

ISSN 1684-7318 (print)  
ISSN 2541-8963 (online)

ПОВОЛЖСКИЙ  
ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ  
ЖУРНАЛ

*Povolzhskiy Journal of Ecology*

Номер 1

2023

Number 1



## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Бобрецов А. В., Петров А. Н., Королев А. Н., Быховец Н. М.</b> Равнозубая бурозубка ( <i>Sorex isodon</i> , Eulipotyphla) на Северо-Востоке европейской части России: распространение, местообитания и численность . . . . .	3
<b>Воробьев К. В., Чусов А. Н., Политаева Н. А., Щур А. В.</b> Оценка качества воздуха помещений на полигонах твердых коммунальных отходов по микробному загрязнению и способ его очистки . . . . .	20
<b>Жуйкова Т. В., Мелинг Э. В., Попова А. С.</b> Групповая изменчивость морфологических признаков листа <i>Betula pendula</i> Roth (Betulaceae, Magnoliópsida) в градиентах погодных условий и техногенной трансформации почв . . . .	37
<b>Кондратенков И. А., Опарин М. Л., Опарина О. С.</b> Определение экологической плотности некоторых видов охотничьих животных по данным зимних маршрутных учетов . . . . .	58
<b>Романова Е. Б., Луконина С. А., Рябинина Е. С., Плотникова В. Д.</b> Эколого-физиологический анализ иммунных реакций <i>Pelophylax ridibundus</i> и <i>P. lessonae</i> (Amphibia: Ranidae) антропогенно-трансформированных территорий . . . . .	77
КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ	
<b>Преображенская Е. С., Амосов П. Н.</b> Дубровник <i>Ocyris aureolus</i> (Pallas, 1773) (Aves, Passeriformes) на севере Европейской России . . . . .	97
<b>Сырчина Н. В., Филип Л. В., Колеватых Е. П., Ашихмина Т. Я., Кузнецов Д. А.</b> Влияние гипохлорита натрия на микробиоту и запах навозных стоков . . . . .	107
<i>Содержание журнала за 2022 г.</i> . . . . .	117
<i>Авторский указатель за 2022 г.</i> . . . . .	121
<i>Правила для авторов</i> . . . . .	123



## CONTENTS

<b>Bobretsov A. V., Petrov A. N., Korolev A. N., Bykhovets N. M.</b> Taiga shrew ( <i>Sorex isodon</i> , Eulipotyphla) in the North-East of the European Russia: Distribution, habitats and abundance .....	3
<b>Vorobyev K. V., Chusov A. N., Politaeva N. A., Shchur A. V.</b> Indoor air quality assessment on polygons for solid municipal waste for microbial contamination and a method of its cleaning .....	20
<b>Zhuikova T. V., Meling E. V., Popova A. S.</b> Group variability of the morphological features of the leaf of <i>Betula pendula</i> Roth (Betulaceae, Magnoliopsida) in the gradient of weather conditions and technogenic soil transformation .....	37
<b>Kondratenkov I. A., Oparin M. L., Oparina O. S.</b> Estimation of the ecological density of some species of hunting animals according to winter route censuses .....	58
<b>Romanova E. B., Lukonina S. A., Ryabinina E. S., Plotnikova V. D.</b> Ecological and physiological analysis of immune reactions of <i>Pelophylax ridibundus</i> and <i>P. lessonae</i> (Amphibia: Ranidae) in anthropogeneously transformed territories .....	77
SHORT COMMUNICATIONS	
<b>Preobrazhenskaia E. S., Amosov P. N.</b> Yellow-breasted bunting <i>Ocyris aureolus</i> (Pallas, 1773) (Aves, Passeriformes) in the Northern European Russia ...	97
<b>Syrchina N. V., Pilip L. V., Kolevatykh E. P., Ashikhmina T. Ya., Kuznetsov D. A.</b> Effect of sodium hypochlorite on the microbiota and odor of manure effluents .....	107
<i>Table of Contents 2022</i> .....	117
<i>Authors Index 2022</i> .....	121
<i>Rules for Authors</i> .....	123

Оригинальная статья

УДК 599.363:574.9

<https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-1-3-19>

## РАВНОЗУБАЯ БУРОЗУБКА (*SOREX ISODON*, EULIROTYPHLA) НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ: РАСПРОСТРАНЕНИЕ, МЕСТООБИТАНИЯ И ЧИСЛЕННОСТЬ

А. В. Бобрецов <sup>1✉</sup>, А. Н. Петров <sup>2</sup>, А. Н. Королев <sup>2</sup>, Н. М. Быховец <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Печоро-Илычский государственный природный заповедник

Россия, 196436, Республика Коми, Троицко-Печорский район, пос. Якша

<sup>2</sup> Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН

Россия, 167982, Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28

Поступила в редакцию 01.12.2022 г., после доработки 23.12.2022 г., принята 29.12.2022 г.

**Аннотация.** Обобщены материалы исследований по равнозубой бурозубке (*Sorex isodon*) на Северо-Востоке европейской части России. Показано, что ее распространение в целом совпадает с северной границей таежной зоны. Для вида характерна высокая степень стено-топности. Оптимальными биотопами являются ельники травяные (только для них значения коэффициента верности биотопу положительны). Равнозубая бурозубка малочисленна в равнинных локалитетах (0 – 2.4 экз.), обычна в предгорьях (4.4 – 8.6 экз.) и многочисленна на западном склоне Северного Урала (28 экз. / 100 кон.-сут.). Уровень численности вида в локалитете во многом определяется ландшафтными условиями территории: соотношением типов местообитаний и их площади. Увеличение площади травяных лесов приводит к повышению обилия равнозубой бурозубки.

**Ключевые слова:** *Sorex isodon*, распространение, местообитания, численность, Северо-Восток европейской части России

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках финансирования Печоро-Илычского государственного природного заповедника Минприроды РФ и в рамках темы государственного задания Института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН (№ 122040600025-2).

**Для цитирования.** Бобрецов А. В., Петров А. Н., Королев А. Н., Быховец Н. М. Равнозубая бурозубка (*Sorex isodon*, Eulirotyphla) на Северо-Востоке европейской части России: распространение, местообитания и численность // Поволжский экологический журнал. 2023. № 1. С. 3 – 19. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-1-3-19>

✉ Для корреспонденции. Отдел науки Печоро-Илычского государственного природного заповедника.

ORCID и e-mail адреса: Бобрецов Анатолий Васильевич: <https://orcid.org/0000-0002-0921-2566>, [avbobr@mail.ru](mailto:avbobr@mail.ru); Петров Анатолий Николаевич: <https://orcid.org/0000-0002-7118-1916>, [tretrov@ib.komisc.ru](mailto:tretrov@ib.komisc.ru); Королев Андрей Николаевич: <https://orcid.org/0000-0001-5735-5951>, [korolev@ib.komisc.ru](mailto:korolev@ib.komisc.ru); Быховец Наталья Михайловна: <https://orcid.org/0000-0002-9102-0693>, [bykhovets.n@ib.komisc.ru](mailto:bykhovets.n@ib.komisc.ru).

## ВВЕДЕНИЕ

Ареал равнозубой бурозубки (*Sorex isodon* Turon, 1924) охватывает обширную территорию Евразии от Фенноскандии до тихоокеанского побережья России (Зайцев и др., 2014). Тем не менее, она до сих пор остается одним из наименее изученных видов землероек. Такому положению способствовали несколько причин. Долгое время равнозубая бурозубка рассматривалась как подвид обыкновенной бурозубки (*Sorex araneus* Linnaeus, 1758). В качестве самостоятельного вида она была выделена только в 60-х годах прошлого века (Долгов, 1964). В азиатской части ареала равнозубая бурозубка обычна (Лисовский и др., 2019), в европейской части России является редким видом (Ивантер, 2020). Кроме того, численность ее, как и других представителей землероек, часто оценивается методом ловушко-линий. Между тем землеройки плохо попадаются в давилки (ловушки Геро) со стандартной приманкой (хлеб с подсолнечным маслом), которые обычно используются для оценки обилия мелких млекопитающих.

В результате информация о распространении и экологии равнозубой бурозубки оказалась недостаточной. Немногочисленные публикации по этому виду относятся в основном к территории Сибири и Дальнего Востока. Для европейской части ареала такие сведения немногочисленны (Млекопитающие ..., 1994; Куприянова, Бобрецов, 2007; Бобрецов, 2016; Ивантер, 2020; Shchipanov et al., 2005).

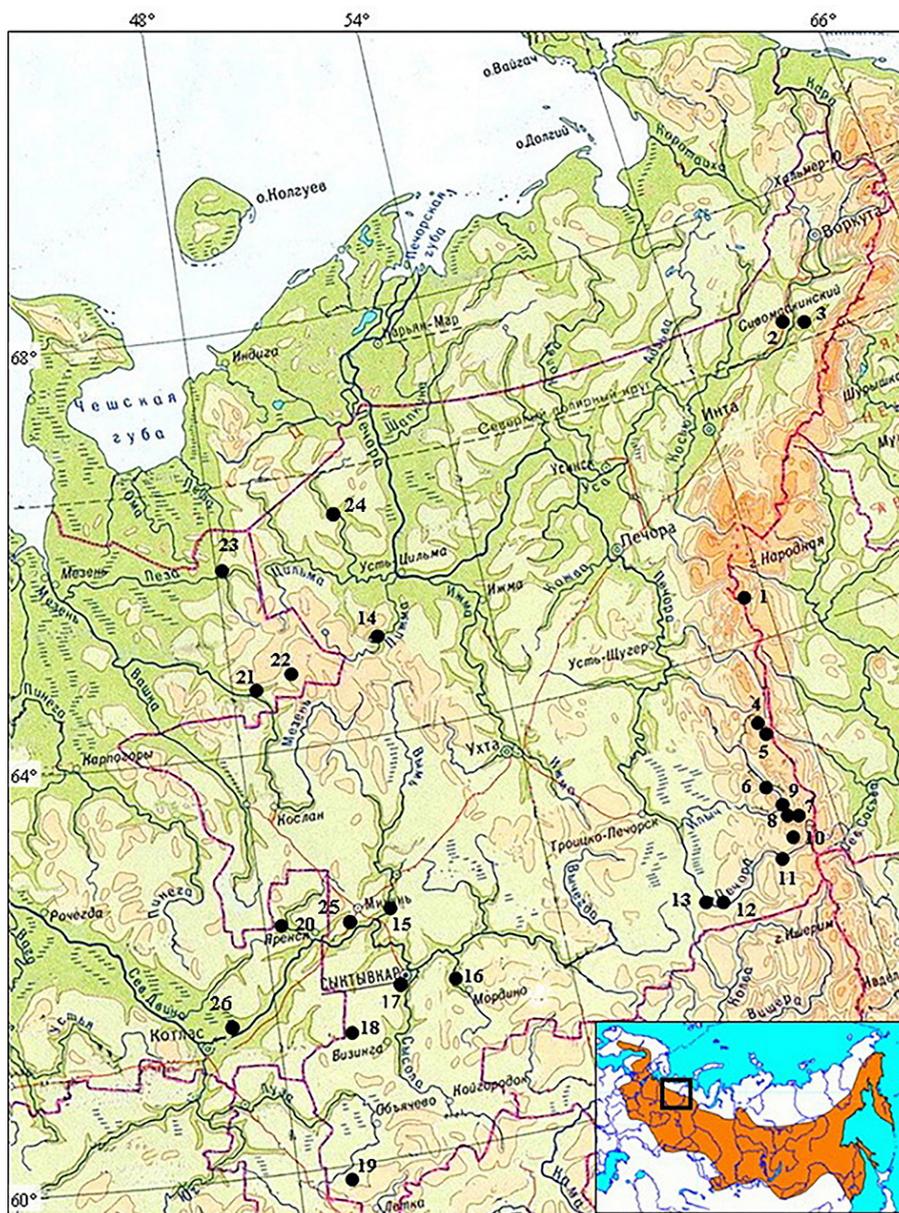
В настоящей работе обобщены материалы по распространению, биотопическому размещению и численности равнозубой бурозубки на Северо-Востоке европейской части России. Эта территория неоднородна в ландшафтном отношении. Большую часть ее занимают равнинные ландшафты (Русская равнина), а на самом востоке – горные (Уральская горная страна). В регионе проходит северная граница ареала данного вида, однако данные о ней практически отсутствуют.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

При составлении кадастра находок равнозубой бурозубки на территории Северо-Востока европейской части России проанализированы все имеющиеся публикации, архивные материалы Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, а также использованы данные полевых исследований самих авторов. В результате распространение вида в регионе удалось охарактеризовать по 26 точкам находок (рис. 1). Информация о них, включающая название локалитета, район, а также географические координаты, помещена в табл. 1.

Численность землероек оценивали при помощи ловчих канавок. Использовали стандартные 50-метровые траншеи с пятью конусами, вкопанными в дно. Конусы на 1/3 заливали водой для быстрой гибели животных. За показатель учета принималось число отловленных зверьков на 100 конусо-суток (экз. / 100 кон.-сут.). В давилки данный вид отлавливается случайно и далеко не каждый год. Даже в условиях высокой плотности равнозубой бурозубки в горных высокоотравных лесах Северного Урала (Печоро-Илычский заповедник) ее относительная численность по отловам в ловушки составила всего лишь 0.2 экз. / 100 ловушко-суток, тогда как по отловам в ловчие канавки этот показатель достигал 27.8 экз. / 100 кон.-сут. Средние оценки обилия вида получены на основе многолетних учетов на ста-

РАВНОЗУБАЯ БУРОЗУБКА (*SOREX ISODON*, EULIPOTYPHILA)



**Рис. 1.** Распространение равнозубой бурозубки на Северо-Востоке европейской части России. На врезке карты ареал вида (Позвоночные ..., 2012). Цифрами обозначены локалитеты, информация о которых приведена в табл. 1

**Fig. 1.** Distribution of the taiga shrew in the North-East of the European Russia. Inset: the habitat of the species (Vertebrates..., 2012). The numbers indicate the localities, information about which is given in Table 1

ционарах. Используются также опубликованные данные по отдельным локалитетам. Три из них (Яны-Пупунёр, Гаревка, Кыбла-Кырта) расположены в Уральской горной стране, два (Каменный, Пинега) – в подзоне равнинной северной тайги, остальные – в подзоне средней тайги.

**Таблица 1.** Местоположение точек находок *Sorex isodon* на Северо-Востоке европейской части России

**Table 1.** Location of *Sorex isodon* discovery points in the North-East of the European Russia

№ / No.	Географическое местоположение / Geographical location	Географические координаты / Geographical coordinates
1	2	3
1	Гора Нёройка, Приполярный Урал, Березовский район, Ханты-Мансийский автономный округ / Nyoroika mountain, Subpolar Urals, Bereзовsky district, Khanty-Mansi Autonomous Okrug	64.56277 N, 59.67555 E
2	Окрестности пос. Сивая Маска, Воркутинский городской округ, Республика Коми / near Sivaya Maska village, Vorkuta City District, Komi Republic	66.65472 N, 62.61333 E
3	Река Юньяха, Воркутинский городской округ, Республика Коми / near Yunyaha river, Vorkuta City District, Komi Republic	66.62638 N, 62.99388 E
4	Хребет Саран-Из, Северный Урал, Троицко-Печорский район, Республика Коми / Saran-Iz ridge, Northern Urals, Troitsko-Pechorsky district, Komi Republic	63.15416 N, 59.04944 E
5	Хребет Макар-Из, Северный Урал, Троицко-Печорский район, Республика Коми / Makar-Iz ridge, Northern Urals, Troitsko-Pechorsky district, Komi Republic	63.0000 N, 59.00916 E
6	Локалитет Кыбла-Кырта, р. Илыч, Троицко-Печорский район, Республика Коми / Kybla-Kurta location, near Ilych river, Troitsko-Pechorsky district, Komi Republic	62.64416 N, 58.90027 E
7	Река Ыджыдлыга, 40 км, Троицко-Печорский район, Республика Коми / near Ydzhyd Lyaga river, 40 km, Troitsko-Pechorsky district, Komi Republic	62.37638 N, 59.35611 E
8	Река Ыджыдлыга, 20 км, Троицко-Печорский район, Республика Коми / near Ydzhyd Lyaga river, 20 km, Troitsko-Pechorsky district, Komi Republic	62.37472 N, 59.12472 E
9	пос. Усть-Ляга, р. Илыч, Троицко-Печорский район, Республика Коми / near Ust-Lyaga village, Ilych river, Troitsko-Pechorsky district, Komi Republic	62.47833 N, 59.97083 E
10	Гора Яны-Пупунёр, Северный Урал, Троицко-Печорский район, Республика Коми / Yany-Pupunyor mountain, Northern Urals, Troitsko-Pechorsky district, Komi Republic	62.08472 N, 59.09111 E
11	Устье р. Гарёвка, Троицко-Печорский район, Республика Коми / Garevka river mouth, Troitsko-Pechorsky district, Komi Republic	62.06222 N, 58.47277 E
12	Волосницкая старица, р. Печора, Троицко-Печорский район, Республика Коми / near Volosnitskaya staritsa – old riverbed of Pechora river, Troitsko-Pechorsky district, Komi Republic	61.73305 N, 57.02944 E
13	пос. Якша, Троицко-Печорский район, Республика Коми / near Yaksha village, Troitsko-Pechorsky district, Komi Republic	61.82083 N, 56.88916 E
14	Урочище Каменный, р. Печорская Пижма, Усть-Цилемский район, Республика Коми / Kamenny location, near Pechora Pizhma river, Ust-Tsilemsky district, Komi Republic	64.88305 N, 51.47861 E
15	д. Ляли, Княжпогостский район, Республика Коми / near Lyali village, Knyazhpogostsky district, Komi Republic	62.27611 N, 50.68222 E
16	пос. Дань, Корткеросский район, Республика Коми / near Dan' village, Kortkerossky district, Komi Republic	61.37222 N, 51.80333 E
17	р. Важъелью, левый приток р. Сысола, Сыктывдинский район, Республика Коми / near Vazhyol'yu river, left tributary of Sysola river, Syktyvdinsky district, Komi Republic	61.63472 N, 50.67722 E

