

УДК 575.174.015.3

doi:10.21685/2307-9150-2021-3-7

Фенотипическая структура популяций *Pelophylax esculentus* complex в условиях урбанизированных ландшафтов юга Среднерусской возвышенности

А. С. Бархатов¹, Э. А. Снегин²

^{1,2}Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия

¹barkhatov@bsu.edu.ru, ²snegin@bsu.edu.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Морфологические признаки являются одними из важнейших маркеров для биоиндикации. Среди них особое место занимает полиморфизм фенотипических признаков. У бесхвостых земноводных широко распространена изменчивость окраски спины: наличие или отсутствие светлой дорсомедиальной полосы или темных пятен. При этом известно, что на импактных территориях происходит изменение фенотипического состава. Цель нашего исследования заключалась в анализе фенотипической структуры популяций *Pelophylax esculentus* complex в условиях урбанизированных ландшафтов юга Среднерусской возвышенности. *Материалы и методы.* Изучено 748 особей из 35 пунктов на территории юга Среднерусской возвышенности, точки сбора отличались степенью антропогенной нагрузки. Вариации окраски спины анализировали по общепринятой градации. Анализ разнообразия морф проводили по показателям, предложенным Л. А. Животовским. *Результаты.* Зарегистрированы четыре основные морфы *Maculata* (M), *Striata* (S), *Punctata* (P), *Burnsi* (B), а также их сочетания SM, SP и SMP. Наибольшее фенотипическое разнообразие было отмечено в естественных или мало нарушенных биотопах «Сазон» ($6,815 \pm 0,251$), «Айдар» ($6,527 \pm 0,306$), «Голубой Дунай» ($6,43 \pm 0,418$), а в условиях антропогенного прессинга наблюдается увеличение доли редких морф. Анализ главных компонент продемонстрировал фенотипическую схожесть большинства популяций, при этом были выявлены уникальные группы, которые обитают как на импактных территориях, так и в естественных биотопах. Данный факт может свидетельствовать об эффективных компенсаторных реакциях популяций зеленых лягушек на территории исследования в ответ на антропогенный прессинг. *Выводы.* Полученные результаты подтверждают данные предыдущих исследований фенотипического полиморфизма зеленых лягушек, согласно которым в условиях антропогенной нагрузки наблюдается снижение фенотипического разнообразия и возрастание доли редких морф. Кроме того, в ряде популяций, как на урбанизированных, так и в относительно чистых биотопах отмечаются уникальные сочетания частот фенотипов, что свидетельствует об активной адаптации лягушек к меняющимся условиям среды.

Ключевые слова: юг Среднерусской возвышенности, *Pelophylax esculentus* complex, популяционная структура

© Бархатов А. С., Снегин Э. А., 2021. Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License / This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

Для цитирования: Бархатов А. С., Снегин Э. А. Фенотипическая структура популяций *Pelophylax esculentus* complex в условиях урбанизированных ландшафтов юга Среднерусской возвышенности // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2021. № 3. С. 68–84. doi:10.21685/2307-9150-2021-3-7

Phenotypic structure of *Pelophylax esculentus* complex population in urbanized landscapes in the South Central Russian Upland

A.S. Barkhatov¹, E.A. Snegin²

^{1,2}Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

¹barkhatov@bsu.edu.ru, ²snegin@bsu.edu.ru

Abstract. *Background.* Morphological features are one of the most important markers for bioindication. Among them, the polymorphism of phenotypic traits occupies a special place. In tailless amphibians, dorsal colouration variability is widespread: the presence or absence of a light dorsomedial stripe or dark spots. The phenotypic composition is known to change in the impacted areas. The purpose of the study was to analyze the phenotypic structure of *Pelophylax esculentus* complex populations in the urbanized landscapes in the South Central Russian Upland. This study is a part of the comprehensive analysis of the population structure of green frogs in the South Central Russian Upland. *Materials and methods.* A total of 748 individuals were sampled from 35 localities in the South Central Russian Upland. Collection points differed in the degree of anthropogenic pressure. Dorsal coloration variations were analyzed according to the generally accepted grading. Analysis of phenotypes diversity was performed according to the indicators proposed by L.A. Zhivotovsky. *Results.* Four main phenotypes “Maculata” (M), “Striata” (S), “Punctata” (P), “Burnsi” (B), and their combinations SM, SP and SMP were registered in the study area. The highest phenotypic diversity was observed in natural or sparsely disturbed biotopes “Sazon” (6.815 ± 0.251), “Aidar” (6.527 ± 0.306), “Goluboi Dunai” (6.43 ± 0.418), while under anthropogenic pressure an increase in the proportion of rare phenotypes was observed. The principal component analysis has demonstrated the phenotypic similarity of most of the populations. At the same time, unique groups were found in both impact and natural habitats, which may indicate an effective compensatory response of the green frog populations in the study area to anthropogenic pressures. *Conclusions.* The results obtained confirm the data of the previous studies on the phenotypic polymorphism of green frogs, according to which the phenotypic diversity declines and the proportion of rare phenotypes increases under conditions of anthropogenic pressure. In addition, in a number of populations, both in urbanized and relatively clean biotopes, unique combinations of phenotypic frequencies are observed, indicating active adaptation of green frogs to changing environmental conditions.

Keywords: the South Central Russian Upland, *Pelophylax esculentus* complex, population structure

For citation: Barkhatov A.S., Snegin E.A. Phenotypic structure of *Pelophylax esculentus* complex population in urbanized landscapes in the South Central Russian Upland. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennyye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences.* 2021;(3):68–84. (In Russ.). doi:10.21685/2307-9150-2021-3-7

Введение

Бесхвостые земноводные (Anura) – являются самыми многочисленными и разнообразными представителями современных амфибий. Являясь консументами второго и последующих порядков, они представляют собой

связующее звено в пищевых цепях, которые охватывают водные и наземные сообщества, и таким образом выступают в качестве важного компонента биоты водно-болотных угодий [1–2]. Благодаря этому амфибий часто используют в качестве биоиндикаторов состояния экосистем [3–5]. Использование биоиндикации дает возможность выявить степень и интенсивность воздействия неблагоприятных факторов и проследить временную и пространственную динамику деградации естественных сообществ [4, 6].

Известно, что при антропогенной нагрузке происходят изменения в структуре популяций, при этом наблюдается изменение ее генетического и фенотипического состава, а также морфофизиологических показателей составляющих ее особей [7–8]. В связи с этим изучение полиморфизма фенотипических признаков представляет собой один из методов контроля над динамикой популяционной структуры микрогрупп, обитающих на урбанизированной территории. Например, в условиях антропопрессии наблюдается изменение фенотипического состава [6, 8–11].

Целью нашей работы является анализ фенотипической структуры популяций *Pelophylax esculentus* complex в условиях различных ландшафтов юга Среднерусской возвышенности.

Комплекс средневропейских зеленых лягушек (*Pelophylax esculentus* complex) включает в себя три вида: озерную лягушку (*Pelophylax ridibundus* Pallas, 1771), прудовую лягушку (*P. lessonae* Camerano, 1882) и съедобную лягушку (*P. esculentus* Linnaeus, 1758). Причем первые два вида (родительские) представляют собой «менделевские» виды, а съедобная лягушка *P. esculentus* представляет собой гибридную форму, которая образуется при скрещивании родительских особей и имеет уникальный полуклональный тип размножения [12–13].

