

Т. Н. Дуйсебаева, Д. В. Малахов, Н. Н. Березовиков,
Ксиангуанг Гуо, Чинлонг Лиу, А. В. Чередниченко

ПРИМЕНЕНИЕ ГИС-МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ВИДОВ ЯЩЕРИЦ СО СХОДНЫМИ ЭКОЛОГИЧЕСКИМИ АДАПТАЦИЯМИ¹

Аннотация.

Актуальность и цели. Использование географических информационных систем (ГИС) в зоологии открывает широкие перспективы для изучения изолированных популяций, населяющих местность со сложным рельефом. Целью нашего исследования стал сравнительный анализ распространения и условий обитания двух видов ящериц рода *Eremias* со сходными адаптациями из межгорных впадин Тянь-Шаня с применением ГИС.

Материалы и методы. Сбор наземных данных по распространению илийской формы разноцветной ящурки (*Eremias arguta*) и тянь-шанской ящурки (*E. stummeri*) проводили в ходе полевых работ, ревизии литературных материалов и музейных коллекций. Для моделирования использовали программу ArcGIS 10.5 с методикой оригинальной разработки и наборы переменных DEM, BIOCLIM, WORLDCLIM, Global-PET, CLIMOND.

Результаты. Показано, что, несмотря на высокое сходство экологических ниш обеих ящериц по субстрату, климатическим параметрам и рельефу, в меньшей степени они отличаются по набору ключевых переменных. Осадки, радиация зимних месяцев и межсезонья, а также послеполуденная влажность были показаны ключевыми для разноцветной ящурки, в то время как для тянь-шанской ящурки – температура и радиация большей части года, допослуденная влажность и орографические переменные. Такое различие определяет принадлежность изученных видов к разным типам экосистем: разноцветной ящурки – к равнинным, тянь-шанской ящурки – к горным и поддерживает взгляды на их разную зоогеографическую принадлежность.

Выводы. В теоретическом аспекте продемонстрированы перспективы ГИС-моделирования для определения экосистемной и зоогеографической принадлежности животных. В методическом аспекте показана важность использования расширенного набора климатических переменных и учета основных геоморфологических показателей при моделировании экологических ниш горных обитателей.

Ключевые слова: Lacertidae, *Eremias arguta*, *Eremias stummeri*, экологические ниши, ГИС-моделирование, Тянь-Шань.

¹ Работа была выполнена при частичной поддержке гранта Министерства науки и образования Республики Казахстан (проект № 1850/ГФ4), Стратегической программы научных исследований Китайской академии наук (XDPA20050201) и Национального фонда поддержки естественных наук КНР (31672270).

© Дуйсебаева Т. Н., Малахов Д. В., Березовиков Н. Н., Гуо Ксиангуанг, Лиу Чинлонг, Чередниченко А. В., 2019. Данная статья доступна по условиям всемирной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая дает разрешение на неограниченное использование, копирование на любые носители при условии указания авторства, источника и ссылки на лицензию Creative Commons, а также изменений, если таковые имеют место.

T. N. Dujsebaeva, D. V. Malakhov, N. N. Berezovikov,
Xianguang Guo, Jinlong Liu, A. V. Cherednichenko

APPLICATION OF GIS-MODELING IN THE STUDY OF LIZARD SPECIES WITH SIMILAR ECOLOGICAL ADAPTATIONS

Abstract.

Background. The use of GIS in zoology gives an opportunity for wide and extended study of isolated populations existing within complex terrain areas. We attempted GIS-based comparative analysis of the distribution and habitat conditions for two lizard's species of the genus *Eremias*. The species analyzed inhabit the intermountain depressions of Tien-Shen.

Material and methods. The ground data on distribution of the "Ily form" of *Eremias arguta* and the Tien-Shan Racerunner *Eremias stummeri* were collected during numerous field surveys. In addition, we used museum collections and previously published data to collect as much as possible ground observations of both species. The model was developed in ESRI ArcGIS software using the original methodology based on the use of abiotic variables, taken from Digital Elevation Model, BIOCLIM, WORLDCLIM, CLIMOND and Global-PET datasets.

Results. The model revealed the different sets of the key variables for each species analyzed, in spite of the close resemblance of their habitats. The list of the key variables for *E. arguta* comprised precipitation, solar radiation of cold season and relative post meridiem air humidity. Among the key variables of *E. stummeri*'s model, there were the sets of temperature and solar radiation, the orographic variables and the ante meridiem relative humidity. Such a diversification indicated to different zoogeographical affiliation of studied species and attributed different ecological preferences of each species. *E. arguta* had rather flatland prehistory, whereas *E. stummeri* demonstrated undoubtedly the mountain origin.

Conclusions. From the theoretical point of view, the prospects of GIS-based ecological modeling were demonstrated as a tool to determine the ecosystem and zoogeographical affiliations of living species. The importance of the extended set of variables implementation along with basic geomorphological parameters is confirmed as a major prerequisite of the ecological modeling of mountain species niches.