Окончание табл. 1  
Table 1. Continuation

1	2	3
18	р. Малый Нилыдзь, правый приток р. Лянос, Сысольский район, Республика Коми / near Maly Nilydz river (right tributary of Lyanos river), Sysolsky district, Komi Republic	61.42472 N, 49.80472 E
19	р. Сокса, левый приток верхнего течения р. Луза, Прилузский район, Республика Коми / near Soksy river (left tributary of Lusa river), Priluzsky district, Komi Republic	59.86805 N, 49.10416 E
20	пос. Очея, Ленский район, Архангельская область / near Ocheya village, Lensky district, Arkhangelsk Region	62.41083 N, 48.60416 E
21	с. Вожгора, Лешуконский район, Архангельская область / near Vozhgora village, Leshukonsky district, Arkhangelsk Region	64.53916 N, 48.45861 E
22	Урочище Кобыльская, р. Мезенская Пижда, Лешуконский район, Архангельская область / Kobylskaya location, Mezen' Pizhma river, Leshukonsky district, Arkhangelsk Region	64.80472 N, 49.21222 E
23	р. Пеза, Мезенский район, Архангельская область / near Peza river, Mezen' district, Arkhangelsk Region	65.66638 N, 48.31888 E
24	р. Тобыш, Усть-Цилемский район, Республика Коми / near Tobysh river, Ust-Tsilemsky district, Komi Republic	66.00416 N, 51.14138 E
25	д. Гам, Усть-Вымский район, Республика Коми / near Gam village, Ust-Vymsky district, Komi Republic	62.12388 N, 49.68138 E
26	пос. Пырский, Котласский район, Архангельская область / near Pырsky village, Kotlassky district, Arkhangelsk Region	61.23305 N, 46.965 E

*Примечание.* Источники данных: 1 – Шарова, 1992; Стариков и др., 2020; 2, 3, 20 – Колоскова, 1981; 6 – Куприянова и др., 2020; 15 – Пыстин, 2001; 16 – Куприянова, Бобрецов, 2007; 24, 25, 26 – сборы Е. А. Порошина.

*Note.* Data sources: 1 – Sharova, 1992; Starikov et al., 2020; 2, 3, 20 – Koloskova, 1981; 6 – Kupriyanova et al., 2020; 15 – Pystin, 2001; 16 – Kupriyanova, Bobretsov, 2007; 24, 25, 26 – E. A. Poroshin's collections.

Для оценки предпочтения видом того или иного местообитания применяли коэффициент верности местообитанию (Ердаков и др., 1978):

$$X = \frac{M_1 - M_2}{\sigma}$$

где  $M_1$  – средняя многолетняя численность вида в данном местообитании,  $M_2$  – средняя многолетняя численность в локалитете,  $\sigma$  – среднее квадратичное отклонение для локалитета.

Значения коэффициента могут быть положительными, отрицательными или равными нулю. Максимальные положительные значения будут иметь характерные и преферентные виды, отрицательные – чуждые, а близкие к нулю – индифферентные.

Название лесных местообитаний даны по определителю типов леса Европейской России, разработанному Л. Б. Заугольной и В. Б. Мартыненко (2013).

Предварительную обработку и анализ данных проводили в приложении Microsoft Office Excel 2010 (Microsoft Corp.), статистические расчеты выполнены с использованием программы STATISTICA 6.0 (Statsoft Inc., OK, USA).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

*Распространение.* Распространение равнозубой бурозубки на Северо-Востоке европейской части России ограничено в основном таежной зоной. За пределами тайги этот вид отмечен лишь в южной кустарниковой лесотундре в окрестностях пос. Сивая Маска и в долине р. Юньяха Республики Коми (Колоскова, 1981). Указание на его находку в окрестностях оз. Салюкуты в крайнесеверной подзоне тайги (Зайцев и др., 2014) следует считать ошибочным. Единственный экземпляр из этого района, похожий на равнозубую бурозубку, впоследствии был переопределен как бурозубка обыкновенная. В восточно-европейских тундрах данный вид отсутствует (Петров, 2007; Петров и др., 2017).

Самая северная точка обитания равнозубой бурозубки на Урале приурочена к центральной части Приполярного Урала. Здесь на восточном склоне горы Нёройка она неоднократно отлавливалась в горно-лесном поясе (Шарова, 1992; Стариков и др., 2020). На Полярном Урале этот вид отсутствует, несмотря на обширные исследования здесь мелких млекопитающих (Бердюгин и др., 2007).

В равнинной части региона самыми северным локалитетами, в которых регистрировалась равнозубая бурозубка, являются начало р. Пеза (65.65° N) и среднее течение р. Тобыш в Республике Коми (66.00° N). Указание на ее находку в окрестностях г. Мезень не подтверждено. Западнее в пределах Архангельской области она встречается на территории Пинежского заповедника (Куприянова, Сивков, 2000). На северном пределе своего обитания в северной тайге равнозубая бурозубка встречается довольно локально. Она отсутствовала в многолетних сборах канавками в окрестностях д. Уляшево Печорского района Республики Коми (Куприянова, Бобрецов, 2007), но ежегодно отлавливалась в урочище Каменный на Печорской Пижме (Бобрецов, 2017).

Таким образом, вывод В. А. Долгова (1985) о том, что распространение данного вида тесно связано с лесами, правомочен и для территории Северо-Востока европейской части России.

*Местообитания.* По сравнению с другими видами землероек в регионе равнозубая бурозубка явно приурочена к ельникам травянистым. Хотя она встречается и в других местообитаниях, но именно в них отмечена максимальная концентрация землероек. Так, в средней равнинной тайге в окрестностях с. Дань по отловам в канавки 53.4% всех особей данного вида было поймано в ельнике приручьевом высокотравном, по отловам в давилки – 77.8% (Млекопитающие..., 1994). В окрестностях пос. Якша, где учеты канавками проводились в пяти биотопах, 89% всех животных было отловлено в ельнике пойменном травяном. На этот же тип местообитания пришлось 71.7% всех поимок землероек в предгорьях Северного Урала (Гарёвка). В урочище Каменный на Печорской Пижме (северная тайга), где отсутствуют ельники пойменные, 85.3% всех зверьков было отловлено в елово-березовом высокотравном лесу в ложбине стока. В Пинежском заповеднике основными станциями равнозубой бурозубки являются ельники высокотравные – 56.1% всех сборов (Куприянова, Сивков, 2000). В Карелии на площадке мечения 84% поимок *S. isodon* пришлось на ельник перестойный с кислицей и папоротниками и с большим количеством бурелома, занимающего всего лишь 18% террито-

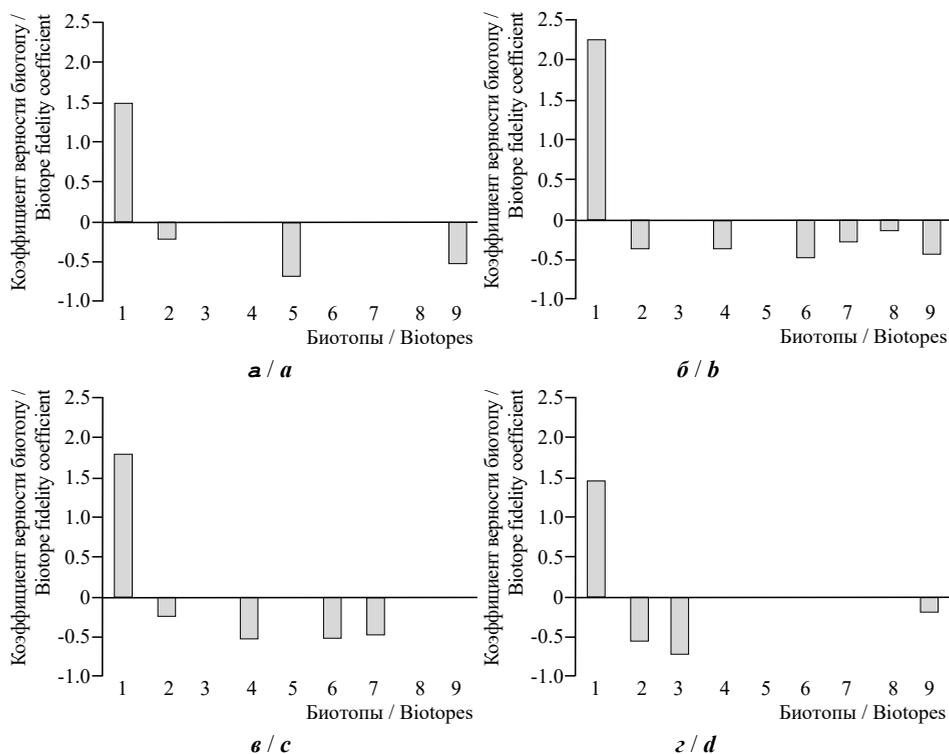
рии (Ивантер, Макаров, 2001). В лесных травяных местообитаниях она ловилась практически ежегодно, тогда как в других биотопах регистрировалась далеко не каждый год. Например, в предгорной тайге (Гаревка) в ельнике зеленомошном равнозубая бурозубка в течение 34 лет отмечалась только 16 раз, а в ельнике травяном пойменном – 32 раза. В последнем местообитании она отсутствовала лишь в годы глубокой депрессии.

Тесная связь равнозубой бурозубки с темнохвойными травяными лесами – характерная особенность вида на европейской части ареала (Куприянова, 1990; Куприянова, Бобрецов, 2007; Щипанов и др., 2010; Бобрецов, 2016; Ивантер, 2020). Следует отметить, что в равнинной части региона значительные площади ельников травяных сконцентрированы в долинах рек. Поэтому ельники высоко-травные пойменные являются оптимальными станциями данного вида. Значения коэффициента верности данным местообитаниям вне зависимости от географического положения локалитета положительны, тогда как для других местообитаний отрицательны (рис. 2). Это указывает на высокую степень стенопотности данного вида по сравнению с другими видами землероек.

На западном макросклоне Северного Урала, где широко распространены лесные и открытые травянистые сообщества, этот вид с одинаковой плотностью заселяет разные станции. В верхней части горно-лесного пояса он обычен в пихто-ельниках крупнопоротниковых, аконитово-разнотравных лесах. В подгольцовом поясе встречается в березняках высокотравных и на лугах разного типа. Значения показателя верности местообитанию для этих биотопов положительные, но не превышают 1. В горно-тундровом поясе отмечен только в травяно-моховых тундрах, но здесь он явно чуждый вид (отрицательные значения показателя верности местообитанию). Вместе с тем, в Центральном Алтае прослеживается тесная связь вида с травяно-ерниковыми тундрами (Долговых, 2006), а в горных тундрах Кузнецкого Алатау он выходит по численности на первое место (Бабина, 2009).

В больших массивах зеленомошных плакорных ельников этот вид отсутствует. В этих местообитаниях на Среднем Тимане равнозубая бурозубка встречалась в небольшом количестве только в непосредственной близости от реки (2.6 особ. / 100 кон.-сут.), но уже в удалении более чем на один километр отсутствовала в уловах. В окрестностях пос. Якша в ельнике зеленомошном прибрежном ловилось 0.2 особ. / 100 кон.-сут., тогда как в глубине массива эти землеройки не регистрировались.

Равнозубая бурозубка в регионе избегает открытых травяных станций (за исключением горных лугов), значения коэффициента верности биотопу отрицательны. Единично она ловилась в Дани, Гарёвке, Важьёлю. Однако на границе ареала (Онежский п-ов, Валдай, Финляндия) часто встречается на влажных лугах (Пучковский, 1969; Шварц и др., 1992; Hanski, Kaikusalo, 1989). В восточной части ареала (Сибирь, Дальний Восток) число местообитаний, в которых обитает равнозубая бурозубка, увеличивается (Равкин, Лукьянова, 1976; Ревин, 1989). Однако и здесь четко выражена ее приуроченность к залесенным и достаточно увлажненным биотопам с хорошо развитым высокотравьем (Шефтель, 1990; Лукьянова, 1992; Виноградов, 2010).



**Рис. 2.** Оценка верности разным биотопам равнозубой бурозубки на Северо-Востоке европейской части России: *а* – Каменный, *б* – Дань, *в* – Якша, *г* – Гарёвка; 1 – ельник высокоотравный, 2 – ельник кустарничково-зеленомошный, 3 – ельник зеленомошно-папоротниковый, 4 – ельник долгомошный, 5 – березняк мелкотравно-зеленомошный, 6 – сосняк лишайниковый, 7 – сосняк зеленомошный, 8 – ивняк высокотравный, 9 – луг разнотравный. Отсутствие столбиков на рисунках обозначает, что учеты в данных местообитаниях не проводились

**Fig. 2.** Estimation of the fidelity to various biotopes of the taiga shrew in the North-East of the European Russia: *a* – Kamenny, *b* – Dan', *c* – Yaksha, *d* – Garevka. Biotopes: 1 – *Piceeta magnoherlosa*; 2 – *Piceeta fruticulosa-hylocomiosa*; 3 – *Piceeta dryoteris-hylocomiosa*; 4 – *Piceeta polytrichosa*; 5 – *Betuleta parviherlosa*; 6 – *Pineta eucladinosa*; 7 – *Pineta fruticulosa-hylocomiosa*; 8 – *Willow magnoherlosa*; 9 – *Prarum mixtoherbosium*. The absence of columns in the figures indicates no records in these habitats

Приуроченность вида к тому или иному биотопу определяется, во-первых, наличием и доступностью кормовых ресурсов в нем (Докучаев, 1990; Ивантер, Макаров, 2001), во-вторых – историческими связями животных с определенными типами сообществ, в которых происходило их возникновение (Шварц и др., 1992; Holt, 2003). Формирование равнозубой бурозубки связано с увлажненной черновой

РАВНОЗУБАЯ БУРОЗУБКА (*SOREX ISODON*, EULIPOTYPHILA)

тайгой гор юга Западной Сибири (Шварц, 1989), для которой характерно доминирование в нижнем ярусе леса высокотравья. Тесные связи с темнохвойными травянистыми сообществами до сих пор определяют выбор местообитаний у данного вида. Эти местообитания богаты почвенными беспозвоночными, среди которых многочисленны дождевые черви. Они являются основным компонентом рациона равнозубой бурозубки (Ивантер и др., 2015; Hanski, Kaikusalo, 1989). Запасы дождевых червей максимальны в почвах пихто-ельников травянистых на западном макросклоне Северного Урала, где на 1 м<sup>2</sup> обитает до 114.6 экз. (Шашков, Камаев, 2010). В равнинных сосновых лесах их число колеблется от 0.2 до 1.8 экз., в ельниках зеленомошных – от 13.5 до 30.8 экз. на 1 м<sup>2</sup> (Крылова и др., 2011).

*Численность.* В равнинной таежной части региона равнозубая бурозубка является редким видом (табл. 2). Средние показатели ее численности в разных локалитетах варьируют от 0 до 2.4 (в среднем 1.2) экз. / 100 кон.-сут., а доля вида в уловах землероек – от 0 до 5.9%. На северной границе ареала в южной лесотундре (ст. Сивая Маска) за три года было отловлено всего несколько зверьков (Колоскова, 1981). Непонятны причины отсутствия этих землероек в северной тайге в локалитете Уляшово (Куприянова, Бобрецов, 2007), хотя многие местообитания, в которых проводились учеты, были расположены в долине р. Печора. Сборы землероек насчитывали здесь 1558 экз.

**Таблица 2.** Численность равнозубой бурозубки в разных локалитетах Северо-Востока европейской части России

**Table 2.** Numbers of taiga shrews in various localities of the North-East of the European Russia

Локалитет / Locality	Особей на 100 кон.-сут. / Individuals per 100 cone-nights		Доля вида среди землероек, % / Proportion of the species among shrews, %
	Среднее значение / Average value	Min-max	
Русская равнина: северная тайга / Russian plain: northern taiga			
Каменный / Kamenny	1.6	0–5.2	2.9
Уляшово / Ulyashovo	0	0	0
Пинега / Pinega	1.6	0–2.0	3.1
Русская равнина: средняя тайга / Russian plain: middle taiga			
Важьёлю / Vazhyol'yu	1.2	–	5.9
Дань / Dan'	2.4	1.4–4.6	5.0
Якша / Yaksha	0.2	0–2.2	0.4
Уральская горная страна / Ural mountain country			
Кыбла-Кырта / Kybla-Kyrta	4.4	0–16.6	5.0
Гарёвка / Garevka	8.6	0–61.2	6.7
Яны-Пупунёр / Yany-Pupunyor	28.0	0.6–82.6	20.8

*Примечание.* Источники данных: Уляшово (Куприянова, Бобрецов, 2007), Пинега (Куприянова, Сивков, 2000), Дань (Куприянова, Бобрецов, 2007), Кыбла-Кырта (Куприянова и др., 2020).

