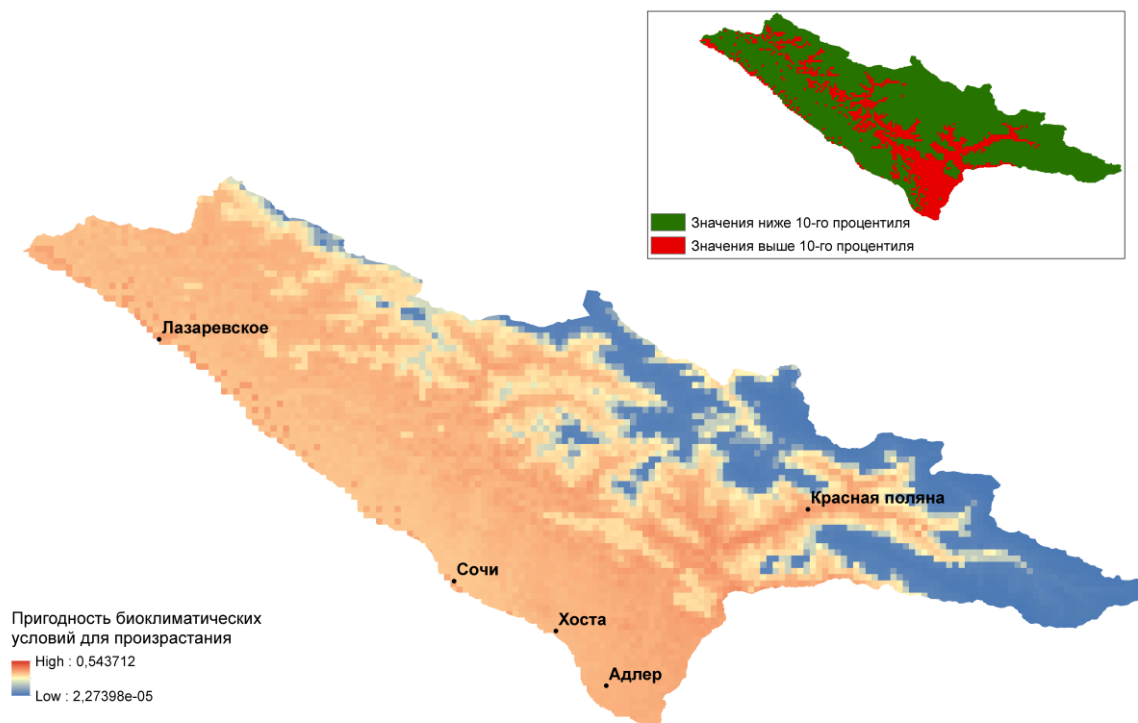


Рис. 8 – Пригодность биоклиматических условий для произрастания *Microstegium vimineum* (Trin.) A. Camus (AUC 0.990). Наибольший вклад в построение модели вносит фактор: *bio18* – 23.7 % (коэффициент пермутации – 3.5 %), *bio14* – 18.9% (коэффициент пермутации – 1.8 %).