Keywords: Lacertidae, *Eremias arguta*, *Eremias stummeri*, ecological niche, GIS model, Tien Shan.

Введение

Сегодня географические информационные системы (ГИС) все шире используются в зоологических исследованиях, как самостоятельно, так и в комплексе с морфологическими и молекулярными данными; как в более простом варианте – для построения моделей распространения видов (Species Distribution Model, SDM), так и в более сложном – с глубоким анализом этих моделей с точки зрения экологии организмов и их взаимосвязи с окружающей средой, т.е. анализом экологических ниш (ЭН), (Ecological Niche Model, ENM). Важно понимать, что все модели ЭН имеют ограниченный и вероятностный характер. Особое значение приобретает ГИС-моделирование при изучении редких видов и изолированных популяций, населяющих местность со сложным рельефом, когда посещение всех потенциальных районов их обитания для сбора информации невозможно.

Одним из таких регионов является Центральная Азия, откуда за последние десятилетия было описано немало новых форм рептилий с мозаичным или спорадическим распространением и специфическими адаптациями.

Примером могут служить ящерицы рода *Eremias* (Ящурки). Целью нашего исследования стал сравнительный анализ распространения и условий обитания двух видов ящурок, имеющих сходные экологические адаптации с применением ГИС-моделирования. Одной из основных задач работы было продемонстрировать возможности ГИС как перспективного инструмента для изучения живых объектов.

Материалы и методы

Объектами исследования послужили тьянь-шанская ящурка (*E. stummeri*) – представитель сложного комплекса “*Eremias multiocellata*” [1, 2] и «илийская форма» разноцветной ящурки (*E. arguta*) из юго-восточной периферии видового ареала [3, 4], которая характеризуется морфологическим и генетическим своеобразием (далее под видом “*E. arguta*” понимается только эта форма). Район исследований включал межгорные впадины Тянь-Шаня на сопредельной территории трех стран – Казахстана, Китая и Киргизии.

Сбор наземных данных проводили в ходе полевых исследований 2006–2016 гг. на территории Казахстана и Китая. Остальные данные получены при ревизии литературных материалов и музейных коллекций. Всего для анализа было отобрано 49 локалитетов по *E. arguta* и 41 локалитет по *E. stummeri*, что объективно отражает особенности пространственного распределения ящериц на данной территории (рис. 1).

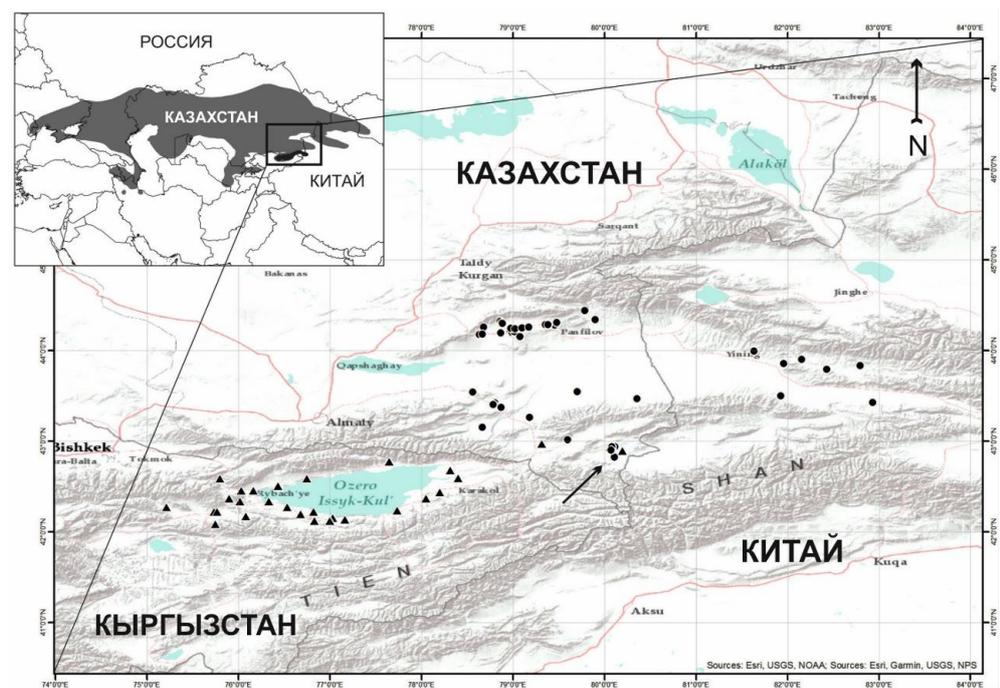


Рис. 1. Распространение *Eremias arguta* (ареал вида – серая заливка; локалитеты – кружки) и *E. stummeri* (ареал вида – черная заливка; локалитеты – треугольники) на сопредельной территории Казахстана, Китая (Синьцзян) и Киргизии:

- 1 – Коныроленская впадина; 2 – долина р. Усек; 3 – Сюгатинская впадина;
- 4 – Жаланашская впадина; 5 – Кегенская впадина; 6 – долина р. Текес;
- 7 – долина р. Каш; 8 – долина р. Кунгес; 9 – Кочкорская впадина; 10 – Боомский каньон. Стрелкой показан район синтопического обитания видов в горах Жамбыр

Для моделирования использовали оригинальную методику моделирования экологической ниши в среде ESRI ArcGIS. Детальное описание методики приведено ранее [5–7]. Применяли общепринятую статистику (метод процентилей), анализировали орографические и климатические переменные с выявлением ключевых, проверяли нормальность распределения и определяли оптимальные диапазоны. Использовали следующие наборы переменных: высота над уровнем моря, уклон, экспозиция, кривизна (производные из Digital Elevation Model) [8], наборы переменных по температурам и осадкам (BIOCLIM and WORLDCLIM datasets) [9, 10], Global Potential Evapo-Transpiration (Global-PET) Climate Database [11], относительная влажность воздуха и солнечная радиация (CLIMOND) [12]. Для сравнения строили модели с участием переменных BIOCLIM (19 переменных температуры и осадков), а также и с применением всех указанных выше наборов переменных. Необходимо помнить, что наборы переменных имеют различное пространственное разрешение, поэтому модели, созданные на разных наборах переменных, имели отличия в детализации.

Результаты и обсуждение

Полевые наблюдения и моделирование показали, что *E. arguta* и *E. stummeri* имеют весьма сходные предпочтения в отношении климата, субстрата и в меньшей степени рельефа, занимая, таким образом, весьма сходные экологические ниши.

Согласно оптимальным диапазонам орографических переменных (табл. 1), наиболее приемлемым рельефом для *E. arguta* оказались ровные, почти плоские горизонтальные или слабо наклонные поверхности на высоте 1000–1800 м над уровнем моря с преимущественно западной экспозицией. Такие поверхности соответствуют рельефу равнин и в Тянь-Шане приурочены к геоморфологической зоне подгорных равнин. Для *E. stummeri* наиболее приемлемыми были наклонные, в разной степени рассеченные поверхности с очень широким диапазоном экспозиций, расположенные на высоте до 2000 м и даже выше, что соответствует холмистому или гористому рельефу, или геоморфологической зоне нижних предгорий в Тянь-Шане. Уклон, кривизна и экспозиция были ключевыми переменными для ЭН *E. stummeri*.

Таблица 1

Диапазоны оптимальных значений орографических и климатических переменных экологических ниш двух видов ящериц

Переменные	<i>Eremias arguta</i>	<i>Eremias stummeri</i>
1	2	3
РЕЛЬЕФ		
Высота, м над уровнем моря	1058...1839	1635...2030
Экспозиция, град.	151...338	22...345
Общая кривизна	0, 0000	1,32...5,96
Уклон, град.	0,88...3,24	0,998...4,720

1	2	3
КЛИМАТ		
Средняя температура самого теплого квартала, ВЮ10	17,0...20,3	15,8...18,0
Средняя температура самого холодного квартала, ВЮ11	-11,3...-7,8	-11,8...-9,5
Максимальная температура самого теплого квартала, ВЮ5	24,8...28,1	23,6...25,6
Минимальная температура самого холодного квартала, ВЮ6	-19,0...15,1	-19,1...16,4
Средняя температура самого теплого месяца	18,0...21,5	16,9...19,1
Средняя температура самого холодного месяца	-13,3...9,6	-13,6...11,2
Среднегодовая температура, ВЮ1	4,1...7,2	3,4...5,3
Дневная амплитуда температур, ВЮ2	11,9...12,8	11,4...12,3
Годовая амплитуда температур, ВЮ7	42,7...45,4	41,8...42,8
Количество месяцев со средней температурой выше 22°C	0	0
Количество месяцев со средней температурой выше 10 С	5	5
Годовое количество осадков, ВЮ12	269...409	169...406
Месяцы с максимальным количеством осадков	V-VII	V-VII
Осадки самого влажного квартала, ВЮ16	106...174	86...173
Осадки самого сухого квартала*, ВЮ17	29...63	9...35
Осадки самого холодного квартала*, ВЮ19	29...63	9...35
Осадки самого теплого квартала, ВЮ18	95...162	82...163
Эвапотранспирация (РЕТ) годовая	849...974	819...886
Максимальная радиация самого теплого квартала	678	718
Максимальная радиация самого холодного квартала	225	221
Индекс аридности	0,26...0,48	0,20...0,48

Поверхности описанного облика – области недавнего четвертичного поднятия. Они перекрыты щебнисто-галечниковыми и лессовыми отложениями – продуктами тектонического преобразования и гляциальных эпох позднего кайнозоя. По отношению к субстрату обе ящерицы принадлежат к группе склерофилов с определенной петрофильной специализацией.