*Note.* Data sources: Ulyashovo (Kupriyanova, Bobretsov, 2007), Pinega (Kupriyanova, Sivkov, 2000), Dan' (Kupriyanova, Bobretsov, 2007), Kybla-Kyrta (Kupriyanova et al., 2020).

В предгорьях Северного Урала равнозубая бурозубка становится обычным видом. При этом показатели обилия животных между разными локалитетами этого района (Гарёвка и Кыбла-Кырта) различались в два раза, что обусловлено различиями в ландшафтных условиях. В первом локалитете хорошо развита пойма р. Печора, поэтому площадь травяных лесов здесь значительно больше, чем во втором. Высокая численность вида отмечена на западном макросклоне Северного Урала (28.0 экз. / 100 кон.-сут.). В некоторые годы (1989) она повышалась до 82.6 экз. / 100 кон.-сут. В этом случае равнозубая бурозубка доминировала среди землероек (48.4%).

Высокая численность вида в этой части Урала – явление уникальное как для севера европейской части России, так и для Уральского региона в целом. На восточном макросклоне Северного Урала обилие равнозубой бурозубки составляет всего лишь 6.5 экз. / 100 кон.-сут. (Бобрецов, Симакин, 2015), а в многолетних уловах в горных массивах Косьвинский Камень и Чистоп она вообще отсутствовала (Шарова, 1992).

Уровень численности равнозубой бурозубки в горном районе Печоро-Илычского заповедника сопоставим с таковым в горах юга Западной Сибири, для которых приводятся самые высокие оценки обилия вида в ареале (Лукьянова, 1992; Долговых, 2006; Литвинов, Пожидаева, 2007; Бабина, 2009; Виноградов, 2010). Показатели обилия численности вида на этих территориях изменялась от 15 до 90.6 экз. / 100 кон.-сут.

Значительные пространственные различия в обилии равнозубой бурозубки обусловлены ландшафтной неоднородностью территории региона. В данном контексте наиболее важными ландшафтными характеристиками являются состав и соотношение разных типов местообитаний и их размеры (Christensen et al., 2008). В зависимости от преобладания в ландшафте тех или иных биотопов условия существования для разных видов мелких млекопитающих будут складываться по-разному. В данном случае сама площадь территории, занятая оптимальными стадиями вида, может играть роль лимитирующего фактора (Шварц и др., 1992).

Данное положение проиллюстрируем на примере территории Печоро-Илычского заповедника. В равнинном районе (Якша) благоприятные местообитания равнозубой бурозубки встречаются локально и занимают незначительные площади (около 8%). Средняя численность равнозубой бурозубки составляет здесь всего лишь 0.2 экз. / 100 кон.-сут. В предгорном районе (Гарёвка) площадь ельников высокотравных увеличивается до 19%, показатель обилия возрастает в два раза (8.6 экз. / 100 кон.-сут.). В верхней части горно-лесного пояса (Яны-Пупунёр), где 38% лесопокрытой площади заняты травянистыми лесами, складываются самые оптимальные условия для данного вида. В результате средняя численность равнозубой бурозубки достигает здесь максимальных значений. Следует отметить, что в нижней части горно-лесного пояса, где большие площади заняты ельниками зеленомошными, обилие вида значительно уменьшается. В горах юга Сибири доминирование данного вида в населении мелких млекопитающих четко совпадало с избыточно-влажными районами (Виноградов, 2010).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Равнозубая бурозубка широко распространена на Северо-Востоке европейской части России. Северная граница ее ареала в регионе в целом совпадает с северной границей таежной растительности. Только на востоке региона она локально встречается в южной лесотундре.

Оптимальными местообитаниями вида являются ельники травяные, богатые дождевыми червями и другими видами беспозвоночных животных. Обилие равнозубой бурозубки в них всегда выше, чем в других биотопах, в которых она встречается не часто и далеко не каждый год.

Численность *Sorex isodon* во многом обусловлена ландшафтной неоднородностью территории региона. В равнинных районах, где площадь оптимальных станций незначительна, данный вид встречается редко (1.2 экз. / 100 кон.-сут.). В предгорьях Северного Урала показатели обилия увеличиваются до 6.5 (4.4 – 8.6) экз. / 100 кон.-сут., а на увлажненных западных склонах Северного Урала, где высокотравные леса занимают обширные площади, отмечена максимальная численность равнозубой бурозубки (28 экз. / 100 кон.-сут.).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бабина С. Г. Иерархическая и пространственно-биотопическая структура населения мелких млекопитающих заповедника «Кузнецкий Алатау» // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2009. Т. 18, № 4. С. 100 – 105.

Бердюгин К. И., Большаков В. Н., Балахонов В. С., Павлинин В. В., Пасхальный С. П., Штро В. Г. Млекопитающие Полярного Урала. Екатеринбург : Изд-во Уральского университета, 2007. 384 с.

Бобрецов А. В. Популяционная экология мелких млекопитающих равнинных и горных ландшафтов Северо-Востока европейской части России. М. : Т-во науч. изд. КМК, 2016. 381 с.

Бобрецов А. В. Население мелких млекопитающих восточной части Среднего Тимана // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2017. № 37. С. 105 – 121.

Бобрецов А. В., Симакин Л. В. Особенности структуры населения мелких млекопитающих разных макросклонов Северного Урала // Экология. 2015. № 5. С. 381 – 386.

Виноградов В. В. Сравнительная характеристика сообществ мелких млекопитающих горных лесов юга Средней Сибири // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2010. № 3 (11). С. 47 – 59.

Докучаев Н. Е. Экология бурозубок Северо-Восточной Азии. М. : Наука, 1990. 160 с.

Долгов В. А. Равнозубая бурозубка – *Sorex centralis* Thomas, 1911 (Mammalia, Insectivora) в фауне Советского Союза // Зоологический журнал. 1964. Т. 43, вып. 6. С. 898 – 903.

Долгов В. А. Бурозубки Старого Света. М. : Изд-во МГУ, 1985. 221 с.

Долговых С. В. Анализ размещения населения мелких млекопитающих в Северо-Восточной, Северной, Центральной и Юго-Восточной провинциях Алтая. Томск : Изд-во Томского университета, 2006. 188 с.

Ердаков Л. Н., Ефимов В. М., Галактионов Ю. К., Сергеев В. Е. Количественная оценка верности местообитанию // Экология. 1978. № 3. С. 105 – 107.

Зайцев М. В., Войта Л. Л., Шефтель Б. И. Млекопитающие фауны России и сопредельных территорий. Насекомоядные. СПб. : Наука, 2014. 391 с.

Зауольнова Л. Б., Мартыненко В. Б. Определитель типов леса Европейской России / Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН. М., 2013. URL: <http://www.cepl.rssi.ru/bio/forest/index.htm> (дата обращения: 27.04.2022).

Ивантер Э. В. К изучению равнозубой бурозубки (*Sorex isodon* Turon) на северо-западной периферии ареала // Принципы экологии. 2020. № 1. С. 68 – 83.

Ивантер Э. В., Макаров А. М. Территориальная экология землероек-бурозубок (*Insectivora*, *Sorex*). Петрозаводск : Петрозаводский государственный университет, 2001. 272 с.

Ивантер Э. В., Коросов А. В., Макаров А. М. К изучению трофических связей мелких насекомоядных млекопитающих // Зоологический журнал. 2015. Т. 94, № 6. С. 711 – 722.

Колоскова Н. И. Эколого-фаунистический анализ мелких млекопитающих восточно-европейской тундры // Фауна и экология наземных позвоночных животных. М. : Московский государственный педагогический институт им. В. И. Ленина, 1981. С. 81 – 100.

Крылова Л. П., Акулова Л. И., Долгин М. М. Дождевые черви (*Oligochaeta*, *Lumbricidae*) таежной зоны Республики Коми. Сыктывкар : Коми государственный педагогический институт, 2011. 104 с.

Куприянова И. Ф. Бурозубки в средней тайге бассейна р. Вычегды (Коми АССР) // Экология животных лесной зоны. М. : Московский областной педагогический институт им. Н. К. Крупской, 1990. С. 97 – 111.

Куприянова И. Ф., Бобрецов А. В. Равнозубая (*Sorex isodon*) и крошечная (*Sorex minutissimus*) бурозубки на европейском Севере // Труды Печоро-Ильчского государственного заповедника. Сыктывкар, 2007. Вып. 15. С. 151 – 157.

Куприянова И. Ф., Сивков А. В. Сообщества мелких млекопитающих // Структура и динамика природных компонентов Пинежского заповедника (Северная тайга ЕТР, Архангельская область): Биоразнообразию и георазнообразию в карстовых областях. Архангельск : Государственный природный заповедник «Пинежский», 2000. С. 168 – 178.

Куприянова И. Ф., Калинин А. А., Черняховский М. Е. Динамика численности мелких млекопитающих в прильчской части Печоро-Ильчского заповедника // Труды Печоро-Ильчского заповедника. Якша, 2020. Вып. 18. С. 52 – 60.

Лисовский А. А., Шефтель Б. И., Савельев А. П., Ермаков О. А., Козлов Ю. А., Смирнов Д. Г., Стахеев В. В., Глазов Д. М. Млекопитающие России : список видов и прикладные аспекты // Сборник трудов Зоологического музея МГУ. М. : Т-во науч. изд. КМК, 2019. Т. 56. 191 с.

Литвинов Ю. Н., Пожидаева Л. В. Сообщества насекомоядных млекопитающих Алтайских гор // Биология насекомоядных млекопитающих: материалы III Всероссийской научной конференции по биологии насекомоядных млекопитающих. Новосибирск : Изд-во «ЦЭРИС», 2007. С. 68 – 69.

Лукьянова И. В. Особенности распространения равнозубой бурозубки (*Sorex isodon* Turon) в Западной и Средней Сибири // Первое Всесоюзное совещание по биологии насекомоядных млекопитающих. М. : ИЭМЭЖ, 1992. С. 103 – 105.

Млекопитающие. Насекомоядные, рукокрылые, зайцеобразные, грызуны. СПб. : Наука, 1994. 280 с. (Фауна европейского Северо-Востока России. Млекопитающие; Т. 2, ч. 1).

Петров А. Н. Мелкие млекопитающие (*Insectivora*, *Rodentia*) трансформированных и ненарушенных территорий восточно-европейских тундр. СПб. : Наука, 2007. 178 с.

Петров А. Н., Быховец Н. М., Глотов А. С. Фауна и население мелких млекопитающих Малоземельской тундры // Международная конференция «Живая природа Арктики: сохранение биоразнообразия, оценка состояния экосистем»: сборник тезисов. М. : Т-во науч. изд. КМК, 2017. С. 209 – 211.

Позвоночные животные России (Информационно-поисковая система). М., 2012. URL: <http://www.sevin.ru/vertebrates/> (дата обращения: 27.04.2022).

Пучковский С. В. Особенности распределения бурозубок (*Insectivora*, *Soricidae*) по биотопам в тайге Онежского полуострова // Фауна, экология и география животных. М. : Московский государственный педагогический институт им. В. И. Ленина, 1969. С. 100 – 109.

РАВНОЗУБАЯ БУРОЗУБКА (*SOREX ISODON*, EULIPOTYPHILA)

Пыстин А. Н. Биотопическое распределение доминирующих видов насекомоядных в лесах средней тайги Республики Коми // Вестник Института биологии Коми НЦ УрО РАН. 2001. № 6 (44). С. 9 – 10.

Равкин Ю. С., Лукьянова И. В. География позвоночных южной тайги Западной Сибири (птицы, мелкие млекопитающие и земноводные). Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1976. 360 с.

Ревин Ю. В. Млекопитающие Южной Якутии. Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1989. 321 с.

Стариков В. П., Наконечный Н. В., Берников К. А., Бородин А. В. Население мелких млекопитающих Приполярного Урала // Безопасный Север – чистая Арктика: материалы III Всероссийской научно-практической конференции. Сургут : Сургутский государственный университет, 2020. С. 300 – 304.

Шарова Л. П. Фауна землероек Урала и прилегающих территорий // Экология млекопитающих Уральских гор. Екатеринбург : Наука. Урал. отд-ние, 1992. С. 3 – 51.

Шапков М. П., Камаев И. О. Население дождевых червей темнохвойных лесов нижней части бассейна реки Большая Порожная (приток р. Печора) // Труды Печоро-Илычского государственного заповедника. Сыктывкар, 2010. Вып. 16. С. 204 – 207.

Шварц Е. А. Формирование фауны мелких грызунов и насекомоядных таежной Евразии // Фауна и экология грызунов. М. : Изд-во МГУ, 1989. Вып. 17. С. 115 – 143.

Шварц Е. А., Демин Д. В., Замолодчиков Д. Г. Экология сообществ мелких млекопитающих лесов умеренного пояса (на примере Валдайской возвышенности). М. : Наука, 1992. 127 с.

Шефтель Б. И. Анализ пространственного распределения землероек в средней енисейской тайге // Экологическая ординация и сообщества. М. : Наука, 1990. С. 15 – 35.

Щитанов Н. А., Купцов А. В., Калинин А. А., Демидова Т. Б., Олейниченко В. Ю., Ляпина М. Г., Александров Д. Ю., Распопова А. А., Павлова С. В., Тумасьян Ф. А. Мелкие млекопитающие юго-востока Тверской области. Сообщение 1. Фауна и биотопическое распределение // Сибирский экологический журнал. 2010. Вып. 5. С. 799 – 806.

Christensen P., Ecke F., Sandstrom P., Nilsson M., Hornfeldt B. Can landscape properties predict occurrence of grey-sided voles? // Population Ecology. 2008. Vol. 50, iss. 2. P. 169 – 179.

Hanski I., Kaikusalo A. Distribution and habitat selection of shrews in Finland // Annales Zoologici Fennici. 1989. Vol. 26, № 4. P. 339 – 348.

Holt R. D. On the evolutionary ecology of species' ranges // Evolutionary Ecology Research. 2003. Vol. 5, iss. 2. P. 159 – 178.

Shchipanov N. A., Kalinin A. A., Demidova T. B., Oleinichenko V. Yu., Alexandrov D. Yu., Kuptsov A. V. Population ecology of red-toothed shrews, *Sorex araneus*, *S. caecutiens*, *S. minutus*, and *S. isodon*, in Central Russia // Advances in Biology of Shrews II / eds. J. F. Merritt, S. Churchfield, R. Hutterer, B. I. Sheftel. New York : International Society of Shrew Biologists, 2005. P. 199 – 214.

## Taiga shrew (*Sorex isodon*, Eulipotyphla) in the North-East of the European Russia: Distribution, habitats and abundance

A. V. Bobretsov <sup>1✉</sup>, A. N. Petrov <sup>2</sup>, A. N. Korolev <sup>2</sup>, N. M. Bykhovets <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Pechoro-Ilych State Nature Reserve

Yaksha, Troitsko-Pechorsky district, Komi Republic 169436, Russia

<sup>2</sup> Institute of Biology of the Komi National Research Center of the Ural Branch  
of the Russian Academy of Sciences

28 Kommunisticheskaya St., Syktyvkar 167982, Russia

Received: 01 December 2022 / revised: 23 December 2022 / accepted: 29 December 2022

**Abstract.** The materials of our studies on the taiga shrew (*Sorex isodon* Turov, 1924) in the North-East of the European Russia, a poorly studied species of small mammals of the region, are summarized. Its distribution is shown to generally coincide with the northern border of the taiga zone. The optimal biotopes are grass spruce forests (only for them the values of the biotope fidelity coefficient are positive). The numbers of taiga shrews in lowland localities are 0–2.4 individuals, in foothill habitats it increases up to 4.4–8.6 individuals and reaches maximum values on the western slope of the Northern Urals (28 individuals per 100 cone-nights). The formation of the numbers of the species is much influenced by the landscape conditions of the territory: the ratio of habitat types and their areas. An increase in the area of grass forests leads to an increase in the abundance of taiga shrews.

**Keywords:** *Sorex isodon*, distribution, habitats, abundance, North-East of the European Russia

**Funding.** The work was carried out in the framework of financial support of Pechora-Ilych State Nature Reserve (Ministry of Nature of Russian Federation) and in the framework of the theme of Institute of Biology (Komi Science Center, Ural Division of the Russian Academy of Sciences) state plan (No. 122040600025-2).

**For citation:** Bobretsov A. V., Petrov A. N., Korolev A. N., Bykhovets N. M. Taiga shrew (*Sorex isodon*, Eulipotyphla) in the North-East of the European Russia: Distribution, habitats and abundance. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2023, no. 1, pp. 3–19 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-1-3-19>

## REFERENCES

Babina S. G. Hierarchical and spatially-biotopichesky structure of the population of small mammals Reserve “Kuznetsk Alatau”. *Samarskaia Luka: problemy regional'noi i global'noi ekologii*, 2009, vol. 18, no. 4, pp. 100–105 (in Russian).

Berdyugin K. I., Bolshakov V. N., Balakhonov V. S., Pavlinin V. V., Paskhalny S. P., Shtro V. G. *Mlekopitaiushchie Poliarnogo Urala* [Mammals of the Polar Urals]. Ekaterinburg, Izdatel'stvo Ural'skogo universiteta, 2007. 384 p. (in Russian).

✉ *Corresponding author.* Pechoro-Ilych State Nature Reserve, Russia.

*ORCID and e-mail addresses:* Anatoly V. Bobretsov: <https://orcid.org/0000-0002-0921-2566>, avbobr@mail.ru; Anatoly N. Petrov: <https://orcid.org/0000-0002-7118-1916>, tpetrov@ib.komisc.ru; Andrey N. Korolev: <https://orcid.org/0000-0001-5735-5951>, korolev@ib.komisc.ru; Natalia M. Bykhovets: <https://orcid.org/0000-0002-9102-0693>, bykhovets.n@ib.komisc.ru.

