

<https://doi.org/10.25221/kurentzov.36.3>

<https://elibrary.ru/qwudsa>

<https://zoobank.org/References/CBA9B336-6AE4-453E-9938-11CC4D1D6D8D>

**ОСНОВНЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ ПРЕДИКТОРЫ
ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАСЕКОМЫХ-
САПРОКСИЛОФАГОВ В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ
СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ АЗИИ**

А.В. Куприн^{1*}, В.С. Бакланова¹, Н.Е. Шевченко²

¹ Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии
ДВО РАН, г. Владивосток

² Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов им. А.С. Исаева РАН, г. Москва
*Корреспондирующий автор, E-mail: kyprins@mail.ru

Аннотация. На основе собственных натурных данных и с помощью моделирования потенциальных ареалов (в программе MaxEnt) проведена оценка биотопического распространения *Callipogon (Eoxenus) relictus* Semenov 1899 в Северо-Восточной Азии и определены климатические предикторы его пространственного распределения. Построенная картографическая модель потенциального ареала *C. relictus* демонстрируют высокую вероятность обитания вида в среднегорных районах юга Дальнего Востока России, провинциях Северо-Восточного Китая и Корейского полуострова. Полевые данные также показывают масштабную приуроченность вида к малонарушенным широколиственным и хвойно-широколиственным лесам Северо-Восточной Азии. Наиболее значимыми предикторами в прогнозировании ареала жука стали высота над уровнем моря, сумма осадков в самой сухой четверти года и температурные факторы.

Ключевые слова: жесткокрылые, ксилофаги, сапроксилофаги, ареал, климат, факторы среды, Maxent, Северо-Восточная Азия.

**MAIN CLIMATIC PREDICTORS OF SPATIAL DISTRIBUTION OF
SAPROXYLIC INSECTS IN FOREST ECOSYSTEMS OF NORTHEAST
ASIA**

A.V. Kuprin^{1*}, V.S. Baklanova¹, N.E. Shevchenko²

¹ Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch of
Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia.

² Isaev Centre for Forest Ecology and Productivity of the Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia.

*Corresponding author, E-mail: kyprins@mail.ru

Abstract. Based on our own field data and using modeling of potential habitats (in the MaxEnt program), the biotopic distribution of *Callipogon (Eoxenus) relictus* Semenov 1899 in Northeast Asia was assessed and climatic predictors of its spatial distribution were determined. The constructed cartographic model of the potential range of *C. relictus* demonstrates a high probability of the species inhabiting the mid-mountain regions of the southern Russian Far East, the provinces of Northeast China and the Korean Peninsula. Field data is also show a large-scale confinement of the species to intact broad-leaved and coniferous-broad-leaved forests of Northeast Asia. The most significant predictors in forecasting the range of the beetle were the altitude above sea level, the amount of precipitation in the driest quarter of the year and temperature factors.

Keywords: Coleoptera, xylophages, saproxylophages, range, climate, environmental factors, Maxent, Northeast Asia.

ВВЕДЕНИЕ

Насекомые сапроксилофаги – разнообразная группа насекомых, развитие которых связано с древесиной разной степени разложения. В лесах они выполняют важные экосистемные функции: личинки многих видов – экосистемные инженеры, в процессе жизнедеятельности утилизируют крупные древесные остатки (зоогенный ксилолиз), тем самым участвуют в биогеохимическом цикле углерода, регулируя его запасы в лесах, трансформируя микроместообитания для многих других видов беспозвоночных животных (метабиоз) (Mico et al., 2020). В настоящее время в связи с глобальными климатическими процессами происходит существенная трансформация местообитаний разных групп насекомых, в том числе и сапроксилофагов (Eickermann et al., 2023; Hagvar, Odegaard, 2025).