Вместе с тем известно, что озерная лягушка по современным представлениям рассматривается как комплекс криптических видов, при этом на востоке ареала выделяют две формы, «западная», она же центрально-европейская *P. ridibundus* и «восточная» *P. cf. bedriagae* (анатолийская лягушка) [14]. Несмотря на то, что родительские и гибридные особи занимают различные биотопы, они часто обитают вместе и образуют общие группы размножения, при которых нередко наблюдается интрогрессия [15–18]. Данный факт позволяет нам анализировать фенотипическую структуру всего комплекса.

Материалы и методы

Сбор материала был проведен в летний полевой сезон 2018–2020 гг. Всего было проанализировано 748 особей из 35 пунктов (табл. 1, рис. 1). Пункты сбора отличались степенью антропогенной нагрузки по классификации, предложенной Р. И. Замалетдиновым [19]. Всего в ходе исследования было проанализировано: 3 локалитета с промышленной застройкой (94 особи); 1 локалитет многоэтажной застройки (20 особей); 20 – малоэтажной застройки (435 особей); 11 пунктов зеленой зоны (199 особей).

Вариации окраски спины анализировали по общепринятой градации [20–21]: 1) *Striata* (S), «полосатость» – наличие светлой дорсомедиальной полосы; 2) *Maculata* (M), «пятнистость» – наличие крупных (от 2–3 мм диаметром) пятен (рис. 2); 3) *Punctata* (P), «крапчатость» – на верхней части туловища

присутствуют мелкие точки; 4) Burnsі (B), «чистая» – полное отсутствие пятнистости и крапчатости на верхней части туловища. В популяциях также были выявлены особи, имеющие сочетания указанных признаков (морфы SM, SP, SMP).

Таблица 1

Пункты сбора

Локалитеты	Описание	Координаты	Количество особей
1	2	3	4
1. Северский Донец	р. Северский Донец, г. Белгород. Промышленная застройка	50°35'28.6"N 36°34'59.2"E	19
2. Везёлка	р. Везёлка, г. Белгород. Многоэтажная застройка	50°35'28.6"N 36°34'59.2"E	20
3. Оскочное	Пруд, г. Белгород. Малоэтажная застройка	50°38'53.8"N 36°33'25.5"E	20
4. Ячевский	Пруд, г. Белгород. Малоэтажная застройка	50°38'23.1"N 36°34'44.8"E	16
5. Дубовое	Белгородский район. Зеленая зона	50°31'56.5"N 36°34'59.8"E	18
6. Устье	Устье р. Разумная, г. Белгород. Малоэтажная застройка	50°31'49.1"N 36°38'57.2"E	26
7. Майский	Озеро, пос. Майский. Малоэтажная застройка	50°30'54.0"N 36°27'43.2"E	16
8. Северный	Озеро, близ пос. Северный. Зеленая зона	50°43'58.8"N 36°29'13.2"E	22
9. Шопино	р. Липовый Донец. Малоэтажная застройка	50°42'19.7"N 36°36'40.0"E	23
10. Нежеголь	р. Нежеголь, окраина г. Шебекино. Малоэтажная застройка	50°23'24.8"N 36°50'23.6"E	22
11. Графовка	Водно-болотный комплекс близ Белгородского водохранилища. Зеленая зона	50°25'07.4"N 36°46'24.8"E	17
12. Глотова	Озеро, близ с. Глотова. Малоэтажная застройка	50°27'52.9"N 35°37'51.9"E	25
13. Плотва	р. Плотва близ с. Борисовка. Зеленая зона	50°21'23.2"N 37°36'44.6"E	13
14. Сазон	Озеро. «Сазон», пгт. Волоконовка. Малоэтажная застройка	50°29'38.4"N 37°52'33.6"E	20
15. Оскол 1	р. Оскол, Волоконовский район. Зеленая зона	50°24'26.6"N 37°49'03.9"E	22
16. Волчья	р. Волчья, близ с. Волчья Александровка. Зеленая зона	50°26'54.4"N 37°34'15.4"E	18
17. Губкин	р. Осколец, г. Губкин. Промышленная застройка	51°16'15.6"N 37°32'56.4"E	60

Окончание табл. 1

1	2	3	4
18. Орлик	р. Орлик, близ с. Орлик. Зеленая зона	51°04'04.8"N 37°41'06.0"E	25
19. Ольшанка	р. Ольшанка, близ с. Ольшанка. Зеленая зона	51°00'14.4"N 37°39'50.4"E	14
20. Халань	р. Халань близ с. Русская Халань. Малозэтажная застройка	50°56'49.2"N 37°43'33.6"E	34
21. Беленькая	р. Беленькая, близ рыбразводческий пруд. Зеленая зона	50°44'53.2"N 37°57'43.4"E	24
22. Оскол	р. Оскол, г. Новый Оскол. Малозэтажная застройка	50°44'05.4"N 37°50'21.0"E	18
23. Чуфичка	Исток р. Чуфичка, близ хвостохранилища Стойленского горно- обогатительного комбината. Промышленная застройка	51°11'59.5"N 37°50'04.9"E	15
24. Корень	р. Корень близ с. Коломыцево. Зеленая зона	50°50'52.8"N 37°03'00.0"E	19
25. Короча	Корочанское водохранилище, р. Короча. Малозэтажная застройка	50°50'35.5"N 37°13'00.7"E	14
26. Сейм	р. Сейм близ с. Солнцево. Зеленая зона	51°11'16.8"N 37°17'34.8"E	17
27. Т. Сосна	р. Тихая Сосна, пгт. Бирюч. Малозэтажная застройка	50°38'24.1"N 38°24'04.1"E	22
28. Валуй	р. Валуй, г. Валуйки. Малозэтажная застройка	50°12'17.2"N 38°06'03.9"E	24
29. Голубой Дунай	р. Голубой Дунай, с. Свистовка. Малозэтажная застройка	50°04'58.3"N 38°56'34.1"E	21
30. Айдар	р. Айдар, пгт. Ровеньки. Малозэтажная застройка	49°54'12.2"N 38°55'23.4"E	33
31. Ворскла	р. Ворскла, пгт. Борисовка. Малозэтажная застройка	50°36'15.6"N 36°01'36.2"E	19
32. Ракита	р. Ракита, пгт. Ракитное. Малозэтажная застройка	50°49'47.7"N 35°49'56.3"E	21
33. Пена	р. Пена, близ с. Венгеровка. Малозэтажная застройка	50°56'11.9"N 36°02'01.8"E	27
34. Белая	р. Белая. Воронежская область. Зеленая зона	49°50'01.7"N 39°20'03.6"E	12
35. Дон	р. Дон, ст. Казанская, Ростовская область. Малозэтажная застройка	49°47'23.0"N 41°08'11.9"E	12