Как видно из табл. 1, по основным характеристикам климат ЭН обеих ящериц относится к полуаридной степной климатической зоне (BSk) [13, 14]. Этот тип климата характеризуется относительно жарким и сухим летом, холодной зимой, значительными дневными и годовыми колебаниями температур и дефицитом осадков. Модельный диапазон годовой суммы осадков (ВЮ12)

варьирует между значениями степной и пустынной зон (табл. 1). Климатическая характеристика подтверждает принадлежность видов к экологической группе ксерофильных и умеренно термофильных рептилий, или представителей «открытых засушливых пространств», по В. Г. Гептнеру [15]. В Тянь-Шане такой тип климата на высотах 1000–2000 м над уровнем моря соответствует ландшафтам горных степей [16].

Несмотря на видимое сходство, ЭН двух видов отличаются по ключевым переменным (рис. 2). Практически весь набор переменных по осадкам, радиация зимних и межсезонных месяцев и послеполуденная влажность являются ключевыми для разноцветной ящурки, в то время как для тянь-шанской – температурные переменные, радиация большей части года и дополу-денная влажность. Кроме того, для тянь-шанской ящурки ключевыми являются орографические переменные. Такое различие определяет принадлежность изученных ящериц к разным типам экосистем: разноцветной ящурки – к аридным равнинным, а тянь-шанской ящурки – к горно-долинным.

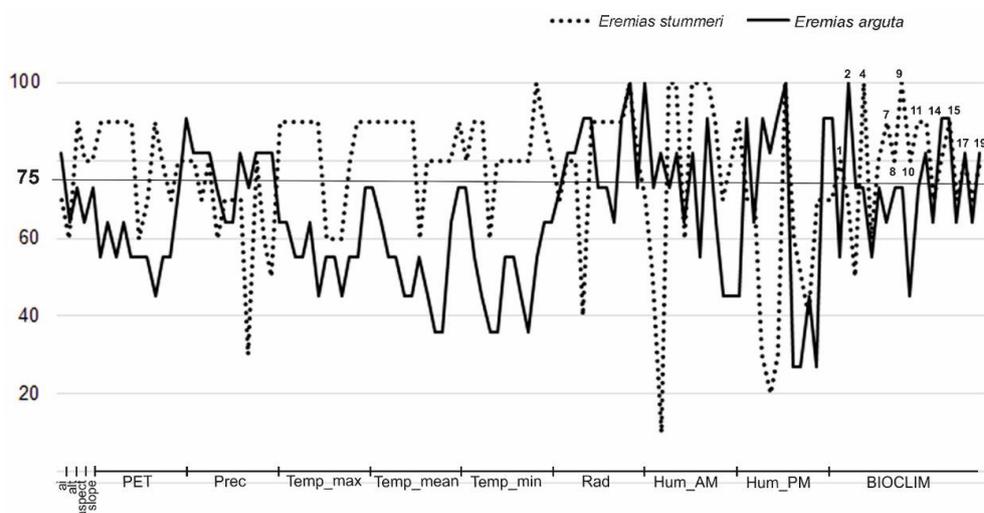


Рис. 2. Ключевые переменные (выше линии «75 %») согласно распределению совпадений контрольных локалитетов (в %) *Eremias stummeri* и *E. arguta* с оптимальными диапазонами растров: *ai* – индекс аридности; *alt* – высота; *aspect* – экспозиция; *slope* – уклон; *PET* – потенциальная эвапотранспирация; *Prec* – годовые осадки; *Temp* – температура (максимальная, средняя, минимальная); *Rad* – радиация; *Hum_AM* – относительная влажность до полудня; *Hum_PM* – относительная влажность после полудня; 1–19 – переменные BIOCLIM набора. Каждый отрезок в нижней части графика отражает значения по 12 месяцам года

На аридных равнинах в условиях обильного, равномерного и длительного поступления солнечной радиации и относительно равномерного интенсивного испарения благополучие обитателей в большей степени определяется количеством поступающих осадков [17]. Модели ЭН, построенные для равнинного обитателя *E. arguta* по ограниченному (только BIOCLIM) и расширенному наборам переменных, имели сходный образец и в большой степени определялись распределением осадков (рис. 3).