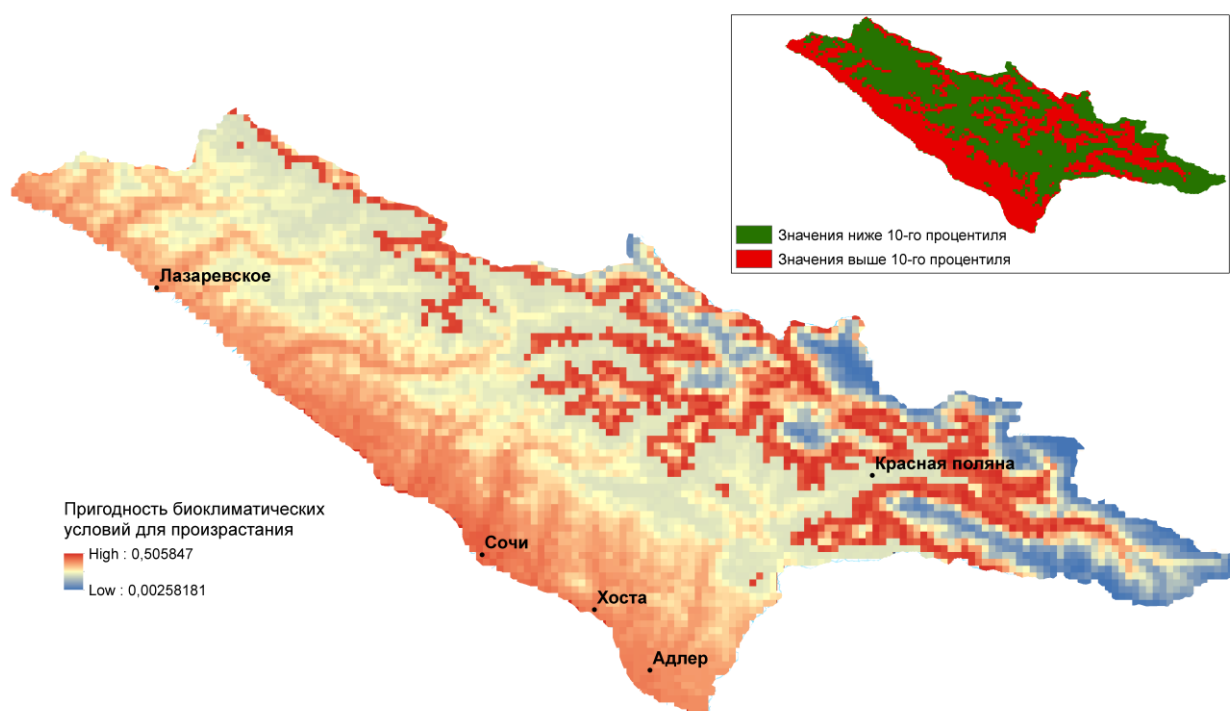


Рис. 9 – Пригодность биоклиматических условий для произрастания *Physalis philadelphica* Lam (AUC 0.9324). Наибольший вклад в построение модели вносит фактор: *bio6* – 33.5 % (коэффициент пермутации – 0.3 %).

Согласно представленным картографическим материалам биоклиматические условия долин рек, как правило, наиболее комфортны для большинства анализируемых пришлых видов.

Результаты пространственного моделирования показывают, что для некоторых видов (*Cyclachaena xanthiifolia* (Nutt.) Fresen., *Sporobolus fertilis* (Steud.) Clayton. и т.д.) биоклиматические условия региона не соответствуют их биологическим требованиям. Тем не менее, рядом авторов (Зернов, 2013; Tuniyev, Timukhin, 2017) отмечено присутствие нескольких экземпляров этих видов на границе изучаемого района с Абхазией.

Результат суммирования растровых изображений, характеризующих пригодность биоклиматических условий изучаемой территории для произрастания всех агрессивных чужеродных видов представлен на рисунке 10.

