



40 лет

СОЧИНСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПАРК

Юбилейный сборник
научных трудов

Министерство природных ресурсов и экологии
Российской Федерации

СОЧИНСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПАРК

**СОЧИНСКОМУ
НАЦИОНАЛЬНОМУ
ПАРКУ — 40 ЛЕТ**

Юбилейный сборник научных трудов

Труды Сочинского национального парка
Выпуск 14

Ответственный редактор:
доктор биологических наук, заслуженный эколог России
Б.С. Туниев

Редакционная коллегия:
*д.б.н. Н.В. Ширяева, д.б.н. И.Н. Тимухин, к.б.н. П.А. Тильба, к.б.н. Л.А. Ковалёва,
к.б.н. К.Ю. Лотиев, к.б.н. А.И. Мирошников, к.б.н. А.В. Ромашин, к.с/х.н. А.В. Егошин,
к.б.н. Х.У. Алиев, к.с/х.н. С.Д. Самсонов, к.б.н. Г.А. Солтани, с.н.с. Н.И. Терре,
с.н.с. И.В. Анненкова*

Научный рецензент:
доктор биологических наук, профессор *Н.Б. Ананьева*

Сочи — 2023

УДК 502/504
ББК 28.008.л6

Сочинскому национальному парку – 40 лет. Труды Сочинского национального парка.
Вып. 14. — Сочи: Типография «Оптима» (ИП Кривлякин С. П.), 2023. — 488 с.

ISBN 978-5-91789-301-3

В юбилейном сборнике представлены статьи, отражающие основные направления исследований, проводимых коллективом научного отдела Сочинского национального парка: проблемные вопросы сохранения природно-территориального комплекса национального парка, инвентаризационные исследования по всей территории российского Кавказа, включая объекты историко-культурного наследия, зоологические исследования; материалы по ботаническим садам, коллекциям и другим фондовым материалам, хранящимся в Сочинском национальном парке. Статьи богато иллюстрированы цветными фотографиями, дополняющими основной текст.

Для биологов, географов, служащих ведомственных министерств, краеведов, специалистов по охране природы, туризму, дендрологических садов, студентов ВУЗов.

За содержание и достоверность публикуемых материалов ответственность несут авторы.

The Sochi National Park is 40 years. Proceeding of the Sochi National Park. Issue 14. — Sochi: Optima, 2023. 488 p.

In the anniversary collection contains articles reflecting the main areas of research conducted by a team of the Scientific Department of the Sochi National Park: issues of preservation of nature-territorial complex of the National Park, inventory research throughout the Russian Caucasus, including sites of historical and cultural heritage, zoological work; materials for botanical gardens, collections and other stock materials stored in Sochi National Park. Articles are richly illustrated with color photos, in addition to the main text.

For biologists, geographers, ethnographers, nature protection specialists, tourism, arboretums, University students.

ISBN 978-5-91789-301-3

УДК 502/504
ББК 28.008.л6

© Коллектив авторов, текст, иллюстрации, 2023
© ФГБУ «Сочинский национальный парк», 2023
© Типография «Оптима» (ИП Кривлякин С.П.), 2023
© Team sponsors, 2023
© Sochi, National Park, 2023
© Sochi, Optima, 2023

УДК 58.01/.07

ЧУЖЕРОДНЫЙ КОМПОНЕНТ ФЛОРЫ СОЧИНСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЕГО ФОРМИРОВАНИЯ

Егошин А.В.

E-mail: avegoshin@gmail.com

Резюме. Приведены результаты моделирования пространственного распределения наиболее агрессивных чужеродных видов растений в Сочинском национальном парке. Установлены факторы, вносящие весомый вклад в распространение видов-вселенцев в первичном и вторичном ареалах. Оценена роль различных параметров линейных объектов и нарушенных экосистем на процессы фитоинвазий.

Ключевые слова: чужеродные виды, инвазии, фитоинвазии, Сочинский национальный парк, SDM, моделирование

ВВЕДЕНИЕ

Привнесение элементов чужеродной флоры влечёт за собой изменение многих параметров нативных экосистем: обилия и константности видов, биологической продуктивности, интенсивности круговорота веществ и т.д., что потенциально может привести к изменению биоразнообразия 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 приводит к унификации флоры (Qian, 2006; Winter, 2009; Морозова, 2018).

Юг Черноморского побережья Краснодарского края характеризуется высоким уровнем геоморфологического и климатического разнообразия, что способствовало формированию здесь богатого уникального видового и экосистемного разнообразия. В настоящее время побережье Краснодарского края является одним из самых популярных направлений туристского отдыха и внутренней миграции в стране, что неизбежно ведёт к росту антропогенной нагрузки, ускоряя процессы трансформации экосистем. Это приводит к тому, что регион, включая Сочинский национальный парк и другие особо охраняемые природные территории региона, становятся всё более уязвимыми в отношении натурализации, как преднамеренно, так и непреднамеренно интродуцированных чужеродных видов. Поэтому своевременное выявление чужеродных видов, а также изучение различных аспектов их распространения, включая прогнозирование и их роль в трансформации экосистем приобретают всё большее значение в сохранении уникального биоразнообразия региона.

Прогнозирование инвазий предполагает, что чужеродные виды на новой родине будут занимать территории со схожими биоклиматическими условиями («нишевый консерватизм»). Согласно этому утверждению инвазионный ареал вида может быть спрогнозирован с использованием только пространственных данных присутствия экземпляров вида в нативном ареале. Тем не менее ряд исследований (Peterson, 2011), свидетельствует о том, что пришлые виды на новой родине зачастую осваивают места обитания, климатические условия которых отличаются от таковых в естественном ареале, т.е. экологические требования пришлых видов зачастую меняются по мере освоения новых пространств с течением времени. Такие изменения могут быть результатом трансформаций, как фундаментальной, так и реализованной ниши вида. В первом случае можно говорить об эволюционных изме-

нениях чужеродных видов на новой родине, вызванных селективным прессом. Во втором случае — об «отключении» биотических факторов, которые ограничивали распространение вида в нативном ареале. Многие чужеродные виды у себя на родине не в полной мере реализуют климатическую нишу в виду наличия различных биотических взаимодействий. (Broennimann, 2008), и отсутствие пресса со стороны конкурентов и хищников может приводить к сдвигу ниш во вторичном ареале (Callaway, 2006; Mitchell, 2006).

Кроме того, антропогенная деятельность, оказывая значительное влияние на экологические факторы (нарушения растительного покрова, освещённость, изменения различных почвенных характеристик и т.д.) может способствовать появлению экземпляров чужеродных видов в нетипичных для нативного ареала экологических условиях.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Регионом исследований является Большой Сочи, простирающийся от водораздела рек Магри и Шепси — на северо-западе до р Псоу — на юго-востоке, на границе с Абхазией. Большую часть площади (83%) изучаемого района занимают особо охраняемые природные территории федерального значения.

В ходе проведения полевых исследований фиксировали географические координаты мест произрастания экземпляров чужеродных видов. Помимо этого, использовали географические координаты местонахождений, экземпляров изучаемых видов в первичном и вторичном ареалах, представленные на сайте глобального информационного фонда по биоразнообразию (The Global Biodiversity Information Facility) и картографической системы веб-документирования распространения инвазионных видов (Early Detection and Distribution Mapping System). Далее данные о распространении чужеродных видов был пространственно «прорежены» с использованием инструментария SDMtoolbox программного комплекса ArcGIS (дистанция прорезивания 1 км).

В результате были сформированы четыре набора данных:

- глобальные данные о пространственном распределении вида
- данные о пространственном распределении вида в первичном ареале
- данные о пространственном распределении вида во вторичном ареале
- данные о пространственном распределении вида на юге Российского Причерноморья

Моделирование пространственного распределения экземпляров чужеродного вида проводили в среде MaxEnt (Version 3.4.4) методом максимальной энтропии. Расчеты по каждому из видов производили в 10 повторностях, выполняя 10 тысяч итераций по каждому пикселю растровых изображений. Для каждого изучаемого вида 30 % точек находок использовали в качестве тестовой выборки, 70 % – в качестве обучающей.

При моделировании пространственного распределения экземпляров вида в качестве предикторных переменных использовали различные наборы биоклиматических и эколого-географических данных, представленных в растровом формате:

- Климатические переменные Worldclim (минимальная, максимальная и средняя температура каждого месяца (°C), сумма осадков для каждого месяца (мм), солнечная радиация (КДж/м²/день), скорость ветра (м/с), среднемесячная влажность воздуха (давление водяного пара, кПа);

- Биоклиматические переменные Worldclim (табл. 1).

- Экологические переменные ENVIREM (Title, 2018) (табл. 2).

- Растровые изображения EarthEnv, полученные с использованием данных дистанционного зондирования (Amatulli, 2018) (табл. 3), в том числе содержащие результаты классификации типов почвенно-растительного покрова (Tuanmu, 2014) (табл. 4);

Все растровые изображения приведены к единому разрешению. Интервал между узлами сетки — 30» (1 км по дуге меридиана в линейной мере).

Растровые слои, характеризующие естественную и антропогенную нарушенность ландшафтов (населённые пункты, дороги, реки) получали с помощью инструмента Евклидово расстояние (Euclidean distance) в среде ArcGIS. Таким образом в результате были получены растровые изображения, каждая ячейка которых содержит данные об удалённости каждой точки пространства от рек, дорог и населённых пунктов (рис. 1).

Таблица 1.

Биоклиматические переменные BIOCLIM

Код	Биоклиматический параметр
BIO1	Средняя годовая температура
BIO2	Средняя суточная амплитуда температуры
BIO3	Изотермичность (BIO1/BIO7)
BIO4	Температурная сезонность
BIO5	Максимальная температура самого теплого 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 теплой четверти года
BIO19	Сумма осадков в самой холодной четверти года

Таблица 2.

Экологические переменные ENVIREM

Переменная	Описание	Единицы измерения
annualPET	Годовая потенциальная эвапотранспирация	мм / год
aridityIndexThornthwaite	Индекс засушливости Торнтвейта	-
climaticMoistureIndex	Метрика относительной влажности и засушливости	-
continentality	Средняя температура самого теплого месяца — средняя температура самого холодного месяца	°C
embergerQ	Плювиотермический коэффициент Эмбергера (метрика, разработанная для дифференциации климатов средиземноморского типа)	-
growingDegDays0	Сумма среднемесячной температуры за месяцы со средней температурой выше 0°C, умноженная на количество дней	-
growingDegDays5	Сумма среднемесячной температуры за месяцы со средней температурой более 5°C, умноженная на количество дней	-
maxTempColdestMonth	Максимальная температура самого холодного месяца года	°C * 10

Продолжение таблицы 2

PETDriestQuarter	Среднемесячная эвапотранспирация самой засушливой четверти года	мм / месяц
PETseasonality	Ежемесячная изменчивость потенциальной эвапотранспирации	мм / месяц
PETWarmestQuarter	Среднемесячная эвапотранспирация самой тёплой четверти года	мм / месяц
PETWettestQuarter	Среднемесячная эвапотранспирация самой влажной четверти года	мм / месяц
themInd	Компенсированный индекс термичности	°C
tri	Индекс расчленённости рельефа	-
topoWet	SAGA-GIS топографический индекс влажности	-

Таблица 3.

