

МОДЕЛИ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ НАЗЕМНЫХ МОЛЛЮСКОВ СЕМ. HYGROMIIDAE В УСЛОВИЯХ РАСШИРЕНИЯ АРЕАЛА

В.В. Адамова

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород
valeriavladislavna@gmail.com

Аннотация. Распространение чужеродных видов на новые для них территории может нести угрозу экосистемам-реципиентам. Необходимость составления прогноза распространения наземных моллюсков-вселенцев на европейскую территорию России и прилегающие территории обусловлена участившимися случаями заноса чужеродных видов моллюсков в этот регион.

В представленном исследовании были созданы модели потенциального распространения некоторых видов сем. Hygromiidae, нативный ареал которых включает Кавказ и Причерноморье. Использовались алгоритмы моделирования: обобщенная регрессионная модель, метод случайного леса, метод максимальной энтропии. На основе полученных моделей были составлены ансамблевые модели для каждого исследуемого вида. Высокий относительный вклад в прогноз внесли переменные: среднегодовая температура, осадки самого теплого квартала, тип земельных угодий – смешанный лес и урбанизированные территории. Потенциально пригодные для обитания территории примыкают к нативным ареалам, а также рассредоточены по региону исследования. Также выявлено значительное перекрытие потенциальных ареалов у исследуемых видов, что объясняется общим регионом происхождения.

Ключевые слова: биологические инвазии, экологическое моделирование, SDM, Gastropoda.

В последние десятилетия замечена интенсивная экспансия чужеродных наземных моллюсков на Русскую равнину и сопредельные территории [1]. Среди моллюсков-вселенцев значительная доля видов, естественный ареал которых включает Кавказ, Крым, Причерноморье. Эти моллюски распространяются в северном направлении. В частности, среди таких вселенцев есть представители семейства Hygromiidae, которые успешно осваивают новые территории и находки которых встречаются всё чаще на Русской равнине. Этими чужеродными видами являются *Harmozica ravergiensis* (Férussac, 1835), *Monacha cartusiana* (O.F. Müller, 1774), *Xeropicta derbentina* (Krynicky, 1836), *Xeropicta krynickii* (Krynicky, 1833) [1–4]. Именно эти виды являются объектами представленного исследования. При наблюдающейся экспансии чужеродных видов возникает необходимость прогноза распространения вселенцев на новые территории. Для решения такой задачи применяются методы SDM (Species Distribution Modelling).

В настоящей работе была поставлена цель создания моделей потенциального распространения указанных видов моллюсков на европейской территории России и сопредельных территориях.

Также была поставлена задача выявления территорий, на которых перекрываются потенциальные ареалы видов.

Работа включала следующие этапы: сбор данных о находках видов, создание слоев точек присутствия и псевдоотсутствия видов, подбора предикторов для моделей, создание моделей с применением разных алгоритмов, создание ансамблевого прогноза.

Источниками данных о находках видов послужили полевые сборы автора, данные коллекции Зоологического института РАН (ЗИН РАН) и Зоологического музея МГУ, литературные данные, данные репозитория GBIF [5]. Точки псевдоотсутствия были сгенерированы из точек фона случайным образом. Регион исследования включал территорию от 66° с.ш до 40° с.ш., от 20° в.д. до 60° в.д.

В качестве предикторов для моделей были выбраны биоклиматические переменные из набора WorldClim 2.1 [6], тип земельного покрова/землепользования (Landcover/Landuse) и расширенный вегетационный индекс EVI (Enhanced Vegetation Index). Предикторы на основе ДЗЗ были взяты с платформы открытого доступа earthexplorer.usgs.gov и являются продуктами, созданными на

основе снимков спутникового сенсора MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer). Переменные в итоговые наборы были отобраны на основе значения VIF (Variance Inflation Factor, коэффициент инфляции дисперсии) и относительного вклада в модели. Вклад каждой переменной в модели был оценен посредством корреляционного анализа с использованием коэффициента Пирсона [7]. В итоге для каждого вида моллюсков был сформирован набор переменных для создания моделей.

Для моделирования были применены алгоритмы: обобщенная линейная модель (Generalized Linear Model, GLM), метод случайного леса (Random Forest, RF), метод максимальной энтропии (MaxEnt). Для пространственной кросс-валидации методом перегруппировки исходная выборка была разделена на тестовую (25 %) и обучающую (75 %). Качество прогноза оценивалось по значениям площади под ROC-кривыми (Area Under the Curve, AUC) и TSS-статистики. В итоге для каждого вида моллюсков был создан ансамблевый прогноз по взвешенным результатам всех моделей. Результаты этого прогноза представляют собой бинарные растры, на которых показана потенциально пригодная и потенциально непригодная для обитания вида территория. Работа проведена в среде R-версии 4.1.2 [8] преимущественно с использованием пакета «sdm» [9], а также программе ArcGIS версии 10.7.