Реликтовый усач (*Callipogon relictus* Semenov, 1899) – редкий и единственный представитель неотропического рода *Callipogon* Audinet-Serville 1832 в фауне Северо-Восточной Азии, ареал вида охватывает территории России, Китая и Кореи (Kuprin, Bezborodov, 2012; Безбородов, 2016; Yi et al., 2018). На всей территории распространения встречается редко, в России и Корее имеет статус исчезающего вида, включен в охранные списки редких видов насекомых. В настоящее время благодаря многолетнему международному сотрудничеству получены важные данные по биологии и экологии данного вида, расширен список кормовых пород личинок, уточнены сроки лета имаго и изучены особенности биологии развития преимагинальных в лабораторных условиях, исследовано генетическое разнообразие *C. relictus* в Северо-Восточной Азии (Yi et al., 2018; Kang et al., 2021). Однако для разработки программ по сохранению и восстановлению вида необходимы детальные сведения о его распространении в Северо-Восточной Азии, в том числе и прогнозные оценки потенциального ареала жука, а также его возможного изменения (трансформации) под влиянием климатических и антропогенных факторов. Решить эти вопросы позволяет моделирование распределения видов по данным его распространения, с использованием программы Maxent (Avtaeva et al., 2021; Пшегусов, 2023). Этот метод основан

на теории максимальной энтропии, программа Maxent оценивает распределение вероятностей обнаружения видов по распределениям значений свойств среды, аналогичным для местообитаний, в которых найден вид. Местообитания, определенные с наибольшей вероятностью обнаружения видов, считаются наиболее пригодными. Эффективность этого метода в прогнозировании потенциальной среды обитания чужеродных и редких видов насекомых видов подтверждена результатами многочисленных исследований: *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky, 1853), *Rosalia alpina* (Linnaeus, 1758) (Coleoptera: Cerambycidae), *Paracyphoderris erebeus* Storozhenko, 1980 (Orthoptera: Prophalangopsidae) и других (Thomaes et al., 2008; Bosso et al., 2013; Campanaro et al., 2017; Maurizi et al., 2017; Hardersen et al., 2017; Byeon et al., 2020; Chen et al., 2020; Song et al., 2022; Lee et al., 2022; Storozhenko et al., 2023).

Цель настоящей работы – выявить основные климатические предикторы, определяющие распространение реликтового усача и оценить эколого-географическую модель распространения вида в лесных экосистемах Северо-Восточной Азии.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Входные данные для моделирования. В работе использованы собственные натурные исследования, проведенные в различных частях ареала в период с 2008 по 2024 гг., с использованием стандартных энтомологических методов сбора насекомых, все места встреч *C. relictus* картировались GPS-навигатором Garmin 65S (США). Дополнительно в анализ были включены наши данные, опубликованные в разных работах (ссылки) и коллекционные данные ведущих научных учреждений России, Китая и Кореи: Зоологический институт РАН (г. Санкт-Петербург) (ЗИН РАН), Зоологический музей МГУ им. М.В. Ломоносова (г. Москва) (ЗМ МГУ), Институт систематики и экологии животных СО РАН (г. Новосибирск) (ИСИЭЖ СО РАН), Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН (г. Владивосток) (ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, ранее БПИ ДВО РАН), Университет Коре (г. Сеул, Республика Корея), Центр по изучению экологии насекомых (г. Йонгволь, Республика Корея), Музей насекомых (Янгпенг, Республика Корея), Средняя школа Пачай (г. Сеул, Республика Корея), Центр по изучению насекомых (г. Хампен, Республика Корея) и Института зоологии Китайской академии наук (Пекин, Китай).

В результате составлена база данных по распространению *C. relictus* в Северо-Восточной Азии, содержащая на сегодняшний день самые полные данные по распространению вида в регионе с 1899 года, сведения о местах сбора имаго и личинок, а также данные по его биотопическому распределению, сроках лета, породах деревьев, на которых был собран жук, и развивались личинки. Всего в первичный анализ включены GPS-координаты 220 мест обитания вида в Северо-Восточной Азии (Kuprin et al., 2024).