Переменные EarthEnv

Переменная	Описание
Elevation	Высота над уровнем моря
Roughness	Расчленённость рельефа
Terrain Ruggedness Index (tri)	Индекс выровненности рельефа
Topographic Position Index (tpi)	Различия в высоте над уровнем моря ячейки с высотой над уровнем 8-ми соседних ячеек растрового изображения
Vector Ruggedness Measure (vrm)	Пересечённость рельефа с учётом трёхмерной ориентации ячеек растра в отношении друг к другу
Aspect Cosine (aspectcos)	Экспозиция (косинус угла)
Aspect Sine (aspectsin)	Экспозиция (синус угла)
Slope	Уклон
Eastness	«Восточность» склона
Northness	«Северность» склона
Profile curvature (pcurv)	Кривизна профиля
Tangential curvature (tcurv)	Тангенциальная кривизна профиля
First order partial derivative (E-W slope) (dx)	Производные первого порядка, представляющая изменение значений абсолютной высоты с востока на запад
First order partial derivative (N-S slope) (dy)	Производные первого порядка, представляющая изменение значений абсолютной высоты с севера на юг
Second order partial derivative (E-W slope) (dxx)	Производные второго порядка, представляющая изменение значений абсолютной высоты с востока на запад
Second order partial derivative (N-S slope) (dyy)	Производные второго порядка, представляющая изменение значений абсолютной высоты с севера на юг
Geomorphological landforms (10 types: flat, peak, ridge, shoulder, spur, slope, hollow, footslope, valley, pit)	Геоморфологическая форма рельефа

Таблица 4.

Классификация типов почвенно-растительного покрова EarthEnv

Класс	Описание
1	Вечнозелёные и листопадные хвойные леса
2	Вечнозелёные широколиственные леса
3	Листопадные широколиственные леса
4	Смешанные леса
5	Кустарники
6	Луговая растительность
7	Сельскохозяйственные культуры
8	Регулярно затапливаемая растительность
9	Застроенные территории
10	Ледники
11	Пустоши
12	Открытая вода

Первоначальное количество растровых изображений при анализе составило 153. Расчет коэффициента линейной корреляции (корреляции Пирсона) между растровыми изображениями проводили в R. Растровые изображения с коэффициентами корреляции между значениями, превышающими 0.75 считали скоррелированными и исключали при дальнейшем анализе. После исключения количество скоррелированных переменных составило 49.



Рис. 1. Удалённость точек пространства от автомобильных дорог, полученная с помощью инструмента Euclidean distance (красным цветом обозначены территории, находящиеся на расстоянии 1 километра от автодорог).

Выбор оптимальных настроек MaxEnt был произведён на основе проверки многочисленных моделей в пакете R «ENMeval» в R-Studio 2022.07.2 Build 576 (Muscarella, 2018).

Наилучшее сочетание числовых признаков, количества фоновых точек и параметра множественной регуляризации определяли с помощью информационного критерия Акаике, его скорректированной формы (AICc) и разницы между ним и его минимальным значением ($\Delta AICc$) (табл. 5).

Таблица 5.

Входные данные и настройки девяти рассматриваемых моделей пригодности местообитаний и распределения изучаемых видов в условиях юга Российского Причерноморья

Модели	AUC	AICc	$\Delta AICc$
fc.L_rm.1	0.854978	1597.247	32.70288
fc.LQ_rm.1	0.853637	1911.858	347.3138
fc.H_rm.1	0.837639	1857.239	292.6952
fc.L_rm.2	0.859181	1578.361	13.81657
fc.LQ_rm.2	0.858779	1861.673	297.1289
fc.H_rm.2	0.854867	1641.116	76.572
fc.L_rm.3	0.860909	1564.544	0
fc.LQ_rm.3	0.862196	1812.99	248.4462
fc.H_rm.3	0.894619	1573.125	8.580689

Оценку качества моделей проводили с построением ROC-кривых (Receiver Operating Characteristic) и их AUC (Area Under Curve). Значение AUC равное 0.5 свидетельствуют о том, что прогноз пространственного распределения вида, полученный в результате моделирования носит случайный характер. Значения AUC от 0.5 до 0.7 указывают на слабую связь, в то время как значения AUC от 0.7 до 1.0 свидетельствуют о существенной точности моделирования пространственного распределения вида.

Оценку вклада переменных в предсказания пригодности местообитаний и вероятностей присутствия проводили анализ методом складного ножа (jackknife) в среде MaxEnt. При дискретной классификации данных растровых изображений использовали пороговое значение 10TP (10 percentile training omission threshold).

Сравнение климатических и эколого-географических параметров мест произрастания в первичном и вторичном ареале видов проводили методом главных компонент с использованием библиотеки ggplot2 в R.

Сбор материала для оценки вклада биоклиматических, биоценологических, экологических и антропогенных факторов в распространение чужеродных видов проводили на участках леса площадью 200м², расчленённых линейными объектами (реки, дороги). На участках отмечали количество экземпляров древесно-кустарниковых видов чужеродной и аборигенной растительности, а также фиксировали параметры линейных объектов (ширина, тип), включая протяжённость «зоны инвазионного воздействия» (расстояние от линейного объекта до наиболее глубоко проникшего в экосистему экземпляра чужеродного вида) (рис. 2). Кроме того, измеряли освещённость, крутизну склонов и т.д.

Подрост делили на три класса: мелкий (до 0.5 м), средний (0.6 — 1.5 м) и крупный (более 1.5 м). Проективное покрытие травянистого покрова измеряли по семибалльной шкале (1 балл — 1-3 особи; 2 — 1-5%; 3 — 6-11%; 4 — 16-25%; 5 — 25-50%; 6 — 51-75%; 7 — 76- 100%). Освещённость измеряли глазомерно (1.0 — полная затенённость; 0.9 — световые блики составляют в сумме ~ 0,1 S пункта наблюдений 0.0 — полная освещённость).

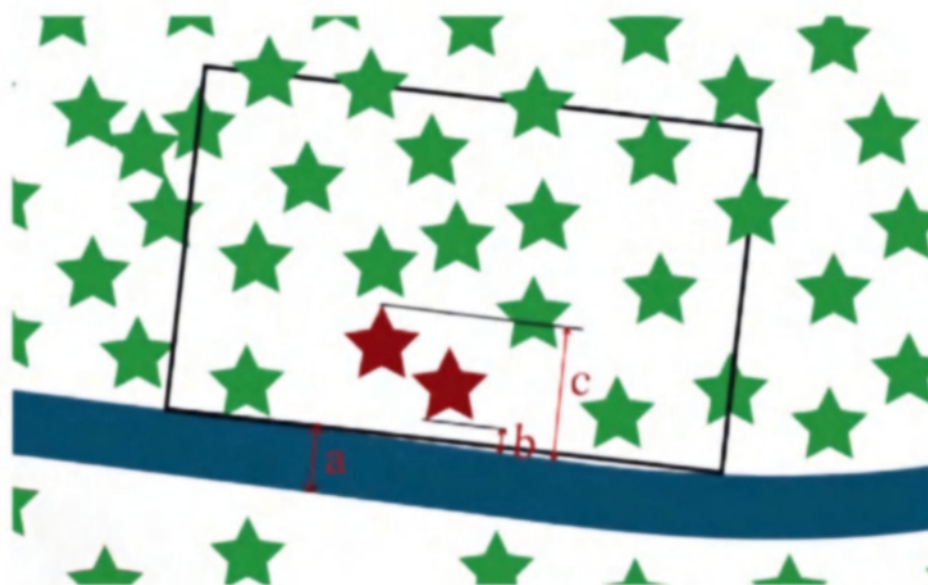


Рис. 2. Схема участка леса, подверженного инвазионным процессам: чёрный прямоугольник — пункт наблюдений; зелёный цвет — экземпляры аборигенных видов древесно-кустарниковой растительности, красный цвет — экземпляры адвентивных видов древесно-кустарниковой растительности; а — ширина линейного объекта (река, дорога); b — расстояние от линейного объекта до ближайшего адвентивного вида; с — ширина зоны инвазионного воздействия линейного объекта.

Кроме того, проводили описание травянистого покрова и рассчитывали индексы видового богатства (индекс Менхиника), доминирования (индекс Бергера-Паркера), выровненности (индекс Пилоу) для древесно-кустарниковой растительности.

Индекс Менхиника вычисляли по формуле (1):

$$D_{mn} = \frac{S}{\sqrt{N}}, D_{mn} = \frac{S}{\sqrt{N}}, \quad (1)$$

где S — число видов, N — общее число экземпляров всех S видов.

Индекс Бергера-Паркера рассчитывали по формуле (2):

$$D_{bp} = \frac{N_{max}}{N}, D_{bp} = \frac{N_{max}}{N}, \quad (2)$$

где Nmax — число экземпляров самого обильного вида.

Индекс Пилоу вычисляли по формуле (3):

$$D_p = \frac{H}{\log n}, D_p = \frac{H}{\log n}, \quad (3)$$

где H — фактическое значение индекса Шеннона, а n — число видов.

При этом индекс Шеннона рассчитывали по формуле (4):

$$H = - \sum P_i \ln P_i \quad (4)$$

где $P_i = N_i/M$ — доля i-го вида, N_i — численность i-го вида.

Индекс адвентизации определяли, как отношение количества чужеродных видов к аборигенным.

Статистический анализ и визуализацию данных проводили с использованием программы Statistica, а также библиотек Python (Pandas, NumPy, Matplotlib, Seaborn, Plotly) в web-приложении Jupyter Notebook.

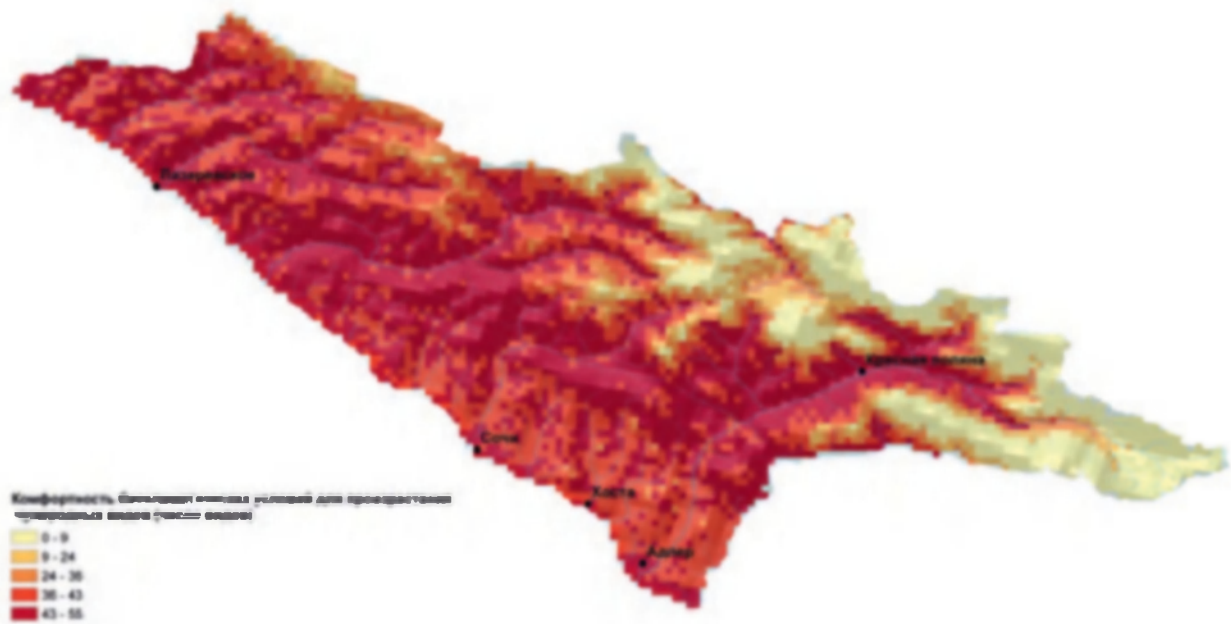


Рис. 3. Пригодность биоклиматических условий для произрастания наиболее агрессивных чужеродных видов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Общее количество преднамеренно и непреднамеренно интродуцированных видов на юге Российского Причерноморья превышает 2000 (Солодько, 2002; Тимухин, 2006; Тимухин, Туниев, 2010; Зернов, 2013; Tuniyev, Timukhin, 2017). Из них обладает чётко-выраженной способностью внедряться в естественные экосистемы различной степени не более 200.