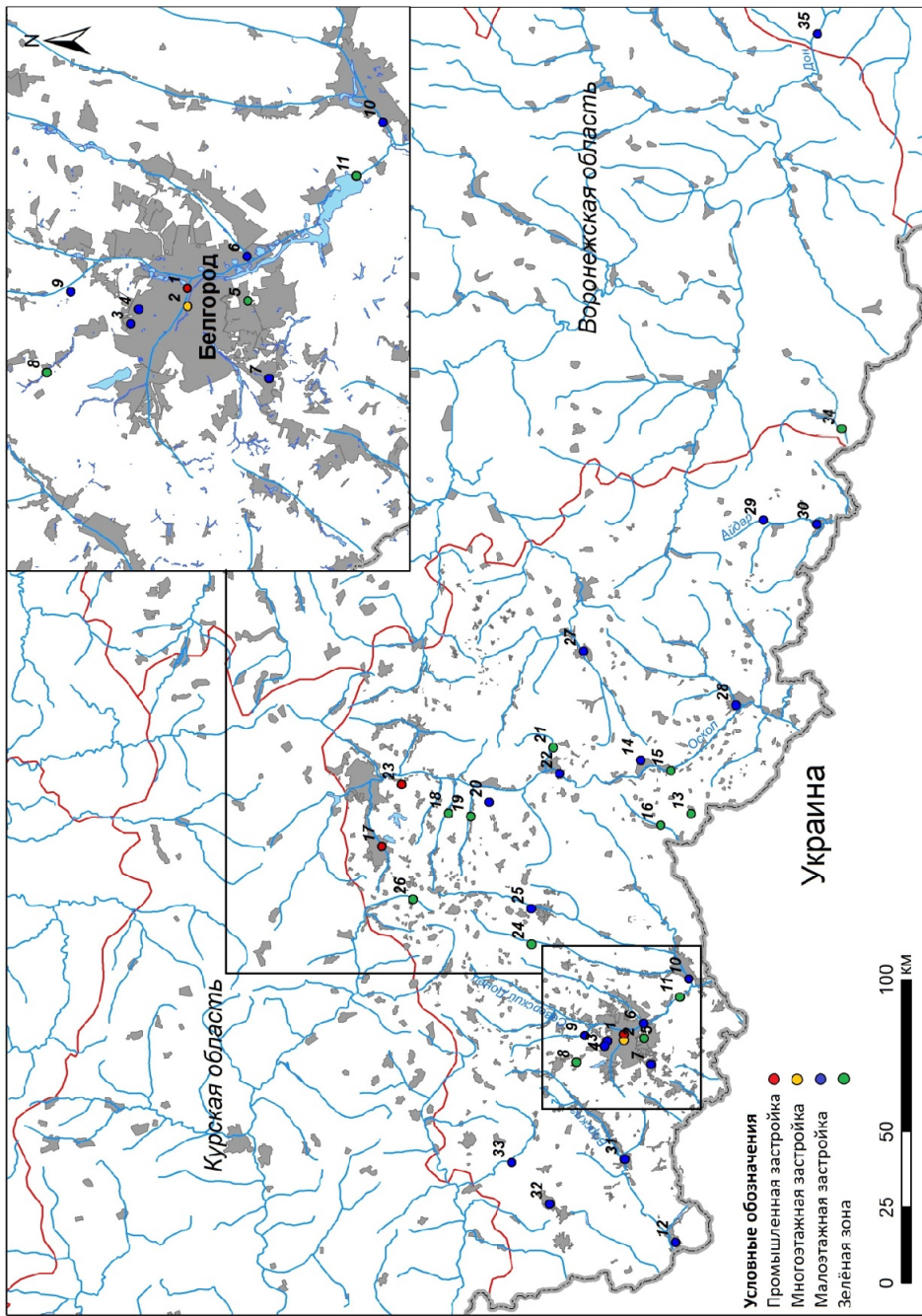


Рис. 1. Пункты сбора

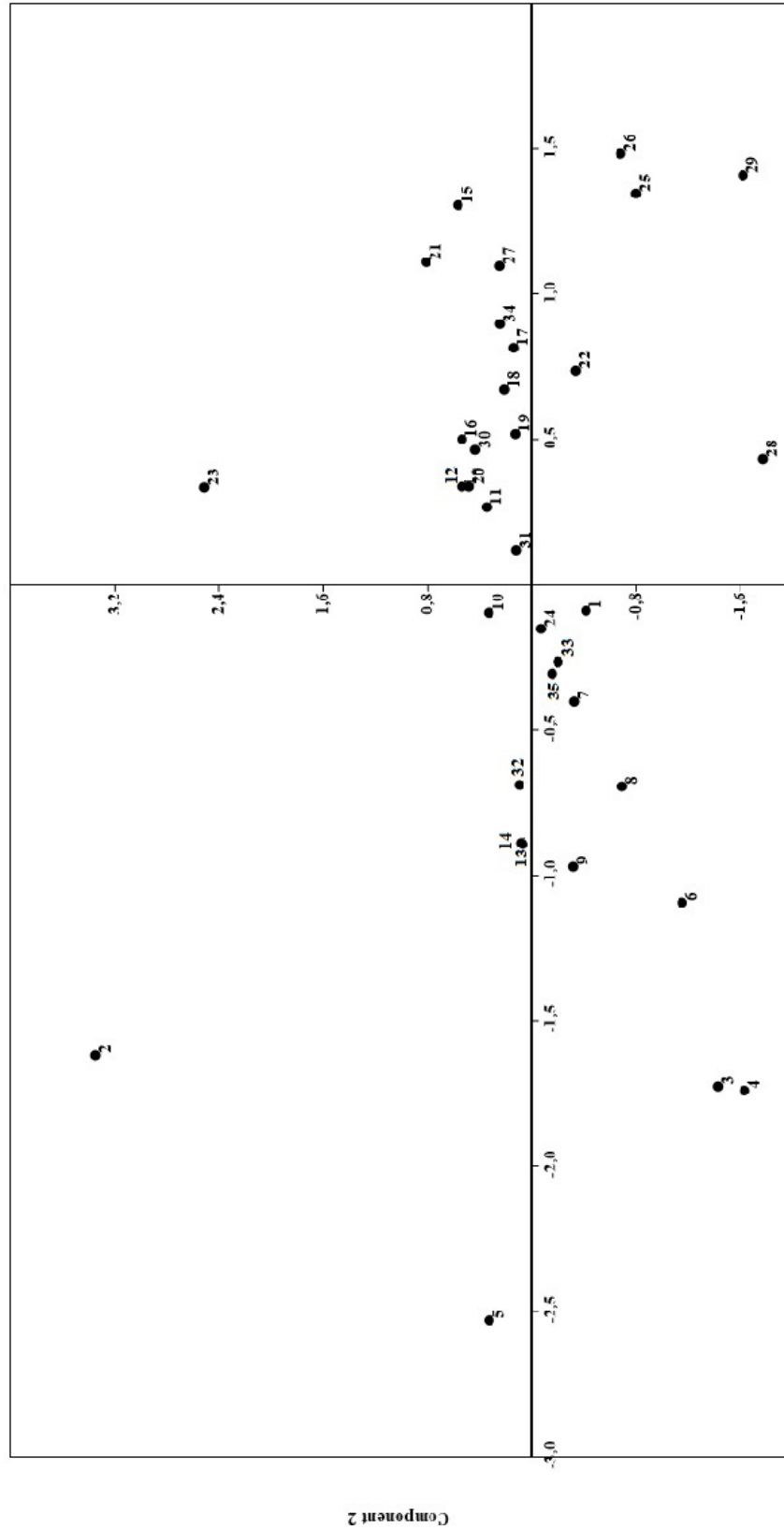


Рис. 2. Анализ главных компонент фенотипического сходства (r) популяций *Populus esculentus* complex

Анализ популяционного разнообразия по фенотипическим признакам оценивали по формулам, предложенным Л. А. Животовским [22–23]:

$$r = \sum_{i=1}^m \sqrt{p_i q_i}, \mu = (\sqrt{q_1} + \sqrt{q_2} + \dots + \sqrt{q_m})^2, S_m = \sqrt{\mu(m-\mu) / N},$$

$$h = 1 - (\mu / m), S_h = \sqrt{h_\mu(1-h_\mu) / N},$$

где r – сходство популяций по фенотипическим признакам; p и q – частота i -морфы в сравниваемых популяциях; μ – среднее число морф; h – частота редких морф; S_m S_h – ошибки соответствующих показателей μ и h ; q_1, q_2, q_m – частоты соответствующих морф (m); N – объем выборки.