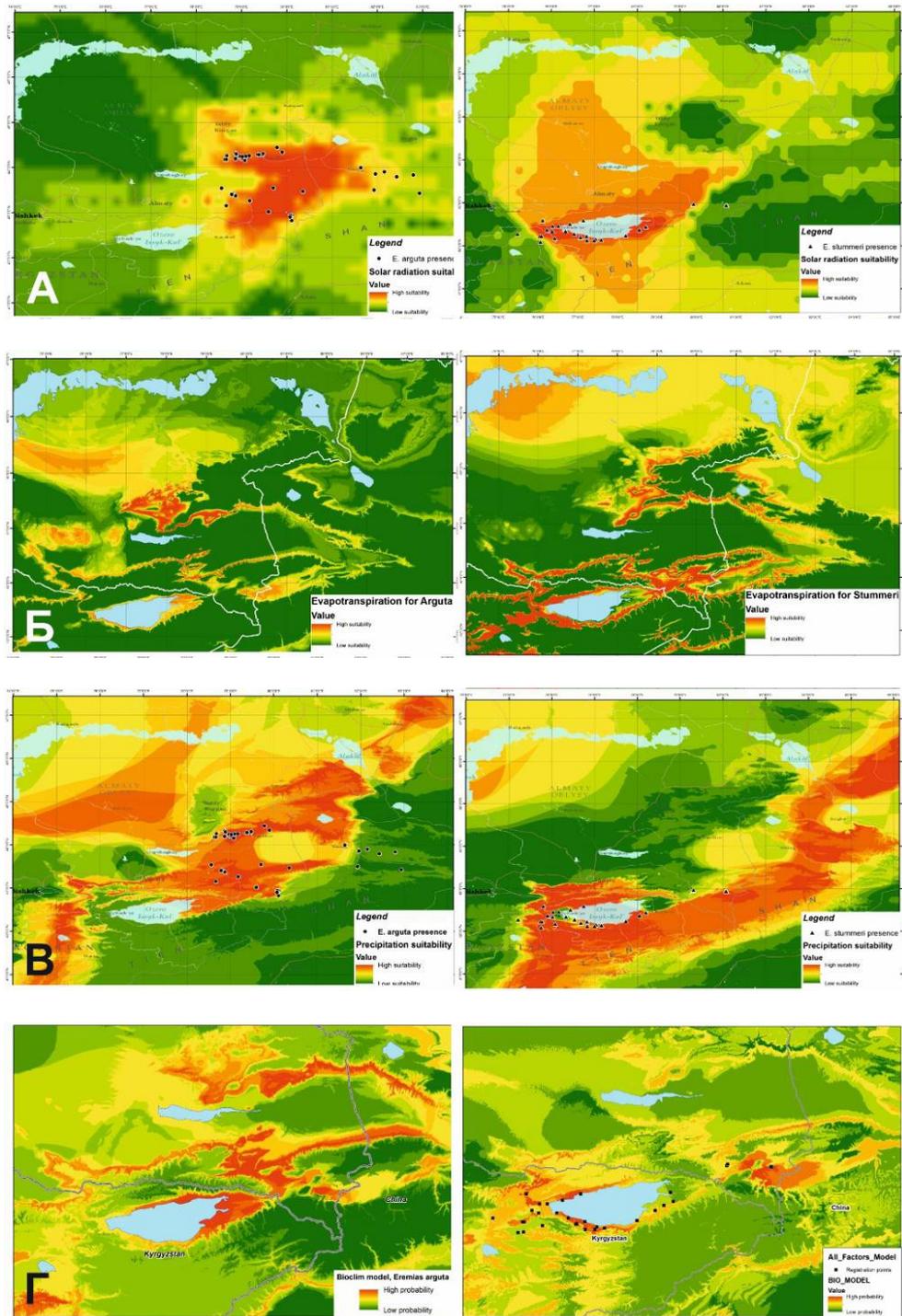


Рис. 3. ГИС-модели экологических ниш *Eremias arguta* (левая колонка) и *E. stummeri* (правая колонка) по отдельным факторам:
 а – радиация; б – потенциальная эвапотранспирация; в – годовые осадки;
 г – модель, построенная по стандартному набору BIOCLIM (19 переменных);
 д – модель, построенная по расширенному набору переменных.
 Красным цветом отражена область максимального благополучия (начало)

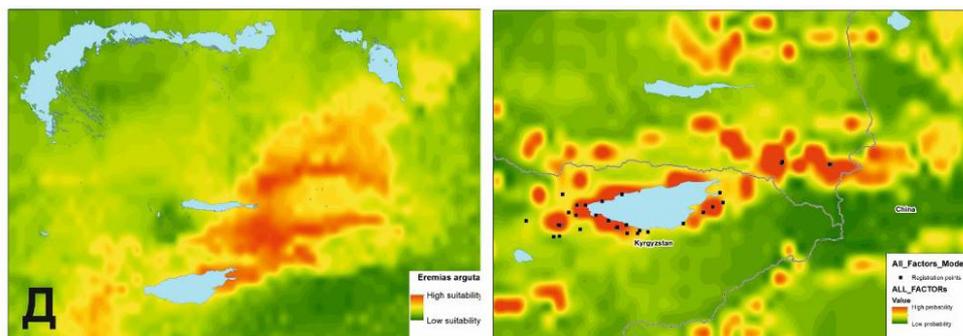


Рис. 3. ГИС-модели экологических ниш *Eremias arguta* (левая колонка) и *E. stummeri* (правая колонка) по отдельным факторам:
 а – радиация; б – потенциальная эвапотранспирация; в – годовые осадки;
 г – модель, построенная по стандартному набору BIOCLIM (19 переменных);
 д – модель, построенная по расширенному набору переменных.
 Красным цветом отражена область максимального благополучия (окончание)

В горах прежде всего в силу меньшей длительности солнечной экспозиции и особенностей высотного распределения энергии ощущим дефицит тепла [18]. Модель ЭН *E. stummeri* подтверждает важность радиации и температуры для благополучия вида (см. рис. 2). Хотя оба вида ящериц тяготеют к наиболее прогреваемым местам с редким и низким полынно-злаковым травостоем, а начало их массовой суточной активности лимитировано ходом утренних температур до перехода через +25 °С (наши наблюдения), в горах это обычно наступает ближе к полудню, в то время как на подгорных равнинах на 2–3 ч раньше. Кроме того, имеются микростациональные особенности в приуроченности каждого вида к субстрату: *E. stummeri* предпочитает больше глины и суглинки, *E. arguta* – лёссовые участки с мелким щебнем и аллювием, которые быстрее всего нагреваются на солнце и дольше сохраняют тепло.