Результаты моделирования пространственного распределения чужеродных видов способных внедряться в экосистемы различной степени нарушенности с использованием MaxEnt показали, что биоклиматические условия изучаемого района наиболее комфортны только для 74 из 183 пришлых видов растений, натурализовавшихся в регионе исследований (рис. 3).

Наиболее благоприятными для проникновения чужеродных видов являются долины рек, особенно таких крупных, как Мзымта и Шахе. Результаты моделирования показывают, что биоклиматические условия в долинах этих рек комфортны для большинства анализируемых чужеродных видов вплоть до высот 700 метров (р. Шахе) и 800 метров (р. Мзымта) над уровнем моря. Площадь территории Большого Сочи, наиболее уязвимой к внедрению анализируемых чужеродных видов составляет 1222,2 км², большая часть этой территории приходится на Сочинский национальный парк. Предполагается, что климатические изменения приведут к увеличению площади территории наиболее пригодной для распространения чужеродных видов.

Анализ биоклиматических растровых изображений Worldclim свидетельствует о том, что наиболее заметные климатические изменения будут наблюдаться в среднегорных и высокогорных районах изучаемого региона. Наиболее значимое изменение среднегодовой температуры следует ожидать к 2050 году, далее рост среднегодовой температуры замедлится (рис. 4).

В населённых пунктах региона исследований повышение среднегодовой температуры к 2050 году в зависимости от сценария может составить от 1.5 до 2.6°C, а к 2070 году от 1.6 до 3.6°C. При этом рост максимальной температуры самого тёплого месяца года к 2050 году составит от 2.3°C (репрезентативная траектория концентраций: RCP2.6) до 3.6°C (RCP8.5), а к 2070 году 2°C и 5°C соответственно. Минимальные температуры самого холодного месяца года увеличатся во всех населённых пунктах региона. Климатические изменения в целом будут сопровождаться незначительным увеличением годовой суммы осадков

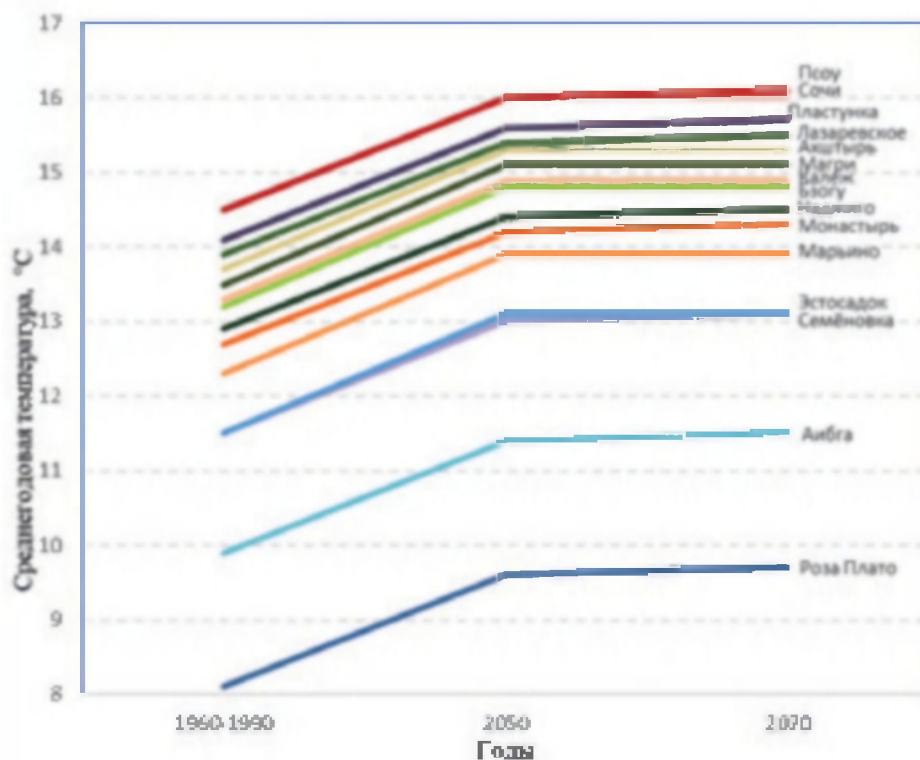


Рис. 4. Среднегодовая температура в некоторых населённых пунктах Большого Сочи, °С.

к 2050 году (за исключением самого экстремального сценария) с последующим снижением к 2070 году. Увеличение количества осадков будет отмечаться в самый влажный месяц года и преимущественно уменьшаться в самый сухой месяц года. Изменения годовой суммы осадков составят от +30мм (RCP2.6) до -42мм (RCP8.5) к 2050 году и от -8мм (RCP2.6) до -36мм (RCP8.5) к 2070 году. Такие климатические изменения не могут не повлиять на видовой состав и распространение чужеродных видов региона в будущем.

Климатические условия 2050 и 2070 годов будут благоприятствовать дальнейшему распространению ряда видов: *Ambrosia artemisiifolia* L., *Amorpha fruticosa* L., *Andropogon virginicus* L., *Abutilon theophrasti* Medikus, *Conyza bonariensis* (L.) Cronquist, *Cyclachaena xanthiifolia* (Nutt.) Fresen, *Duchesnea indica* (Andrews) Focke, *Elaeagnus pungens* Thunb., *Euphorbia maculata* L., *Euphorbia nutans* Lag., *Ligustrum lucidum* W.T. Aiton, *Microstegium japonicum* (Miq.) Koidz., *Microstegium vimineum* (Trin.) A. Camus, *Miscanthus sinensis* Andersson, *Oenothera biennis* L., *Oenothera erythrosepala* Borbas, *Oenothera oakesiana* (Gray) J.W. Robbins ex S. Wats. & Coult., *Oxalis corniculata* L., *Phytolacca americana* L., *Setaria pumila* (Poir.) Roem. & Schult., *Setaria viridis* (L.) P. Beauv. *Trachycarpus fortunei* (Hook.) H. Wendl. Прогнозируемые климатические изменения приведут к сокращению территории комфортной для произрастания многих чужеродных видов, широко распространённых в настоящее время на территории изучаемого района. К таким видам можно отнести: *Amaranthus blitum* L., *Amaranthus retroflexus* L., *Bidens bipinnata* L., *Bidens frondosa* L., *Buddleja davidii* Franch, *Catalpa ovata* D. Don., *Conyza canadensis* (L.) Cronquist, *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop., *Galinsoga ciliata* (Raf.) Blake, *Galinsoga parviflora* Cav., *Gleditsia triacanthos* L., *Helminthotheca echioides* (L.) Holub, *Hemerocallis fulva* L., *Muhlenbergia schreberi* J.F. Gmel., *Oxalis stricta* L., *Paspalum dilatatum* Poir., *Robinia pseudoacacia* L., *Rosa multiflora* Thunb., *Solidago canadensis* L., *Sorghum halepense* (L.) Pers. При этом самый экстремальный сценарий климатических изменений (RCP8.5) будет негативно влиять на распространение всех чужеродных видов, широко представленных ныне на изучаемой территории (рис. 5).

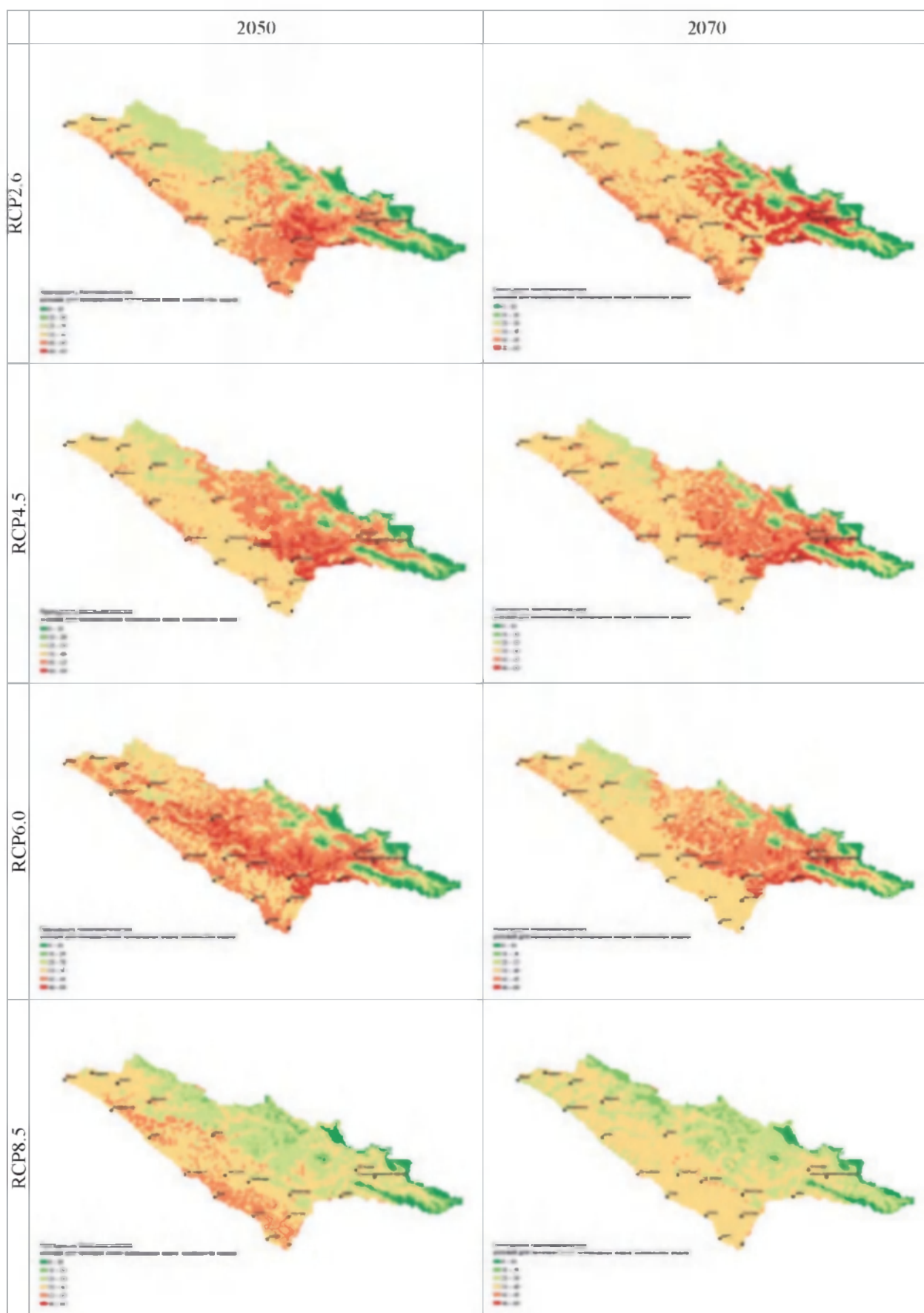


Рис. 5. Пригодность биоклиматических условий для произрастания наиболее агрессивных чужеродных видов в 2050 и 2070 году, рассчитанная для четырех репрезентативных траекторий концентраций (RCP).