РАВНОЗУБАЯ БУРОЗУБКА (*Sorex isodon*, EULIPOTYPHLA)

Bobretsov A. V. *Populatsionnaya ekologiya melkikh mlekopitaiushchikh ravninnykh i gornykh landshaftov Severo-Vostoka evropeiskoi chasti Rossii* [Population Ecology of Small Mammals of Lowland and Mountainous Landscapes of the North-East of the European Part of Russia]. Moscow, KMK Scientific Press Ltd., 2016. 381 p. (in Russian).

Bobretsov A. V. The population of small mammals of the eastern part of the Middle Timan. *Bulletin of the Tomsk State University. Biology*, 2017, no. 37, p. 105–121 (in Russian).

Bobretsov A. V., Simakin L. V. Peculiar features of small mammal community structure on different macroslopes of the Northern Urals. *Russian Journal of Ecology*, 2015, vol. 46, no. 5, pp. 470–475.

Vinogradov V. V. Comparative characteristics of small mammal communities of mountain forests of the south of Central Siberia. *Bulletin of the Tomsk State University. Biology*, 2010, no. 3 (11), pp. 47–59 (in Russian).

Dokuchaev N. E. *Ekologiya burozubok Severo-Vostochnoy Azii* [Ecology of Shrews of North-East Asia]. Moscow, Nauka Publ., 1990. 160 p. (in Russian).

Dolgov V. A. Taiga shrew – *Sorex centralis* Thomas, 1911 (Mammalia, Insectivora) in the fauna of the Soviet Union. *Zoologicheskii zhurnal*, 1964, vol. 43, iss. 6, pp. 898–903 (in Russian).

Dolgov V. A. *Burozubki Starogo Sveta* [Shrews of the Old World]. Moscow, Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta, 1985. 221 p. (in Russian).

Dolgovykh S. V. *Analiz razmeshcheniya naseleniya melkikh mlekopitaiushchikh v Severo-Vostochnoi, Severnoi, Tsentral'noi i Iugo-Vostochnoi provintsiakh Altaia* [Analysis of the Distribution of the Population of Small Mammals in the North-Eastern, Northern, Central and South-Eastern Provinces of Altai]. Tomsk, Izdatel'stvo Tomskogo universiteta, 2006. 188 p. (in Russian).

Yerdakov L. N., Efimov V. M., Galaktionov Yu. K., Sergeev V. E. Quantitative assessment of habitat fidelity. *Ekologiya*, 1978, no. 3, pp. 105–107 (in Russian).

Zaitsev M. V., Voyta L. L., Sheftel B. I. *The Mammals of Russia and Adjacent Territories. Lipotyphlans*. Saint Petersburg, Nauka Publ., 2014. 391 p. (in Russian).

Zaugulnova L. B., Martynenko V. B. *Opredelitel' tipov lesa Evropeiskoi Rossii* [Determinant of Forest Types in European Russia]. Moscow, Center for Ecology and Forest Productivity of the RAS, 2013. Available at: <http://www.cepl.rssi.ru/bio/forest/index.htm> (accessed 27 April 2022) (in Russian).

Ivanter E. V. To the study of the taiga shrew (*Sorex isodon* Turov) on the northwestern periphery of the area. *Principles of Ecology*, 2020, no. 1, pp. 68–83 (in Russian).

Ivanter E. V., Makarov A. M. *Territorial'naya ekologiya zemleroek-burozubok (Insectivora, Sorex)* [Territorial Ecology of Shrews (Insectivora, *Sorex*)]. Petrozavodsk, Petrozavodsk State University Publ., 2001, 272 p. (in Russian).

Ivanter E. V., Korosov A. V., Makarov A. M. On studying trophic relations in small insectivorous mammals. *Zoologicheskii zhurnal*, 2015, vol. 94, no. 6, pp. 711–722 (in Russian).

Koloskova N. I. Ecological and faunal analysis of small mammals of the Eastern European tundra. In: *Fauna i ekologiya nazemnykh pozvonochnykh zhivotnykh* [Fauna and Ecology of Terrestrial Vertebrates]. Moscow, V. I. Lenin Moscow State Pedagogical Institute Publ., 1981, pp. 81–100 (in Russian).

Krylova L. P., Akulova L. I., Dolgin M. M. *Dozhdevye chervi (Oligochaeta, Lumbricidae) taezhnoi zony Respubliki Komi* [Earthworms (Oligochaeta, Lumbricidae) of the Taiga Zone of the Komi Republic]. Syktyvkar, Komi State Pedagogical Institute Publ., 2011. 104 p. (in Russian).

Kupriyanova I. F. Burozubki in the middle taiga of the basin of the Vychegda river (Komi ASSR). In: *Ekologiya zhivotnykh lesnoi zony* [Ecology of Animals of the Forest Zone]. Moscow, Moscow Regional Pedagogical Institute named after N. K. Krupskaya Publ., 1990, pp. 97–111 (in Russian).

Kupriyanova I. F., Bobretsov A.V. The taiga shrew (*Sorex isodon*) and eurasian least shrew (*Sorex minutissimus*) in the European North. *Proceedings of the Pechora-Ilych State Reserve*. Syktyvkar, 2007, iss. 15, pp. 151–157 (in Russian).

Kupriyanova I. F., Sivkov A.V. Communities of small mammals. In: *Structure and Dynamics of Natural Components of the Pinezhsky Reserve (Northern Taiga ETR, Arkhangelsk Region): Biodiversity and Geodiversity in Karst Areas*. Arkhangelsk, Pinezhsky State Nature Reserve Publ., 2000, pp. 168–178 (in Russian).

Kupriyanova I. F., Kalinin A. A., Chernyakhovsky M. E. Dynamics of the number of small mammals in the Priilych part of the Pechora-Ilych Reserve. *Proceedings of the Pechora-Ilych State Reserve*. Yaksha, 2020, iss. 18, pp. 52–60 (in Russian).

Lisovsky A. A., Sheftel B. I., Saveljev A. P., Ermakov O. A., Kozlov Yu. A., Smirnov D. G., Stakheev V. V., Glazov D. M. Mammals of Russia: Species list and applied issues. *Archives of Zoological Museum of Moscow State University*. Moscow, KMK Scientific Press Ltd., 2019, vol. 56. 191 p. (in Russian).

Litvinov Yu. N., Pozhidaeva L. V. Communities of insectivorous mammals of the Altai Mountains. In: *Biologiya nasekomoiadnykh mlekopitaiushchikh: materialy III Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii po biologii nasekomoiadnykh mlekopitaiushchikh* [Biology of Insectivorous Mammals: Proceedings of the III All-Russian Scientific Conference on the Biology of Insectivorous Mammals]. Novosibirsk, Izdatel'stvo "TsERIS", 2007, pp. 68–69 (in Russian).

Lukyanova I. V. Features of the distribution of the equal-toothed borer (*Sorex isodon* Turov) in Western and Central Siberia. In: *Pervoe Vsesoiuznoe soveshchaniye po biologii nasekomoiadnykh mlekopitaiushchikh* [The First All-Union Meeting on the biology of Insectivorous Mammals]. Moscow, Institute of Evolutionary Morphology and Ecology of Animals Publ., 1992, pp. 103–105 (in Russian).

*Mlekopitaiushchie. Nasekomoiadnye, rukokrylye, zaitseobraznye, gryzuny* [Mammals. Insectivores, Bats, Hares, Rodents]. Saint Petersburg, Nauka Publ., 1994. 280 p. (Fauna of the European Northeast of Russia. Mammals; vol. 2, part 1) (in Russian).

Petrov A. N. *Melkie mlekopitaiushchie (Insectivora, Rodentia) transformirovannykh i nenarushennykh territorii vostochno-evropeiskikh tundr* [Small Mammals (Insectivora, Rodentia) of Transformed and Undisturbed Territories of the Eastern European Tundra]. Saint Petersburg, Nauka Publ., 2007. 178 p. (in Russian).

Petrov A. N., Bykhovets N. M., Glotov A. S. Fauna and population of small mammals of the Malozemelskaya tundra. In: *International Conference "Wildlife of the Arctic: Biodiversity Conservation and Ecosystems State Assessment": Collection of Abstracts*. Moscow, KMK Scientific Press Ltd., 2017. pp. 209–211 (in Russian).

*Pozvonochnye zhivotnye Rossii (Informatsionno-poiskovaya sistema)* [Vertebrate Animals of Russia (Information Search System)]. Moscow, 2012. Available at: <http://www.sevin.ru/vertebrates/> (accessed 27 April 2022).

Puchkovsky S. V. Features of the distribution of brown-toothed insects (Insectivora, Soricidae) by biotopes in the taiga of the Onega Peninsula. In: *Fauna, ekologiya i geografiya zhivotnykh* [Fauna, Ecology and Geography of Animals]. Moscow, V. I. Lenin Moscow State Pedagogical Institute Publ., 1969, pp. 100–109 (in Russian).

Pystin A. N. Biotopic distribution of dominant insectivorous species in the forests of the middle taiga of the Komi Republic. *Bulletin of the Institute of Biology of the Komi National Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*, 2001, no. 6 (44), pp. 9–10 (in Russian).

Ravkin Yu. S., Lukyanova I. V. *Geografiya pozvonochnykh yuzhnoy taygi Zapadnoy Sibiri (ptitsy, melkie mlekopitayushchie i zemnovodnye)* [Geography of Vertebrates of the Southern Tai-

РАВНОЗУБАЯ БУРОЗУБКА (*Sorex isodon*, EULIPOTYPHILA)

ga of Western Siberia (Birds, Small Mammals and Amphibians)]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1976. 360 p. (in Russian).

Revin Yu. V. *Mlekopitaiushchie Iuzhnoi Yakutii* [Mammals of Southern Yakutia]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1989. 321 p. (in Russian).

Starikov V. P., Nakonechny N. V., Bernikov K. A., Borodin A.V. The population of small mammals of the Circumpolar Urals. In: *Safe North – Pure Arctic: Materials of the III All-Russian Scientific and Practical Conference*. Surgut, Surgut State University Publ., 2020, pp. 300–304 (in Russian).

Sharova L. P. Fauna of shrews of the Urals and adjacent territories. In: *Ekologiya mlekopitaiushchikh Ural'skikh gor* [Ecology of Mammals of the Ural Mountains]. Yekaterinburg, Nauka Publ., 1992, pp. 3–51 (in Russian).

Shashkov M. P., Kamaev I. O. The population of earthworms of dark coniferous forests of the lower part of the Bolshaya Vozhnaya River basin (tributary of the Pechora river). *Proceedings of the Pechora-Ilych State Reserve*. Syktyvkar, 2010, iss. 16, pp. 204–207 (in Russian).

Schwartz E. A. Formation of the fauna of small rodents and insectivores of taiga Eurasia. In: *Fauna i ekologiya gryzunov* [Fauna and Ecology of Rodents]. Moscow, Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta, 1989, iss. 17, pp. 115–143 (in Russian).

Schwartz E. A., Demin D. V., Zamolodchikov D. G. *Ekologiya soobshchestv melkikh mlekopitaiushchikh lesov umerennogo poiasa (na primere Valdaiskoi vozvyshehnosti)* [Ecology of Small Mammal Communities of Temperate Forests (on the example of the Valdai Upland)]. Moscow, Nauka Publ., 1992. 127 p. (in Russian).

Sheftel B. I. Analysis of the spatial distribution of shrews in the Middle Yenisei taiga. In: *Ekologicheskaya ordinatsiya i soobshchestva* [Ecological Ordination and Communities]. Moscow, Nauka Publ., 1990, pp. 15–35 (in Russian).

Shchipanov N. A., Kouptzov A. V., Kalinin A. A., Demidova T. B., Oleinichenko V. Yu., Lyapina M. G., Aleksandrov D. Yu., Raspopova A. A., Pavlova S. V., Tumasyan Ph. A. Small mammals of the South-East of the Tver' region. 1. Fauna and habitat preferences. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal*, 2010, no. 5, pp. 799–806 (in Russian).

Christensen P., Ecke F., Sandstrom P., Nilsson M., Hornfeldt B. Can landscape properties predict occurrence of grey-sided voles? *Population Ecology*, 2008, vol. 50, iss. 2, pp. 169–179.

Hanski I., Kaikusalo A. Distribution and habitat selection of shrews in Finland. *Annales Zoologici Fennici*, 1989, vol. 26, no. 4, pp. 339–348.

Holt R. D. On the evolutionary ecology of species' ranges. *Evolutionary Ecology Research*, 2003, vol. 5, iss. 2, pp. 159–178.

Shchipanov N. A., Kalinin A. A., Demidova T. B., Oleinichenko V. Yu., Alexandrov D. Yu., Kuptsov A. V. Population ecology of red-toothed shrews, *Sorex araneus*, *S. caecutiens*, *S. minutus*, and *S. isodon*, in Central Russia. In: Merritt J. F., Churchfield S., Hutterer R., Sheftel B. I., eds. *Advances in Biology of Shrews II*. New York, International Society of Shrew Biologists, 2005, pp. 199–214.

Оригинальная статья

УДК 614.718

<https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-1-20-36>

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОЗДУХА ПОМЕЩЕНИЙ НА ПОЛИГОНАХ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ ПО МИКРОБНОМУ ЗАГРЯЗНЕНИЮ И СПОСОБ ЕГО ОЧИСТКИ

К. В. Воробьев<sup>1</sup>, А. Н. Чусов<sup>1</sup>, Н. А. Политаева<sup>1✉</sup>, А. В. Щур<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
Россия, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29

<sup>2</sup> Белорусско-Российский университет  
Республика Беларусь, 212000, г. Могилев, проспект Мира, д. 43

Поступила в редакцию 30.10.2022 г., после доработки 02.12.2022 г., принята 02.12.2022 г.

**Аннотация.** Биогаз полигонов содержит большое количество вредных и опасных примесей и может быть источником микробиологического загрязнения как самого полигона твердых коммунальных отходов, так и прилегающих территорий. В данной работе используются современные биотехнологии, предназначенные для защиты окружающей среды, изучения количественного и качественного состава биогаза на предмет содержания в нем вредных микроорганизмов, а также удаления опасных примесей из биогаза. Проведена оценка возможности очистки воздуха помещений полигонов и прилегающих к ним территорий зелеными насаждениями с использованием системы биологической очистки на базе аппаратно-биологического комплекса от микробиологического загрязнения. Данные проведенных лабораторных исследований показывают, что аппаратно-биологические комплексы позволяют снизить негативное воздействие на персонал и работников оперативных пунктов и жителей прилегающих территорий путем очистки воздуха.

**Ключевые слова:** воздух помещений, аппаратно-биологический комплекс, очистка воздуха, микробное загрязнение, пылевые частицы, свалка, адгезия, *Tradescantia fluminensis*

**Для цитирования.** Воробьев К. В., Чусов А. Н., Политаева Н. А., Щур А. В. Оценка качества воздуха помещений на полигонах твердых коммунальных отходов по микробному загрязнению и способ его очистки // Поволжский экологический журнал. 2023. № 1. С. 20 – 36. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-1-20-36>

✉ Для корреспонденции. Высшая школа гидротехнического и энергетического строительства Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

ORCID и e-mail адреса: Воробьев Константин Владимирович: <https://orcid.org/0000-0002-8870-5843>, vorobiev\_kv@spbstu.ru; Чусов Александр Николаевич: <https://orcid.org/0000-0002-1388-8649>, chusov\_an@spbstu.ru; Политаева Наталья Анатольевна: <https://orcid.org/0000-0002-5914-6210>, politaevana1971@gmail.com; Щур Александр Васильевич: <https://orcid.org/0000-0002-9558-7005>, shchur@yandex.by.

## ВВЕДЕНИЕ

В России наиболее распространенным способом утилизации отходов является захоронение. Полигоны твердых коммунальных отходов (ТКО) представляют опасность для окружающей среды и здоровья населения не только во время эксплуатации, но и после их закрытия в течение длительного периода. Основные причины длительного негативного воздействия – загрязнение атмосферного воздуха выбросами биогаза и загрязнение поверхностных и подземных вод токсичными фильтратами (Масликов и др., 2012; Nolasco et al., 2008).

Основным компонентом биогаза является метан (сильный парниковый газ и ценное топливо (Zinchenko et al., 2002)). Большое скопление этого газа может вызывать пожары на полигонах ТКО, потушить которые практически невозможно. Кроме того, биогаз содержит не только большое количество вредных и опасных примесей (Palmiotto et al., 2014), но и может являться источником микробиологического загрязнения полигона ТКО и прилегающих территорий. Выбросы микроорганизмов со свалок и предприятий по компостированию отходов (компостных заводов), а также запах, выделяемый ими (Herr et al., 2003), часто вызывают жалобы жителей, в частности людей, живущих вблизи таких заводов (Albrecht et al., 2008; Zhang et al., 2014).

Значительное количество полигонов ТКО в России не соответствует санитарно-гигиеническим и экологическим нормам (Ryzhakova et al., 2014). Строительство систем сбора и утилизации биогаза позволит не только производить электрическую и тепловую энергию для внесетевых нагрузок (Чусов и др., 2013; Zubkova et al., 2014 *a, b*; Zhazhkov et al., 2015), но и будет являться эффективным способом защиты окружающей среды. Однако направление использования биогаза полигонов ТКО в энергетических целях в России только начинает развиваться (один из пилотных проектов – строительство системы сбора биогаза для производства энергии на полигоне ТКО «Новый Свет» в Ленинградской области (Масликов и др., 2013)). Кроме того, это направление требует значительных капиталовложений, которые зачастую превышают инвестиционные возможности муниципальных образований. Поэтому крайне актуальна разработка других, достаточно дешевых, но эффективных мер по защите окружающей среды от воздействия, связанного с полигонами ТКО.