Статистический анализ проведен с помощью пакета программ Microsoft Excel 2010, анализ главных компонент проведен в программе PAST V. 2.17с.

Результаты и обсуждение

Результаты фенотипического анализа популяций *Pelophylax esculentus* complex представлены в табл. 2–3 и на рис. 2.

Известно, что распределение частот морф имеет важное значение при анализе фенотипического разнообразия популяций. В условиях антропогенной нагрузки отмечается значительное изменение фенотипического состава в популяциях бесхвостых земноводных, в частности зеленых лягушек [4–5, 8–9]. Наше исследование подтверждает этот факт. Так, более высокий уровень изменчивости отмечен нами в естественных или мало нарушенных биотопах. Для обитающих здесь популяций характерны наибольшие значения показателя внутривидового разнообразия (μ): № 14 «Сазон», № 30 «Айдар», № 29 «Голубой Дунай», № 20 «Халань», № 28 «Валуй», № 10 «Нежеголь».

С увеличением антропогенной нагрузки наблюдается снижение фенотипического разнообразия. Самыми мономорфными оказались группы, обитающие в урбанизированных ландшафтах г. Белгорода, а именно пункты: № 4 «Ячевский», № 3 «Оскочное», № 6 «Устье», № 2 «Везёлка», № 1 «Северский Донец». Примечательно, что в данных популяциях присутствуют только особи со светлой дорсомедиальной полосой.

Другим важным показателем фенотипического состояния популяции является доля редких морф (h). Согласно литературным данным известно, что при увеличении антропогенной нагрузки и снижении фенотипического разнообразия наблюдается пропорциональное увеличение доли редких морф [5, 8].

По представленным данным в табл. 2 наибольшее значение долей редких морф зафиксировано в популяциях № 4 «Ячевский», № 3 «Оскочное» и № 6 «Устье», обитающих на урбанизированных ландшафтах г. Белгорода (табл. 2, рис. 1).

Интересен тот факт, что, по данным нашего предыдущего исследования генетической структуры популяций *Pelophylax esculentus* complex [24], наибольшее генетическое разнообразие зафиксировано в условиях городской среды. При этом более мономорфными оказались группы, обитающие в мало нарушенных или естественных биотопах, что свидетельствует об активной адаптации популяций к меняющимся условиям антропогенной среды [25].

Таблица 2

Частоты фенотипов и показатели фенотипического разнообразия
в популяциях *Pelophylax esculentus* complex

Фенотипы	1. Северский Донец	2. Везёлка	3. Оскочное	4. Ячневский	5. Дубовое	6. Устье	7. Майский	8. Северный	9. Шопино
S	0,368	0,25	0,5	0,25	0,222	0,346	0,312	0,091	0,087
M	0,11	0	0	0	0,111	0	0,25	0,227	0,217
P	0	0	0	0	0,111	0	0	0	0,087
B	0	0	0	0	0,167	0	0	0	0,043
SM	0,474	0,5	0,4	0,687	0,389	0,5	0,312	0,55	0,217
SP	0,053	0,25	0,1	0,063	0	0,154	0,125	0,136	0,347
SMP	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\mu \pm S\mu$	$3,419 \pm 0,803$	$2,914 \pm 0,077$	$2,742 \pm 0,764$	$2,494 \pm 0,838$	$4,708 \pm 0,774$	$2,848 \pm 0,674$	$3,887 \pm 0,869$	$3,557 \pm 0,746$	$5,385 \pm 0,615$
$h \pm Sh$	$0,511 \pm 0,115$	$0,584 \pm 0,110$	$0,608 \pm 0,109$	$0,644 \pm 0,119$	$0,327 \pm 0,111$	$0,593 \pm 0,096$	$0,444 \pm 0,124$	$0,492 \pm 0,106$	$0,231 \pm 0,088$
<i>n</i>	19	20	20	16	18	26	16	22	23
Фенотипы	10. Нежеголь	11. Графовка	12. Глогово	13. Плотва	14. Сазон	15. Оскол I	16. Волчья	17. Губкин	18. Орлик
S	0,182	0,176	0,2	0,077	0,1	0,182	0,278	0,3	0,08
M	0,182	0,176	0,16	0,231	0,15	0,091	0,111	0,117	0,12
P	0,136	0,117	0	0,077	0,15	0,045	0	0,033	0,04
B	0,091	0,117	0,08	0,077	0,1	0,091	0,111	0	0,04
SM	0,318	0,294	0,32	0,231	0,25	0,5	0,333	0,4	0,44
SP	0,045	0,12	0,16	0,23	0,15	0,091	0,111	0,13	0,28
SMP	0,045	0,00	0,08	0,077	0,1	0	0,055	0	0
$\mu \pm S\mu$	$6,321 \pm 0,442$	$5,815 \pm 0,637$	$5,658 \pm 0,551$	$6,505 \pm 0,497$	$6,815 \pm 0,251$	$5,068 \pm 0,667$	$5,476 \pm 0,681$	$4,283 \pm 0,441$	$4,936 \pm 0,638$
$h \pm Sh$	$0,097 \pm 0,063$	$0,169 \pm 0,091$	$0,192 \pm 0,079$	$0,071 \pm 0,071$	$0,026 \pm 0,036$	$0,276 \pm 0,095$	$0,218 \pm 0,097$	$0,388 \pm 0,063$	$0,295 \pm 0,091$
<i>n</i>	22	17	25	13	20	22	18	60	25