Результаты моделирования свидетельствуют о том, что климатические изменения в сильной степени повлияют на современный пул чужеродных видов растений. Изменяющиеся климатические условия будут приводить к исчезновению целого ряда ныне широко распространённых пришлых видов. По-видимому, этот процесс будет сопровождаться появлением новых чужеродных видов растений, более приспособленных к новым условиям среды.

Несмотря на высокое разнообразие чужеродного компонента флоры региона, подавляющее число пришлых видов способно внедряться в экосистемы лишь в случае антропогенного воздействия. Способностью проникать в естественно-нарушенные системы региона (водотоки, вывалы деревьев) обладают не более 30 видов, из них наиболее агрессивными древесно-кустарниковыми видами являются *Paulownia tomentosa* (Thunb.) Steud, *Catalpa ovata* D. Don., *Buddleja davidii* Franch. Не смотря на незначительное число таких агрессивных чужеродных древесно-кустарниковых видов их роль в трансформации видового состава экосистем региона исследований может быть значительна. Так появление, *Paulownia tomentosa* (Thunb.) Steud в незатронутых антропогенной деятельностью лесных экосистемах пойм горных рек может приводить к локальной трансформации видового состава таких экосистем, сопровождающейся появлением в том числе и значительного числа травянистых чужеродных видов.

Поэтому моделирование пространственного распределения чужеродных древесных видов, способных внедряться даже в естественно-нарушенные лесные экосистемы, особенно актуально.

На отдельных участках водотоков (особенно в бассейне реки Шахе) *Paulownia tomentosa* (Thunb.) Steud конкурирует с *Catalpa ovata* D. Don за жизненное пространство и представляет научный интерес, какие факторы среды играют ключевую роль в пространственном распределении экземпляров этих видов.

Родиной *Paulownia tomentosa* (Thunb.) являются восточные и центральные районы Китая, к югу от изотермы 0°C, с количеством выпадающих осадков от 500 до 3000 мм в год. На юге Российского Причерноморья павлония предпочитает хорошо освещенные и влажные местообитания (Егошин, 2021). Родиной *Catalpa ovata* D. Don является центральный Китай. Это древесное растение также предпочитает хорошо освещённые местообитания с увлажнёнными и хорошо-дренированными почвами.

Все рассматриваемые модели пространственного распределения обоих видов имели значения тестовой зависимой AUC выше 0.95. Построенные модели отличались также высокими значениями тестовой TSS (табл. 6).

Таблица 6.

Оценки качества и пороговые значения рассматриваемой модели пригодности мест произрастаний и пространственного распределения павлонии войлочной и катальпы яйцелистной в условиях Сочинского национального парка

Вид	AUC	TSS	10TP
<i>Paulownia tomentosa</i>	0.995	0.953	0.0742
<i>Catalpa ovata</i>	0.997	0.983	0.0941

Результаты моделирования пространственного распределения свидетельствуют о том, что во многом оба вида приурочены к местам произрастания, обладающим схожими биоклиматическими и физико-географическими условиями. При этом большая часть антропогенно- и естественно нарушенных экосистем изучаемого региона практически в равной степени уязвима к внедрению обоих древесных чужеродных видов (рис. 6).



Рис. 6. Карта пригодности мест произрастания *Paulownia tomentosa* и *Catalpa ovata* на юге Российского Причерноморья, построенная с помощью моделирования методом максимальной энтропии.

Из всех переменных среды, годовая сумма осадков и солнечная радиация внесли наибольший вклад в результаты моделирования пространственного распределения как *Paulownia tomentosa* так и *Catalpa ovata* (табл. 7).

Таблица 7.

Вклад переменных среды в формирование области распространения *Paulownia tomentosa* и *Catalpa ovata*

Переменная	Вклад в построение модели, %	
	<i>Paulownia tomentosa</i>	<i>Catalpa ovata</i>
Годовая сумма осадков	58.5	69
Солнечная радиация	14.5	17.9

Корреляционный круг, представленный на рисунке 7, иллюстрирует важность каждой переменной относительно двух осей результата компонентного анализа, которые в сумме объясняют 51,8% суммарной дисперсии.

На рисунке 8 представлено распределение экземпляров видов *Paulownia tomentosa* и *Catalpa ovata* в двухфакторном экологическом пространстве наиболее значимых факторов.

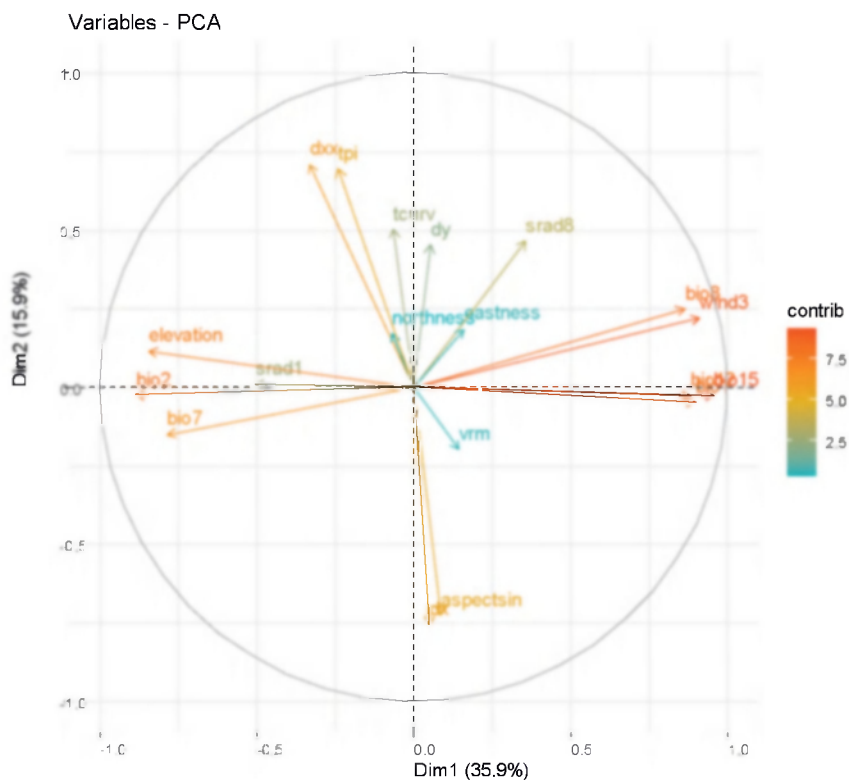


Рис. 7. Корреляционный круг, полученный в результате компонентного анализа переменных среды в местах произрастания *Paulownia tomentosa* так и *Catalpa ovata* в экологическом пространстве двух факторов (Dim 1 и Dim2) (обозначения приведены в разделе «Объекты исследования»).

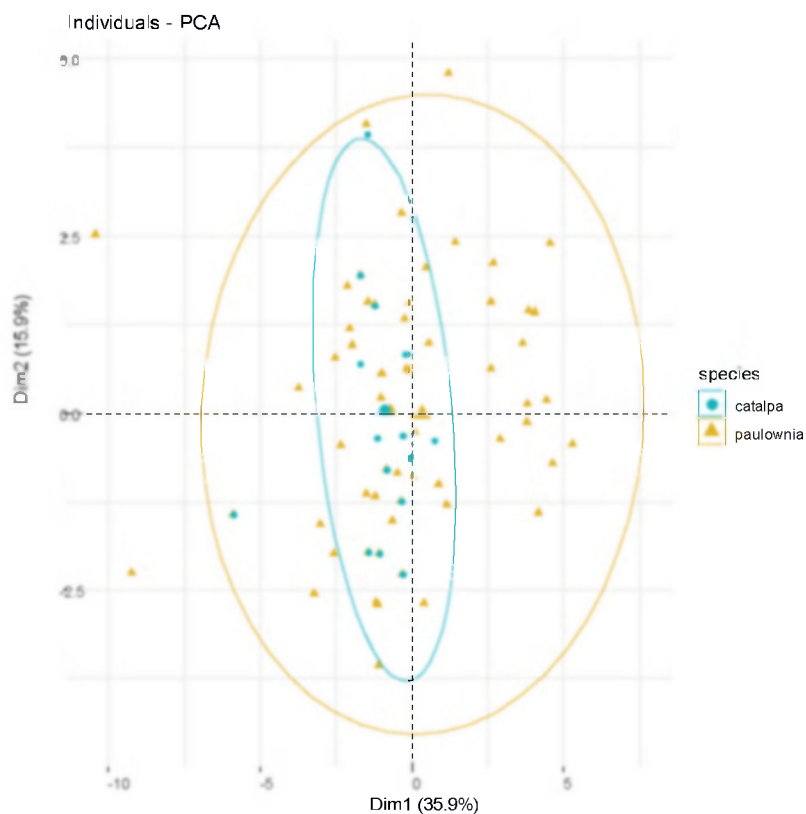


Рис. 8. Распределение точек наблюдений видов *Catalpa ovata* (оранжевый цвет) и *Paulownia tomentosa* (синий цвет) в экологическом пространстве двух факторов исследуемого региона, объясняющих 51,8% суммарной дисперсии.

Таким образом, *Catalpa ovata* предпочитает несколько менее увлажнённые места произрастания (переменная — сумма годовых осадков) нежели *Paulownia tomentosa*, при этом сохраняя аналогичные требования к освещённости, которая в том числе тесно связана и с различными ландшафтными характеристиками местности.

Если говорить о чужеродных древесных видах, которые активно распространяются в экосистемах, испытывающих антропогенное воздействие, то их число значительно выше (общее число видов фанерофитов около 50). Из этой группы чужеродных древесных видов, за исключением вышеупомянутых видов, особенно значительного уровня обилия достигают *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle и *Robinia pseudoacacia* L, а вблизи населённых пунктов высокого обилия достигает даже и такой высокодекоративный экзотичный вид как *Trachycarpus fortunei* (Hook.) H. Wendl, который во многом определяет облик курорта.

Трахикарпус Форчуна (*Trachycarpus fortunei* (Hook.) H. Wendl), впервые был завезён Сочи в качестве декоративной культуры в 1872 году (Карпун, 1998.). Этот высокодекоративный вид семейства Пальмовых (Arecaceae) успешно акклиматизировался на новой родине и впоследствии широко использовался при озеленении улиц города. В последующие десятилетия были отмечены первые случаи проникновения экземпляров этого вида в антропогенно нарушенные лесные экосистемы.

Из использованных при моделировании предикторов наиболее заметный вклад в построение модели пространственного распределения *Trachycarpus fortunei* внесли сумма осадков в самой сухой четверти года и застроенность территории (табл. 8).

Таблица 8.

Вклад биоклиматических и эколого-географических переменных в формирование области распространения *Trachycarpus fortunei* («глобальный ареал»).