Для выявления перекрытия потенциальных ареалов был проведен расчет I-индекса [10] в пакете «dismo» среды R [11]. Значение индекса варьирует от 0 (отсутствие перекрытия) до 1 (полное перекрытие).

Полученные модели имеют высокую предсказательную способность (табл. 1).

Для каждого вида территория была разделена на потенциально пригодную и непригодную для обитания, что отображено на итоговых картах (рис. 1). Наибольшая площадь пригодной тер-

ритории оказалась у *X. derbentina* (988 462,5 км²). Немного меньше территория потенциального распространения *M. cartusiana* (946 436,7 км²). Площадь пригодной территории двух других видов несколько меньше: 645 009,1 км² для *H. ravergensis* и 559 092,3 км² для *X. krynickii*.

Таблица 1. Показатели ансамблевых моделей

Виды	AUC	TSS
<i>H. ravergensis</i>	0,92	0,77
<i>M. cartusiana</i>	0,93	0,81
<i>X. derbentina</i>	0,94	0,80
<i>X. krynickii</i>	0,96	0,88

Значимый вклад во все модели внесли следующие переменные: среднегодовая температура, осадки самого теплого квартала, тип земельных угодий – смешанный лес. Относительно большой вклад в модели для *H. ravergensis*, *M. cartusiana*, *X. derbentina* внесла переменная типа землепользования – урбанизированные территории.

Потенциальные ареалы исследуемых видов во многом перекрываются (табл. 2). Такие области в основном расположены на Кавказе, в Причерноморье, а также на Нижнедунайской низменности и Балканах. Это во многом обусловлено перекрытием нативных ареалов видов на Кавказе и в Причерноморье [12].

На основании полученных результатов можно сделать вывод о возможном продолжении экспансии исследуемых видов за пределы их естественных ареалов. Потенциально пригодные для обитания территории примыкают к нативным ареалам, а также рассредоточены по региону исследования. В частности, три из четырех видов демонстрируют приуроченность к антропогенным ландшафтам. Также выявлено значительное перекрытие потенциальных ареалов у исследуемых видов, что объясняется общим регионом происхождения.

Таблица 2. Попарные значения I-индекса – перекрытие потенциальных ареалов видов

Виды	<i>H. ravergensis</i>	<i>M. cartusiana</i>	<i>X. derbentina</i>	<i>X. krynickii</i>
<i>H. ravergensis</i>	1,00	-	-	-
<i>M. cartusiana</i>	0,46	1,00	-	-
<i>X. derbentina</i>	0,62	0,69	1,00	-
<i>X. krynickii</i>	0,20	0,61	0,53	1,00