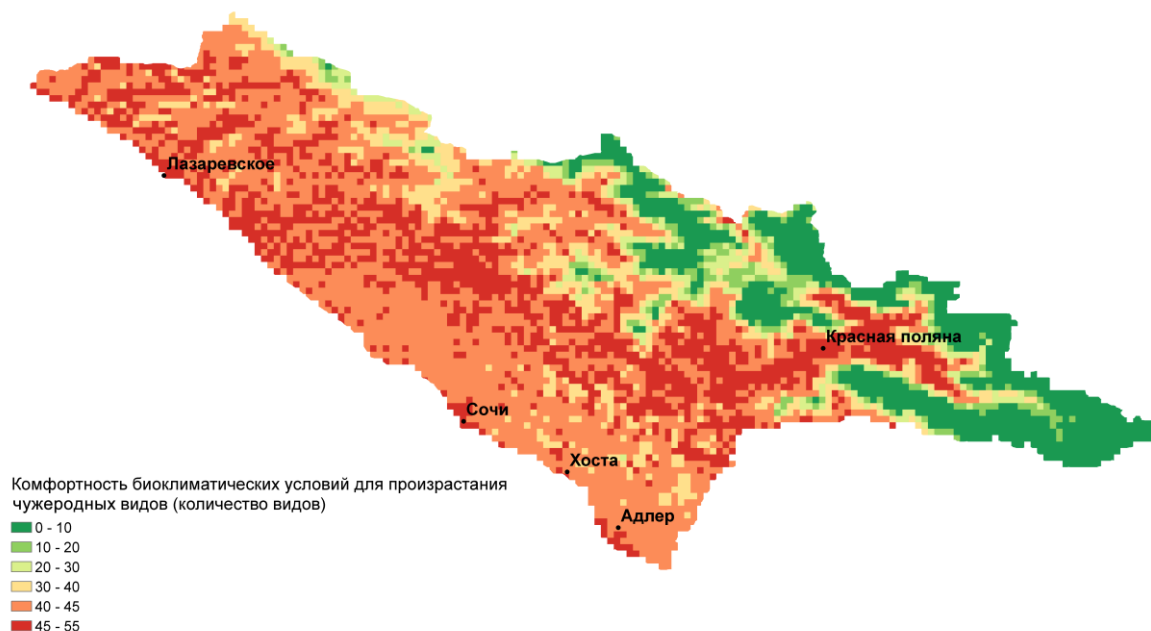
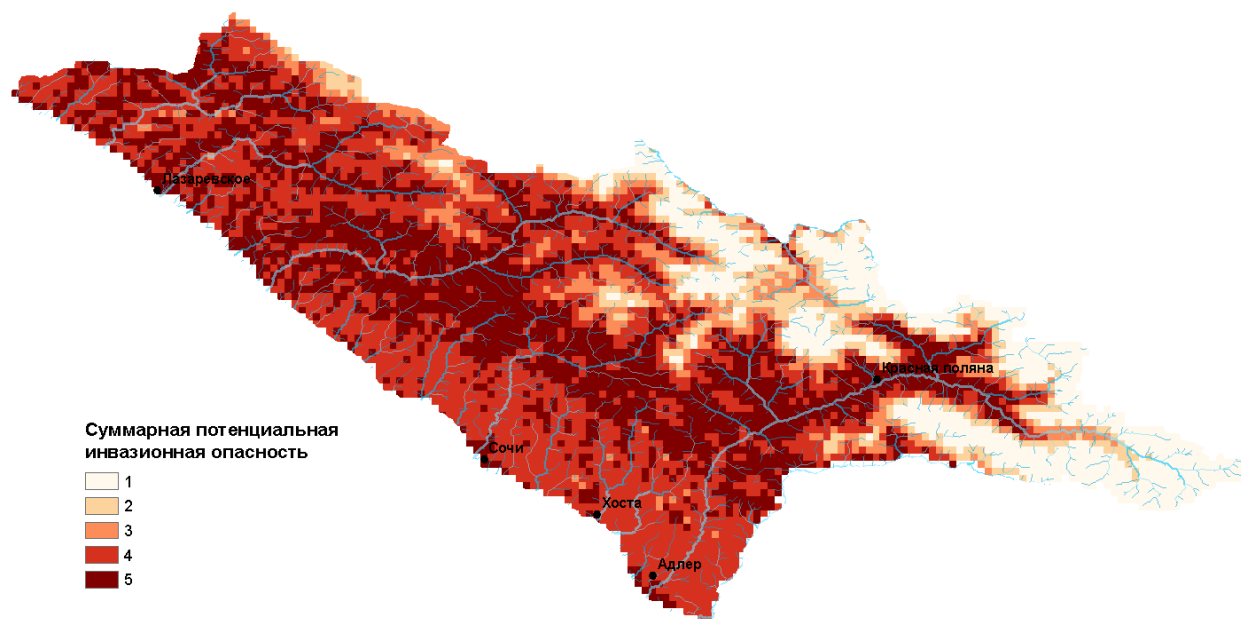
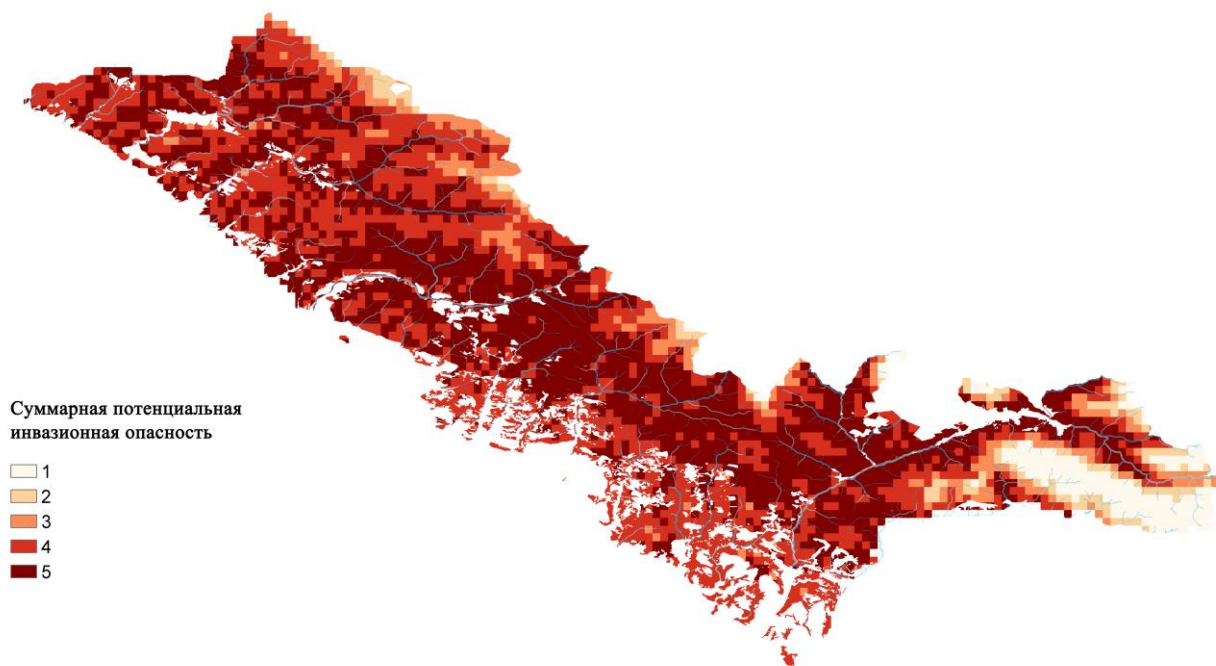