Переменная / предиктор	Вклад в построение модели, %	Коэффициент перемутации.
Сумма осадков в сухой четверти года, мм	17.8	3.5
EarthEnv, class 9 «Застроенность территории» (классификация преобладающих типов почвенно-растительного покрова на основе ДДЗ)	12.0	1.6
Среднемесячная эвапотранспирация самой холодной четверти года, мм / месяц	9.5	6.1
Удалённость от автомобильных дорог, м	8.3	4.5
Сумма среднемесячных температур за месяцы со средней температурой выше 10°C умноженная на количество дней	7.4	0
Плювиотермический коэффициент Эмбергера	6.8	0
Сумма осадков в самый сухой месяц года, мм	6.8	0.6

Согласно использованным пространственным данным распространения экземпляров вида, *Trachycarpus fortunei* в первичном ареале также предпочитает нарушенные и увлажнённые местообитания (табл. 9).

Таблица 9.

Вклад биоклиматических и эколого-географических переменных в формирование области распространения *Trachycarpus fortunei* (первичный ареал).

Переменная / предиктор	Вклад в построение модели, %	Коэффициент перемутации.
EarthEnv, class 9 «Застроенность территории» (классификация преобладающих типов почвенно-растительного покрова на основе ДДЗ)	15.6	1.5
Сумма осадков в самой теплой четверти года, мм	14.1	0
Сумма осадков в июне, мм	14.1	0
Температурная сезонность	11.5	0
Среднемесячная эвапотранспирация самой холодной четверти года, мм / месяц	11.4	1.8
Сумма осадков в июле, мм	10.5	0.3

Во вторичном ареале, включая Российское Причерноморье, наибольший вклад в построение модели распространения *Trachycarpus fortunei* внесли сумма осадков в самой сухой четверти (табл. 10) и месяце (табл. 11) года ($AUC=0.972$), что согласуются с некоторыми данными о приуроченности вида к увлажнённым местообитаниям во вторичном ареале (Fehr, Burga, 2016).

Таблица 10.

Вклад биоклиматических и эколого-географических переменных в формирование области распространения *Trachycarpus fortunei* (вторичный ареал).

Переменная / предиктор	Вклад в построение модели, %	Коэффициент перемутации.
Сумма осадков в сухой четверти года, мм	28.2	0.7
Удалённость от автомобильных дорог, м	13.0	0.9
EarthEnv, class 9 «Застроенность территории» (классификация преобладающих типов почвенно-растительного покрова на основе ДДЗ)	10.8	0.7
Среднемесячная эвапотранспирация самой холодной четверти года, мм / месяц	8.3	2.3
Сумма среднемесячных температур за месяцы со средней температурой выше 10°C умноженная на количество дней	7.6	0
Сумма осадков в октябре, мм	3.1	13.8

Таблица 11.

Вклад биоклиматических и эколого-географических переменных в формирование области распространения *Trachycarpus fortunei* (вторичный ареал, Российское Причерноморье).

Переменная / предиктор	Вклад в построение модели, %	Коэффициент перемутации.
Сумма осадков в самом сухом месяце года, мм	24.3	0
Сумма осадков в декабре, мм	15,7	0
EarthEnv, class 3 «Листопадные широколиственные леса» (классификация преобладающих типов почвенно-растительного покрова на основе ДДЗ)	6.7	0
Среднемесячная эвапотранспирация самой влажной четверти года, мм / месяц	5.9	5.8
Удалённость от автомобильных дорог, м	4.2	0

Вклад других переменных, включая топографические (уклон, экспозиция, выровненность поверхности и т.д.) при моделировании пространственного распределения *Trachycarpus fortunei* оказался не существенным.

На рисунке 9 представлены результаты использования метода главных компонент, иллюстрирующие роль наиболее значимых экологических факторов в распределении экзотических видов в двухфакторном экологическом пространстве первичного и вторичного ареалов. Из всего набора использованных исходных переменных наибольший вклад в главную компоненту PC1 внесла сумма осадков в сухой четверти года, а в PC2 — переменная EarthEnv, class 9 («Застроенность территории»).

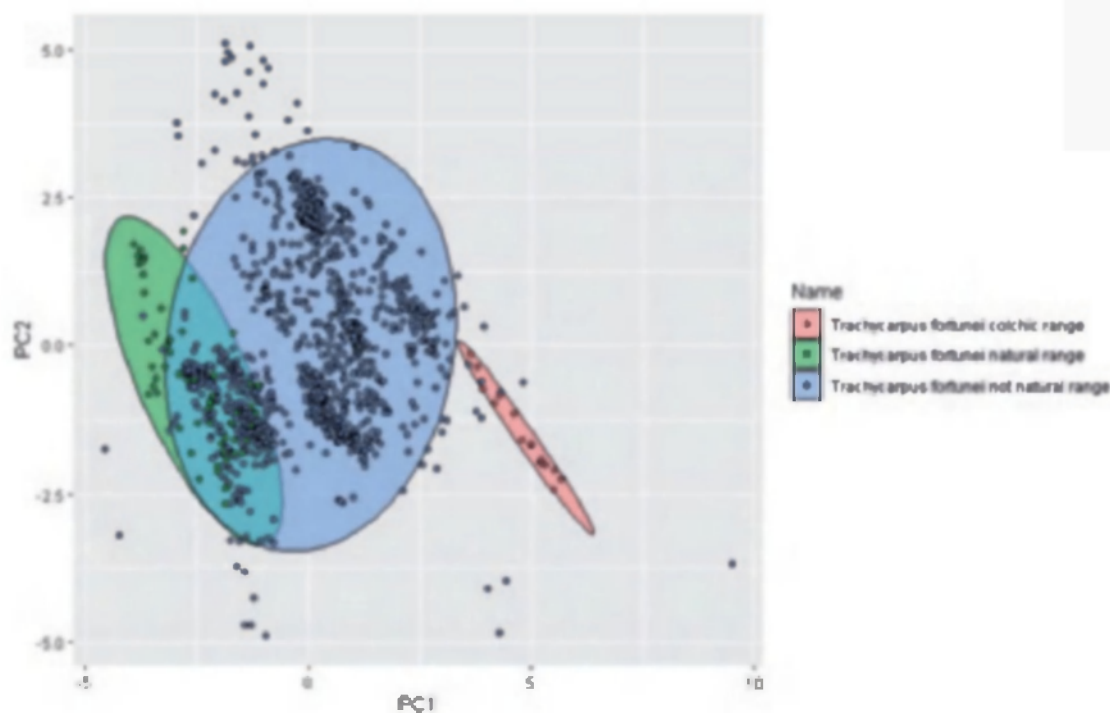


Рис. 9. Распределение точек наблюдений видов в первичном (зелёный цвет), вторичном (синий цвет), включая юг Российского Причерноморья (красный цвет) в экологическом пространстве двух факторов, объясняющих 75,6% суммарной дисперсии.

Представленное выше изображение наглядно иллюстрирует нишевый сдвиг, который преимущественно проходит по оси РС1, т.е. во вторичном ареале *Trachycarpus fortunei* стал осваивать более влажные условия произрастания.

Примечательно, что в 2014 году на побережье был завезен чужеродный вид насекомых — южноамериканский пальмовый бурильщик (*Paysandisia archon* Burmeister), который питается древесиной *Trachycarpus fortunei*, разрушая сердцевину и поражая точку роста пальмы. Таким образом этот чужеродный вид насекомых стал выступать в роли биотического фактора, ограничивающего распространение трахикарпуса во вторичном ареале. На текущий момент времени от вредителя преимущественно пострадали экземпляры трахикарпуса, произрастающие в городской черте. В связи с этим представляет научный интерес насколько реализованная ниша насекомого-вредителя будет совпадать с таковой *Trachycarpus fortunei* во вторичном ареале.

Согласно результатам моделирования, наиболее заметный вклад в построение модели распространения *Paysandisia archon* в «глобальном» и первичном ареале внесли EarthEnv, class 9 «Застроенность территории» (классификация преобладающих типов почвенно-растительного покрова на основе ДДЗ) (табл. 12, 13).

Таблица 12.

Вклад биоклиматических и эколого-географических переменных в формирование области распространения *Paysandisia archon* («глобальный ареал»).

Переменная / предиктор	Вклад в построение модели, %	Коэффициент перемутации.
EarthEnv, class 9 «Застроенность территории» (классификация преобладающих типов почвенно-растительного покрова на основе ДДЗ)	25.6	0.2
Сумма осадков в самой холодной четверти года, мм	19.9	0
Сумма среднемесячных температур за месяцы со средней температурой выше 0°C умноженная на количество дней	18.2	37.6
Средняя температура марта (°C)	8.9	0

Таблица 13.

Вклад биоклиматических и эколого-географических переменных в формирование области распространения *Paysandisia archon* (первичный ареал).

Переменная / предиктор	Вклад в построение модели, %	Коэффициент перемутации.
EarthEnv, class 9 «Застроенность территории» (классификация преобладающих типов почвенно-растительного покрова на основе ДДЗ)	60.8	1.1
Средняя влажность воздуха в январе (парциальное давление водяного пара, кПа)	7.3	5.2
Среднее значение солнечная радиации (КДж/м ² /день) в декабре	6.8	0
Сумма осадков в январе, мм	5.4	0
Сумма осадков в самом сухом месяце года, мм	3.1	0

Во вторичном ареале наиболее лимитирующими факторами оказались осадки в сухой четверти года и средняя температура марта (табл. 14).

Таблица 14.

Вклад биоклиматических в формирование области распространения *Paysandisia archon* (вторичный ареал).

Переменная / предиктор	Вклад в построение модели, %	Коэффициент перемутации.
Сумма осадков в сухой четверти года, мм	38.6	3.5
Средняя температура марта (°С)	23.5	0.9
Сумма осадков в самой холодной четверти года, мм	13.0	0
Сумма среднемесячных температур за месяцы со средней температурой выше 0°С умноженная на количество дней	16.0	33.8
Средняя температура марта (°С)	9.1	0

В Российском Причерноморье наиболее заметный вклад в построение модели распространения *Paysandisia archon* вносят также переменные, связанные с сезонным распределением осадков (табл. 15).

Таблица 15.

Вклад биоклиматических в формирование области распространения *Paysandisia archon* (вторичный ареал, Российское Причерноморье).

Переменная / предиктор	Вклад в построение модели, %	Коэффициент перемутации.
Среднемесячная эвапотранспирация самой влажной четверти года, мм / месяц	26.4	18.8
Индекс засушливости Торнтвейта	8,9	0.1
Среднемесячная эвапотранспирация самой засушливой четверти года, мм / месяц	7.7	1.9

Картографическое изображение, представленное на рисунке 10 иллюстрирует территории Российского Причерноморья, пригодные для произрастания экземпляров *Trachycarpus fortunei*, в том числе и уязвимых к поражению южноамериканским пальмовым бурильщиком.