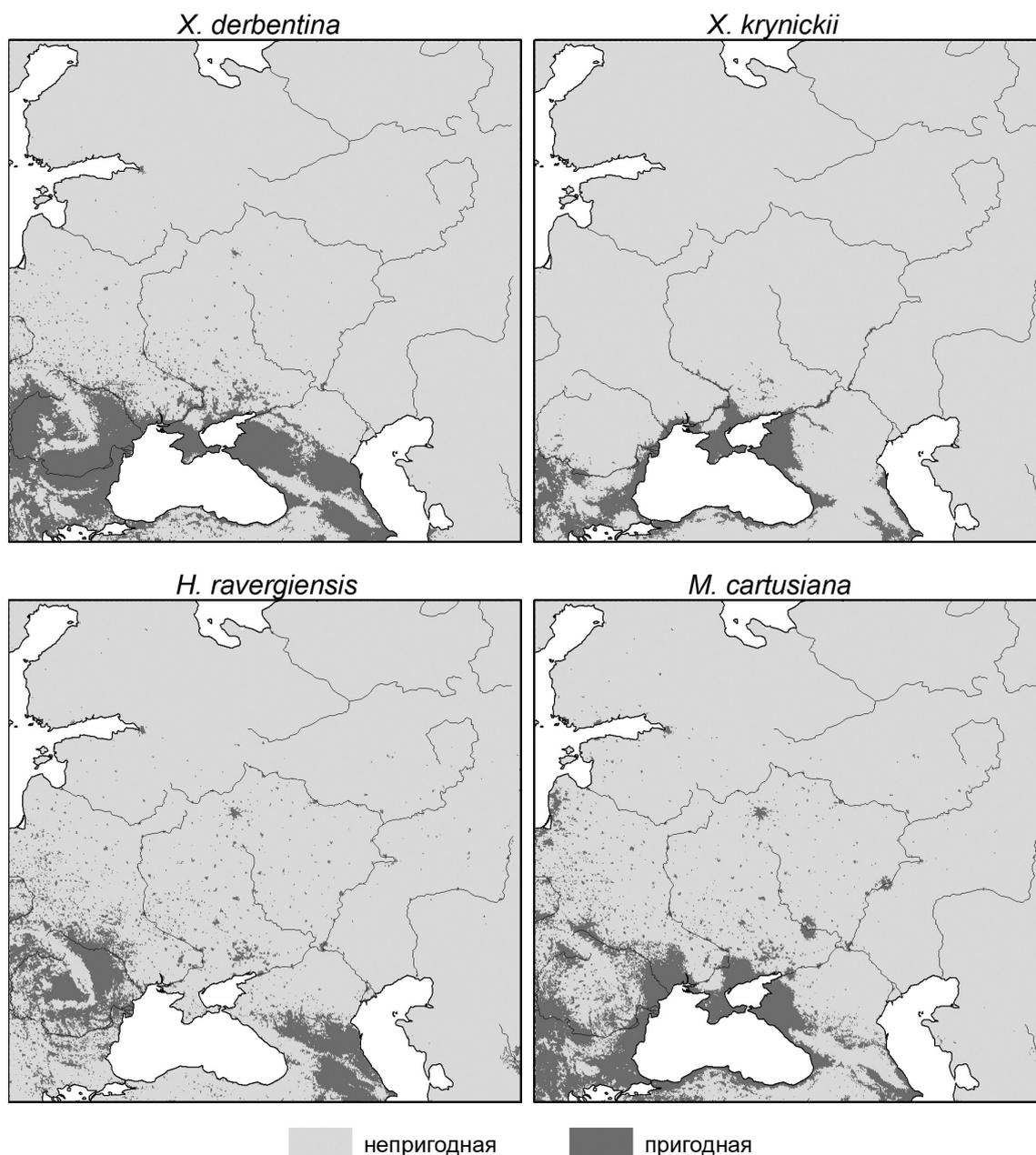


Рис. 1. Пригодность территории для обитания исследуемых видов

Список литературы

1. Schikov E. V. Analysis of the adventitious fauna of terrestrial molluscs in the centre of the Russian Plain // *Folia Malacologica*. 2021. Vol. 29. No. 1. P. 43–50.
2. Gural-Sverlova N.V., Gural R.I. Expansion of the ranges of land mollusks of the genus *Xeropicta* (Gastropoda, Hygromiidae) in Ukraine // *Russian Journal of Biological Invasions*. 2017. Vol. 8. No. 3. P. 212–217.
3. Gural-Sverlova N.V., Gural R.I. *Monacha claustralis* and *M. cartusiana* (Gastropoda, Hygromiidae), two cryptic species of anthropochorous land molluscs in Western Ukraine // *Ruthenica, Russian Malacological Journal*. 2022. Vol. 32. No. 2. P. 69–80.
4. Adamova V.V., Ukrainskiy P.A., Krymskaya O.V. Demographic and spatial structure at the stage of expansion in the populations of some alien land snails in Belgorod city (Central Russian Upland) // *Ruthenica, Russian Malacological Journal*. 2022. Vol. 32. No. 1. P. 21–9.
5. Garcia E., Agulló Villaronga J. Museu de Ciències Naturals de Barcelona: MCNB-Malac. Museu de Ciències Naturals de Barcelona. Occurrence dataset. 2024. DOI: 10.15468/pnkuwh Accessed via GBIF.org on 2024-06-10. Accessed from R via rgbif (<https://github.com/ropensci/rgbif>) on 06.10.2024. URL: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode>

6. *Fick S.E., Hijmans R.J.* WorldClim-2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas // *International Journal of Climatology*. 2017. Vol. 37. No. 12. P. 4302–4315.

7. *Thuiller W., Lafourcade B., Engler R., Araújo M.B.* BIOMOD – a platform for ensemble forecasting of species distributions // *Ecography*. 2009. Vol. 32. No. 3. P. 369–373.

8. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2022. URL: <https://www.R-project.org/> (дата обращения: 25.04.2022).