Рис. 10 – Уязвимость экосистем Большого Сочи к инвазиям чужеродных видов

Районирование, проведённое с учётом потенциальной биоклиматической комфортности территории для произрастания чужеродных видов и их инвазионной активности представлено на рисунке 11.



(а)



(б)

Рис. 11 – Районирование территории Большого Сочи (а) и Сочинского национального парка (б) по степени инвазионной опасности.

Наиболее благоприятными для проникновения чужеродных видов являются долины рек, особенно таких крупных, как Мзымта и Шахе. Результаты моделирования показывают, что биоклиматические условия долин этих рек комфортны для большинства анализируемых чужеродных видов вплоть до высот 700 метров (р. Шахе) и 800 метров (р. Мзымта) над уровнем моря.

Площадь потенциально самого инвазионно-опасного района Большого Сочи составляет 1222,2 км², большая часть которого находится в границах

Сочинского национального парка (табл. 2). На него приходится почти половина территории национального парка.

Таблица 2 – Районы потенциальной инвазионной опасности Большого Сочи и Сочинского национального парка

Район	Большой Сочи		Сочинский национальный парк	
	Площадь, км ²	% от площади территории	Площадь, км ²	% от площади территории
1	470.9	13.7	99.4	4.8
2	222.8	6.5	71.7	3.5
3	287.1	8.3	146.8	7.2
4	1237.7	36.0	758.3	37.0
5	1222.2	35.5	976.0	47.5

Заключение

Общее количество опасных и потенциально опасных чужеродных видов, обладающих способностью внедряться в экосистемы разной степени нарушенности, составляет 182. Они относятся к 53 семействам.

