СОВРЕМЕННАЯ ГЕРПЕТОЛОГИЯ. 2026. Т. 26, вып. 1/2. С. 79 – 84
Current Studies in Herpetology, 2026, vol. 26, iss. 1–2, pp. 79–84
https://sg.sgu.ru

Метод геометрической морфометрии в детекции видов зелёных лягушек (Ranidae, Amphibia)

А. О. Свинин [1]✉, Р. И. Замалетдинов [2], Р. И. Михайлова [3], Б. Ф. Тамимдаров [3]

[1] *Институт цитологии РАН*
Россия, 194064, г. Санкт-Петербург, Тихорецкий проспект, д. 4
[2] *Казанский (Приволжский) федеральный университет*
Россия, 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 18
[3] *Казанский государственный аграрный университет*
Россия, 420015, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 65

Информация о статье

Краткое сообщение
УДК 591.4
https://doi.org/10.18500/1814-6090-2026-26-1-2-79-84
EDN: WDFEET

Поступила в редакцию 10.03.2025,
после доработки 26.03.2026,
принята 02.04.2026

Аннотация. Приводятся сведения по применению метода геометрической морфометрии для анализа краниологических признаков, а также формы метатарзального бугорка у трех видов зелёных лягушек (*Pelophylax esculentus* complex). Анализ формы метатарзального бугорка трех видов зелёных лягушек с помощью метода главных компонент выявил разделение таксонов на 84.9% по оси первой главной компоненты. Перекрывания по форме пяточного бугорка у родительских видов не наблюдается, тогда как значения данных показателей у гибридной *P. esculentus* трансгрессируют с родительскими видами. Форма выбранных краниологических признаков была схожа у видов зелёных лягушек, и её разделение не превышало 50%. Дальнейшее совершенствование методики может позволить найти важные признаки остеологии для детекции видов комплекса.

Ключевые слова: морфология, краниология, анализ формы, амфибии, зелёные лягушки, *Pelophylax esculentus* complex, метатарзальный бугорок

Образец для цитирования: *Свинин А. О., Замалетдинов Р. И., Михайлова Р. И., Тамимдаров Б. Ф.* 2026. Метод геометрической морфометрии в детекции видов зелёных лягушек (Ranidae, Amphibia) // Современная герпетология. Т. 26, вып. 1/2. С. 79 – 84. https://doi.org/10.18500/1814-6090-2026-26-1-2-79-84, EDN: WDFEET

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Введение. Зелёные лягушки комплекса *Pelophylax esculentus* представлены на территории Восточно-Европейской равнины тремя видами: озерной, *P. ridibundus* (Pallas, 1771), прудовой, *P. lessonae* (Camerano, 1882), и съедобной лягушками, *P. esculentus* (Linnaeus, 1758), возникшей в результате гибридизации первых двух видов. Все три вида комплекса проявляют относительно высокое морфологическое сходство и значения морфометрических индексов зачастую перекрываются (Berger, 1968; Pagano, Joly, 1998; Schmeller, 2004). В связи с этим, выявление диагностических признаков для корректного видового определения музейных экземпляров и особей в полевых условиях остается актуальной задачей на протяжении длительного времени (Терентьев, 1922; Таращук, 1989; Борисовский и др., 2000; Pagano, Joly, 1998; Berger, 2008). Подробное описание внешнего вида метатарзальных бугорков было сделано ранее (Банников и др., 1977; Berger, 2008), однако, кажется интригующим подход с математическим описанием формы метатарзального бугорка.

В данном сообщении мы рассматриваем метод разделения зелёных лягушек по форме пяточного бугорка и некоторым краниологическим признакам при использовании метода геометрической морфометрии.

Материал и методы. Сбор амфибий проведен в 2015 – 2019 гг. Определение видов зелёных лягушек проведено с помощью молекулярно-генетических методов (Ermakov et al., 2019; Svinin et al., 2021), плоидность выявлялась с помощью проточной ДНК-цитометрии (Vinogradov et al., 1990). Для изучения краниологических признаков 45 особей трех видов зелёных лягушек (27 *P. esculentus*, 11 *P. ridibundus* и 7 *P. lessonae*), черепа были скани-

✉ *Для корреспонденции*. Лаборатория стабильности хромосом и микроэволюции генома Института цитологии РАН.