Во-вторых, в горах распределение климатических факторов определяется особенностями рельефа и имеет крайне неравномерный характер [18], что красноречиво отражает модель ЭН, построенную по расширенному набору переменных (рис. 3). Важность использования орографических переменных при моделировании экологической ниши горных обитателей была показана нами ранее на примере семиреченского лягушкозуба [5].

Результаты моделирования, указывающие на разную экосистемную принадлежность илийской формы *E. arguta* и *E. stummeri*, вместе с другими данными – различиями в географическом положении основного ареала вида (равнины и горы соответственно), о молекулярном возрасте дивергенции предковых линий [19] и способе размножения [20] поддерживают взгляды на разную зоогеографическую принадлежность видов: разноцветной ящурки к «древнему степному» или «казахстанскому» очагу формирования фауны Евразии [15, 21], а *E. stummeri* – к Тянь-Шанскому очагу [22] в пределах Центральноазиатского Нагорного центра происхождения биоты [23].

Таким образом, в теоретическом аспекте исследование показало, что детальный анализ ГИС-моделей позволяет глубже понять экологические предпочтения живых организмов, в частности, дает возможность определять

их экосистемную и зоогеографическую принадлежность. В методическом аспекте установлено, что если при моделировании ЭН равнинных обитателей в целом достаточно иметь стандартный набор BIOCLIM (19 переменных), то при моделировании ЭН горных обитателей необходимо использовать расширенный набор климатических переменных, включая основные геоморфологические показатели, а также показатели радиации и влажности.

Библиографический список

1. **Еремченко, В. К.** Таксономическое положение глазчатых ящурок комплекса *Eremias multiocellata* Киргизии и сопредельного Китая (Sauria: Lacertidae: *Eremias*) / В. К. Еремченко, А. М. Панфилов // Наука и новые технологии. Серия биологическая. – 1999. – № 4. – С. 112–124.
2. MtDNA differentiation and taxonomy of Central Asian racerunners of *Eremias multiocellata* – *E. przewalskii* species complex (Squamata, Lacertidae) / V. F. Orlova, N. A. Poyarkov, M. A. Chirikova, R. A. Nazarov, M. Munkhbayar, Kh. Munkhbayar, Kh. Terbish // Zootaxa. – 2017. – Vol. 4282 (1). – P. 001–042. – URL: <http://dx.doi.org/10.11646/zootaxa.4282.1.1>
3. **Дужсебаева, Т. Н.** Unusual find of the Steppe-Runner, *Eremias arguta* (Pallas, 1773) with blue ocelli in southeast of Kazakhstan / Т. Н. Дужсебаева, О. В. Белялов, В. Ф. Орлова, М. А. Чирикова // Terra. – 2007. – № 2. – С. 118–121.
4. **Роярков, Н. А.** The mitochondrial phylogeography and intraspecific taxonomy of the Steppe Racerunner, *Eremias arguta* (Pallas) (Lacertidae: Sauria, Reptilia), reflects biogeographic patterns in Middle Asia / N. A. Poyarkov, V. F. Orlova, M. A. Chirikova // Zootaxa. – 2014. – Vol. 3895 (2). – P. 208–224. – URL: <http://dx.doi.org/10.11646/zootaxa.3895.2.4>
5. **Дужсебаева, Т. Н.** The model of *Ranodon sibiricus* environmental ecological niche: GIS and remotely sensing approach / Т. Н. Дужсебаева, Д. В. Малахов // Russian Journal of Herpetology. – 2017. – Vol. 24 (3). – P. 171–192.
6. **Малахов, Д. В.** Species distribution model of *Varanus griseus caspius* (Eichwald, 1831) in Central Asia: an insight to the species' biology / Д. В. Малахов, М. А. Чирикова // Russian Journal of Herpetology. – 2018. – Vol. 25, № 3. – P. 195–206. – DOI 10.30906/1026-2296-2018-25-3-195-206.
7. **Малахов, Д. В.** Ecological Modeling of *Locusta migratoria* L. breeding conditions in South-Eastern Kazakhstan / Д. В. Малахов, Н. Ю. Тсичуева, В. Е. Камбулин // Russian Journal of Ecosystem Ecology. – 2018. – Vol. 3 (1). – DOI 10.21685/2500-0578-2018-1-5.
8. URL: <http://www.cgiar-csi.org/data/global-aridity-and-pet-database>
9. URL: <https://www.climond.org/Default.aspx>
10. URL: <http://sasgis.ru/sasplaneta>
11. URL: <http://www.worldclim.org/>
12. URL: <http://www.worldclim.org/bioclim>
13. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated / M. Kottek, J. Grieser, C. Beck, B. Rudolf, F. Rubel // Meteorologische Zeitschrift. – 2006. – Vol. 15 (3). – P. 259–263.
14. **Peel, M. C.** Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification / M. C. Peel, B. L. Finlayson, T. A. McMahon // Hydrology and Earth System Sciences. – 2007. – Vol. 11. – P. 1633–1644. – URL: www.hydrol-earth-syst-sci.net/11/1633/2007/
15. **Гептнер, В. Г.** Пустынно-степная фауна Палеарктики и очаги ее развития / В. Г. Гептнер // Бюллетень МОИП. Отдел биологический. – 1945. – Вып. 50 (1–2). – С. 17–38.
16. **Глазовская, М. А.** К истории развития современных природных ландшафтов Внутреннего Тянь-Шаня / М. А. Глазовская // Географические исследования