Наиболее богаты чужеродными видами семейства *Amaranthaceae*, *Asteraceae* и *Roaceae*. На их долю приходится 41 % всех чужеродных видов региона. При этом 31 % всех пришлых видов в регионе исследований являются фанерофитами (древесно-кустарниковыми видами). Среди гигроморф чужеродных видов преобладают мезофиты (растения, приуроченные к местообитаниям со средними условиями увлажнения) – 52 %. По способу распространения большинство пришлых видов является автохорами (растения, распространяющиеся без участия внешних факторов) – 53 %, при этом 64 % изучаемых видов занесены непреднамеренно. На долю неофитов (новых вселенцев) приходится 84 % всех рассматриваемых видов. При этом родиной 41 % всех изучаемых чужеродных видов региона является Новый Свет.

Число наиболее агрессивных чужеродных видов на юге Российского Причерноморья составляет 28, из них 46 % относится к семейству *Asteraceae*, 50 % видов являются мезофитами. По времени заноса подавляющее число самых агрессивных инородных видов региона является неофитами (79 %), при этом 68 % из них является непреднамеренно занесёнными видами.

Согласно результатам пространственного моделирования, биоклиматические условия района исследований наиболее комфортны для произрастания 74 чужеродных видов растений.

Биоклиматические условия низкогорной зоны рельефа изучаемого района, преимущественно долин рек, вплоть до высот 700 метров над уровнем моря, комфортны для произрастания большинства анализируемых видов.

Площадь потенциально самого инвазионно-опасного района Большого Сочи составляет 1222.2 км², большая часть которого находится в границах Сочинского национального парка. На него приходится почти половина территории ООПТ.

Список литературы

1. Акатов В.В., Акатова Т.В., Шадже А.Е. Видовое богатство древесного и кустарникового ярусов прирусловых лесов Западного Кавказа с доминированием инородных видов // Экология, 2012. №4. С. 276—283
2. Василевич В.И. Доминанты в растительном покрове // Ботанический журнал, 1991. Т.76. №12. С. 1674—1681.
3. Виноградова Ю.К., Майоров С.Р., Хорун Л.В. Чёрная книга флоры Средней России (Чужеродные виды растений в экосистемах Средней России). М. ГЕОС, 2010. 512 с.
4. Егошин А.В. Адвентивный компонент флоры Юга Российского Причерноморья. Моделирование пространственного распределения адвентивных видов, на примере, *Paulownia tomentosa* // Сочинскому национальному парку – 35 лет. Труды Сочинского национального парка. Выпуск 12. Сочи: Типография «Оптима» (ИП Кривлякин С.П.), 2018. 491 с.
5. Зернов А.С. Иллюстрированная флора Юга Российского Причерноморья. Москва: Товарищество научных изданий КМК, 2013. 588 с.
6. Морозова О.В. Натурализовавшиеся чужеродные виды во флорах средней полосы Европейской России: гомогенизация или дифференциация? // Российский журнал биол. инвазий, 2018. № 3. С. 52—62.
7. Солодько А.С. Флора Сочинского Причерноморья. Сочи, 2002. 65 с.
8. Тимухин И.Н., Туниев Б.С. Современное распространение инвазивных видов сосудистых растений на территории Сочинского национального парка // Изучение флоры Кавказа. Пятигорск, 2010. С. 106—107.
9. Elton C.S. The ecology of invasions by animals and plants // Methuen. London, 1958. 181 p.
10. Chytrý M., Maskell L.C., Pyšek P. Habitat invasions by alien plants: a quantitative comparison among Mediterranean, subcontinental and oceanic regions of Europe // Journal of Applied Ecology, 2008. №45. P. 448—458.
11. Gassmann A. Europe as a source of biological control agents of exotic invasive weeds: status and implications // Bull. Soc. Entomol. Suisse, 1995. Vol. 68, N 3-4. P. 313—322.