Окончание табл. 2

Фенотипы	19. Ольшанка	20. Халань	21. Беленькая	22. Оскол	23. Чуфичка	24. Корень	25. Короча	26. Сейм	27. Т. Сосна
S	0,357	0,176	0,125	0,222	0,267	0,211	0,214	0,235	0,227
M	0,143	0,147	0,125	0,055	0,067	0,105	0,214	0,059	0,091
P	0,071	0,176	0,042	0,111	0,067	0	0,071	0,059	0,045
B	0	0,059	0,042	0	0	0,105	0	0,117	0
SM	0,286	0,265	0,375	0,389	0,4	0,263	0,286	0,412	0,409
SP	0,143	0,147	0,25	0,222	0,2	0,211	0,214	0,118	0,227
SMP	0	0,029	0,042	0	0	0,105	0	0	0
$\mu \pm S\mu$	4,645 \pm 0,884	6,429 \pm 0,328	5,914 \pm 0,517	4,560 \pm 0,786	4,462 \pm 0,869	5,779 \pm 0,609	4,798 \pm 0,868	5,280 \pm 0,731	4,443 \pm 0,719
$h \pm Sh$	0,336 \pm 0,126	0,081 \pm 0,047	0,155 \pm 0,074	0,348 \pm 0,112	0,362 \pm 0,124	0,174 \pm 0,087	0,314 \pm 0,124	0,246 \pm 0,104	0,365 \pm 0,103
<i>n</i>	14	34	24	18	15	19	14	17	22
Фенотипы	28. Валуй	29. Г. Дунай	30. Айдар	31. Ворскла	32. Ракига	33. Пена	34. Белая	35. Дон	
S	0,167	0,143	0,128	0,105	0,238	0,148	0,333	0,167	
M	0,042	0,095	0,121	0,105	0,048	0,074	0,083	0,167	
P	0,083	0,095	0,151	0,158	0,095	0,037	0,083	0,083	
B	0,083	0,095	0,061	0,105	0	0,074	0	0	
SM	0,25	0,333	0,303	0,368	0,238	0,333	0,333	0,25	
SP	0,292	0,19	0,121	0,158	0,238	0,333	0,167	0,333	
SMP	0,083	0,047	0,061	0	0,143	0	0	0	
$\mu \pm S\mu$	6,342 \pm 0,417	6,430 \pm 0,418	6,527 \pm 0,306	5,641 \pm 0,635	5,610 \pm 0,609	5,182 \pm 0,591	4,581 \pm 0,961	4,763 \pm 0,942	
$h \pm Sh$	0,094 \pm 0,059	0,081 \pm 0,059	0,067 \pm 0,044	0,194 \pm 0,091	0,198 \pm 0,087	0,259 \pm 0,084	0,345 \pm 0,137	0,319 \pm 0,135	
<i>n</i>	24	21	33	19	21	27	12	12	

Примечание. μ – показатель внутрипопуляционного разнообразия; $S\mu$ – ошибка показателя внутрипопуляционного разнообразия; h – показатель доли редких морф; Sh – ошибка показателя доли редких морф; n – число особей в выборке.

Таблица 3

Показатели фенотипического сходства (*r*) популяций *Pelorophylax esculentus* complex

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35				
1.	0,000																																						
2.	0,905	0,000																																					
3.	0,937	0,959	0,000																																				
4.	0,932	0,961	0,957	0,000																																			
5.	0,823	0,677	0,728	0,753	0,000																																		
6.	0,934	0,990	0,987	0,979	0,718	0,000																																	
7.	0,967	0,852	0,861	0,831	0,779	0,863	0,000																																
8.	0,931	0,858	0,797	0,855	0,762	0,844	0,950	0,000																															
9.	0,786	0,772	0,690	0,681	0,769	0,735	0,867	0,873	0,000																														
10.	0,834	0,719	0,726	0,734	0,941	0,733	0,842	0,827	0,885	0,000																													
11.	0,843	0,765	0,749	0,745	0,931	0,765	0,869	0,854	0,948	0,967	0,000																												
12.	0,882	0,824	0,800	0,793	0,812	0,820	0,908	0,891	0,877	0,911	0,897	0,000																											
13.	0,765	0,719	0,652	0,657	0,796	0,691	0,834	0,845	0,853	0,942	0,934	0,937	0,000																										
14.	0,731	0,705	0,662	0,670	0,848	0,692	0,787	0,792	0,916	0,970	0,941	0,913	0,863	0,000																									
15.	0,912	0,864	0,844	0,875	0,937	0,869	0,891	0,906	0,900	0,943	0,969	0,917	0,890	0,900	0,000																								
16.	0,902	0,838	0,843	0,826	0,856	0,843	0,902	0,867	0,846	0,914	0,903	0,990	0,902	0,893	0,934	0,000																							
17.	0,962	0,904	0,903	0,880	0,827	0,913	0,960	0,900	0,885	0,881	0,904	0,885	0,846	0,834	0,933	0,889	0,000																						
18.	0,862	0,875	0,787	0,824	0,811	0,843	0,889	0,936	0,967	0,889	0,943	0,909	0,929	0,901	0,957	0,891	0,922	0,000																					
19.	0,940	0,866	0,880	0,837	0,830	0,878	0,955	0,895	0,903	0,897	0,921	0,872	0,860	0,853	0,918	0,876	0,981	0,908	0,000																				
20.	0,821	0,766	0,744	0,733	0,886	0,761	0,850	0,831	0,943	0,979	0,975	0,903	0,963	0,981	0,937	0,895	0,903	0,928	0,928	0,000																			
21.	0,865	0,860	0,795	0,810	0,801	0,837	0,894	0,912	0,952	0,954	0,941	0,961	0,972	0,957	0,946	0,941	0,922	0,975	0,916	0,961	0,000																		
22.	0,900	0,929	0,877	0,871	0,801	0,903	0,897	0,889	0,916	0,877	0,911	0,846	0,862	0,864	0,926	0,844	0,966	0,943	0,962	0,921	0,937	0,996	0,000																
23.	0,935	0,822	0,907	0,894	0,777	0,926	0,929	0,911	0,907	0,878	0,910	0,871	0,858	0,853	0,935	0,872	0,981	0,943	0,962	0,921	0,949	0,990	0,997	0,863	0,980	0,950	0,000												
24.	0,842	0,841	0,794	0,769	0,777	0,813	0,868	0,841	0,864	0,888	0,876	0,892	0,930	0,910	0,892	0,984	0,954	0,890	0,844	0,891	0,953	0,829	0,850	0,000															
25.	0,905	0,868	0,812	0,790	0,931	0,832	0,953	0,926	0,953	0,894	0,929	0,880	0,904	0,876	0,911	0,861	0,968	0,944	0,964	0,937	0,941	0,968	0,973	0,849	0,000														
26.	0,893	0,929	0,857	0,860	0,931	0,874	0,872	0,862	0,901	0,938	0,972	0,911	0,886	0,903	0,992	0,936	0,924	0,945	0,919	0,944	0,941	0,929	0,935	0,899	0,903	0,000													
27.	0,937	0,929	0,892	0,888	0,795	0,920	0,943	0,936	0,923	0,873	0,910	0,886	0,872	0,855	0,936	0,880	0,982	0,988	0,978	0,917	0,949	0,990	0,997	0,863	0,980	0,950	0,000												
28.	0,782	0,929	0,776	0,754	0,786	0,806	0,801	0,789	0,913	0,913	0,913	0,926	0,951	0,962	0,901	0,916	0,959	0,919	0,870	0,955	0,970	0,903	0,896	0,945	0,878	0,923	0,895	0,000											
29.	0,827	0,929	0,770	0,777	0,870	0,802	0,843	0,849	0,937	0,965	0,963	0,943	0,972	0,983	0,953	0,935	0,893	0,951	0,899	0,983	0,985	0,920	0,915	0,941	0,911	0,959	0,916	0,863	0,000										
30.	0,831	0,777	0,739	0,757	0,891	0,777	0,843	0,830	0,916	0,965	0,961	0,920	0,962	0,966	0,938	0,915	0,899	0,918	0,916	0,995	0,965	0,920	0,914	0,910	0,918	0,943	0,909	0,963	0,988	0,000									
31.	0,811	0,790	0,739	0,765	0,965	0,776	0,823	0,848	0,949	0,948	0,986	0,869	0,929	0,942	0,968	0,870	0,890	0,961	0,897	0,971	0,947	0,928	0,916	0,853	0,915	0,970	0,915	0,925	0,969	0,958	0,000								
32.	0,815	0,833	0,849	0,771	0,710	0,824	0,827	0,792	0,832	0,875	0,834	0,884	0,899	0,911	0,832	0,863	0,885	0,837	0,902	0,921	0,933	0,919	0,915	0,892	0,895	0,845	0,909	0,949	0,924	0,936	0,842	0,000							
33.	0,832	0,889	0,820	0,816	0,747	0,861	0,878	0,885	0,910	0,816	0,885	0,916	0,871	0,831	0,912	0,910	0,881	0,948	0,862	0,857	0,933	0,882	0,895	0,914	0,883	0,917	0,912	0,895	0,902	0,887	0,908	0,887	0,919	0,908	0,915	0,925	0,000		
34.	0,935	0,901	0,902	0,869	0,825	0,908	0,934	0,889	0,900	0,889	0,916	0,864	0,852	0,853	0,926	0,870	0,982	0,920	0,994	0,928	0,923	0,989	0,995	0,842	0,976	0,931	0,968	0,887	0,908	0,887	0,919	0,908	0,915	0,925	0,000				
35.	0,857	0,846	0,787	0,763	0,737	0,820	0,916	0,900	0,969	0,860	0,911	0,860	0,907	0,873	0,886	0,832	0,943	0,952	0,961	0,928	0,942	0,969	0,965	0,841	0,990	0,886	0,974	0,895	0,910	0,905	0,913	0,903	0,946	0,961	0,000				