ORCID и e-mail адреса: Свинин Антон Олегович: https://orcid.org/0000-0002-8400-6826, ranaesc@gmail.com; Замалетдинов Ренат Ирекович: https://orcid.org/0000-0001-9153-7820, i.ricinus@rambler.ru; Михайлова Регина Ипполитовна: https://orcid.org/0000-0001-6313-3896, e-mail: regmich2013@yandex.ru; Тамимдаров Булат Фаридович: https://orcid.org/0000-0002-0033-1884, Smolentsev82@mail.ru

© Свинин А. О., Замалетдинов Р. И., Михайлова Р. И., Тамимдаров Б. Ф., 2026

рованы с помощью цифрового рентгеновского комплекса DIG-360 (2.8 кВт) (Dongmun, Южная Корея) с высокочувствительным детектором Rayencec (IPS Medical, Италия) с применением DR-системы в вентродорсальной и правой медиолатеральной проекциях (рис. 1, *а*). Для оценки формы черепа и формы глазниц было выбрано 13 билатерально симметричных меток, что в сумме составило 26 меток, которые были дополнены равноудаленными полуметками в равном количестве.

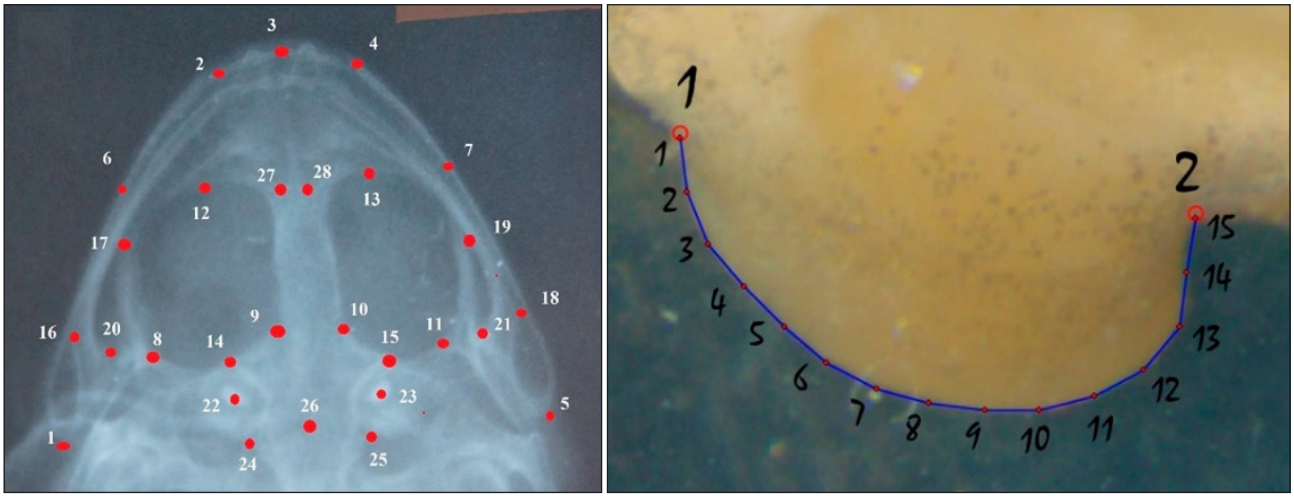
Для изучения формы пяточного бугорка у зафиксированной в 70%-ном этаноле 121 особи трех видов зелёных лягушек (39 *P. esculentus*, 29 *P. ridibundus* и 52 *P. lessonae*) были сканированы метатарзальные бугорки с помощью цифрового сканера BenQ 5000 Mirascan (Qisda Corporation, Тайвань) в разрешении 600 dpi (рис. 1, *б*).

Для описания формы использовался метод скользящих полуметок (SSL – sliding semilandmarks) (Zelditch et al., 2004). Для расстановки меток и полуметок и получения их координат использовался экранный дигитайзер tpsDig2. Полуметки добавлялись между основными метками в равных количествах. Прокрустовы координаты получены в tpsRelw ver. 1.75.

Статистическая обработка и визуализация результатов проведена в R с использованием программы RStudio v. 2024.09.0 Build 375 (Posit PBC, США).