12. Goodman D. Theory of diversity–stability relationships in ecology // *Quarterly Review of Biology*, 1975. №50. P. 237—266.
13. Pimm S. L. Structure of food webs // *Theoretical Population Biology*, 1979. №16. P. 144—158.
14. Qian H., Ricklefs R.E. The role of exotic species in homogenizing the North American flora // *Ecology Letters*, 2006. V. 9. P. 1293—1298.
15. Stoett P., Roy E., Pauchard A. Invasive alien species and planetary and global health policy // *The Lancet: Planetary Health.*, 2019. V. 3. P. 1—2.
16. Morales-Romero D, Lopes-Garcia H, Martinez-Rodriguez, J. Documenting a plant invasion: The influence of land use on buffelgrass invasion along roadsides in Sonora, Mexico // *Journal of Arid Environments*, 2019. V. 164. P 53—59.
17. Tuniyev B.S., Timukhin I.N. Species composition and comparative-historical aspects of expansion of alien species of vascular plants on the Sochi Black Sea Coast (Russia). *Nature Conservation Research. Заповедная наука*, 2017. 2 (4). P. 2—25.
18. Phillips, S.J., Anderson, R.P., Schapire, R.E., Maximum entropy modeling of species geographic distributions // *Ecol. Model*, 2006. V. 190. P. 231—259.
19. Pyšek P., Richardson D. M., Rejmánek M., Webster G. L., Williamson M., Kirschner J. Alien plant in checklist and floras: towards better communication between taxonomists and ecologists // *Taxon*, 2004. V. 53. № 1. P. 131—143.
20. West A., Kumar S., Brown S., Stohlgren T., Bromberg J. Field validation of an invasive species Maxent model // *Ecological Informatics*, 2016. V. 36. P. 126—134.
21. Winter M., Schweiger O., Klotz S., Andriopoulos P., Arianoutsou M., Basnou C., Delipetrou P., Didžiulis V., Hejda M., Hulme P.E., Lambdon P.W., Pergl J., Pyšek P., Roy D.B., Kühn I. Plant extinctions and introductions lead to phylogenetic and taxonomic homogenization of the European flora // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2009. V. 106 (51). P. 21721—21725.
22. Zhang, K., Yao, L., Meng, J., & Tao, J. Maxent modeling for predicting the potential geographical distribution of two peony species under climate change // *Science of the Total Environment*, 2018. 634. P. 1326—1334
23. Zeaman B., Minden V., Morgan, J. Non-native plant cover and functional trait composition of urban temperate grasslands in relation to local- and landscape- scale road density // *Biological Invasions*, 2018. V. 20. P.3025—3036.