Новизна данного исследования заключается в изучении органолептических показателей полигона ТКО в Новоселках, а также соседнего полигона хранения отходов очистки сточных вод «Северный» в Санкт-Петербурге. Примечательно, что в России нет нормативов, регулирующих запах в населенных пунктах. В соответствии с Гигиеническими требованиями, принятыми в 2001 г. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор) России, контроль атмосферного воздуха населенных пунктов должен осуществляться на предмет содержания в нем вредных веществ. Чрезмерно высокие концентрации таких веществ классифицируются как нарушение. Но присутствие сильного неприятного запаха не всегда сопровождается наличием чрезмерно высоких концентраций вредных веществ в воздухе. Полигон в Новоселках начал работу в 1972 г. и уже на протяжении многих лет подлежит закры-

тию, однако правительство не смогло создать современную замену данному полигону ТКО. Полигон «Северный» начал работать позже, в 1986 году. Жалобы жителей на неприятный запах появились только в последние несколько лет, что может быть связано с вырубкой соседнего леса (который являлся естественной стабилизирующей преградой между жителями и полигонами) с целью создания промышленного парка для заводов Nissan и Hyundai. Также к полигонам примыкает одна из главных транспортных артерий города – КАД.

В связи с этим следует обратить особое внимание на использование современных биологических подходов для защиты окружающей среды (Soreanu et al., 2013; Andrianova et al., 2014), а также на снижение распространения биогаза и изучения количественного и качественного содержания вредных микроорганизмов в нем.

Оценку биологической очистки воздуха полигонов можно разделить на две основные категории: очистка воздуха внутри помещений и на открытом воздухе вокруг них (в полевых условиях).

Анализ литературы показал, что качество воздуха на полигоне зависит от разных факторов. Эти параметры включают в себя качество компоста, полученного на полигонах. Компост может загрязнять окружающую среду за счет распространения следующих загрязняющих веществ: тяжелые металлы (Deportes et al., 1995; Hargreaves et al., 2008), токсичные компоненты и летучие органические соединения (Soreanu et al., 2013). Также научно доказано, что он может причинять вред здоровью (Fischer et al., 2008; Kalwasinska, Burkowska, 2013; Wery, 2014), а также приносить неудобства из-за пахучих соединений (Herr et al., 2003; Vitezova, Vitez, 2013; Palmiotto et al., 2014). В воздухе компостных куч присутствуют различные группы микроорганизмов, представленные психрофильными и мезофильными бактериями (Kalwasinska et al., 2014), микроскопическими термотолерантными грибами (Vitezova, Vitez, 2013), термофильными актиномицетами (Fischer et al., 2008) и др.

В частности, воздействие биоаэрозолей, связанное с атмосферной дисперсией или обработкой компоста (Bünger et al., 2007), представляет риск для здоровья подвергающихся такому воздействию групп лиц (Deportes et al., 1995; Gorny et al., 2002). К ним относится как рабочий персонал, так и население соседних жилых районов (Le Goff et al., 2012). Биоаэрозоль или органическая пыль – это термин, используемый для описания переносимых по воздуху микроорганизмов, таких как грибки или бактерии, или побочных продуктов, например, эндотоксинов и глюконов (Douwes et al., 2003; Taha et al., 2006; Wery, 2014), которые могут приводить к аллергическим реакциям, могут влиять на здоровье органов дыхания (Le Goff et al., 2012) или оказывать другие воздействия (Nikaee et al., 2009; Hung et al., 2010; Liang et al., 2013).

Более того, анализ литературы показал, что существуют сильные различия по качеству воздуха внутри помещений на полигонах и прилегающих территориях (Аликбаева и др., 2010; Kalwasinska et al., 2014). Воздух офисов на полигонах характеризовался повышенной концентрацией переносимых по воздуху бактерий и грибков (Lis et al., 2004). В работе Данута О. Лис (Lis et al., 2004) показано, что

офисы на полигонах можно отнести к категории, характеризующейся высокой и очень высокой бактериальной и грибковой контаминацией воздуха помещений. Отмечается влияние сезона на концентрацию бактерий, а также грибов: летом выше, чем зимой (Grisoli et al., 2009). Сезонное снижение концентраций бактериального и грибкового аэрозоля может быть вызвано низкой температурой воздуха, промерзшей почвой или снежным покровом – условиями, не благоприятствующими размножению, распространению патогенных микробов «пылевым» путем (Lis et al., 2004; Huttunen et al., 2010).

Кроме того, перенос твердых и жидких летучих пылевых частиц может увеличивать численность микроорганизмов, которые представляют собой типичное аэрозольное загрязнение атмосферного воздуха.

На основании анализа литературы, для исследований очищающей способности растений от микробного загрязнения был выбран паутинник *Tradescantia fluminensis*. Это неприхотливое растение, которое быстро размножается и увеличивает свою массу. *T. fluminensis* эффективно поглощает загрязняющие вещества, интенсивно выделяет кислород и фитонциды.

В первую очередь растения представляются в качестве основных фильтров, которые имеют развитую площадь поверхности с восковым образованием – кутикулой, с хорошо удерживающими свойствами по отношению к микроорганизмам и летучим частицам. Кроме того, все растения обладают переменной способностью выделять фитонциды для самозащиты растений от вредоносных микроорганизмов, а также активно воздействовать на состав окружающей среды. Более того, фитонциды, продуцируемые поверхностью листьев, можно рассматривать как биологическое средство, препятствующее размножению микроорганизмов, прикрепившихся к поверхности листьев (Цыбуля и др., 2000).

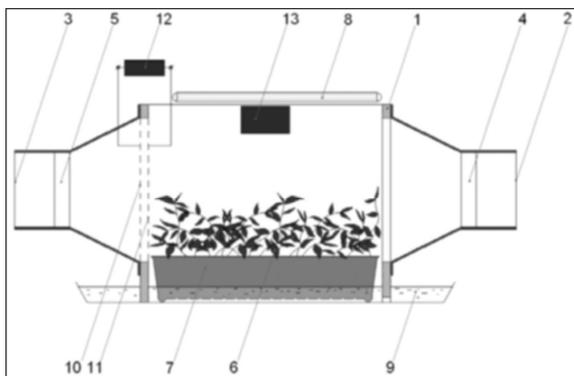
Основной целью исследования является оценка возможности очистки воздуха помещений полигонов и прилегающих к ним территорий от микробиологического загрязнения зелеными насаждениями с использованием системы биологической очистки на базе аппаратно-биологического комплекса.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

*Лабораторная испытательная камера.* Для изучения возможности очистки воздуха зелеными растениями паутинника (*Tradescantia fluminensis* Vell.) от пылевых частиц, содержащих различные виды бактерий, грибов и актиномицетов, была создана лабораторная испытательная камера (рис. 1). Корпус данной установки был изготовлен из нержавеющей стали и прозрачного оргстекла, объем камеры составил 300 литров. Для создания потока воздуха в испытательную камеру со средней скоростью 0.5 – 1 м/с использовался вентилятор.

Лабораторные эксперименты проводились на модели аппаратно-биологического комплекса рециркуляционного типа (лабораторной испытательной камеры). Конструкция данного комплекса представлена на рис. 1.

Для изучения влияния аэроионов на испытуемые растения модель аппаратно-биологического комплекса насыщали отрицательными или положительными ионами в концентрациях до 200000 ионов на см<sup>3</sup>. При исследованиях особое вни-



**Рис. 1.** Испытательная камера для исследования эффективности очистки воздуха от аэрозолей с помощью растений: 1 – бокс, 2 – отверстие для входа воздуха, 3 – отверстие для выхода воздуха, 4 – вентилятор, 5 – биполярный ионизатор, 6 – растения, 7 – цветочные горшки, 8 – светильники, 9 – резервуар для воды, 10, 11 – перфорированная металлическая решетка, 12 – источник постоянного напряжения, 13 – униполярный ионизатор

**Fig. 1.** Test chamber for studying the efficiency of air purification from aerosols using plants: 1 – a box, 2 – air inlet, 3 – air outlet, 4 – fan, 5 – bipolar ionizer, 6 – plants, 7 – flower pots, 8 – lamps, 9 – water tank, 10, 11 – perforated metal grid, 12 – direct current source, 13 – unipolar ionizer

было обнаружено после первой минуты эксперимента. Все исследования проводились с реальными воздушными потоками, поэтому разброс подсчитанных частиц может превышать 100%.

*Микробное загрязнение.* Для изучения содержания микроорганизмов используется относительно простой, но очень наглядный метод естественного осаждения Коха. Для исследования эффективности очистных сооружений воздуха разного качества, как содержащему, так и не содержащему аэроионы аэрозольного загрязнения, применяют счетчик частиц.

Анализ Коха – классический метод определения микроорганизмов и спор, сорбируемых и циркулирующих в воздухе частицами пыли. Этот метод использует открытые чашки Петри путем естественного осаждения пылевых частиц спорами микроорганизмов. В связи с экспериментом чашки Петри экспонировались в течение 15 мин в лаборатории на выходящем потоке очищенного воздуха из испытательной камеры с растениями и без них, положительными и отрицательными ионами в конце эксперимента.

Имеющиеся в воздухе микроорганизмы, связанные с частицами пыли, осели на поверхности питательного раствора. Затем чашки Петри закрывали простым

мание уделялось частицам размером 1 – 5 мкм. Генерация ионов осуществлялась непосредственно в камере в воздушном потоке, создаваемом вентилятором и проходящем через зону коронного разряда.

Для каждого исследования восемь образцов паутинника *T. fluminensis* помещали в испытательную камеру. Общая площадь поверхности листьев составляет  $48 \pm 8$  дм<sup>2</sup>.

Дополнительная освещенность растений составляла 1100 лк, а концентрация ионов составляла 200000 ионов на см<sup>3</sup>.

Количество прошедших через испытательную камеру частиц пыли размером 1 – 5 мкм оценивали с помощью счетчика частиц для входного и выходного воздушного потока. Количество ионов для всех диапазонов рассчитывали в процентах по отношению к базовому значению, которое

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОЗДУХА ПОМЕЩЕНИЙ НА ПОЛИГОНАХ

агаром и переносили в термостат, где инкубировали при 37°C в течение трех суток. По окончании инкубационного периода производили идентификацию и подсчет колоний микроорганизмов. Повторность для каждого опыта равнялась 10. Таким образом, общая сумма измерений составила 40.

*Оценка степени очистки зелеными насаждениями.* Коэффициент эффективности очистки воздуха растениями зависит от времени. Он рассчитывается по следующему уравнению:

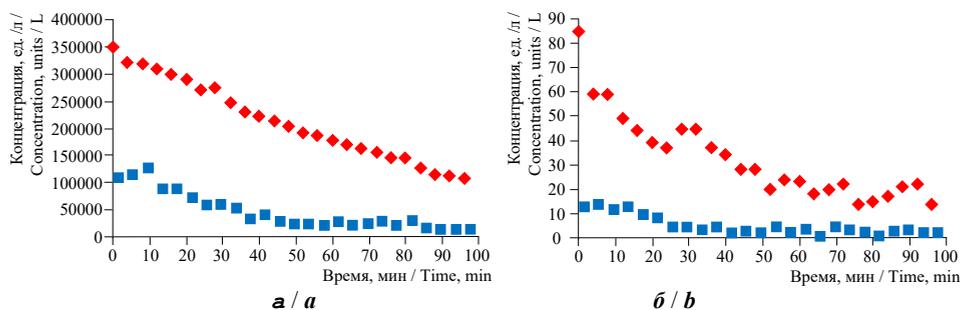
$$K_{\text{эф}} = \frac{N_{\text{вх}} - N_{\text{вых}}}{N_{\text{вх}}} \times 100,$$

где  $N_{\text{вх}}$  и  $N_{\text{вых}}$  – концентрации аэрозолей соответствующей дисперсности на входе и выходе комплекса.

Подготовительную обработку и анализ данных проводили в приложении Microsoft Office Excel 2010 (Microsoft Corp.).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

*Лабораторные эксперименты с испытательной камерой.* Результаты изменения концентраций пылевых частиц при различном варьировании условий испытаний и варьировании размеров частиц воздуха от 0.3 – 0.4 до 2 – 5 мкм представлены на рис.2.



**Рис. 2.** Изменение концентраций частиц пыли размером 0.3 – 0.4 (а) и 2 – 5 (б) мкм во входном (♦) и выходном (■) потоках воздуха в пустой испытательной камере

**Fig. 2.** Change in the concentration of dust particles with sizes within 0.3–0.4 (a) and 2–5 (b) μm in the inlet (♦) and outlet (■) air flows in an empty test chamber

Анализ графиков показывает, что концентрации аэрозольных частиц на выходе из комплекса имеют низкие значения, практически стремящиеся к нулю, что однозначно подчеркивает эффективность работы аппаратно-биологического комплекса.

*Микробное загрязнение.* Также был проведен количественный и качественный анализ бактерий, актиномицетов и мицелиальных грибов в воздухе в выходящем воздушном потоке из испытательной камеры. В таблице показаны сильные различия микробного состава микроорганизмов различных видов в условиях испытаний.

Содержание микроорганизмов в воздухе испытательной камеры

**Table.** Contents of microorganisms in the air inside the test chamber

Тип микроорганизмов / Type of microorganisms	Содержание микро- бов в камере без растений (контроль) / Content of microbes in the chamber without plants (control)	Содержание микро- организмов в камере с растениями / Con- tent of microorganisms in the chamber with plants	Содержание микроорга- низмов в камере с расте- ниями и при ионизации воздуха / Content of micro- organisms in the chamber with plants and during air ionization
Бактерия / Bacterium	18,2±2.61	7±1.22	10±2.60
Актиномицеты / Actinomycetes	14±1.41	3±0.66	7±2.12
<i>Mucor</i> Fresen., 1850	12±1.52	1±0.08	3±0.76
<i>Penicillium</i> Link, 1809	5±0.72	3±0.55	1±0.26
<i>Cladosporium</i> Link, 1816	3±1.01	1±0.07	1±0.26
<i>Fusarium</i> Link, 1809	2±0.93	1±0.89	1±0.57

Наибольшее количество колоний микроорганизмов подсчитывали в пустой камере. Общая сумма микробных колоний составила в среднем 54 колонии. Минимальное общее количество микроорганизмов, равное 16 колониям, наблюдалось в условиях присутствия растений в тестовой камере.

Наиболее распространенная группа микроорганизмов представлена бактериями в пустой тестовой камерой и составляет в среднем 18.2 за 10 повторностей. Следующие – актиномицеты, которые представлены общим количеством до 14 колоний в пустой тестовой камере. Следует отметить, что среднее количество колоний как бактерий, так и актиномицетов уменьшается вдвое в условиях присутствия растений и при ионизации воздуха. Однако количество бактерий и актиномицетов в условиях присутствия растений уменьшается втрое и составляет соответственно 7 и 3 колонии.

Были определены грибы четырех видов. Мукор представлял собой наиболее способный гриб, и число его колоний равнялось в среднем 12. Однако для камер с растениями и ионизатором его количество сократилось до четырех раз, а для камер с растениями – до двенадцати раз. *Penicillium*, *Cladosporium*, *Fusarium* были представлены 5, 3 и 2 колониями в пустой опытной камере, а их количество уменьшалось до трех раз на каждый род грибов.

*Оценка степени очистки зелеными насаждениями.* На рис. 2 показаны различия между коэффициентами эффективности, рассчитанными для обоих диапазонов размеров 0.3 – 0.4 и 2 – 5 мкм. Максимальное значение степени эффективности было зарегистрировано в испытательной камере в комплекте с *T. fluminensis*, униполярным ионизатором и блокирующей решеткой и составляет 94 и 97% для размера частиц 0.3 – 0.4 мкм и 2 – 5 мкм соответственно. В условиях испытательной камеры с *T. fluminensis* эффективность очищающей способности снижалась вдвое как для 0.3 – 0.4, так и для 2 – 5 мкм. Кроме того, в течение исследуемого периода коэффициент эффективности был стабилен во всех случаях.

*Частицы пыли.* В ходе исследований была изучена возможность зеленых насаждений очищать воздух от частиц пыли размером 2 – 5 мкм. Выбранные размеры частиц воздуха использовались в качестве крупных пылевых частиц, способ-

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОЗДУХА ПОМЕЩЕНИЙ НА ПОЛИГОНАХ

ных переносить значительное количество микробного загрязнения и распространяться на полигонах и прилегающих к ним территориях.

Анализ графиков дает возможность предположить наличие тенденции к снижению концентрации пыли в зависимости от размеров поступающих и выводимых частиц в воздушные потоки. Возможно снижение концентрации аэрозолей за счет их прилипания к стенкам камеры и оседания на окружающих предметах. Однако причины такой зависимости, вероятно, связаны с различным химическим составом частиц разного размера, а также с их суммарным зарядом.

На рис. 2 видно, что присутствие растений в тестовой камере приводит к уменьшению концентрации пылевых частиц. Растения фиксируют на своей поверхности пылинки и очищают воздух до 30%.