Климатические предикторы. При моделировании использована климатическая база WorldClim (www.worldclim.org) (минимальное разрешение 5 угловых

минут или ~ 9 км на пиксель), которая позволяет провести интерполяцию наблюдаемых данных с 1950 по 2023 гг. с использованием 19 биоклиматических переменных: BIO 1 – среднегодовая температура, °C; BIO 2 – среднемесячная температура, °C; BIO 3 – изотермичность $(\text{BIO 2} / \text{BIO 7}) * 100$; BIO 4 – сезонность температуры (стандартное отклонение $* 100$); BIO 5 – максимальная температура теплого месяца, °C; BIO 6 – минимальная температура холодного месяца, °C; BIO 7 – годовая амплитуда температур $(\text{BIO 5} - \text{BIO 6})$, °C; BIO 8 – средняя температура самого влажного квартала, °C; BIO 9 – средняя температура самого сухого квартала, °C; BIO 10 – средняя температура самого теплого квартала, °C; BIO 11 – средняя температура самого холодного квартала, °C; BIO 12 – количество осадков за год, мм; BIO 13 – количество осадков в наиболее влажный месяц, мм; BIO 14 – количество осадков в наиболее сухой месяц, мм; BIO 15 – сезонность осадков (коэффициент вариации), CV; BIO 16 – количество осадков в наиболее влажный квартал, мм; BIO 17 – количество осадков в наиболее сухой квартал, мм; BIO 18 – количество осадков в наиболее теплый квартал, мм; BIO 19 – количество осадков в наиболее холодный квартал, мм; ALT – высота над уровнем моря, м (Fick et al., 2017).

Моделирование потенциального ареала. Карта потенциального распространения вида была построена в программе Maxent версии 3.4.4 (<http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/>) методом максимальной энтропии. На полученной картографической модели с помощью цветовых градаций указан уровень вероятности обнаружения вида в конкретной точке и определена степень влияния параметров среды (в %) на границы их распространения, то есть вклад каждого фактора при построении модели. Качество моделей оценивалось по значениям AUC – площадь под рабочей характеристикой приемника (ROC), представляющей долю истинных и ложноположительных классифицированных случаев (ошибки второго рода) (Fawcett, 2006). Качество модели оценивается как отличное при значениях AUC 0.9–1.0; хорошее при значениях 0.8–0.7 (Phillips, Dudík, 2008). Карты распространения видов были визуализированы с помощью пакета программного обеспечения ArcGIS 10.6.1.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Выполнено моделирование степени пригодности территории Северо-Восточной Азии для обитания *C. relictus* в программе MaxEnt с использованием 19 климатических параметров (рис. 1). Значения AUC, показывающие уровень достоверности модели, высокие и составляют 0,993 и 0,5, соответственно. Потенциальный современный ареал вида, полученный при помощи алгоритма MaxEnt, в целом соответствует распространению жука в Северо-Восточной Азии и хорошо согласуется с ранее опубликованными данными по распространению жука в регионе (Kuprin, Bezborodov, 2012; Безбородов, 2016; Yi et al., 2018; Kuprin et al., 2024).

Прогнозируемый ареал вида простирается от провинции Шаньси (Китай) на юге, на север через Корейский полуостров до Амурской области (Россия) и

от Внутренней Монголии (Китай) на западе до прибрежной зоны Дальнего Востока России, занимая при этом площадь $10,5 \times 10^4 \text{ km}^2$ (рис. 1).

Как видно из рисунка 1, наиболее благоприятны для жука климатические условия юга Дальнего Востока России, включающие в себя территории Приморского края, Юга Хабаровского края и части Амурской области, при этом самый большой участок пригодных для обитания вида расположен в Приморском крае, вероятность более 70%. Обширные территории оптимальных местообитаний *C. relictus* с вероятностью более 90%, охватывают территории южного Приморья, граничащие с Восточно-Маньчжурскими и Северо-Корейскими горами, являющимися одной горной системой, на этой территории высокая численность вида отмечена в Уссурийском заповеднике и заповеднике «Кедровая падь». На этих территориях сохранились малонарушенные хвойно-широколиственные леса, необходимые для обитания и развития личинок *C. relictus*, однако площадь этих территорий сокращается с запада на восток к побережью Японского (Восточного) моря (вероятность обнаружения вида низкая от 20-40%) в связи с вырубками лесов и частыми лесными пожарами (Kuprin et al., 2024).