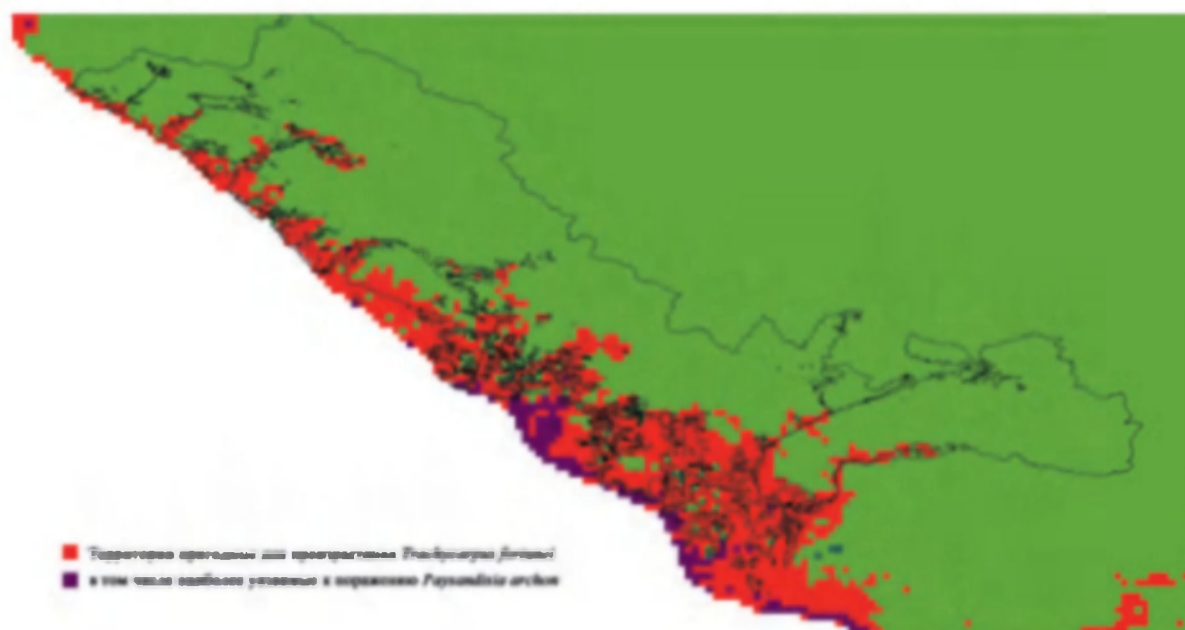


Рис. 10. Территории пригодные для произрастания *Trachycarpus fortunei* (красный цвет), в том числе потенциально уязвимые к поражению *Paysandisia archon* (фиолетовый цвет).

Согласно использованным при анализе пространственным данным о присутствии экземпляров вида *Paysandisia archon* в регионе исследования, от инвазии южноамериканского пальмового бурильщика пострадают экземпляры *Trachycarpus fortunei*, преимущественно произрастающие в городской черте.

На рисунке 11 представлены результат использования метода главных компонент, иллюстрирующий роль наиболее значимых экологических факторов в распределении экземпляров вида *Trachycarpus fortunei* и особей вида *Paysandisia archon* в двухфакторном экологическом пространстве. Максимальный вклад в компоненту PC1 внесла исходная переменная EarthEnv, class 9 («Застроенность территории») в PC2 — сумма осадков в самой холодной четверти года.

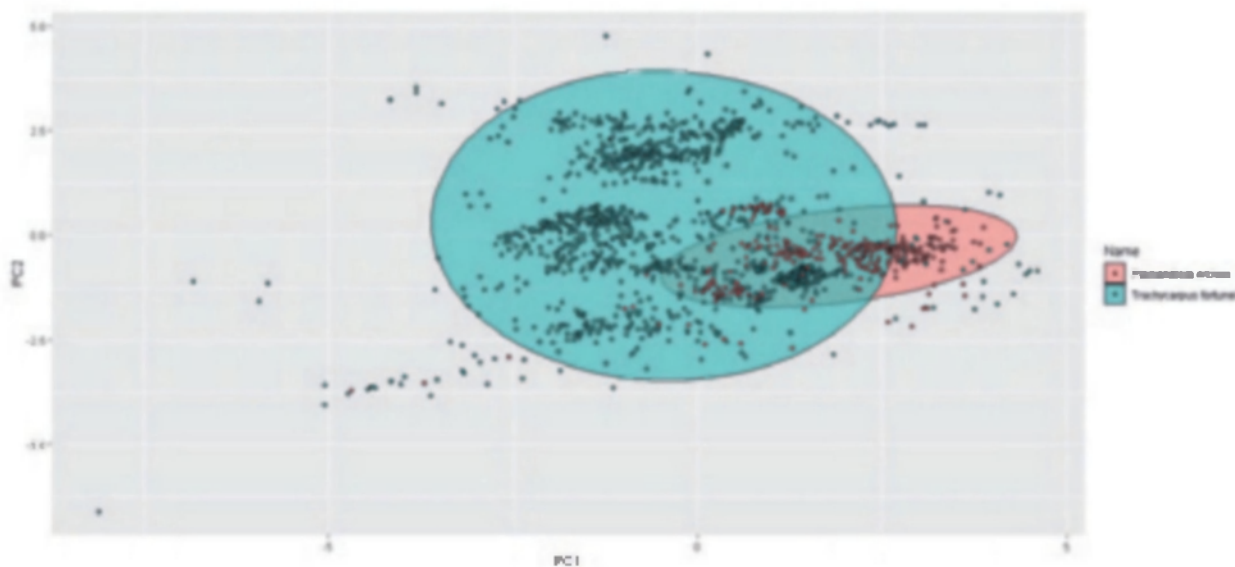


Рис. 11. Распределение точек наблюдений экземпляров видов *Paysandisia archon* (красный цвет) и *Trachycarpus fortunei* (аквамариновый Крайола) в экологическом пространстве двух факторов, объясняющих 75,3% суммарной дисперсии.

Судя по расположению экземпляров и особей изучаемых видов в двухфакторном экологическом пространстве региона исследований, южноамериканский пальмовый бурильщик в настоящее время приурочен к местам обитания, испытывающим более сильную антропогенную нагрузку, чем трахикарпус Форчуна.

На особо охраняемых природных территориях существенное влияние на распространение чужеродных видов посредством нарушений экосистем, приводящих к появлению свободных ниш оказывают линейные объекты. Кроме того, линейные объекты выступают в роли «каналов» проникновения чужеродных видов вглубь лесных экосистем.

Наиболее масштабные работы по сооружению линейных объектов проводились в ходе подготовки к зимним олимпийским играм 2014 года и были сопряжены со значительной трансформацией естественного растительного покрова, которая в итоге привела к появлению растительных сообществ с доминированием чужеродных видов. Одним из примеров таких сообществ являются насаждения с доминированием павловнии войлочной (*Paulownia tomentosa* (Thunb.) Steud.), сформированные вдоль совмещённой автомобильной и железной дороги Адлер — Красная Поляна. Процесс строительства сопровождался элиминацией древесно-кустарникового яруса экосистем практически на всём протяжении этого линейного объекта. Следует отметить, что ранее в состав сохранившихся насаждений низкогорной и среднегорной форм рельефа зачастую входил самшит колхидский (*Buxus colchica* Pojark.), который был уничтожен в результате инвазии самшитовой огнёвки (*Cydalima perspectalis*

Walker). Все эти процессы способствовали формированию нетипичных для района исследований насаждений, в которых в качестве эдификаторов выступают чужеродные виды, в первую очередь — *Paulownia tomentosa* (Thunb.) Steud и *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle (рис. 12). При этом отмечено проникновение *Paulownia tomentosa* вглубь лесного массива от дорожной инфраструктуры в среднем на 30 метров, *Ailanthus altissima* — не далее 14 метров. Изученная трансформированная экосистема, располагающаяся на надпойменной террасе левого берега реки Мзымта, на высоте 136 метров над уровнем моря (43.5740730N, 40.0082650E), граничит с естественной экосистемой, представляющей собой грабо-букняк самшитовый, в травянистом покрове которого доминирует остянка курчаволистная (*Oplismenus undulatifolius* (Ard.) P. Beauv.) (40%) и недотрога обыкновенная (*Impatiens noli-tangere* L.) (20%) (табл. 16).



Рис. 12. Трансформированная лесная экосистема с доминированием *Paulownia tomentosa*.

Таблица 16.

Видовой состав трансформированной и естественной экосистемы в пойме реки Мзымта.

Тип экосистемы	Древесно-кустарниковая растительность	Травянистая растительность
Трансформированная экосистема	<i>Paulownia tomentosa</i> (Thunb.) Steud., <i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle, <i>Fraxinus excelsior</i> L.	<i>Circaea lutetiana</i> L., <i>Paspalum dilatatum</i> Poir., <i>Abutilon theophrasti</i> Medik., <i>Phytolacca americana</i> L., <i>Rumex confertus</i> Wild., <i>Urtica dioica</i> L., <i>Asarum intermedium</i> (C.A. Mey.) Grossh., <i>Impatiens noli-tangere</i> L., <i>Bidens frondosa</i> L., <i>Veronica arvensis</i> L., <i>Sambucus ebulus</i> L., <i>Rubus sanctus</i> Schreb., <i>Calystegia silvatica</i> (Kit.) Griseb., <i>Smilax excelsa</i> L.

Естественная экосистема	<i>Carpinus betulus</i> L., <i>Fagus orientalis</i> Lipsky, <i>Vixus colchica</i> Pojark. (усохший) , <i>Sambucus nigra</i> L., <i>Corylus avellana</i> L., <i>Acer cappadocicum</i> Gled., <i>Acer campestre</i> L., <i>Ficus carica</i> L., <i>Fraxinus excelsior</i> L., <i>Hedera colchica</i> (K. Koch) K. Koch	<i>Symphytum grandiflorum</i> DC., <i>Oplismenus undulatifolius</i> (Ard.)_P. Beauv., <i>Impatiens noli-tangere</i> L., <i>Mercarialis annua</i> L., <i>Solanum nigrum</i> L., <i>Salvia glutinosa</i> L., <i>Phytolacca americana</i> L., <i>Allium ursinum</i> L., <i>Symphytum grandiflorum</i> DC., <i>Carex flacca</i> Schreb., <i>Phyllitis scolopendrium</i> (L.) Newman, <i>Urtica dioica</i> L., <i>Rubus caesius</i> L., <i>Sagina apetala</i> Ard, <i>Juncus effusus</i> L., <i>Asarum intermedium</i> (C.A. Mey.) Grossh., <i>Cyclamen coum</i> Mill., <i>Oxalis acetosella</i> L., <i>Paris incompleta</i> M. Bieb., <i>Polystichum aculeatum</i> L., <i>Geranium robertianum</i> L., <i>Galanthus woronowii</i> Losinsk., <i>Helleborus caucasicus</i> A. Braun, <i>Ruscus aculeatus</i> L., <i>Mycelis muralis</i> (L.) Dumort., <i>Carpesium abrotanoides</i> L., <i>Erigeron annuus</i> (L.) Desf., <i>Arctium lappa</i> L., <i>Lycopus europaeus</i> L., <i>Solanum persicum</i> Willd. ex Roem. & Schult., <i>Trifolium campestre</i> Schreb., <i>Polystichum braunii</i> (Spenn.) Fee, <i>Alkekengi officinarum</i> Moench, <i>Ranunculus cappadocicus</i> Willd.
-------------------------	---	---

Примечание — Жирным шрифтом отмечены доминанты и содоминанты каждого яруса, подчёркиванием — чужеродные виды.

Возраст экземпляров вида доминанта трансформированной экосистемы — павловнии войлочной варьировал от 6 до 10 лет. Зависимости между диаметром ствола и возраста обследованных экземпляров вида обнаружено не было, что связано со значительным влиянием освещённости на радиальный прирост экзота.

Максимальный радиальный прирост у павловнии войлочной отмечался в первые четыре года. При этом у экземпляров растений, произрастающих на хорошо освещённых участках в непосредственной близости от дороги, прирост достигал 2 см за год, в то время как у экземпляров, находящихся в глубине насаждения едва превышал 0.5 мм (рис 13).