Результаты и их обсуждение. Зелёные лягушки комплекса *Pelophylax esculentus* имеют разную морфологию пяточных бугорков, обусловленную разным образом жизни (Банников и др., 1977; Ананьева и др., 1998; Кузьмин, 2012; Plötner, 2005; Berger, 2008). Несмотря на высокую привязанность к водным биотопам, виды зелёных лягушек по-разному приурочены к водоёмам. Прудовая лягушка – более наземный вид, зимовка которого проходит на суше. Данный вид характеризуется укороченными задними конечностями и высоким округлой формы пяточным бугорком, больше приспособленным для закапывания в грунт и перемещения по земле. Пяточный бугорок прудовой лягушки в длину составляет более половины первого пальца задних конечностей. В противоположность этому, у озёрной лягушки пяточный бугорок менее выражен, невысокий, короткий, нередко скошен к проксимальному краю бугорка. Его длина короче длины первого пальца задних конечностей более, чем вдвое. Зимовка озёрных лягушек проходит в воде. Гибриды *P. esculentus* характеризуются пяточными бугорками промежуточного типа.

Анализ формы метатарзального бугорка трех видов зелёных лягушек с помощью метода главных компонент выявил разделение таксонов на 84.9% по оси первой главной компопненты (рис. 2). Перекрывания по форме пяточного бугорка у родительских видов не наблюдается, тогда как значения данных показателей у гибридов трансгрессирует с таковыми как у *P. lessonae*, так и у *P. ridibundus*. Данный признак оказался менее чувствительным для разделения видов, чем индексы, основанные на морфометрических параметрах, которые разделяют виды в 95 – 98% случаев (Некрасова, Морозов-Леонов, 2001).



а* / *a ***б* / *b***

Рис. 1. Основные метки, использованные для определения формы краниологических признаков (*а*) и формы метатарзальных бугорков (*б*) зелёных лягушек с помощью геометрической морфометрии
Fig. 1. Key landmarks used to determine the shape of cranial features (*a*) and that of metatarsal tubercles (*b*) of green frogs using geometric morphometrics

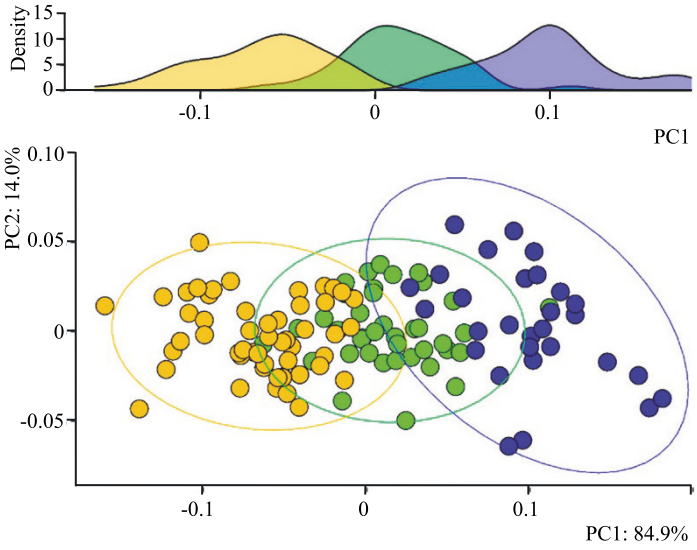


Рис. 2. Разделение трех видов зелёных лягушек по форме метатарзального бугорка в пространстве двух главных компонент, рассчитанных на основе прокрустовых координат положений меток и полуметок : ● – *P. lessonae*, ● – *P. esculentus*, ● – *P. ridibundus*

Fig. 2. Separation of three species of water frogs based on the shape of their metatarsal tubercle in the space of the first two principal components, calculated from Procrustes coordinates of landmark and semilandmark positions: ● – *P. lessonae*, ● – *P. esculentus*, ● – *P. ridibundus*

Ни один из краниологических признаков, используемых в анализе, не дал разделение видов более, чем на 50%. Дальнейшее использование других признаков остеологии при сканировании в рентгеновском излучении с анализом формы может позволить выявить диагностические признаки, которые могут быть полезны в дальнейших морфологических исследованиях, в том числе и по разделению генетических линий и криптических видов *P. ridibundus* комплекса.

Форма метатарзального бугорка для разделения видов зелёных лягушек может быть рекомендована для использования в диагностике видов в качестве дополнительного метода и подходит для идентификации родительских видов. По краниологическим признакам различий между таксонами не найдено, однако, исходя из литературных данных, они наблюдаются в форме ряда костей (Böhme, Günther, 1979; Blain et al., 2015).

Таким образом, дальнейшие исследования с привлечением всего костного аппарата лягушек, вероятно, позволят выявить диагностические признаки, форма которых будет существенной в разделении видов рода *Pelophylax*.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Ананьева Н. Б., *Боркин Л. Я.*, *Даревский И. С.*, *Орлов Н. Л.* 1998. Земноводные и пресмыкающиеся. Энциклопедия природы России. М. : ABF. 576 с.