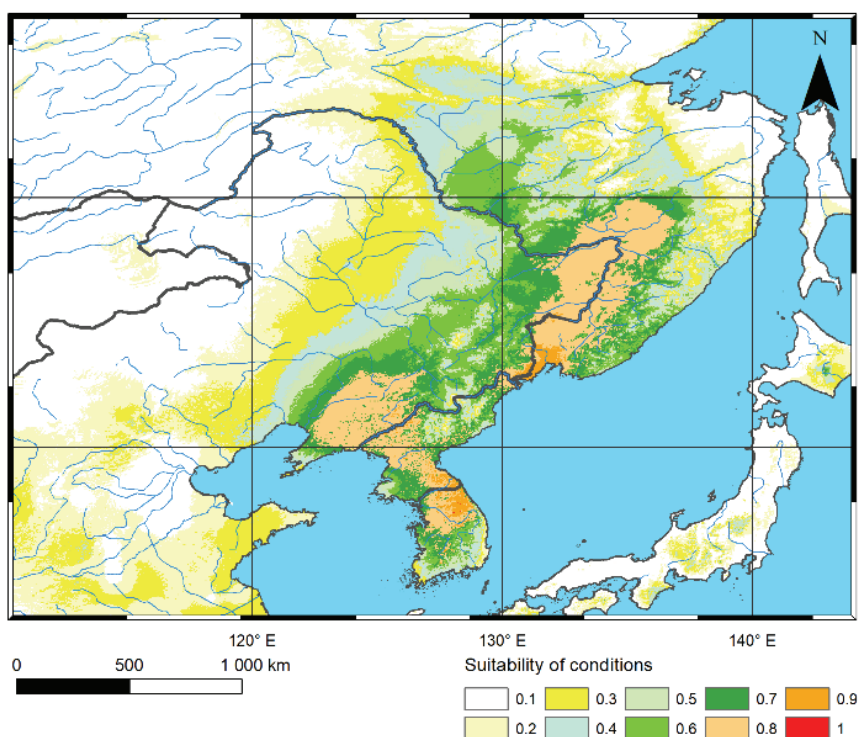


Рис. 1. Биоклиматический ареал *C. relictus* в Северо-Восточной Азии.

В пределах севера Корейского полуострова наиболее пригодные территории (вероятность более 60% и выше) находятся в провинциях Пхенанпукто, Хамкенбукдо, Чагандо, Янгандо, что согласуется с литературными и нашими данными (Безбородов, 2016; Yi et al., 2018). Южнее пригодными по климатическим параметрам с высоким уровнем вероятности (более 80%) обитания *C. relictus* стали провинции Республики Корея – Куендидо и Канвандо, с 2007 года на этих территориях отмечаются единичные находки имаго (Lee et al., 2018), далее на юге Корейского полуострова прогнозируется минимальная вероятность (10-40%) обнаружения вида.

В Китае потенциальный ареал с высоким уровнем вероятности обнаружения вида (от 60 до 80%) охватывает восточную Маньчжурию в пределах бассейна Амура – восток провинций Хэйлунцзян и Цилинь и далее на юг ареал распространяется по сохранившимся горным лесным экосистемам в провинциях Ляонин, Хэбэй, Шаньси и Шэньси. В литературе имеются сведения о том, что на стадии личинки *C. relictus* случайно вывозился за пределы естественного ареала при экспорте деловой древесины в Канаду, Японию и Север Дальнего Востока России (Безбородов, 2016; Yi et al., 2018), где успешно завершал свое развитие до имагинальной стадии, однако, натурализации в естественные экосистемы не произошло. Данные, полученные при моделировании Maxent, также не выявляют пригодных для вида эколого-климатических условий для распространения на этих территориях, например в Японии – вероятность обнаружения от 10 до 30%, а в Магаданской области (Россия) – не более 10% (рис. 1).