Примечание. Жирным шрифтом выделены фенотипически наиболее близкие популяции.

Анализ главных компонент (РСА), попарного сравнения на основе фенотипического сходства (r) (см. рис. 2), показал значительную схожесть большинства популяций, что может служить дополнительным доказательством единой панмиктической популяции в районе исследования [24]. При этом на первую и вторую компоненту приходится 5,88 и 4,35 % соответственно. Равномерное распределение дисперсии, представленное на рис. 3, вероятно, можно объяснить фенотипической близостью изучаемых популяций.

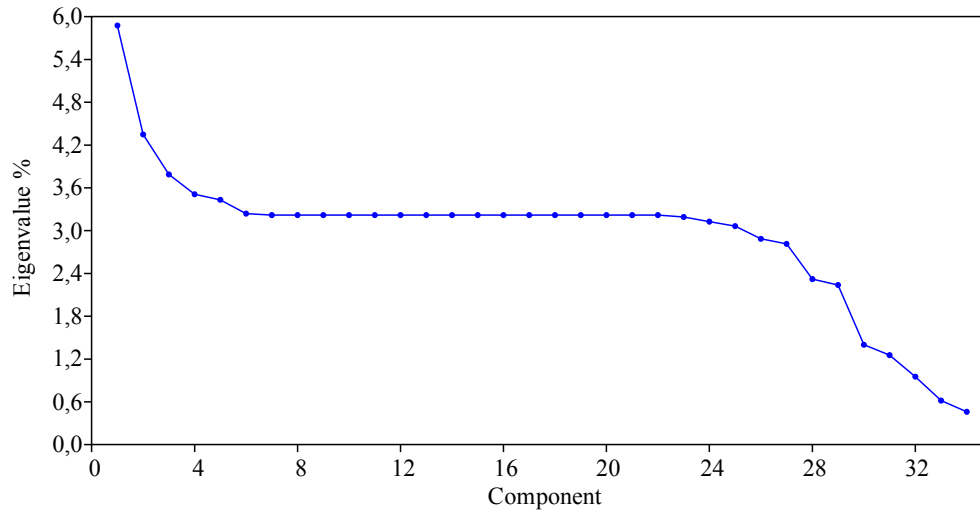


Рис. 3. Линейный график значений главных компонент

Тем не менее анализ РСА позволил выявить и уникальные группы, а именно: № 2 «Везёлка», № 5 «Ячневский», № 23 «Чуфичка», № 28 «Валуи», № 29 «Голубой Дунай», которые по соотношению частот фенотипических признаков дистанцировались от остальных групп региона. Примечательно, что среди них есть группы, обитающие как на импактных территориях, так и в относительно чистых биотопах. Данный факт свидетельствует о неоднородности условий среды обитания зеленых лягушек в районе исследования и об эффективных компенсаторных реакциях популяций в ответ на антропогенный прессинг.

Данные, полученные в ходе исследования, согласуются с результатами предыдущих исследований, в частности, наблюдается изменение фенотипического состава популяций комплекса зеленых лягушек на импактных территориях Казани, Липецка, Самарской области, Республики Башкортостан [10, 26–27]. Особый интерес вызывает фенотипический состав популяций Тольятти [28]. Так, у озерной лягушки в урбанизированных ландшафтах наблюдается снижение фенотипического состава, в то время как у прудовой, наоборот, происходит его возрастание, подобная реакция популяций отмечена и у травяных лягушек Нижнего Новгорода (*Rana temporaria* Linnaeus, 1758) [29–30]. Данное обстоятельство свидетельствует о неоднородности городских ландшафтов и активной адаптации популяций бесхвостых земноводных.

Изменение фенотипической структуры популяций земноводных, в частности зеленых лягушек, в условиях антропогенного пресса может быть обусловлено рядом факторов. К ним можно отнести селективное преимущество физиологических отличий между полосатыми или бесполосыми особями.

Однако окраска спины также может проявлять криптическое значение, как для полосатых [31], так и для бесполосых [10]. Кроме того, на фенотипическую структуру может оказывать и географическая изменчивость, как отмечает ряд авторов на востоке ареала у озерной лягушки частота морфы “*striata*” может сильно варьировать [26]. При этом на территории исследования, по ранее опубликованным данным Г. А. Лады [31], доля полосатых особей в р. Северский Донец достигает 98 %, что может свидетельствовать о высоком генетическом полиморфизме.

Полученные результаты в дальнейшем помогут оценить уровень фенотипического разнообразия криптических и полиплоидных видов комплекса зеленых лягушек в условиях «Северско-Донецкого центра разнообразия *Pelophylax esculentus* complex» [32].

Заключение

Таким образом, в популяциях *Pelophylax esculentus* complex в условиях антропогенной нагрузки наблюдается снижение фенотипического разнообразия и возрастание доли редких морф.

Анализ главных компонент продемонстрировал фенотипическую схожесть большинства популяций, при этом были выявлены уникальные группы, которые обитают как на импактных территориях, так и в естественных биотопах, что может свидетельствовать об активной адаптации лягушек к меняющимся условиям среды.

Список литературы

1. Лада Г. А. Бесхвостые земноводные (Anura) Русской равнины: изменчивость, видообразование, ареалы, проблемы охраны : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Казань, 2012. 48 с.
2. Zhelev Z. M., Arnaudova D. N., Popgeorgiev G. S., Tsonev S. V. In situ assessment of health status and heavy metal bioaccumulation of adult *Pelophylax ridibundus* (Anura: Ranidae) individuals inhabiting polluted area in southern Bulgaria // Ecological Indicators. 2020. Vol. 115. P. 1–15. doi:10.1016/j.ecolind.2020.106413
3. Рыжов М. К. Земноводные и пресмыкающиеся Республики Мордовия: распространение, распределение, трофические связи и состояние охраны : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Тольятти, 2007. 19 с.
4. Спирина Е. В. Амфибии как биоиндикационная тест-система для экологической оценки водной среды обитания : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Ульяновск, 2007. 22 с.
5. Кузовенко А. Е. Эколого-фаунистическая характеристика амфибий урбанизированных территорий Самарской области : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Тольятти, 2018. 19 с.
6. Пескова Т. Ю. Структура популяций земноводных как биоиндикатор антропогенного загрязнения среды. М. : Наука, 2002. 132 с.
7. Вершинин В. Л. Экологические особенности популяций амфибий урбанизированных территорий : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Екатеринбург, 1997. 47 с.
8. Зарипова Ф. Ф., Юмагулова Г. Р., Файзулин А. И. Характеристика состояния популяции озерной лягушки *Rana ridibunda* Pallas, 1771 (Anura, Amphibia) в Республике Башкортостан по полиморфизму рисунка окраски спины // Известия научного центра Российской академии наук. 2009. Т. 11, № 1. С. 78–82.
9. Вершинин В. Л. Морфа *Striata* и ее роль в путях адаптационного генеза рода *Rana* в современной биосфере // Доклады академии наук. 2004. Т. 396, № 2. С. 280–282.