Spisok literaturey

1. Akatov V.V., Akatova T.V., Shadzhe A.E. Vidovoe bogatstvo drevesnogo i kustarnikovogo jarusov priruslovyh lesov Zapadnogo Kavkaza s dominirovaniem inozemnyh vidov // *Jekologija*. №4, 2012. S. 276-283
2. Vasilevich V.I. 1991. Dominanty v rastitel'nom pokrove // *Bot. Zhurn*, 1991. T.76. №12. S. 1674-1681.
3. Vinogradova Ju.K., Majorov S.R., Horun L.V. Chjornaja kniga flory Srednej Rossii (Chuzherodnye vidy rastenij v jekosistemah Srednej Rossii). M. GEOS, 2010. 512 s.
4. Egoshin A.V. Adventivnyj komponent flory juga Rossijskogo Prichernomor'ja. Modelirovanie prostranstvennogo raspredelenija adventivnyh vidov, na primere, *Paulownia tomentosa* // *Sochinskomu nacional'nomu parku – 35 let. Trudy Sochinskogo nacional'nogo parka*. Vypusk 12. Sochi: Tipografija «Optima» (IP Krivljakin S.P.), 2018. 491 s.
5. Zernov A.S. Illjustrirovannaja flora juga Rossijskogo Prichernomor'ja. Moskva: Tovarishhestvo nauchnyh izdanij KMK, 2013. 588s.
6. Morozova O.V. Naturalizovavshiesja chuzherodnye vidy vo florah srednej polosy Evropejskoj Rossii: gomogenizacija ili differenciacija? // *Rossijskij zhurnal biol. Invazij*, 2018. № 3. S. 52-62.
7. Solod'ko A.S. Flora Sochinskogo Prichernomor'ja. Sochi, 2002. 65 s.
8. Timuhin I.N., Tuniev B.S. Sovremennoe rasprostranenie invazivnyh vidov sosudistyh rastenij na territorii Sochinskogo nacional'nogo parka // *Izuchenie flory Kavkaza*. Pjatigorsk, 2010. S. 106 - 107.
9. Elton C.S. The ecology of invasions by animals and plants // *Methuen*. London, 1958. 181 p.
10. Chytrý M., Maskell L.C., Pyšek P. Habitat invasions by alien plants: a quantitative comparison among Mediterranean, subcontinental and oceanic regions of Europe // *Journal of Applied Ecology*, 2008. №45. p. 448–458.
11. Gassmann A. Europe as a source of biological control agents of exotic invasive weeds: status and implications // *Bull. Soc. Entomol. Suisse* Vol. 68, 1995. N 3-4. P. 313-322.
12. Goodman D. Theory of diversity–stability relationships in ecology // *Quarterly Review of Biology*, 1975. №50. P. 237–266.
13. Pimm S. L. tructure of food webs // *Theoretical Population Biology*, 1979. №16. P. 144–158.
14. Qian H., Ricklefs R.E. The role of exotic species in homogenizing the North American flora // *Ecology Letters*, 2006. V. 9. P. 1293–1298.
15. Stoett P., Roy E., Pauchard A. Invasive alien species and planetary and global health policy // *The Lancet: Planetary Health*. Vol 3, 2019. p. 1-2.
16. Morales-Romero D, Lopes-Garcia H, Martinez-Rodriguez, J. Documenting a plant invasion: The influence of land use on buffelgrass invasion along roadsides in Sonora, Mexico // *Journal of Arid Environments*. Vol 164, 2019. P 53-59.
17. Tuniyev B.S., Timukhin I.N. Species composition and comparative-historical aspects of expansion of alien species of vascular plants on the Sochi Black Sea Coast (Russia). *Nature Conservation Research. Zapovednaja nauka*, 2017. 2(4). P. 2–25.

18. Phillips, S.J., Anderson, R.P., Schapire, R.E., Maximum entropy modeling of species geographic distributions // *Ecol. Model.*, 2006. Vol. 190. P. 231–259.
19. Pyšek P., Richardson D. M., Rejmánek M., Webster G. L., Williamson M., Kirschner J. Alien plant in checklist and floras: towards better communication between taxonomists and ecologists // *Taxon*, 2004. Vol. 53. № 1. P. 131-143.
20. West A., Kumar S., Brown S., Stohlgren T., Bromberg J. Field validation of an invasive species Maxent model // *Ecological Informatics*, 2016. Vol. 36. P. 126–134.
21. Winter M., Schweiger O., Klotz S., Andriopoulos P., Arianoutsou M., Basnou C., Delipetrou P., Didžiulis V., Hejda M., Hulme P.E., Lambdon P.W., Pergl J., Pyšek P., Roy D.B., Kühn I. Plant extinctions and introductions lead to phylogenetic and taxonomic homogenization of the European flora // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2009. V. 106 (51). P. 21721-21725.
22. Zhang, K., Yao, L., Meng, J., & Tao, J. Maxent modeling for predicting the potential geographical distribution of two peony species under climate change // *Science of the Total Environment* 634, 2018. 1326-1334
23. Zeaman B., Minden V., Morgan, J. Non-native plant cover and functional trait composition of urban temperate grasslands in relation to local- and landscape- scale road density // *Biological Invasions*, 2018. Vol 20. p 3025–3036.