Наиболее значимыми предикторами в прогнозировании ареала *C. relictus* в Северо-Восточной Азии стали: высота над уровнем моря (ALT, вклад данного показателя 20,7%), сумма осадков в самой сухой четверти года (BIO 14, 36,7%) и температурные факторы (BIO 3 (8,5%), BIO 4 (7,4%), BIO 2 (4,6%)), вклад остальных биоклиматических параметров незначителен и варьирует от 0-3,2% (рис. 2).

Изменение климата – важный фактор, оказывающий существенное влияние на распространение и расселение как инвазионных, так и редких видов насекомых (Fragic et al., 2021). Среднегодовая глобальная приземная температура повышается, что напрямую способствует миграции видов на север в различные климатические зоны и открывает новые места обитания для насекомых (Van der Putten et al., 2010). Высокие индексы AUC подтвердили обоснованность нашей модели в потенциальном распространении, полученные данные достоверно характеризуют особенности трансформации ареала жука в Северо-Восточной Азии.

Важный вклад в построение модели внесли высота над уровнем моря, сумма осадков в самой сухой четверти года и температурные факторы. Влияние изотермичности (BIO 3) на потенциальное распространение и будущие пригодные территории для *C. relictus* может указывать на высокую уязвимость видов, обитающих на больших высотах, а также их зависимость от значительных колебаний температуры и экстремальных погодных явлений

(Bisi et al., 2015). Вероятно, эти биоклиматические факторы и оказывают влияние и на популяционную жизнь *C. relictus* на территории Северо-Восточной Азии, влияя на жизненный цикл жуков и особенно периоды активности имаго. К сожалению, к настоящему времени у нас нет достоверных и точных данных о продолжительности развития жука в естественных условиях, в связи с методологическими сложностями, возникающими при изучении биологии скрытноживущих личинок ксилобионтных насекомых (Kuprin et al., 2014). По данным лабораторных исследований, для нормального созревания гонад у *C. relictus* при температуре +22°C и влажности 80% требуется не менее трех недель, поэтому повышение осадков в периоды размножения, особенно в участвовавшие в последние годы экстремальные погодные явления, могут оказывать отрицательное влияние на периоды активности имаго, в особенности самок, которые перед спариванием переходят на дополнительное питание (Kuprin et al., 2014; Yi et al., 2019).