10. Замалетдинов Р. И. Фенотипическая структура популяций зеленых лягушек на урбанизированных территориях // Поволжский экологический журнал. 2002. № 2. С. 163–165.
11. Никашин И. А. Эколого-морфологические признаки популяций озерной лягушки (*Rana ridibunda* Pall.) как средство оценки антропогенного воздействия на водные экосистемы (на примере Липецкой области) : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Липецк, 2007. 17 с.
12. Berger L. Morphology of the F1 generation of various crosses within *Rana esculenta* – complex // Acta Zoologica Cracoviensia. 1968. Vol. 13. P. 301–324.
13. Tunner H. G. Die klonale Struktur einer Wasserfroschpopulation // Zeitschrift für zoologische Systematik und Evolutionsforschung. 1974. № 12. P. 309–314. doi:10.1111/j.1439-0469.1974.tb00173.x
14. Akin C., Bilgin C. C., Beerli P. [et al.]. Phylogeographic patterns of genetic diversity in eastern Mediterranean water frogs were determined by geological processes and climate change in the Late Cenozoic // Journal of Biogeography. 2010. Vol. 37, № 11. P. 2111–2124. doi:10.1111/j.1365-2699.2010.02368.x
15. Plötner J. Die westpaläarktischen Wasserfrösche: von Märtyrern der Wissenschaft zur biologischen Sensation. Bielefeld : Laurenti, 2005. 160 p.
16. Лада Г. А. Среднеевропейские зеленые лягушки (гибридогенный комплекс *Rana esculenta*): введение в проблему // Флора и фауна Черноземья. Тамбов, 1995. С. 88–109.
17. Иванов А. Ю. Молекулярно-генетические и экологические особенности распространения криптических форм озерной лягушки в восточной части ареала : дис. ... канд. биол. наук. Пенза, 2019. 137 с.
18. Ivanov A. Yu., Ruchin A. B., Fayzulin A. I. [et al.]. The first record of natural transfer of mitochondrial DNA from *Pelophylax* cf. *bedriagae* into *P. lessonae* (Amphibia, Anura) // Nature Conservation Research. Заповедная наука. 2019. Т. 4, № 2. P. 125–128. doi:10.24189/nrc.2019.020
19. Замалетдинов Р. И. Экология земноводных в условиях большого города (на примере г. Казани) : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Казань, 2003. 24 с.
20. Боркин Л. Я., Тихенко Н. Д. Некоторые аспекты морфологической изменчивости, полиморфизма окраски, роста, структуры популяции и суточной активности *Rana esculenta* на северной границе ареала // Экология и систематика амфибий и рептилий. 1979. Т. 89. С. 18–54.
21. Лада Г. А., Соколов А. С. Методы исследования земноводных : метод. пособие. Тамбов, 1999. 75 с.
22. Животовский Л. А. Показатель сходства популяций по полиморфным признакам // Журнал общей биологии. 1979. Т. 40, № 4. С. 587–602.
23. Животовский Л. А. Популяционная биометрия. М. : Наука, 1991. 276 с.
24. Бархатов А. С., Снегин Э. А., Юсупов С. Р. Генетическая структура популяций комплекса зеленые лягушки (*Pelophylax esculentus* complex) на территории юга Среднерусской возвышенности // Экологическая генетика. 2021. Т. 19, № 2. doi:10.17816/ecogen48555
25. Вершинин В. Л. Биота урбанизированных территорий. Екатеринбург, 2007. 73 с.
26. Файзулин А. И., Кузовенко А. Е. Использование амфибий в мониторинге состояния окружающей среды в условиях Самарской области: фенетическая структура популяций // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14, № 1. С. 829–833.
27. Файзулин А. И., Зарипова Ф. Ф., Хусаинова И. М. Особенности полиморфизма по признаку *striata* в популяциях озерной лягушки *Rana ridibunda* Pallas, 1771 (Anura, Amphibia) Республики Башкортостан // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т. 15, № 3. С. 452–458.

28. Кузовенко А. Е. Эколого-фаунистическая характеристика амфибий урбанизированных территорий Самарской области : дис. ... канд. биол. наук. Тольятти, 2018. 211 с.
29. Лебединский А. А. Об адаптациях амфибий к условиям урбанизированной территории // Проблемы региональной экологии животных : тез. докл. Всерос. конф. зоологов пединститутов. Витебск, 1984. С. 106.
30. Лебединский А. А., Поморина Е. Н. Некоторые особенности популяции травяной лягушки в связи с ее обитанием на урбанизированной территории // Вестник Нижегородского университета имени Н. И. Лобачевского. 2008. № 2. С. 91–95.
31. Лада Г. А. О генетическом полиморфизме озерной лягушки (*Rana ridibunda*) в Центральном Черноземье // Фенетика природных популяций : материалы IV Всерос. совещ. М., 1990. С. 151–152.
32. Шабанов Д. А., Литвинчук С. Н. Зеленые лягушки: жизнь без правил или особый способ эволюции? // Природа. 2010. № 3. С. 29–36.

References

1. Lada G.A. Tailless amphibians (Anura) of the Russian Plain: variability, speciation, habitats, problems of protection. DSc abstract. Kazan, 2012:48. (In Russ.)
2. Zhelev Z.M., Arnaudova D.N., Popgeorgiev G.S., Tsonev S.V. In situ assessment of health status and heavy metal bioaccumulation of adult *Pelophylax ridibundus* (Anura: Ranidae) individuals inhabiting polluted area in southern Bulgaria. *Ecological Indicators*. 2020;115:1–15. doi:10.1016/j.ecolind.2020.106413
3. Ryzhov M.K. Amphibians and reptiles of the Republic of Mordovia: spreading, allocation, trophic relations and the state of protection. PhD abstract. Tolyatti, 2007:19. (In Russ.)
4. Spirina E.V. Amphibians as a bioindication test system for ecological assessment of aquatic habitats. PhD abstract. Ulyanovsk, 2007:22. (In Russ.)
5. Kuzovenko A.E. Ecological and faunistic characteristics of amphibians in urbanized territories of Samara region. PhD abstract. Tolyatti, 2018:19. (In Russ.)
6. Peskova T.Yu. *Struktura populyatsiy zemnovodnykh kak bioindikator antropogennogo zagryazneniya sredy = The structure of amphibian populations as a bioindicator of anthropogenic pollution of the environment*. Moscow: Nauka, 2002:132. (In Russ.)
7. Vershinin V.L. Ecological features of amphibian populations in urbanized areas. DSc abstract. Ekaterinburg, 1997:47. (In Russ.)
8. Zariptova F.F., Yumagulova G.R., Fayzulin A.I. Characteristics of the state of *Rana ridibunda* Pallas, 1771 (Anura, Amphibia) population in the Republic of Bashkortostan on the polymorphism of the back color pattern. *Izvestiya nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk = Proceedings of scientific center of the Russian Academy of Sciences*. 2009;11(1):78–82. (In Russ.)
9. Vershinin V.L. Morfa *Striata* and its role in the pathways of adaptationogenesis of the genus *Rana* in the modern biosphere. *Doklady akademii nauk = Reports of the Academy of Sciences*. 2004;396(2):280–282. (In Russ.)
10. Zamaletdinov R.I. Phenotypic structure of populations of green frogs in urbanized areas. *Povolzhskiy ekologicheskiy zhurnal = Volga ecological journal*. 2002;(2):163–165. (In Russ.)
11. Nikashin I.A. Ecological and morphological characteristics of *Rana ridibunda* Pall. population as a means of assessing anthropogenic impact on aquatic ecosystems (by the example of Lipetsk region). PhD abstract. Lipetsk, 2007:17. (In Russ.)
12. Berger L. Morphology of the F1 generation of various crosses within *Rana esculenta* – complex. *Acta Zoologica Cracoviensia*. 1968;13:301–324.
13. Tunner H.G. Die klonale Struktur einer Wasserfroschpopulation. *Zeitschrift für zoologische Systematik und Evolutionsforschung*. 1974;(12):309–314. doi:10.1111/j.1439-0469.1974.tb00173.x