Рис. 13. Спилы экземпляров *Paulownia tomentosa* (Thunb.) Steud, произрастающих на освещённых (слева) и затенённых (справа) участках лесного насаждения.

Для количественной оценки вклада различных параметров линейных объектов в распространение чужеродных видов с 2017 по 2022 год проводили описание прирусловых и придорожных участков леса, подверженных инвазионным процессам. При этом подбирались участки леса, где отсутствовали иные, кроме линейных объектов, источники воздействия на экосистемы. В общей сложности была описана 61 площадка экотонных лесных комплексов, располагающихся в непосредственной близости к горным рекам и лесным дорогам. Ширина водотоков и дорог, оказывающих экотонный эффект на лесные экосистемы не превышала 25 и 16 метров соответственно. Число чужеродных древесно-кустарниковых видов на большинстве пунктах наблюдений не превышало трёх. При этом дороги, не смотря на меньшую ширину, включая ширину зоны инвазионного воздействия (рис. 14), зачастую способствовали формированию растительных сообществ с не меньшим числом экземпляров чужеродных видов чем водотоки (рис. 15).

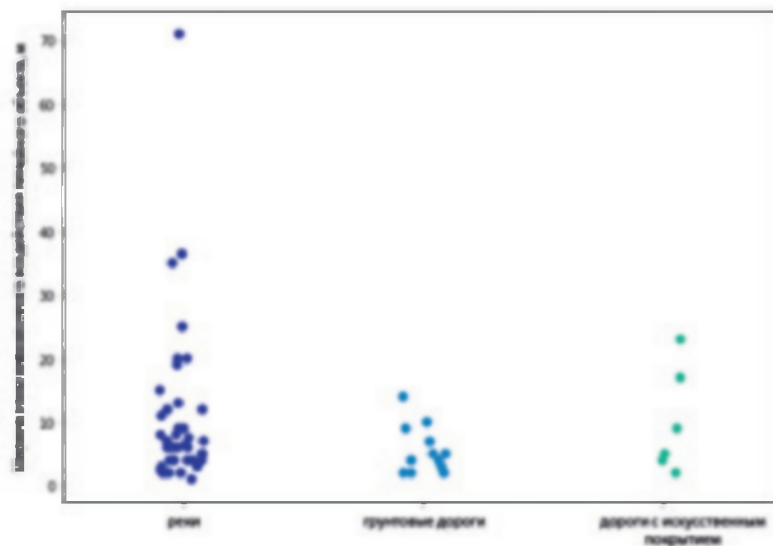


Рис. 14. Ширина зоны инвазионного воздействия линейного объекта.

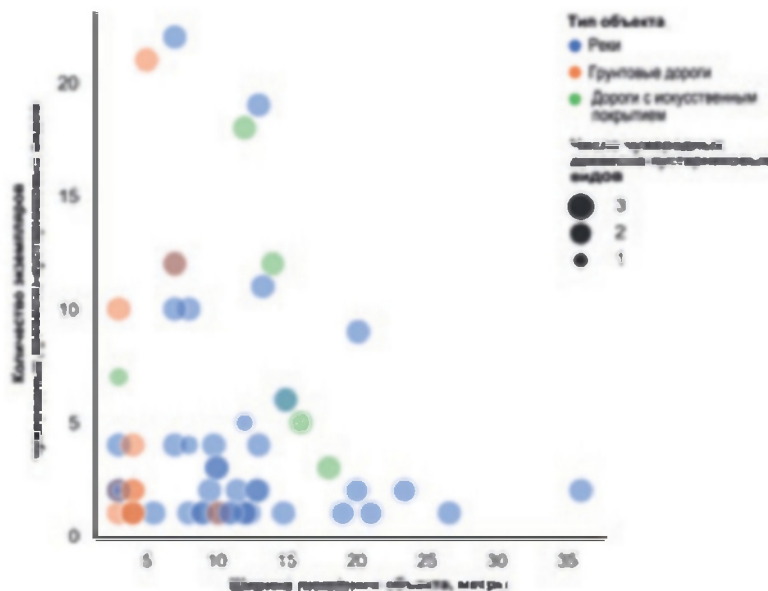


Рис. 15. Зависимость количества экземпляров чужеродных древесно-кустарниковых видов (ось ординат) от ширины линейного объекта (ось абсцисс). Синим цветом обозначены пункты наблюдений, примыкающие к берегам рек, красным и зелёным цветом — пункты наблюдений, располагающиеся в непосредственной близости от дорог с грунтовым и железобетонным покрытием. Размер круга указывает на число чужеродных видов.

Рассчитанные коэффициенты корреляции Пирсона (рис 16) указывают на очень слабую связь между переменными «Ширина линейного объекта» и «Ширина зоны инвазионного влияния линейного объекта на экосистему», равно как и между числом чужеродных видов и шириной линейного объекта (рис. 17), что может объяснено недостаточным количеством собранных данных, а также ролью иных факторов, играющих немаловажную роль в процессах проникновения чужеродных видов в малонарушенные лесные экосистемы.

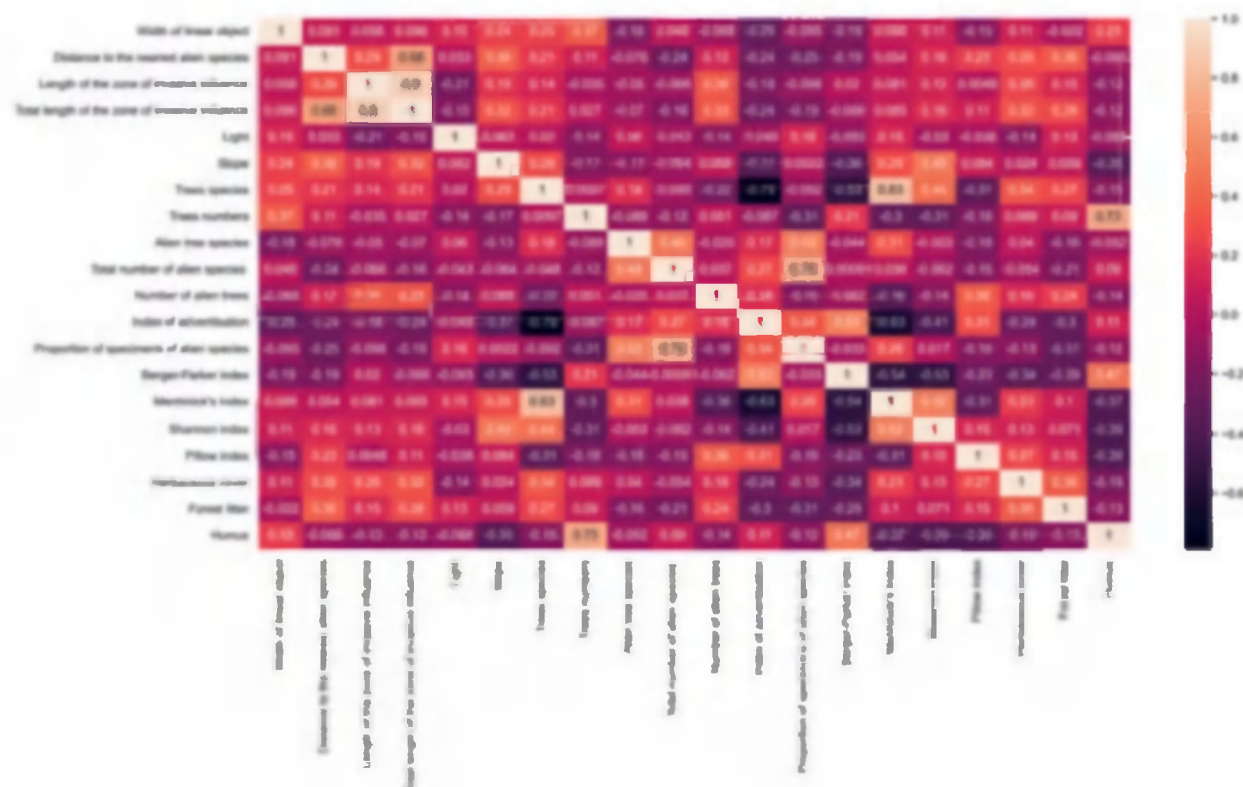


Рис. 16. Корреляция между различными измеряемыми параметрами пунктов наблюдений «Width of linear object» — ширина линейного объекта, «Distance to the nearest alien species» — расстояние от границы линейного объекта до ближайшего древесного чужеродного вида, «Length of the zone of invasive influence» — расстояние, на которое проникают чужеродные виды от линейного объекта в глубь лесного массива, «Total length of the zone of invasive influence» = «Distance to the nearest alien species» + «Length of the zone of invasive influence», «Light» — освещённость по 10-ти бальной шкале, «Slope» — крутизна склона в градусах, «Trees species» — число древесных видов, «Trees numbers» — суммарное число экземпляров древесно-кустарниковых видов, «Alien tree species» — число чужеродных древесно-кустарниковых видов, «Total number of alien species» — суммарное число чужеродных видов, «Number of alien trees» — число экземпляров древесно-кустарниковых чужеродных видов, «Index of adventisation» — индекс адвентизации [доля адвентивных видов от общего числа видов], «Proportion of specimens of alien species» — доля участия экземпляров чужеродных древесно-кустарниковых видов, «Berger-Parker index» — индекс Бергера — Паркера, «Menhinick's Index» — индекс Менхиника, «Shannon index» — индекс Шеннона, «Pillow index» -Индекс Пилоу, «Herbaceous cover» — Проективное покрытие травянистого покрова, «Forest litter» — Мощность подстилки в см, «Humus» — Мощность гумуса в см).

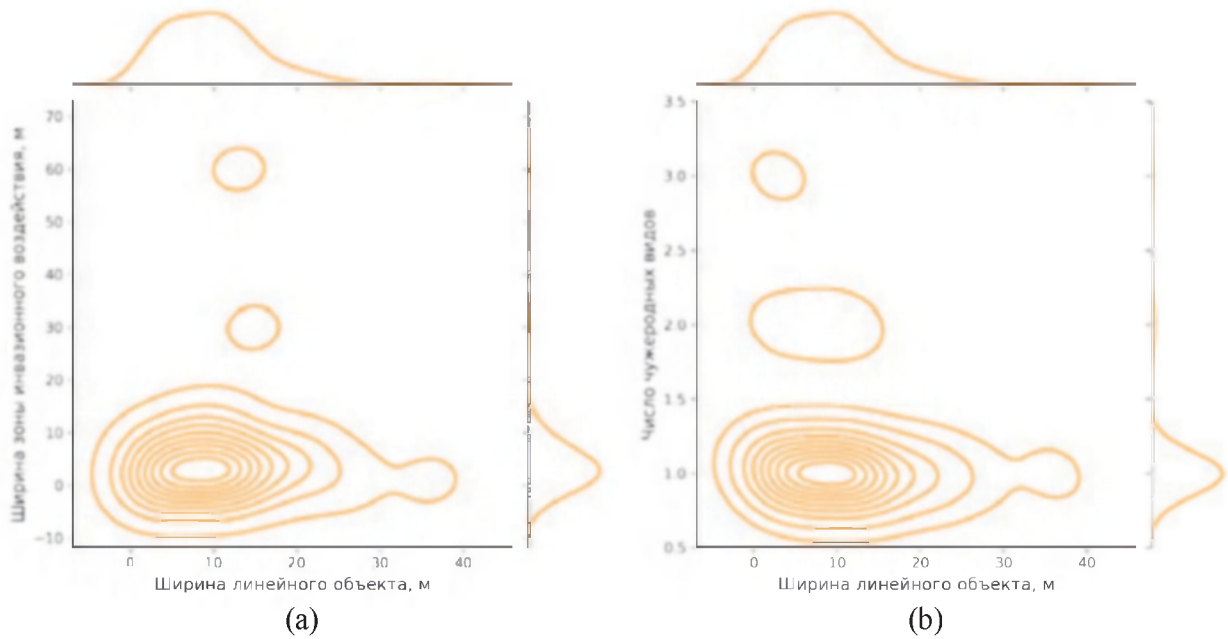


Рис. 17. Зависимость ширины зоны инвазионного воздействия (а) и числа чужеродных видов (б) от ширины линейного объекта.