- в Центральном Тянь-Шане : сб., посвящ. памяти П. П. Семенова-Тянь-Шанского. – Москва : Изд-во АН СССР, 1953. – С. 27–68.
17. **Одум, Ю.** Экология : в 2 т. Т. 2 : пер. с англ. / Ю. Одум. – Москва : Мир, 1986. – 376 с.
 18. **Barry, R.** Mountain Weather and Climate / R. Barry. – 3rd ed. – New York : Cambridge University Press, 2008. – 506 p.
 19. Diversification and historical demography of the rapid racerunner (*Eremias velox*) in relation to geological history and Pleistocene climatic oscillations in arid Central Asia / J. Liu, X. Guo, D. Chen, J. Li, B. Yue, X. Zeng // Molecular Phylogenetics and Evolution. – 2019. – Vol. 130. – P. 244–258. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2018.10.029>
 20. **Щербак, Н. Н.** Ящурки Палеарктики / Н. Н. Щербак. – Киев : Наукова думка, 1974. – 294 с.
 21. **Щербак, Н. Н.** Систематика рода Ящурка – *Eremias* (Sauria, Reptilia) – в связи с очагами развития пустынно-степной фауны Палеарктики / Н. Н. Щербак // Вестник зоологии. – 1971. – № 2. – С. 48–56.
 22. **Еремченко, В. К.** Конспект исследований по цитогенетике и систематике некоторых азиатских видов Scincidae и Lacertidae / В. К. Еремченко, А. М. Панфилов, Е. И. Цариненко. – Бишкек : Илим, 1992. – 182 с.
 23. **Гептнер, В. Г.** Общая зоогеография / В. Г. Гептнер. – Москва ; Ленинград : Гос. изд-во биол. и мед. лит-ры, 1936. – 548 с.

References

1. Eremchenko V. K., Panfilov A. M. *Nauka i novye tekhnologii. Seriya biologicheskaya* [Science and new technologies. Biological series]. 1999, no. 4, pp. 112–124. [In Russian]
2. Orlova V. F., Poyarkov N. A., Chirikova M. A., Nazarov R. A., Munkhbayar M., Munkhbayar Kh., Terbish Kh. *Zootaxa*. 2017, vol. 4282 (1), pp. 001–042. Available at: <http://dx.doi.org/10.11646/zootaxa.4282.1.1>
3. Dujsebayeva T. N., Belyalov O. V., Orlova V. F., Chirikova M. A. *Terra*. 2007, no. 2, pp. 118–121.
4. Poyarkov N. A., Orlova V. F., Chirikova M. A. *Zootaxa*. 2014, vol. 3895 (2), pp. 208–224. Available at: <http://dx.doi.org/10.11646/zootaxa.3895.2.4>
5. Dujsebayeva T. N., Malakhov D. V. *Russian Journal of Herpetology*. 2017, vol. 24 (3), pp. 171–192.
6. Malakhov D. V., Chirikova M. A. *Russian Journal of Herpetology*. 2018, vol. 25, no. 3, pp. 195–206. DOI 10.30906/1026-2296-2018-25-3-195-206.
7. Malakhov D. V., Tsyhuyeva N. Yu., Kambulin V. E. *Russian Journal of Ecosystem Ecology*. 2018, vol. 3 (1). DOI 10.21685/2500-0578-2018-1-5.
8. Available at: <http://www.cgiar-csi.org/data/global-aridity-and-pet-database>
9. Available at: <https://www.climond.org/Default.aspx>
10. Available at: <http://sasgis.ru/sasplaneta>
11. Available at: <http://www.worldclim.org/>
12. Available at: <http://www.worldclim.org/bioclim>
13. Kottek M., Grieser J., Beck C., Rudolf B., Rubel F. *Meteorologische Zeitschrift* [Meteorological journal]. 2006, vol. 15 (3), pp. 259–263.
14. Peel M. C., Finlayson B. L., McMahon T. A. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2007, vol. 11, pp. 1633–1644. Available at: www.hydrol-earth-syst-sci.net/11/1633/2007/
15. Geptner V. G. *Byulleten' MOIP. Otdel biologicheskij* [Bulletin of MSN. Biological department]. 1945, iss. 50 (1–2), pp. 17–38. [In Russian]
16. Glazovskaya M. A. *Geograficheskie issledovaniya v Tsentral'nom Tyan'-Shane: sb., posvyashch. pamyati P. P. Semenova-Tyan'-Shanskogo* [Geographical studies in the