Банников А. Г., *Даревский И. С.*, *Ищенко В. Г.*, *Рустамов А. К.*, *Щербак Н. Н.* 1977. Определитель земноводных и пресмыкающихся фауны СССР. М. : Просвещение. 415 с.

Борисовский А. Г., *Боркин Л. Я.*, *Литвинчук С. Н.*, *Розанов Ю. М.* 2000. Морфометрическая характеристика зеленых лягушек (комплекс *Rana esculenta*) в Удмуртии // Вестник Удмуртского университета. № 5. С. 70 – 75.

Кузьмин С. Л. 2012. Земноводные бывшего СССР. М. : Т-во науч. изд. КМК. 370 с.

Некрасова О. Д., *Морозов-Леонов С. Ю.* 2001. Диагностика лягушек комплекса *Rana esculenta* (Amphibia, Ranidae) в гибридных популяциях Приднепровья // Вестник зоологии. Т. 35, вып. 5. С. 45 – 50.

Таращук С. В. 1989. Схема морфометрической обработки представителей семейства настоящих лягушек (Ranidae) // Руководство по изучению земноводных и пресмыкающихся. Киев : Наукова думка. С. 73 – 74.

Терентьев П. В. 1922. К систематике зеленых лягушек Московской губернии // Русский гидробиологический журнал. Т. 1, № 11 – 12. С. 318 – 320.

Berger L. 2008. European green frogs and their protection. Ecological Library Foundation. Poznan : Research Centre For Agricultural and Forest Environment, Polish Academy of Sciences. 39 p.

Blain H. A., *Lózano-Fernández I.*, *Böhme G.* 2015. Variation in the ilium of central European water frogs *Pelophylax* (Amphibia, Ranidae) and its implications for species-level identification of fragmentary anuran fossils // Zoological Studies. Vol. 54. Art. e5. https://doi.org/10.1186/s40555-014-0094-3

Böhme G., Günther R. 1979. Osteological studies in the European water frogs *Rana ridibunda*, *Rana lessonae* and *Rana* "*esculenta*" (Anura, Ranidae) // Mitteilungen aus dem Zoologischen Museum in Berlin. Bd. 55, no. 1. S. 203 – 215.

Ermakov O., *Ivanov A.*, *Titov S.*, *Svinin A.*, *Litvinchuk S.* 2019. New multiplex PCR method for identification of east European green frog species and their hybrids // Russian Journal of Herpetology. Vol. 26, № 6. P. 367 – 370. https://doi.org/10.30906/1026-2296-2019-26-6-367-370

Pagano A., *Joly P.* 1999. Limits of the morphometric method for field identification of water frogs // Alytes. Vol. 16. P. 130 – 138.

Plötner J. 2005. Die westpaläarktischen Wasserfrösche von Märty – ren der Wissenschaft zur bioloaischen Sensation. Bielefeld : Laurenti. 160 S.

Schmeller D. S. 2004. Tying ecology and genetics of hemiclonally reproducing waterfrogs (*Rana*, Anura) // Annales Zoologici Fennici. Vol. 41, № 5. P. 681 – 687. https://www.jstor.org/stable/23735961

Svinin A. O., *Dedukh D. V.*, *Borkin L. J.*, *Ermakov O. A.*, *Ivanov A. Y.*, *Litvinchuk Y. S.*, *Zamaletdinov R. I.*, *Mikhaylova R. I.*, *Trubyanov A. B.*, *Skorinov D. V.*, *Rosanov Y. M.*, *Litvinchuk S. N.* 2020. Genetic structure, morphological variation, and gametogenic peculiarities in water frogs (*Pelophylax*) from northeastern European Rus-

sia // Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research. Vol. 59. P. 646 – 662. https://doi.org/10.1111/jzs.12447

Vinogradov A. E., *Borkin L. J*., *Gunther R*., *Rosanov J. M.* 1990. Genome elimination in diploid and triploid *Rana esculenta* males: Cytological evidence from DNA flow cytometry // Genome. Vol. 33. P. 619 – 627.

Zelditch M. L., *Swiderski D. L*., *Sheets H. D*., *Fink W. L*. 2004. Geometric Morphometrics for Biologists: A Primer. San Diego : Elsevier Academic Press. 437 p. https://doi.org/10.1016/B978-012778460-1/50003-X