14. Akin C., Bilgin C.C., Beerli P. [et al.]. Phylogeographic patterns of genetic diversity in eastern Mediterranean water frogs were determined by geological processes and climate change in the Late Cenozoic. *Journal of Biogeography*. 2010;37(11):2111–2124. doi:10.1111/j.1365-2699.2010.02368.x
15. Plötner J. *Die westpaläarktischen Wasserfrösche: von Märtyrern der Wissenschaft zur biologischen Sensation*. Bielefeld: Laurenti, 2005:160.
16. Lada G.A. Central European green frogs (hybridogenic complex *Rana esculenta*): introduction to issues. *Flora i fauna Chernozem'ya = Flora and fauna of the Chernozem region*. Tambov, 1995:88–109. (In Russ.)
17. Ivanov A.Yu. Molecular genetic and ecological features of the distribution of cryptic forms of the marsh frog in the eastern part of the range. PhD dissertation. Penza, 2019: 137. (In Russ.)
18. Ivanov A.Yu., Ruchin A.B., Fayzulin A.I. [et al.]. The first record of natural transfer of mitochondrial DNA from *Pelophylax cf. bedriagae* into *P. lessonae* (Amphibia, Anura). *Nature Conservation Research. Zapovednaya nauka = Nature Conservation Research. Conservation science*. 2019;4(2):125–128. doi:10.24189/ncr.2019.020
19. Zamaletdinov R.I. Ecology of amphibians in a big city (by the example of Kazan). PhD abstract. Kazan, 2003:24. (In Russ.)
20. Borkin L.Ya., Tikhenko N.D. Some aspects of morphological variability, color polymorphism, growth, population structure and daily activity of *Rana esculenta* at the northern border of the range. *Ekologiya i sistematika amfibiyy i reptilyy = Ecology and taxonomy of amphibians and reptiles*. 1979;89:18–54. (In Russ.)
21. Lada G.A., Sokolov A.S. *Metody issledovaniya zemnovodnykh: metod. posobie = Research methods of amphibians: methodological allowance*. Tambov, 1999:75. (In Russ.)
22. Zhivotovskiy L.A. Indicator of similarity of populations by polymorphic traits. *Zhurnal obshchey biologii = Journal of General Biology*. 1979;40(4):587–602. (In Russ.)
23. Zhivotovskiy L.A. *Populyatsionnaya biometriya = Population biometrics*. Moscow: Nauka, 1991:276. (In Russ.)
24. Barkhatov A.S., Snegin E.A., Yusupov S.R. Genetic structure of populations of the green frog complex (*Pelophylax esculentus* complex) in the South Central Russian Upland. *Ekologicheskaya genetika = Ecological genetics*. 2021;19(2). (In Russ.). doi:10.17816/ecogen48555
25. Vershinin V.L. *Biota urbanizirovannykh territoriy = Urban biota*. Ekaterinburg, 2007:73. (In Russ.)
26. Fayzulin A.I., Kuzovenko A.E. The use of amphibians in monitoring the state of the environment in the Samara region: phenetic structure of populations. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk = Proceedings of Samara scientific center of the Russian Academy of Sciences*. 2012;14(1):829–833. (In Russ.)
27. Fayzulin A.I., Zaripova F.F., Khusainova I.M. Peculiarities of striatal polymorphism in marsh frog populations of *Rana ridibunda* Pallas, 1771 (Anura, Amphibia) in the Republic of Bashkortostan. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk = Proceedings of Samara scientific center of the Russian Academy of Sciences*. 2013;15(3):452–458. (In Russ.)
28. Kuzovenko A.E. Ecological and faunistic characteristics of amphibians in urbanized territories of the Samara region. PhD dissertation. Tolyatti, 2018:211. (In Russ.)
29. Lebedinskiy A.A. Adaptation of amphibians to the conditions of an urbanized territory. *Problemy regional'noy ekologiy zhivotnykh: tez. dokl. Vseros. konf. zoologov pedinstitutov = Issues of regional animal ecology: proceedings of the All-Russian conference of zoologists of pedagogical institutes*. Vitebsk, 1984:106. (In Russ.)
30. Lebedinskiy A.A., Pomorina E.N. Some features of the grass frog population in connection with its habitat in an urbanized area. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta imeni N.I. Lobachevskogo = Bulletin of Lobachevsky University*. 2008;(2):91–95. (In Russ.)

31. Lada G.A. On the genetic polymorphism of the marsh frog (*Rana ridibunda*) in the Central Black Earth Region. *Fenetika prirodnykh populyatsiy: materialy IV Vseros. Soveshch.* = *The phenetics of natural populations: proceedings of the 4th All-Russian conf.* Moscow, 1990:151–152. (In Russ.)
32. Shabanov D.A., Litvinchuk S.N. Green frogs: life without rules or a special way of evolution? *Priroda = Nature*. 2010;(3):29–36. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Анатолий Сергеевич Бархатов

аспирант, младший научный сотрудник,
Научно-исследовательский центр
геномной селекции, Белгородский
государственный национальный
исследовательский университет
(Россия, г. Белгород, ул. Победы, 85)

E-mail: barkhatov@bsu.edu.ru

Anatoliy S. Barkhatov

Postgraduate student, junior researcher,
Research Center of Genomic Selection,
Belgorod State National Research
University (85 Pobeda street, Belgorod,
Russia)

Эдуард Анатольевич Снегин

доктор биологических наук, профессор,
директор Научно-исследовательского
центра геномной селекции, Белгородский
государственный национальный
исследовательский университет
(Россия, г. Белгород, ул. Победы, 85)

E-mail: snegin@bsu.edu.ru

Eduard A. Snegin

Doctor of biological science, professor,
the director of the Research Center
of Genomic Selection, Belgorod State
National Research University
(85 Pobeda street, Belgorod, Russia)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию / Received 12.05.2021

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 03.06.2021

Принята к публикации / Accepted 28.06.2021