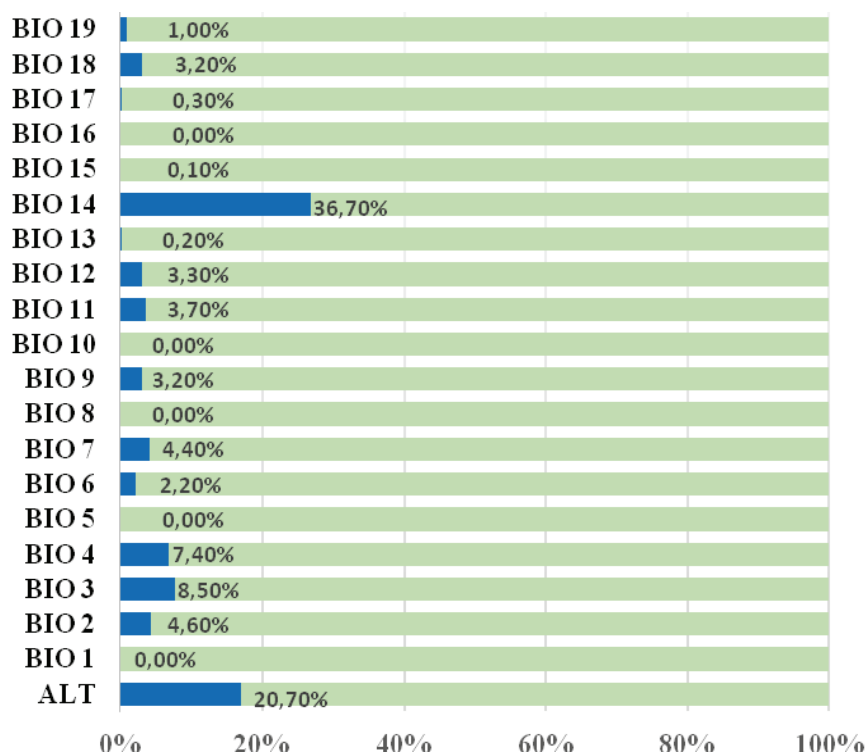


Рис. 2. Вклад биоклиматических параметров (предикторов) в построение модели распространения *C. relictus* в Северо-Восточной Азии (расшифровка предикторов дана в разделе материалы и методы).

Вклад температурных показателей оказался менее значим (рис. 2), вероятно, в связи с тем, что личинки *C. relictus* – сапроксилофаги, обитают в толще древесины 3–4 стадии разложения, проделывая систему вертикальных ходов, избегают критические отклонения данных климатических факторов как в зимний, так и летний сезоны за счет особых микроклиматических условий, создающихся древесиной. Средообразующая деятельность личинок позволяет изменять параметры влажности внутри ствола, формировать мицелий ксилотрофных грибов и развиваться другим микроорганизмам, способствующим повышению питательных свойств низкоуглеводной древесины (Kuprin et al., 2024). Низкие температуры зимнего периода в условиях муссонного климата южного Приморья личинки усача переживают, впадая в диапаузу (личные натурные наблюдения авторов), известны также продолжительные диапаузы у личинок ксилобионтов от 1 года до 16 лет, позволяющие пережить неблагоприятные условия среды.

Высота над уровнем моря является и остается важным фактором, ограничивающим распространение некоторых эндемичных и редких видов насекомых (Van der Putten et al., 2010), поэтому вклад этого фактора и у *C. relictus* останется высоким (ALT - 20,7%). В настоящее время имеются сведения о локальных находках жука в Восточно-Маньчжурских и Северо-Корейских горах, с наибольшей плотностью популяции в районе г. Пэктусан-Чанбайшань, на границе КНДР и Китая (Безбородов, 2016; Yi et al., 2021). Согласно моделям MaxEnt, построенным по климатическим сценариям с разной глобальной температурой воздуха и уровнем эмиссии углекислого газа, эти территории станут менее непригодными, вероятность встреч имаго будет невысока и составит около 20%. Можно предположить, что изменение глобальной температуры от 2 до 4 °C и увеличение эмиссии CO₂ будет влиять на сокращение листовых пород деревьев, тем самым будут сокращаться площади малонарушенных широколиственных лесов, лесообразующие породы которых служат кормовой базой для личинок реликтового усача. При этом к-стратегия размножения этого крупного представителя семейства Prioninae, стремящегося к состоянию равновесия между микроклиматическими условиями и трофическими ресурсами, делает его все более уязвимым перед антропогенным фактором (Kuprin et al., 2024).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение методов моделирования с использованием программы MaxEnt позволило построить современный потенциальный ареал редкого представителя неотропической фауны – жука *C. relictus* в Северо-Восточной Азии. Результаты моделирования потенциального ареала показывают высокую вероятность обитания вида в среднегорных районах юга Дальнего Востока России, провинциях Северо-Восточного Китая и Корейского полуострова. Полевые данные также подтверждают масштабную приуроченность вида к малонарушенным широколиственным и хвойно-широколиственным лесам Северо-Восточной Азии. Наиболее значимыми предикторами в прогнозировании ареала

вида стали высота над уровнем моря и климатические факторы – сумма осадков в самой сухой четверти года и температура.