Таким образом, анализ показывает снижение концентрации пылевых частиц при использовании *T. fluminensis*, униполярного ионизатора и блокадной решетки. Полученные результаты подтверждают эффективность использования биологического метода очистки воздуха, который можно применять в офисных помещениях, расположенных на полигонах, а также в жилых и служебных помещениях промышленных зданий, расположенных вблизи полигонов ТКО.

*Микробное загрязнение.* Результаты показывают, что испытываемые растения (*T. fluminensis*) в замкнутом объеме испытательной камеры обладают выраженным антибактериальным и противогрибковым действием. Накопление летучих веществ в объеме испытательной камеры в достаточном количестве существенно подавляет жизнеспособность микроорганизмов, присутствующих в воздухе. Эти данные согласуются с данными, полученными в ходе обзора литературы и подтверждают правильность выбора тест-растений. Кроме того, отмечается большая очищающая способность растений, произрастающих в России, от различных видов микробных загрязнений.

При определении наиболее эффективного режима подавления микроорганизмов необходимо учитывать, что фитонцидная активность испытываемых растений зависит от наличия ионов в воздушной камере.

В случае униполярных ионов с высокой концентрацией в тестовой камере происходит зарядка аэрозолей. Аэрозоли за счет электростатического отталкивания начинают интенсивно выноситься из объема камеры на стенки камеры и на листья растений. При контакте пылевого аэрозоля с заземленной металлической стенкой камеры он теряет собственный заряд. Из-за низкой адгезии к металлу эти аэрозоли снова загрязняют воздушную камеру. Этим объясняется отсутствие практического эффекта в камере очистки воздуха в присутствии ионов, но в отсутствие растений.

Так, листья растений имеют хорошо развитую площадь поверхности за счет естественной шероховатости устьиц и т. д., значительно превышающую геометрическую площадь листовой мозаики. Кроме того, аэрозоли, коснувшись поверхности листьев, покрытых воском, прилипают к воску и не возвращаются в воздушную камеру.

Полученные данные свидетельствуют о том, что растения являются природными фильтрами, обладающими способностью очищать воздух полигонов и прилегающих территорий от присутствующего в нем микробиологического загрязне-

ния. Полученные данные были использованы для разработки принципов системы биологической очистки от этого вида загрязнения для системы очистки воздуха внутри помещений.

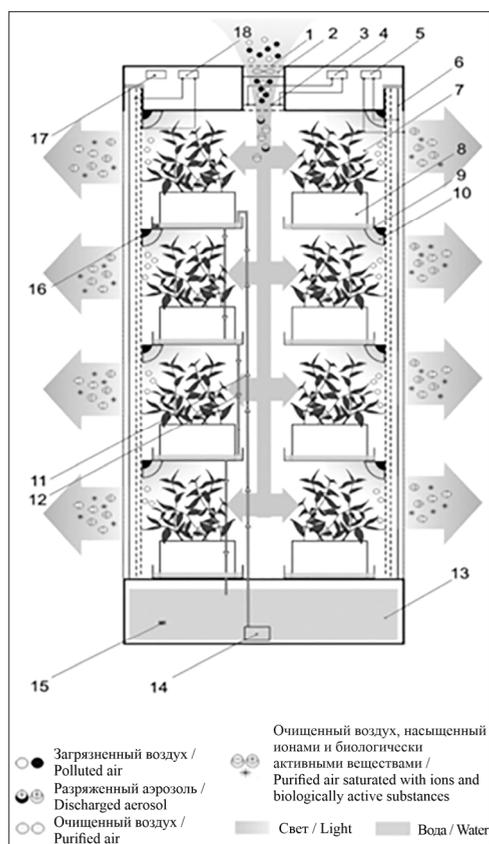
*Инженерное решение по очистке воздуха в помещении.* В Санкт-Петербургском политехническом университете разработан вертикальный аппаратно-биологический комплекс рециркуляционного типа (Устройство повышения качества воздуха, 2008). Этот комплекс позволяет эффективно очищать воздух помещений непроизводственных зданий от различного рода загрязняющих веществ.

Очистка воздуха внутри помещений является локальной задачей и может быть решена с помощью инженерных сооружений, именуемых фитомодулями (аппаратно-биологический комплекс). Фитомодуль представляет собой сложное инженерное сооружение, состоящее из различных видов растений с высокой скоростью изменения физико-химического состава воздуха для придания ему определенных свойств и характеристик, а также технических средств, обеспечивающих жизнедеятельность этих растений, контролирующих интенсивность биологических процессов в растениях (фотосинтез, поглощение аэрозольных загрязнителей и др.).

Применение специализированного аппаратно-биологического комплекса поз-

волит снизить микробную нагрузку на внутренние сооружения полигонов и сооружения на их прилегающих территориях.

Функциональная схема аппаратно-биологического комплекса представлена на рис. 3.



**Рис. 3.** Функциональная схема аппаратно-биологического комплекса: 1 – воздухозаборник; 2 – вентилятор; 3 – электроды униполярного ионизатора; 4 – источник питания униполярного ионизатора; 5 – источник постоянного напряжения; 6 – электрод биполярного ионизатора; 7 – растения; 8 – цветочные горшки; 9 – планки плантатора; 10 – светодиоды (LED); 11, 12 – водопровод; 13 – резервуар для воды; 14 – насос; 15, 16 – водомерный приемник; 17 – датчик; 18 – удерживающий потенциал

**Fig. 3.** Functional diagram of the apparatus-biological complex: 1 – air intake; 2 – fan; 3 – electrodes of the unipolar ionizer; 4 – power supply of the unipolar ionizer; 5 – direct current source; 6 – electrode of the bipolar ionizer; 7 – plants; 8 – flower pots; 9 – planter slats; 10 – light-emitting diodes (LED); 11, 12 – plumbing; 13 – water tank; 14 – pump; 15, 16 – water meter receiver; 17 – sensor; 18 – holding potential

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОЗДУХА ПОМЕЩЕНИЙ НА ПОЛИГОНАХ

Загрязненный воздух вентилятором (2) подается в комплекс с установками, находящимися на разных ярусах. Комплекс оборудован несущей вертикальной конструкцией с посадочными площадками, на которых установлены горшки с растениями. Конструкция позволяет осуществлять нижний полив растений. Гипоаллергенные минеральные грунты, используемые в качестве почвы для растений, практически исключают развитие патогенных микроорганизмов на их поверхности. Растения с расширенной функцией транспирации интенсивно освещают энергосберегающими лампами или светодиодными прожекторами (10), в результате чего резко увеличивается выход с поверхности листьев влаги и биологически активных веществ, в том числе фитонцидов.

В верхней части комплекса находится аппаратный модуль. Он обеспечивает работу генератора по выработке биполярных ионов и их удалению в воздухе помещения. Модули управления и контроля обрабатывают информационные данные, поступающие от датчиков и отражающие наличие воды в резервуаре (13) и на одной из посадочных площадок, и вырабатывают команду на очередной полив растений. В нижней части комплекса установлен резервуар для хранения воды.

Воздушный поток внутри комплекса формируется таким образом, чтобы аэрозольные скопления, проходящие через листья растений, осели на них. Влажные листья хорошо удерживают аэрозоли и фитонциды, инактивируют микроорганизмы. Наличие удерживающего потенциала (18) на перфорированных решетках исключает выход заряженных аэрозольных ступков из ограждения. В результате из комплекса выходит очищенный от аэрозольных и микробных загрязнений и увлажненный воздух, богатый биологически активными веществами. Минувя решетки, воздух насыщается легкими ионами в концентрациях по нормативам РФ СанПин 2.2.4.1294-03 и распределяется по помещению.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате лабораторных экспериментов были получены нижеописанные результаты.

Тестовые растения (*T. fluminensis*) обладают сильным антибактериальным и противогрибковым действием. Это характеризуется ускоренным снижением микробной обсемененности воздуха.

Имеется теоретическая возможность управлять выделением фитонцидов, а значит, влиять на бактерицидные и фунгицидные свойства растительных комплексов.

Наилучшие результаты по способности очистки воздуха показали испытательные камеры, содержащие установки для снижения аэрозольного загрязнения воздуха с заградительной решеткой и униполярным ионизатором. Возможности очистки воздуха со всеми необходимыми элементами в несколько раз выше, чем в пустой тестовой камере.

Исследования показывают эффективность биологического метода очистки воздуха от микробных загрязнений, поступающих с полигонов в помещения оперативного центра и в жилые и производственные здания, расположенные на прилегающих к ним территориях. Микробное загрязнение связано с выделением биогаза на полигонах и может привести к ослаблению здоровья. Таким образом, ис-

пользование аппаратно-биологических комплексов позволяет снизить негативное влияние на персонал и работников оперативных пунктов и прилегающие территории путем очистки воздуха.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Аликбаева Л. А., Фигуровский А. П., Васильев О. Д., Ермолаев-Маковский М. А., Меркурьева М. А., Мокроусова О. Н.* Изучение микробного загрязнения воздушной среды и оборудования станции биологической очистки промышленных сточных вод // Гигиена и санитария. 2010. № 5. С. 24 – 25.

*Масликов В. И., Чусов А. Н., Молодцов Д. В., Рыжакова М. Г.* Зональное определение эмиссий биогаза на полигоне ТБО для оценки геоэкологического состояния и обоснования управления процессами разложения отходов при рекультивации // Глобальная энергия. 2012. № 2 (147). С. 260 – 265.

*Масликов В. И., Чусов А. Н., Молодцов Д. В.* Исследования состава биогаза на полигоне твердых бытовых отходов // Безопасность в техносфере. 2013. Т. 2, № 6. С. 24 – 28. <https://doi.org/10.12737/2158>

Устройство повышения качества воздуха : пат. 82420 Рос. Федерация : МПК, А61L 9/12, 3/12 / Воробьев К. В., Бурцева В. С., Спичкин Г. Л. ; заявитель и патентообладатель Спичкин Георгий Леонидович. № 200813/22 ; заявл. 25.08.2008 ; опубл. 27.04.2009, 14 с.

*Цыбуля Н. В., Рычкова Н. А., Дульцева Г. Г., Скубневская Г. И.* Изучение возможностей некоторых декоративных растений как фильтров для очистки газовой среды помещений от формальдегида и других карбонильных соединений // Химия в интересах устойчивого развития. 2000. Т. 8, № 6. С. 881 – 884.

*Чусов А. Н., Зубкова М. Ю., Кораблев В. В., Масликов В. И., Молодцов Д. В.* Технология использования в топливных элементах водородосодержащей смеси на основе биогазов для энергообеспечения автономных потребителей // Глобальная энергия. 2013. № 4 (183). С. 78 – 85.

*Albrecht A., Fischer G., Brunemann-Stubbe G., Jäckel U., Kämpfer P.* Recommendations for study design and sampling strategies for airborne microorganisms, MVOC and odours in the surrounding of composting facilities // International Journal of Hygiene and Environmental Health. 2008. Vol. 211, iss. 1 – 2. P. 121 – 131. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2007.05.004>

*Andrianova M. Ju., Vorobjev K. V., Lednova Ju. A., Chusov A. N.* A short-term model experiment of organic pollutants treatment with aquatic macrophytes in industrial and municipal waste waters // Applied Mechanics and Materials. 2014. Vol. 587 – 589. P. 653 – 656. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.587-589.653>

*Bünger J., Schappler-Scheele B., Hilgers R., Hallier E.* A 5-year follow-up study on respiratory disorders and lung function in workers exposed to organic dust from composting plants // International Archives of Occupational and Environmental Health. 2007. Vol. 80, iss. 4. P. 306 – 312. <https://doi.org/10.1007/s00420-006-0135-2>

*Deportes I., Benoit-Guyod J. L., Zmirou D.* Hazard to man and the environment posed by the use of urban waste compost // The Science of the Total Environment. 1995. Vol. 172, iss. 2 – 3. P. 197 – 222. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(95\)04808-1](https://doi.org/10.1016/0048-9697(95)04808-1)

*Douwes J., Thorne P., Pearce N., Heederik D.* Bioaerosol health effects and exposure assessment: Progress and prospects // The Annals of Occupational Hygiene. 2003. Vol. 47, iss. 3. P. 187 – 2003. <https://doi.org/10.1093/annhyg/meg032>

*Fischer G., Albrecht A., Jäckel U., Kämpfer P.* Analysis of airborne microorganisms, MVOC and odour in the surrounding of composting facilities and implications for future investigations // International Journal of Hygiene and Environmental Health. 2008. Vol. 211, iss. 1 – 2. P. 132 – 142. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2007.05.003>

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОЗДУХА ПОМЕЩЕНИЙ НА ПОЛИГОНАХ

*Gorny R. L., Reponen T., Willeke K., Schmechel D., Robine E., Boissier M., Grinshpun S. A.* Fungal fragments as indoor air biocontaminants // *Applied and Environmental Microbiology*. 2002. Vol. 68, № 7. P. 3522 – 3531. <https://doi.org/10.1128/AEM.68.7.3522-3531.2002>

*Grisoli P., Rodolfi M., Villani S., Grignani E., Cottica D., Berri A., Maria Picco A., Dacarro C.* Assessment of airborne microorganism contamination in an industrial area characterized by an open composting facility and a wastewater treatment plant // *Environmental Research*. 2009. Vol. 109, iss. 2. P. 135 – 142. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2008.11.001>

*Hargreaves J. C., Adi M. S., Warman P. R.* A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture // *Agriculture Ecosystems & Environment*. 2008. Vol. 123, iss. 1 – 3. P. 1 – 14. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2007.07.004>

*Herr C. E. W., zur Nieden A., Jankofsky M., Stilianakis N. I., Boedeker R. H., Eikmann T. F.* Effects of bioaerosol polluted outdoor air on airways of residents: a cross sectional study // *Occupational and Environmental Medicine*. 2003. Vol. 60, iss. 5. P. 336 – 342. <https://doi.org/10.1136/oem.60.5.336>

*Hung H. F., Kuo Y. M., Chien C. C., Chen C. C.* Use of floating balls for reducing bacterial aerosol emissions from aeration in wastewater treatment processes // *Journal of Hazardous Materials*. 2010. Vol. 175, iss. 1 – 3. P. 866 – 871. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.10.090>

*Huttunen K., Kaarakainen P., Meklin T., Nevalainen A., Hirvonen M.-R.* Immunotoxicological properties of airborne particles at landfill, urban and rural sites and their relation to microbial concentrations // *Journal of Environmental Monitoring*. 2010. Vol. 12, iss. 6. P. 1368 – 1374. <https://doi.org/10.1039/c002579h>

*Kalwasinska A., Burkowska A.* Municipal landfill sites as sources of microorganisms potentially pathogenic to humans // *Environmental Sciences: Processes and Impacts*. 2013. Vol. 15, iss. 5. P. 1078 – 1086. <https://doi.org/10.1039/c3em30728j>

*Kalwasinska A., Burkowska A., Brzezinska M.S.* Exposure of workers of municipal landfill site to bacterial and fungal aerosol // *Clean – Soil, Air, Water*. 2014. Vol. 42, iss. 10. P. 1337 – 1343. <https://doi.org/10.1002/clen.201300385>

*Le Goff O., Godon J.-J., Milferstedt K., Bacheley H., Steyer J.-P., Wery N.* A new combination of microbial indicators for monitoring composting bioaerosols // *Atmospheric Environment*. 2012. Vol. 61. P. 428 – 433. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.07.081>

*Liang R., Xiao P., She R., Han S., Chang L., Zheng L.* Culturable airborne bacteria in outdoor poultry-slaughtering facility // *Microbes and Environments*. 2013. Vol. 28, iss. 2. P. 251 – 256. <https://doi.org/10.1264/jsme2.ME12178>

*Lis D. O., Ulfvig K., Wlazlo A., Pastuszka J. S.* Microbial air quality in offices at municipal landfills // *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. 2004. Vol. 1, iss. 2. P. 62 – 68. <https://doi.org/10.1080/15459620490275489>

*Nikaee M., Hatamzadeh M., Hasanzadeh A., Sahami E., Joodan I.* Bioaerosol emissions arising during application of municipal solid-waste compost // *Aerobiologia*. 2009. Vol. 25, iss. 1. P. 1 – 6. <https://doi.org/10.1007/s10453-008-9102-6>

*Nolasco D., Lima R. N., Hernandez P. A., Perez N. M.* Non-controlled biogenic emissions to the atmosphere from Lazareto Landfill, Tenerife, Canary Islands // *Environmental Science and Pollution Research*. 2008. Vol. 15, iss. 1. P. 51 – 60. <https://doi.org/10.1065/espr2007.02.392>

*Palmiotto M., Fattore E., Paiano V., Celeste G., Colombo A., Davoli E.* Influence of a municipal solid waste landfill in the surrounding environment: Toxicological risk and odor nuisance effects // *Environment International*. 2014. Vol. 68. P. 16 – 24. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.03.004>

*Ryzhakova M. G., Maslikov V. I., Chusov A. N., Korablev V. V.* The environmental problem of household hazardous waste generation and treatment // *Applied Mechanics and Materials*. 2014. Vol. 675 – 677. P. 761 – 769. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.675-677.761>

*Soreanu G., Dixon M., Darlington A.* Botanical biofiltration of indoor gaseous pollutants – A mini-review // *Chemical Engineering Journal*. 2013. Vol. 229. P. 585 – 594. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.06.074>

*Taha M. P. M., Drew G. H., Longhurst P. J., Smith R., Pollard S. J. T.* Bioaerosol releases from compost facilities: Evaluating passive and active source terms at a green waste facility for improved risk assessments // *Atmospheric Environment*. 2006. Vol. 40, iss. 6. P. 1159 – 1169. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.11.010>

*Vitezova M., Vitez T.* Microbiological characteristics of bioaerosols at the composting plant // *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2013. Vol. 61, № 5. P. 1479 – 1485. <https://doi.org/10.11118/actaun201361051479>

*Wery N.* Bioaerosols from composting facilities – a review // *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*. 2014. Vol. 4. Article number 42. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2014.00042>

*Zhang H. J., Liu X. H., Wang S. J., Fang L., Zhang L. H.* Research on health risk assessment methodologies of municipal solid waste landfill // *Advanced Materials Research*. 2014. Vol. 989 – 994. P. 5596 – 5600. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.989-994.5596>

*Zhazhkov V. V., Zubkova M. Yu., Maslikov V. I., Molodtsov D. V., Chusov A. N., Semenenko D. V.* Model calculation of energy carriers expenses on the basis of biogas in system reformer – fuel cell for autonomous power supply systems // *Applied Mechanics and Materials*. 2015. Vol. 725 – 726. P. 1602 – 1607.