Зависимости между отдельными параметрами линейных объектов и описанных участков леса имеют место быть только при использовании в ходе анализа данных, классифицированных по типу линейных объектов (реки, дороги) с добавлением нескольких других параметров: крутизна склона, количество чужеродных древесно-кустарниковых видов, суммарное число видов древесно-кустарниковой растительности и т.д. (рис. 18).

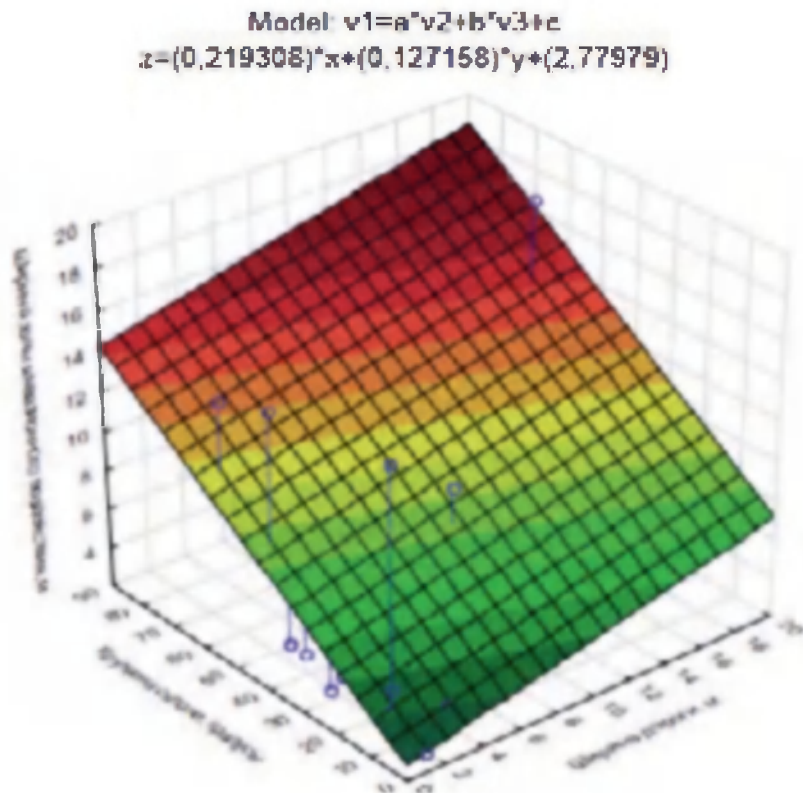


Рис. 18. Зависимость между шириной дороги, шириной её зоны инвазионного воздействия и крутизной склона ($R^2=0.59$).

ВЫВОДЫ

Наиболее благоприятными для распространения чужеродных видов на юге Российского Причерноморья являются долины рек, особенно таких крупных, как Мзымта и Шахе. Результаты моделирования показывают, что биоклиматические условия в долинах этих рек вплоть до высот 700 метров (р. Шахе) и 800 метров (р. Мзымта) над уровнем моря комфортны для 74 из 183 широко представленных в регионе чужеродных видов. Площадь территории Большого Сочи, наиболее уязвимая к внедрению изучаемых чужеродных видов превышает тысячу квадратных километров.

Результаты моделирования свидетельствуют о том, что климатические изменения в сильной степени повлияют на современный пул чужеродных видов растений. Изменяющиеся климатические условия будут приводить к исчезновению целого ряда ныне широко распространённых пришлых видов. По-видимому, этот процесс будет сопровождаться появлением новых чужеродных видов растений, более приспособленных к изменившимся условиям среды.

Несмотря на высокое флористическое разнообразие чужеродного компонента флоры региона, подавляющее число пришлых видов способно внедряться в экосистемы лишь в случае антропогенного воздействия. Способностью проникать в естественно-нарушенные системы региона (водотоки, вывалы леса) обладают не более 30 видов, из них наиболее агрессивными древесно-кустарниковыми видами являются *Paulownia tomentosa* (Thunb.) Steud, *Catalpa ovata* D. Don., *Buddleja davidii* Franch. Несмотря на незначительное число таких агрессивных чужеродных древесно-кустарниковых видов их роль в трансформации видового состава региона исследований значительна.

На отдельных участках водотоков *Paulownia tomentosa* (Thunb.) Steud конкурирует с *Catalpa ovata* D. Don за жизненное пространство. Результаты моделирования пространственного распределения свидетельствуют о том, что *Catalpa ovata* предпочитает несколько менее увлажнённые места произрастания нежели *Paulownia tomentosa*, при этом сохраняя аналогичные высокие требования к освещённости. Тем не менее большая часть антропогенно- и естественно нарушенных экосистем изучаемого региона в значительной степени уязвима к внедрению обоих древесных чужеродных видов.

Чётко-выраженной зависимости между шириной линейного объекта и шириной зоны его инвазионного воздействия на лесные экосистемы (расстояние, на которое проникают чужеродные виды от линейного объекта в глубь лесного массива), равно как и между количеством экземпляров чужеродных видов и шириной линейного объекта не отмечено, что может объяснено недостаточным количеством собранных данных, а также ролью иных факторов, играющих немаловажную роль в процессах проникновения чужеродных видов в малонарушенные лесные экосистемы.

Зависимости между отдельными параметрами линейных объектов и описанных участков леса имеют место быть только при использовании в ходе анализа данных, классифицированных по типу линейных объектов (реки, дороги) с добавлением нескольких других параметров: крутизна склона, количество чужеродных древесно-кустарниковых видов, суммарное число видов древесно-кустарниковой растительности и т.д.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Amatulli, G., Domisch, S., Tuanmu, M.-N., Parmentier, B., Ranipeta, A., Malczyk, J., Jetz, W. 2018. A suite of global, cross-scale topographic variables for environmental and biodiversity modeling. Scientific. Data volume 5. Article number: 180040.

Broennimann O., Guisan A. 2008. Predicting current and future biological invasions: both native and invaded ranges matter // Biology letters. 4. P. 585–589.

Callaway R.M., Maron J.L. 2006. What have exotic plant invasion taught us over the past 20 years? // *Trends in Ecology and Evolution*. 21. P. 369–374.

Fehr V., Burga C. 2016. Aspects and causes of earlier and current spread of *Trachycarpus fortunei* in the forests of southern Ticino and northern Lago Maggiore (Switzerland, Italy). *Palms*. 60. P. 125–136.

Mitchell C.E., Agrawal A.A., Bever, J.D., Gilbert G.S., Hufbauer R.A., Klironomos J.N. et al. 2006. Biotic interactions and plant invasions // *Ecology Letters*. Volume 9. P. 726–740.

Muscarella R., Galante P.J., Soley-Guardia M., Boria R.A., Kass J.M., Uriarte M., Anderson R.P. 2018. Package 'ENMeval', version 0.3.0. Automated Runs and Evaluations of Ecological Niche Models. 26 p.

Peterson A.T., Soberon J. 2011. *Ecological Niches and Geographic Distributions / Monographs in Population Biology*. 49. 315 p.

Qian H., Ricklefs R.E. 2006. The role of exotic species in homogenizing the North American flora // *Ecology Letters*. V. 9. P. 1293–1298.

Title P.O., Bemmels J.B. 2018. ENVIREM: an expanded set of bioclimatic and topographic variables increases flexibility and improves performance of ecological niche modeling. *Ecography*. 41. P. 291–307.

Tuanmu, M.N. Jetz, U. 2014 A global 1-km consensus land-cover product for biodiversity and ecosystem modeling. *Global Ecology and Biogeography*. № 23(9). P. 1031–1045.

Tuniyev B.S., Timukhin I.N. 2017. 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*, 2(4). P. 2–25.

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. 2009. 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*. V. 106 (51). P. 21721–21725.

Егошин А.В. 2021. Моделирование пространственно-временного распределения чужеродных видов растений с использованием данных дистанционного зондирования, на примере *Paulownia tomentosa*. // *Труды Мордовского государственного природного заповедника им. П. Г. Смидовича*. Выпуск 28. С. 83–94.

Зернов А.С. 2013. *Иллюстрированная флора юга Российского Причерноморья*. Москва: Товарищество научных изданий КМК. 588 с.

Карпун Ю. Н. 1998. *Сокровища парков Сочи*. Сочи. 172 с.

Морозова О.В. 2018. Натурализовавшиеся чужеродные виды во флорах средней полосы Европейской России: гомогенизация или дифференциация? // *Российский журнал биол. Инвазий*. № 3. С. 52–62.

Солодько А.С. 2002. *Флора Сочинского Причерноморья*. Сочи. 65 с.

Тимухин И.Н. 2006. Редкие виды сосудистых растений Сочинского национального парка // *Инвентаризация основных таксономических групп и сообществ, зоологические исследования Сочинского национального парка: Монография / Под ред. Б.С. Туниева*. М.; Престиж. 304 с.

Тимухин И.Н., Туниев Б.С. 2010. Современное распространение инвазивных видов сосудистых растений на территории Сочинского национального парка // *Изучение флоры Кавказа*. Пятигорск. С. 106–107.

Министерство природных ресурсов и экологии
Российской Федерации

СОЧИНСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПАРК

**СОЧИНСКОМУ
НАЦИОНАЛЬНОМУ
ПАРКУ — 40 ЛЕТ**

Юбилейный сборник научных трудов

Труды Сочинского национального парка
Выпуск 14

Ответственный редактор:
доктор биологических наук, заслуженный эколог России
Б.С. Туниев

Редакционная коллегия:
*д.б.н. Н.В. Ширяева, д.б.н. И.Н. Тимухин, к.б.н. П.А. Тильба, к.б.н. Л.А. Ковалёва,
к.б.н. К.Ю. Лотиев, к.б.н. А.И. Мирошников, к.б.н. А.В. Ромашин, к.с/х.н. А.В. Егошин,
к.б.н. Х.У. Алиев, к.с/х.н. С.Д. Самсонов, к.б.н. Г.А. Солтани, с.н.с. Н.И. Терре,
с.н.с. И.В. Анненкова*

Научный рецензент:
доктор биологических наук, профессор *Н.Б. Ананьева*

Подписано в печать 26.04.2023 г. Формат издания 60*90/8. Бумага мелованная. Гарнитура Times.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 61. Тираж 50 экз. Заказ № 1232.

Типография «Оптима» (ИП Кривлякин С.П.), г. Сочи, ул. Советская, 40.
Тел.: (862) 264-91-32 www.optima-sochi.ru