- Central Tien Shan: collected articles commemorating P. P. Semyonov-Tyan-Shanskiy]. Moscow: Izd-vo AN SSSR, 1953, pp. 27–68. [In Russian]
17. Odum Yu. *Ekologiya: v 2 t. T. 2: per. s angl.* [Ecology: in 2 volumes. Vol. 2: translation from English]. Moscow: Mir, 1986, 376 p. [In Russian]
18. Barry R. *Mountain Weather and Climate*. 3rd ed. New York: Cambridge University Press, 2008, 506 p.
19. Liu J., Guo X., Chen D., Li J., Yue B., Zeng X. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 2019, vol. 130, pp. 244–258. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2018.10.029>
20. Shcherbak N. N. *Yashchurki Palearktiki* [Desert lacerta of Palaearctic]. Kiev: Naukova dumka, 1974, 294 p.
21. Shcherbak N. N. *Vestnik zoologii* [Zoological bulletin]. 1971, no. 2, pp. 48–56. [In Russian]
22. Eremchenko V. K., Panfilov A. M., Tsarinenko E. I. *Konspekt issledovaniy po tsitogenetike i sistematike nekotorykh aziatskikh vidov Scincidae i Lacertidae* [Research summary on cytogenetics and taxonomy of certain Asian species Scincidae and Lacertidae]. Bishkek: Ilim, 1992, 182 p. [In Russian]
23. Geptner V. G. *Obshchaya zoogeografiya* [General zoogeography]. Moscow; Leningrad: Gos. izd-vo biol. i med. lit-ry, 1936, 548 p. [In Russian]
-

Дуйсебаева Татьяна Николаевна

кандидат биологических наук, ведущий специалист, Казахстанская ассоциация сохранения биоразнообразия (Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Ходжанова, 67)

E-mail: dujsebayeva@mail.ru

Dujsebaeva Tat'yana Nikolaevna

Candidate of biological sciences, leading specialist, Association for the Conservation of Biodiversity of Kazakhstan (67 Hodzhanova street, Almaty, the Republic of Kazakhstan)

Малахов Дмитрий Викторович

ведущий научный сотрудник, Национальный центр космических исследований и технологий (Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Шевченко, 15А)

E-mail: d_malakhov_73@mail.ru

Malakhov Dmitriy Viktorovich

Leading researcher, National Center of Space Research and Technology (15A Shevchenko street, Almaty, the Republic of Kazakhstan)

Березовиков Николай Николаевич

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Институт зоологии Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (Республика Казахстан, г. Алматы, проспект аль-Фараби, 93)

E-mail: berezovikov_n@mail.ru

Berezovikov Nikolay Nikolaevich

Candidate of biological sciences, senior researcher, Institute of Zoology of Committee of Science of Ministry Education and Science of the Republic Kazakhstan (93 al-Farabi avenue, Almaty, the Republic of Kazakhstan)

Guo Xianguang

PhD, Институт биологии Китайской академии наук (Китайская Народная Республика, г. Ченгду)

E-mail: guoxg@cib.ac.cn

Guo Xianguang

PhD, Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences (Chengdu, People's Republic of China)

Лиу Чинлонг

M.S., Институт биологии Китайской академии наук (Китайская Народная Республика, г. Ченгду)

E-mail: guoxg@cib.ac.cn

Liu Jinlong

M.S., Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences (Chengdu, People's Republic of China)

Чередниченко

Александр Владимирович

доктор географических наук, главный научный сотрудник, Научно-исследовательский институт биологии и биотехнологии, Казахский национальный университет (Республика Казахстан, г. Алматы, проспект аль-Фараби, 71)

E-mail: geliograf@mail.ru

Cherednichenko

Aleksandr Vladimirovich

Doctor of geographical sciences, principal researcher, Scientific Research Institute of Biology and Biotechnology, Kazakh National University (71 al-Farabi avenue, Almaty, the Republic of Kazakhstan)

Образец цитирования:

Применение ГИС-моделирования при изучении видов ящериц со сходными экологическими адаптациями / Т. Н. Дуйсебаева, Д. В. Малахов, Н. Н. Березовиков, Ксиангуанг Гуо, Чинлонг Лиу, А. В. Чередниченко // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2019. – № 2 (26). – С. 48–59. – DOI 10.21685/2307-9150-2019-2-5.