Совокупность натурных данных и моделирование с использованием разных климатических факторов позволит разработать научно-обоснованные модели распространения ксилобионтных жуков, а также будет способствовать разработке общей системы мониторинга биоразнообразия и понимания рисков утраты таксонов среди разных групп беспозвоночных животных в условиях глобальных климатических изменений.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (темы № 124012400285-7, 124013000750-1).

ЛИТЕРАТУРА

- Безбородов В.Г. 2016.** Хорология и популяционная структура *Callipogon relictus* Semenov, 1899 (Coleoptera, Cerambycidae) в Восточной Азии. *Евразийский энтомологический журнал*, 15(4): 393–398.
- Пшегусов Р.Х. 2023.** Модели компонентов горных экосистем Кавказа: пространственный анализ и теория экологической ниши. автореф. дисс. доктора биологических наук. Москва. ИПЭЭ РАН, 46 с.
- Avtaeva T., Sukhodolskaya R., Brygadyrenko V. 2021.** Modeling the bioclimatic range of *Pterostichus melanarius* (Coleoptera, Carabidae) in conditions of global climate change. *Biosystems Diversity*, 29: 140–150.
- Bosso L., Rebelo H., Garonna A.P., Russo D., Bosso L., Rebelo H., Garonna A.P., Russo D. 2013.** Modelling geographic distribution and detecting conservation gaps in Italy for the threatened beetle *Rosalia alpina*. *Journal for Nature Conservation*, 21: 72–80.
- Byeon D., Lee J.-H., Lee H.-S., Park Y., Jung S., Lee W.-H. 2020.** Prediction of spatio-temporal invasive risk by the red imported fire ant (Hymenoptera: Formicidae) in South Korea. *Agronomy*, 10: 875.
- Campanaro A., Redolfi DeZan L., Hardersen S., Antonini G.S., Cini A., Mancini E., Mosconi F., Rossi de Gasperis S., Solano E. 2017.** Guidelines for the monitoring of *Rosalia alpina*. *Nature Conservation*, 20: 165–203.
- Chen S., Ding F., Hao M., Jiang D. 2020.** Mapping the potential global distribution of red imported fire ant (*Solenopsis invicta* Buren) based on a machine learning method. *Sustainability*, 12: 10182.
- Eickermann M., Junk J., Rapisarda C. 2023.** Climate Change and Insects. *Insects*, 14: 678.
- Fawcett T. 2006.** Introduction to ROC Analysis. *Pattern Recognition Letters*, 27: 861–874.
- Fick S.E., Hijmans R.J. 2017.** WorldClim 2: New 1-Km Spatial Resolution Climate Surfaces for Global Land Areas. *International Journal of Climatology*, 37: 4302–4315.
- Franić I., Allan E., Prospero S., Adamson K., Attorre F., Auger-Rozenberg M.-A., Augustin S., Avtzis D., Baert W., Barta M. 2023.** Climate, host and geography shape insect and fungal communities of trees. *Sci. Rep.*, 13: 11570.
- Hagvar S., Odegaard F. 2025.** Impact of Modern Forestry and Climate Change on Saproxylic Insect Diversity: Is Life in Dead Wood at Risk? IntechOpen. 78–134.
- Hardersen S., Bardian M.S.C., Maura M., Maurizi E., Roversi P., Franco M., Bologna M. 2017.** Guidelines for the monitoring of *Morimus asper funereus* and *Morimus asper asper*. *Nature Conservation*, 20: 205–236.