9. *Naimi B., Araújo M.B.* SDM: a reproducible and extensible R platform for species distribution modelling // *Ecography*. 2016. No. 39. P. 368–375. DOI: 10.1111/ecog.01881.

10. *Warren D.L., Glor R.E., Turelli M.* Environmental niche equivalency versus conservatism: quantitative approaches to niche evolution // *Evolution*. 2008. Vol. 62. No. 11. P. 2868–2883.

11. *Hijmans R.J., Phillips S., Leathwick J., Elith J.* Dismo: Species Distribution Modeling. 2022. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=dismo/> (дата обращения: 25.04.2022).

12. *Шилейко А.А.* Фауна СССР. Моллюски. Т. 3. Вып. 6: Наземные моллюски надсемейства Helicoidea. Л.: Наука, 1978. 384 с.

HYGROMIIDAE LAND SNAILS DISTRIBUTION MODELS DURING THE RANGE EXPANSION

V.V. Adamova

Belgorod National Research University, Belgorod
valeriavladislavna@gmail.com

Abstract. The spread of alien species to new territories can pose a threat to recipient ecosystems. A forecast of the alien snails spread to the European territory of Russia and adjacent territories is needed because lately, cases of the introduction of alien mollusks have become increasingly common. The potential distribution of some snails of the family Hygromiidae has been modeled. The native ranges of the studied species include the Caucasus and the Black Sea region. The following modeling algorithms were used: generalized regression model, random forest method, maximum entropy method. Based on the obtained models, ensemble models were compiled for each studied species.

A high relative contribution to the forecast was made by the following variables: average annual temperature, precipitation of the warmest quarter, type of land - mixed forest and urbanized areas. Potentially suitable areas for habitat are adjacent to native habitats and are also dispersed throughout the study region. There was also significant overlap in the potential ranges of the studied species, which is explained by a common region of origin.

Keywords: biological invasions, ecological modeling, SDM, Gastropoda.

References

1. Schikov E.V. 2021. Analysis of the adventitious fauna of terrestrial molluscs in the centre of the Russian Plain. *Folia Malacologica*. 29(1): 43–50.
2. Gural-Sverlova N.V., Gural R.I. 2017. Expansion of the ranges of land mollusks of the genus *Xeropicta* (Gastropoda, Hygromiidae) in Ukraine. *Russian Journal of Biological Invasions*. 8(3): 212–217.
3. Gural-Sverlova N.V., Gural R.I. 2022. *Monacha claustralis* and *M. cartusiana* (Gastropoda, Hygromiidae), two cryptic species of anthropochorous land molluscs in Western Ukraine. *Ruthenica, Russian Malacological Journal*. 32(2): 69–80.
4. Adamova V.V., Ukrainskiy P.A., Krymskaya O.V. 2022. Demographic and spatial structure at the stage of expansion in the populations of some alien land snails in Belgorod city (Central Russian Upland). *Ruthenica, Russian Malacological Journal*. 32(1): 21–39.
5. Garcia E., Agulló Villaronga J. 2024. Museu de Ciències Naturals de Barcelona: MCNB-Malac. Museu de Ciències Naturals de Barcelona. Occurrence dataset: <https://doi.org/10.15468/pnkuwh> accessed via GBIF.org on 2024-06-10. Accessed from R via rgbif (<https://github.com/ropensci/rgbif>) on 2024-06-10 Rights: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode>
6. 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(12): 4302–4315.
7. Thuiller W., Lafourcade B., Engler R., Araújo M.B. 2009. BIOMOD – a platform for ensemble forecasting of species distributions. *Ecography*. 32(3): 369–373.
8. R Core Team R: 2022. A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <https://www.R-project.org/> (дата обращения: 25.04.2022).
9. Naimi B., Araújo M.B. 2016. Sdm: a reproducible and extensible R platform for species distribution modelling. *Ecography*. 39: 368–375. DOI: 10.1111/ecog.01881.
10. Warren D.L., Glor R.E., Turelli M. 2008. Environmental niche equivalency versus conservatism: quantitative approaches to niche evolution. *Evolution*. 62(11): 2868–2883.
11. Hijmans R.J., Phillips S., Leathwick J., Elith J. 2022. *Dismo: Species Distribution Modeling*. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=dismo/> (дата обращения: 25.04.2022).
12. Schileyko A.A. 1978. *Nazemnye mollyuski nadsemejstva Helicoidea. Fauna SSSR. Mollyuski. Vol. 3 (6). [Terrestrial gastropods of the superfamily Helicoidea. Fauna SSSR, Molluscs 3(6)].* Leningrad, Nauka: 384 p.