*Zinchenko A. V., Paramonova N. N., Privalov V. I., Reshednikov A. I.* Estimation of methane emissions in the St. Petersburg, Russia, region: An atmospheric nocturnal boundary layer budget approach // *Journal of Geophysical Research. Atmospheres*. 2002. Vol. 107, iss. 20. P. ACH 2-1 – ACH 2-11. <https://doi.org/10.1029/2001JD001369>

*Zubkova M. Yu., Maslikov V. I., Molodtsov D. V., Chusov A. N.* Experimental research of hydrogenous fuel production from biogas for usage in fuel cells of autonomous power supply systems // *Advanced Materials Research*. 2014 a. Vol. 941 – 944. P. 2107 – 2111. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.941-944.2107>

*Zubkova M. Yu., Maslikov V. I., Molodtsov D. V., Chusov A. N.* The ways assessment of direct production electricity and heat from hydrogenous fuel based on biogas for autonomous consumers // *Applied Mechanics and Materials*. 2014 b. Vol. 587 – 589. P. 330 – 337. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.587-589.330>

## Indoor air quality assessment on polygons for solid municipal waste for microbial contamination and a method of its cleaning

K. V. Vorobyev<sup>1</sup>, A. N. Chusov<sup>1</sup>, N. A. Politaeva<sup>1✉</sup>, A. V. Shchur<sup>2</sup>

*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University  
29 Polytechnicheskaya St., Saint Petersburg 195251, Russia*

*<sup>2</sup>Belarusian-Russian University  
43 Prospekt Mira, Mogilev 212000, Republic of Belarus*

Received: 30 October 2022 / revised: 2 December 2022 / accepted: 2 December 2022

**Abstract.** Landfill biogas contains large amounts of toxic and harmful impurities and may be a source of microbiological contamination of both the complex municipal waste landfill itself and adjacent territories. This paper uses modern biotechnologies designed to protect the environment, to study the quantitative and qualitative composition of biogas for harmful factors, as well as for harmful substance removal from biogas. An assessment was made of air purification in the premises near landfills and adjacent territories using green plantations and a biological system based on an apparatus-biological complex for purification from microbiological contamination. The data obtained in our laboratory studies show that such apparatus-biological complexes can reduce the negative influence on the personnel and workers at operative points and the inhabitants of adjacent territories by air purification.

**Keywords:** indoor air, apparatus-biological complex, air purification, microbial pollution, dust particles, landfill, adhesion, *Tradescantia fluminensis*

**For citation:** Vorobyev K. V., Chusov A. N., Politaeva N. A., Shchur A. V. Indoor air quality assessment on polygons for solid municipal waste for microbial contamination and a method of its cleaning. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2023, no. 1, pp. 20–36 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-1-20-36>

## REFERENCES

Alikbayeva L. A., Figurowsky A. P., Vasilyev O. D., Yermolayev-Makovsky M. A., Merkuryeva M. A., Mokrousova O. N. Investigation of microbial contamination of the air and equipment of a biological waste water purification station. *Hygiene and Sanitation*, 2010, no. 5, pp. 24–25 (in Russian).

Maslikov V. I., Chusov A. N., Molodtsov D. V., Ryjakova M. G. The area-based determination of biogas emission from MSW landfill for the geoecological conditions assessment and substantiation of management of waste decomposition in the process of recultivation. *Global Energy*, 2012, no. 2 (147), pp. 260–265 (in Russian).

---

✉ *Corresponding author.* Higher School of Hydraulic and Power Engineering Construction, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Russia.

*ORCID and e-mail addresses:* Konstantin V. Vorobyov: <https://orcid.org/0000-0002-8870-5843>, vorobiev\_kv@spbstu.ru; Alexander N. Chusov: <https://orcid.org/0000-0002-1388-8649>, chusov\_an@spbstu.ru; Natalia A. Politaeva: <https://orcid.org/0000-0002-5914-6210>, politaevana1971@gmail.com; Alexander V. Schur: <https://orcid.org/0000-0002-9558-7005>, shchur@yandex.by.

Maslikov V. I., Chusov A. N., Molodtsov D. V. Researches of biogas composition on landfill. *Safety in Technosphere*, 2013, vol. 2, no. 6, pp. 24–28 (in Russian). <https://doi.org/10.12737/2158>

*Air Quality Improvement Device*. Patent RU 82420 U1. Int. Cl. A61L 9/12, 3/12. Vorobyev K. V., Burtseva V. S., Spichkin G. L.; Proprietor: Georgy L. Spichkin. Application: 200813/22, Published: 25.08.2008, Date of publication 27.04.2009, 14 p. (in Russian).

Tsybulya N. V., Rychkova N. A., Dultseva G. G., Skubnevskaya G. I. Studying the possibilities of some ornamental plants as filters for cleaning the gas-air environment of premises from formaldehyde and other carbonyl compounds. *Chemistry for Sustainable Development*, 2000, vol. 8, no. 6, pp. 881–884 (in Russian).

Chusov A. N., Zubkova M. Yu., Korablev V. V., Maslikov V. I., Molodtsov D. V. The technology of using hydrogen-containing mixtures based on biogas in fuel cells for power supply of autonomous consumers. *Global Energy*, 2013, no. 4 (183), pp. 78–85 (in Russian).

Albrecht A., Fischer G., Brunnemann-Stubbe G., Jäckel U., Kämpfer P. Recommendations for study design and sampling strategies for airborne microorganisms, MVOC and odours in the surrounding of composting facilities. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 2008, vol. 211, iss. 1–2, pp. 121–131. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2007.05.004>

Andrianova M. Ju., Vorobjev K. V., Lednova Ju. A., Chusov A. N. A short-term model experiment of organic pollutants treatment with aquatic macrophytes in industrial and municipal waste waters. *Applied Mechanics and Materials*, 2014, vol. 587–589, pp. 653–656. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.587-589.653>

Bünger J., Schappler-Scheele B., Hilgers R., Hallier E. A 5-year follow-up study on respiratory disorders and lung function in workers exposed to organic dust from composting plants. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 2007, vol. 80, iss. 4, pp. 306–312. <https://doi.org/10.1007/s00420-006-0135-2>

Deportes I., Benoit-Guyod J. L., Zmirou D. Hazard to man and the environment posed by the use of urban waste compost. *The Science of the Total Environment*, 1995, vol. 172, iss. 2–3, pp. 197–222. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(95\)04808-1](https://doi.org/10.1016/0048-9697(95)04808-1)

Douwes J., Thorne P., Pearce N., Heederik D. Bioaerosol health effects and exposure assessment: Progress and prospects. *The Annals of Occupational Hygiene*, 2003, vol. 47, iss. 3, pp. 187–2003. <https://doi.org/10.1093/annhyg/meg032>

Fischer G., Albrecht A., Jäckel U., Kämpfer P. Analysis of airborne microorganisms, MVOC and odour in the surrounding of composting facilities and implications for future investigations. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 2008, vol. 211, iss. 1–2, pp. 132–142. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2007.05.003>

Gorny R. L., Reponen T., Willeke K., Schmechel D., Robine E., Boissier M., Grinshpun S. A. Fungal fragments as indoor air biocontaminants. *Applied and Environmental Microbiology*, 2002, vol. 68, no. 7, pp. 3522–3531. <https://doi.org/10.1128/AEM.68.7.3522-3531.2002>

Grisoli P., Rodolfi M., Villani S., Grignani E., Cottica D., Berri A., Maria Picco A., Dacarro C. Assessment of airborne microorganism contamination in an industrial area characterized by an open composting facility and a wastewater treatment plant. *Environmental Research*, 2009, vol. 109, iss. 2, pp. 135–142. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2008.11.001>

Hargreaves J. C., Adi M. S., Warman P. R. A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2008, vol. 123, iss. 1–3, pp. 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2007.07.004>

Herr C. E. W., zur Nieden A., Jankofsky M., Stilianakis N. I., Boedeker R. H., Eikmann T. F. Effects of bioaerosol polluted outdoor air on airways of residents: a cross sectional study. *Occupational and Environmental Medicine*, 2003, vol. 60, iss. 5, pp. 336–342. <https://doi.org/10.1136/oem.60.5.336>

Hung H. F., Kuo Y. M., Chien C. C., Chen C. C. Use of floating balls for reducing bacterial aerosol emissions from aeration in wastewater treatment processes. *Journal of Hazardous Materials*, 2010, vol. 175, iss. 1–3, pp. 866–871. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.10.090>

Huttunen K., Kaarakainen P., Meklin T., Nevalainen A., Hirvonen M.-R. Immunotoxicological properties of airborne particles at landfill, urban and rural sites and their relation to microbial concentrations. *Journal of Environmental Monitoring*, 2010, vol. 12, iss. 6, pp. 1368–1374. <https://doi.org/10.1039/c002579h>

Kalwasinska A., Burkowska A. Municipal landfill sites as sources of microorganisms potentially pathogenic to humans. *Environmental Sciences: Processes and Impacts*, 2013, vol. 15, iss. 5, pp. 1078–1086. <https://doi.org/10.1039/c3em30728j>

Kalwasinska A., Burkowska A., Brzezinska M. S. Exposure of workers of municipal landfill site to bacterial and fungal aerosol. *Clean – Soil, Air, Water*, 2014, vol. 42, iss. 10, pp. 1337–1343. <https://doi.org/10.1002/clen.201300385>

Le Goff O., Godon J.-J., Milferstedt K., Bacheley H., Steyer J.-P., Wery N. A new combination of microbial indicators for monitoring composting bioaerosols. *Atmospheric Environment*, 2012, vol. 61, pp. 428–433. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.07.081>

Liang R., Xiao P., She R., Han S., Chang L., Zheng L. Culturable airborne bacteria in outdoor poultry-slaughtering facility. *Microbes and Environments*, 2013, vol. 28, iss. 2, pp. 251–256. <https://doi.org/10.1264/j sme2.ME12178>

Lis D. O., Ulfig K., Wlazlo A., Pastuszka J. S. Microbial air quality in offices at municipal landfills. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 2004, vol. 1, iss. 2, pp. 62–68. <https://doi.org/10.1080/15459620490275489>

Nikaeen M., Hatamzadeh M., Hasanzadeh A., Sahami E., Joodan I. Bioaerosol emissions arising during application of municipal solid-waste compost. *Aerobiologia*, 2009, vol. 25, iss. 1, pp. 1–6. <https://doi.org/10.1007/s10453-008-9102-6>

Nolasco D., Lima R. N., Hernandez P. A., Perez N. M. Non-controlled biogenic emissions to the atmosphere from Lazareto Landfill, Tenerife, Canary Islands. *Environmental Science and Pollution Research*, 2008, vol. 15, iss. 1, pp. 51–60. <https://doi.org/10.1065/espr2007.02.392>

Palmiotto M., Fattore E., Paiano V., Celeste G., Colombo A., Davoli E. Influence of a municipal solid waste landfill in the surrounding environment: Toxicological risk and odor nuisance effects. *Environment International*, 2014, vol. 68, pp. 16–24. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.03.004>

Ryzhakova M. G., Maslikov V. I., Chusov A. N., Korablev V. V. The environmental problem of household hazardous waste generation and treatment. *Applied Mechanics and Materials*, 2014, vol. 675–677, pp. 761–769. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.675-677.761>

Soreanu G., Dixon M., Darlington A. Botanical biofiltration of indoor gaseous pollutants – A mini-review. *Chemical Engineering Journal*, 2013, vol. 229, pp. 585–594. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.06.074>

Taha M. P. M., Drew G. H., Longhurst P. J., Smith R., Pollard S. J. T. Bioaerosol releases from compost facilities: Evaluating passive and active source terms at a green waste facility for improved risk assessments. *Atmospheric Environment*, 2006, vol. 40, iss. 6, pp. 1159–1169. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.11.010>

Vitezova M., Vitez T. Microbiological characteristics of bioaerosols at the composting plant. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 2013, vol. 61, no. 5, pp. 1479–1485. <https://doi.org/10.11118/actaun201361051479>

Wery N. Bioaerosols from composting facilities – a review. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 2014, vol. 4, article number 42. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2014.00042>

Zhang H. J., Liu X. H., Wang S. J., Fang L., Zhang L. H. Research on health risk assessment methodologies of municipal solid waste landfill. *Advanced Materials Research*, 2014, vol. 989–994, pp. 5596–5600. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.989-994.5596>

Zhazhkov V. V., Zubkova M. Yu., Maslikov V. I., Molodtsov D. V., Chusov A. N., Semenenko D. V. Model calculation of energy carriers expenses on the basis of biogas in system reformer – fuel cell for autonomous power supply systems. *Applied Mechanics and Materials*, 2015, vol. 725–726, pp. 1602–1607.

Zinchenko A. V., Paramonova N. N., Privalov V. I., Reshednikov A. I. Estimation of methane emissions in the St. Petersburg, Russia, region: An atmospheric nocturnal boundary layer budget approach. *Journal of Geophysical Research. Atmospheres*, 2002, vol. 107, iss. 20, pp. ACH 2-1 – ACH 2-11. <https://doi.org/10.1029/2001JD001369>

Zubkova M. Yu., Maslikov V. I., Molodtsov D. V., Chusov A. N. Experimental research of hydrogenous fuel production from biogas for usage in fuel cells of autonomous power supply systems. *Advanced Materials Research*, 2014 a, vol. 941–944, pp. 2107–2111. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.941-944.2107>

Zubkova M. Yu., Maslikov V. I., Molodtsov D. V., Chusov A. N. The ways assessment of direct production electricity and heat from hydrogenous fuel based on biogas for autonomous consumers. *Applied Mechanics and Materials*, 2014 b, vol. 587–589, pp. 330–337. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.587-589.330>

Оригинальная статья

УДК 574.24:581.451

<https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-1-37-57>

## ГРУППОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ЛИСТА *BETULA PENDULA* ROTH (BETULACEAE, MAGNOLIÓPSIDA) В ГРАДИЕНТАХ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ И ТЕХНОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПОЧВ

Т. В. Жуйкова <sup>✉</sup>, Э. В. Мелинг, А. С. Попова

Нижнетагильский государственный социально-педагогический институт (филиал) ФГАОУ ВО «Российский государственный профессионально-педагогический университет»  
Россия, 622031, г. Нижний Тагил, ул. Красногвардейская, д. 57

Поступила в редакцию 08.01.2023 г., после доработки 28.01.2023 г., принята 30.01.2023 г.

**Аннотация.** Изучена групповая изменчивость морфологических признаков листа *Betula pendula* Roth в градиентах неблагоприятных погодных условий и техногенной трансформации почвы. Исследования проведены в 2016 – 2019 гг. на территории Притагильской зоны Среднего Урала. Установлено, что большинство изученных признаков листа имеют средний уровень варьирования, высокий – характерен индексу формы, низкий – индексу листовой пластинки и углам между главной и боковой жилкой первого порядка, расположенным в средней и верхней частях листа. В градиенте ухудшения погоды изменчивость признаков повышается, в градиенте техногенной трансформации почв – снижается. Методом главных компонент выделены морфологические признаки, которые вносят наибольший вклад в изменчивость размера и формы листа. В большей степени изменчивость листа определяют мерные признаки. Аллометрические признаки более стабильны. Для оценки устойчивости организма к неблагоприятным факторам предложено использовать коэффициент стабильности, отражающий количество переходов признаков с одного уровня изменчивости на другой. Данный показатель возрастает как в градиенте техногенной трансформации почв, так и в градиенте неблагоприятности погоды.

**Ключевые слова:** *Betula pendula*, групповая изменчивость, морфологические признаки листа, погодные условия, техногенная трансформация почвы

**Для цитирования.** Жуйкова Т. В., Мелинг Э. В., Попова А. С. Групповая изменчивость морфологических признаков листа *Betula pendula* Roth (Betulaceae, Magnoliópsida) в градиентах погодных условий и техногенной трансформации почв // Поволжский экологический журнал. 2023. № 1. С. 37 – 57. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-1-37-57>

<sup>✉</sup> Для корреспонденции. Кафедра естественных наук и физико-математического образования Нижнетагильского государственного социально-педагогического института (филиал) ФГАОУ ВО «Российский государственный профессионально-педагогический университет».

ORCID и e-mail адреса: Жуйкова Татьяна Валерьевна: <https://orcid.org/0000-0001-8658-7372>, [hbft@rambler.ru](mailto:hbft@rambler.ru); Мелинг Элеонора Васильевна: [meling-e@mail.ru](mailto:meling-e@mail.ru); Попова Анастасия Сергеевна: [stassy.popova@yandex.ru](mailto:stassy.popova@yandex.ru).