- Kuprin A.V., Shevchenko N.E., Baklanova V.S. 2024.** Modelling Distribution of an Endangered Longhorn Beetle, *Callipogon relictus* (Coleoptera: Cerambycidae), in Northeast Asia. *Forests*, 15(4): 598.
- Kuprin A.V., Bezborodov V.G. 2012.** Areal of *Callipogon relictus* Semenov, 1899 (Coleoptera, Cerambycidae) in the Russian Far East. *Biology Bulletin*, 39: 387–391.
- Kuprin A.V., Bezborodov V.G., Yi D.A., Kotlyar A.K. 2014.** Developmental biology and ecological peculiarities of the relict longhorn beetle *Callipogon relictus* Semenov, 1899 (Coleoptera, Cerambycidae). *Entomological Review*, 93: 1080–1085.
- Lee W.-H., Song J.-W., Yoon S.-H., Jung J.-M. 2022.** Spatial evaluation of machine learning-based species distribution models for prediction of invasive ant species distribution. *Applied Sciences*, 12: 10260.
- Maurizi E., Campanaro A., Maura M., Mosconi F., Simone S., Zauli A., Audisio P., Carpaneto G.M. 2017.** Guidelines for the monitoring of *Osmoderma eremita* and closely related species. *Nature Conservation*, 20: 79–128.
- Mico E., Ramilo P., Thorn S. 2020.** Contrasting functional structure of saproxylic beetle assemblages associated to different microhabitats. *Scientific Reports*, 10(1520): 1–11.
- Phillips S., Dudík M. 2008.** Modeling of species distributions with MAXENT: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31: 161–175.
- Song J.-W., Jung J.-M., Nam Y., Jung J.-K., Jung S., Lee W.-H. 2022.** Spatial ensemble modeling for predicting the potential distribution of *Lymantria dispar asiatica* (Lepidoptera: Erebiidae: Lymantriinae) in South Korea. *Environ Monit Assess*, 194: 889.
- Storozhenko S.Yu., Molodtsov V.V., Sergeev M.G. 2023.** The mysterious Amurian grig *Paracypoderris erebeus* Storozhenko, 1980 (Orthoptera: Prophalangopsidae): new data on its distribution, ecology and biology. *Insects*, 14: 789.
- Sung S., Kwon Y.-S., Lee D.K., Cho, Y. 2018.** Predicting the potential distribution of an invasive species, *Solenopsis invicta* Buren (Hymenoptera: Formicidae), under climate change using species distribution models. *Entomological Research*, 48: 505–513.
- Thomaes A., Kervyn T., Maes D. 2008.** Applying species distribution modelling for the conservation of the threatened saproxylic Stag Beetle (*Lucanus cervus*). *Biological Conservation*, 141: 1400–1410.
- Van der Putten W.H., Macel M., Visser M.E. 2010.** Predicting species distribution and abundance responses to climate change: Why it is essential to include biotic interactions across trophic levels. *Philos. Trans. R Soc. Lond B Biol. Sci.*, 365: 2025–2034.
- Yi D.A., Kuprin A.V., Bae Y.J. 2018.** Distribution of the longhorn beetle *Callipogon relictus* (Coleoptera: Cerambycidae) in Northeast Asia. *Zootaxa*, 4369(1): 101–108.
- Yi D.A., Kuprin A.V., Bae Y. 2019.** Effects of temperature on instar number and larval development in the endangered longhorn beetle *Callipogon relictus* (Coleoptera: Cerambycidae) raised on an artificial diet. *Canadian Entomologist*, 151: 1–8.
- Lee S.-G., Kim C., Kuprin A.V., Kang J.H., Lee B.W., Oh S.H., Lim J. 2018.** Survey research on the habitation and biological information of *Callipogon relictus* Semenov in Gwangneung forest, Korea and Ussurisky nature reserve, Russia (Coleoptera, Cerambycidae, Prioninae). *ZooKeys*, 792: 45–68.
- Kang J.H., Yi D.A., Kuprin A.V., Han C., Bae Y.J. 2021.** Phylogeographic Investigation of an Endangered Longhorn Beetle, *Callipogon relictus* (Coleoptera: Cerambycidae), in Northeast Asia: Implications for Future Restoration in Korea. *Insects*, 12(6): 555.