## ВВЕДЕНИЕ

Изучение морфологической структуры растений и изменчивости отдельных признаков дает представление об их адапционных механизмах в условиях действия неблагоприятных факторов окружающей среды. При изучении изменчивости растений наиболее часто используют органы с дифференцированным и ограниченным ростом (Абдуллаева и др., 2008). В качестве такого объекта исследования может выступать лист, выполняющий важные физиологические функции (Хикматуллина, 2013). Совокупность данных по всем проявлениям изменчивости вместе с данными о параметрах роста и развития дают достаточно наглядную картину о воздействии конкретного неблагоприятного фактора на организм или популяцию (Малков, Нурминская, 2019).

Результаты исследований влияния техногенного загрязнения окружающей среды на морфологические признаки листа и их изменчивость в литературе представлены достаточно широко, например, автотранспортного загрязнения (Савинов, Солошенко, 2002; Турмухаметова, 2005; Дрожжина, 2019; Клевцова, Михеев, 2020a); урбано среды (Полонский, Полякова, 2014; Савинцева, 2015; Клевцова, Юранова, 2017; Клевцова, Михеев, 2020б; Кожевников и др., 2022); техногенного загрязнения воздушного бассейна (Мазная, Лянгузова, 2010; Зиятдинова и др., 2012; Убаева, Муцалова, 2013; Соколова, Еремина, 2014). Влияние погодных условий изучено в меньшей степени (Банаев, 1996; Мигалина и др., 2009; Магомедова, 2019; Кириллова, Кириллов, 2021, 2022; Givnish, 1984; Warren et al., 2006). Особый интерес имеет исследование сочетанного действия экологических факторов на морфологическую структуру и изменчивость листьев растений.

Цель работы – определить групповую изменчивость в градиентах техногенной трансформации окружающей среды и неблагоприятных погодных условий и выявить морфологические признаки, которые вносят наибольший вклад в изменение формы и размеров листа *Betula pendula*.

Обсуждается гипотеза: реакция растений по показателю изменчивости морфологических признаков листа на исследуемые градиенты зависит от природы действующего фактора. Техногенная трансформация почвы способствует выработке устойчивости организма к погодным условиям. Следствием этого является низкая изменчивость признаков у растений техногенно нарушенных территорий по сравнению с фоновыми независимо от степени благоприятности погоды.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объект исследования: береза повислая (*Betula pendula* Roth, 1788), семейство березовые (Betulaceae S. F. Gray) (Князев и др., 2018). Число хромосом  $2n = 28$  (42) (Числа хромосом..., 1990). Листья до 7 см длиной, бывают яйцевидной, ромбической или треугольно-ромбической формы, ширококлиновидные в основании, длиннозаостренные на верхушке. По краю – двоякоострозубчатые (кроме основания). Длина черешка 2–3 см (Бульгин, 1991; Горчаковский и др., 1994; Попова и др., 2005; Абаймов, 2009; Декоративные растения..., 2013). *B. pendula* относится к растениям с широким ареалом обитания, распространена в разных природно-климатических зонах. Пластичная в отношении эдафических факторов: светлост-

ГРУППОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ЛИСТА

бивый мезофит, микротерм, мезотроф, эдификатор коренных березовых лесов, антропогенно-прогрессивный неустойчивый эдификатор временных фитоценозов на гарях и вырубках и ассектатор коренных хвойных и широколиственных лесов (Декоративные растения..., 2013).

Сбор материала выполнен в пяти фитоценозах Притагильской зоны Среднего Урала (60° в.д., 58° с.ш., таежная географическая зона, подзона южной тайги). Места сбора материала различаются эдафическими условиями, связанными с особенностями физико-химического состава почв и загрязнением их тяжелыми металлами (Жуйкова и др., 2015). В качестве показателя техногенной трансформации почв выступает индекс суммарной токсической нагрузки (Z) (Безель и др., 1998). В соответствии с последним исследованной территории отнесены к фоновой (Ф), буферной (Б-1 и Б-2) и импактной (И-1 и И-2) зонам загрязнения. Названия зон даны в соответствии с номенклатурой ЮНЕП (Global..., 1973). Характеристика почв, растительных сообществ и почвенных микробиоценозов данных территорий подробно описаны в наших предыдущих исследованиях (Ившина и др., 2014; Жуйкова и др., 2015). В табл. 1 дана краткая характеристика участков.

**Таблица 1.** Характеристика участков сбора биологического материала  
**Table 1.** Characteristics of the sites for collecting biological material

Участок / Site	Географическое положение / Geographic location	Z, отн. ед. / Z, rel. units	Древесный ярус фитоценозов / Tree layer of phytocenoses
Фон (Ф) / Background (B)	57°57'50" N, 60°15'11" E	1.0	Формула древостоя – 7Б3Е, сомкнутость крон – 0.6, высота – 15 – 18 м / Forest stand ratio – 7B3S, crown density – 0.6, height – 15–18 m
Буфер-1 (Б-1) / Buffer-1 (B-1)	57°52'18" N, 59°59'39" E	3.33	Формула древостоя – 8Б2Ос, сомкнутость крон – 0.8, высота яруса – 13 – 16 м / Forest stand ratio – 8B2As, crown density – 0.8, height of layer – 13–16 m
Буфер-2 (Б-2) / Buffer-2 (B-2)	57°58'13" N, 59°58'35" E	6.19	Формула древостоя – 7Б3С, сомкнутость крон – 0.6, высота яруса – 10 – 12 м / Forest stand ratio – 7B3P, crown density – 0.6, height of layer – 10–12 m
Импакт-1 (И-1) / Impact-1 (I-1)	57°54'14" N, 59°54'41" E	22.78	Древостой двухярусный, сомкнутость крон – 0.8, высота – 10 – 18 м; 1-й ярус: формула 7Б3Ос, сомкнутость крон – 0.3, высота 15 – 18 м; 2-й ярус: формула 8Б 2И, сомкнутость крон – 0.6, высота 10 – 14 м / two-layer forest stand, crown density – 0.8, height – 10–18 m; the first layer: forest stand ratio – 7B3As, crown density – 0.3, height 15 – 18 m; the second layer: forest stand ratio – 8B2W, crown density – 0.6, height 10–14 m
Импакт-2 (И-2) / Impact-2 (I-2)	57°58'12" N, 59°57'21" E	30.0	Формула древостоя – 8Б2И, сомкнутость крон – 0.8, высота 10 – 12 м / Forest stand ratio – 8B2W, crown density – 0.8, height 10–12 m

*Примечание.* Z – индекс суммарной токсической нагрузки.

*Note.* Z is the total toxic load index.

Листья отбирали в июле 2016 – 2019 гг. Для оценки погодных условий использован интегральный показатель степени благоприятности погоды (СБП, балл) (Жуйкова и др., 2022). Последний базируется на факторах, которые вносят наибольший вклад в

общую изменчивость погоды в период вегетации и сбора материала. На основании соответствия погодных факторов климатической норме, характерной для данной местности, и оптимальным значениям гидротермического коэффициента Т. Г. Селянинова (ГТК) в итоге вычислен средний балл благоприятности погоды для каждого исследуемого года. С учетом балльной оценки исследуемые сезоны наблюдений ранжированы следующим образом, образуя градиент благоприятности погоды, балл: 2017 г. – СБП = 3.24, 2016 г. – 3.38, 2018 г. – 3.43, 2019 г. – 4.00.

Таким образом, в работе рассмотрено влияние на групповую изменчивость морфологических признаков листа двух экологических факторов – техногенной трансформации почв и степени благоприятности погоды.

Материал собран на опушках лесных сообществ с преобладанием березы. Листья отбирали после остановки роста, с учетом отсутствия признаков заболеваний и повреждений. Сбор листьев выполнен с деревьев, находящихся в средневозрастном онтогенетическом состоянии, в пределах нижней части кроны, на уровне поднятой руки, с веток максимально доступных, расположенных с четырех сторон света. Для анализа изменчивости морфологических признаков листа в каждом фитоценозе отбирали по 10 листьев с укороченных побегов с 20 деревьев *B. pendula*. Материал фиксировали методом гербаризации (Жуйкова и др., 2020). Далее листья сканировали с адаксиальной стороны с помощью многофункционального устройства Samsung SCX-3400 (Samsung, Корея) при разрешении 1275×1755 пикселей. Измерение морфологических признаков листа выполняли в программе Bio.exe. Полученные числовые значения преобразовывали из пикселей в миллиметры.

Измеряли следующие морфологические признаки листа: парные (19 признаков с правой и с левой сторон листа): длины первых от основания пяти боковых жилок (БЖ) первого порядка, углы между центральной и первыми пятью БЖ первого порядка, расстояние между концами первых пяти БЖ первого порядка, расстояние между основаниями первых пяти БЖ первого порядка, ширина половины листовой пластинки (ШПЛ); непарные (5 признаков): расстояние от кончика листовой пластинки (ЛП) до ее самой широкой части, длина листовой пластинки (ДЛП), ширина листовой пластинки (ШЛП – измеряли в ее самой широкой части), длина черешка (ДЧ), расстояние от самой широкой части ЛП до ее основания (рассчитывали как разность между длиной ЛП и расстоянием от ее кончика до самой широкой части). Также анализировали четыре аллометрических параметра: индекс формы (ИФ) – отношение расстояния от верхушки листовой пластинки до самого широкого места к расстоянию от самого широкого места до основания ЛП, индекс листовой пластинки (ИЛП) – отношение длины листовой пластинки к ее ширине, индекс листа (ИЛ) – отношение длины листовой пластинки к длине черешка, индекс вытянутости верхушки (ИВВ) – отношение расстояния от кончика до самого широкого места листовой пластинки к ДЛП.

Всего проведено 58750 измерений. Учитывая замечания методического характера (Лайус и др., 2009; Козлов, 2017), сбор биологического материала, его камеральная обработка и измерения выполнены одним оператором с использованием единых методических подходов, одного оборудования и программного обеспечения (см. выше).

## ГРУППОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ЛИСТА

*Статистический анализ результатов.* Степень изменчивости признаков оценивали на основании значений коэффициента вариации ( $C_v$ ) и его ошибки ( $S_{C_v}$ ). Для определения уровня групповой изменчивости использовали шкалу С. А. Мамаева (1970): очень низкий уровень –  $C_v < 7\%$ ; низкий –  $C_v 8 - 12\%$ ; средний –  $C_v 13 - 20\%$ ; повышенный –  $C_v 21 - 30\%$ ; высокий –  $C_v 31 - 40\%$ ; очень высокий –  $C_v > 40\%$ . Дальнейший анализ включал вычисление средней арифметической  $C_v$  и стандартного отклонения ( $m \pm SE$ ). Зависимость групповой изменчивости от техногенной трансформации почвы и степени благоприятности погоды оценивали с помощью ранговой корреляции Спирмена ( $R_s$ ), влияние факторов – двухфакторным дисперсионным анализом (модель с фиксированными эффектами), вычисляли  $F$  – критерий и долю влияния фактора (%). Для попарных сравнений использован критерий  $\chi^2$ . Выделение морфологических признаков листа, вносящих наибольший вклад в его изменчивость и определяющих форму и размеры листа, выполнено факторным анализом (методы: главных компонент и факторов максимальной вероятности; вращение (поворот): варимаксимальное нормализованное). Статистический анализ данных выполнен в ПСП Statistica v. 13.0 (StatSoft, Inc., 2018).

## РЕЗУЛЬТАТЫ

**Средний уровень изменчивости признаков.** На основании средних значений коэффициентов вариации каждого изученного морфологического признака они разделены на четыре группы (табл. 2). Больше число признаков имеют средний уровень варьирования, высокий – индекс формы, низкий – ИЛП и углы средней и верхней части листа. Интерес представляют признаки, которые изменяют уровень варьирования в разных частях листа. Так, признак «длина жилки» повышает уровень изменчивости от основания к верхушке листа. Признаки «расстояние между основаниями боковых жилок первого порядка» и «угол» – понижают уровень варьирования от основания к верхушке.

**Таблица 2.** Характеристика морфологических признаков по уровню изменчивости  
**Table 2.** Characterization of morphological features by the level of variability

Признаки / Features	Коэффициент вариации, % / The coefficient of variation, %	Уровень изменчивости (диапазон по С. А. Мамаеву, 1970) / Variability level (range according to S. A. Mamaev, 1970)
1	2	3
Индекс листовой пластинки / Leaf area index	9.19	Низкий / Low (8.00–12.99)
Угол 2, 3, 4, 5 / Angle 2, 3, 4, 5	11.32–12.92	
Угол 1 / Angle 1	15.34	
Длина 1, 2, 3 боковых жилок / Length of 1, 2, 3 lateral veins	14.94–17.87	Средний / Middle (13.00–20.99)
Расстояние между основаниями боковых жилок первого порядка 2–3, 3–4, 4–5 / Distance between the bases of the lateral veins of the first order 2–3, 3–4, 4–5	17.34–18.92	
Расстояние между концами боковых жилок первого порядка 1–2; 2–3; 3–4; 4–5 / Distance between the ends of the lateral veins of the first order 1–2; 2–3; 3–4; 4–5	17.73–20.26	
Расстояние от кончика листа до самого широкого места / Distance from leaf tip to the widest part	17.96	

Окончание табл. 2  
Table 2. Continuation

1	2	3
Ширина листовой пластинки / Lamina width	14.72	Средний / Middle (13.00–20.99)
Длина листовой пластинки / Lamina length	14.51	
Ширина половинки листа / Half leaf width	15.65	
Индекс листа / Leaf index	20.58	
Длина 4, 5 боковых жилок / Length of 4, 5 lateral veins	23.08–29.18	Повышенный / Heightened (21.00–30.99)
Расстояние между основаниями боковых жилок первого порядка 1–2 / Distance between the bases of the lateral veins of the first order 1–2	24.36	
Расстояние от самой широкой части до основания листовой пластинки / Distance from the widest part to the base of the leaf blade	25.48	
Длина черешка / Petiole length	21.51	Высокий / High (31.00–40.99)
Индекс формы / Shape index	31.40	

**Уровень варьирования морфологических признаков листа в градиентах экологических факторов.** Анализ изменения уровней варьирования признаков проведен: 1) в градиенте техногенной трансформации почвы отдельно в благоприятный (СБП = 4.0 балла) и неблагоприятный (СБП = 3.24 балла) годы; 2) в градиенте неблагоприятности погоды (СБП: 4.0 → 3.24 балла) у растений, произрастающих в пределах каждого исследуемого участка.

Средние значения коэффициентов вариации всех признаков листа для каждого участка в определенный год представлены в табл. 3. Почти все показатели укладываются в диапазон изменчивости среднего уровня. Исключение составляют средние значения коэффициентов вариации признаков листа растений фонового участка в год с СБП = 3.43 балла (слева и справа) и в год с СБП = 3.24 балла (слева). В градиенте неблагоприятности погоды исследуемый показатель у растений со всех участков увеличивается, однако статистически значимая отрицательная зависимость от фактора установлена только в импактной зоне, что подтверждено методом ранговой корреляции Спирмена (см. табл. 3). В градиенте техногенной трансформации почв показатель снижается в период исследования. Значимая зависимость изменчивости от этого фактора только в благоприятный год (см. табл. 3).

В целом влияние техногенной трансформации почв и степени благоприятности погоды на исследуемый показатель статистически значимо, что подтверждено двухфакторным дисперсионным анализом ( $F_{\text{токсич. нагр.}} = 4.99 - 6.05$ ,  $df = 4$ , 539,  $p < 0.0006 - 0.0001$ ;  $F_{\text{СБП}} = 2.70 - 2.91$ ,  $df = 3$ ; 539,  $p < 0.03 - 0.04$  с левой и с правой стороны соответственно). Доля объясненной дисперсии первый фактором – 3.84 – 4.66%, вторым – 1.56 – 1.67%.

Изменение средних значений коэффициентов вариации обусловлено частотой встречаемости признаков, характеризующихся разными уровнями изменчивости. Проанализировано распределение признаков по категориям изменчивости на каждом участке в определенный год. Так как изменение средних значений коэффициентов вариации всех признаков с левой и правой сторон листа в исследуемых градиентах имеет сходную закономерность, дальнейший анализ выполнен только по признакам левой стороны листа.

ГРУППОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ЛИСТА

**Таблица 3.** Среднее значение коэффициентов вариации всех признаков листа для каждого участка в определенный год

**Table 3.** Average value of the coefficients of variation of all leaf traits for each site in a certain year

Участки / Sites	Степень благоприятности погоды, балл / Degree of weather favorability, points				$R_s$	$p$
	4.0	3.43	3.38	3.24		
Левая сторона листа / Left side of leaf						
Фон / Background	19.28±5.84	22.06±6.47	20.35±5.84	21.28±7.01	-0.07	0.440
Буфер-1 / Buffer-1	18.82±5.09	16.10±8.01	17.34±4.68	19.21±7.87	0.02	0.860
Буфер-2 / Buffer-2	16.25±5.26	17.54±6.78	16.65±5.00	18.24±5.64	-0.16	0.097
Импакт-1 / Impact-1	15.90±4.63	18.70±5.58	19.16±5.41	19.57±5.91	-0.23	0.015
Импакт-2 / Impact-2	15.48±4.84	18.06±7.45	18.15±5.98	18.14±5.59	-0.21	0.026
$R_s$	-0.29	-0.11	-0.09	-0.11		
$p$	0.0005	0.222	0.310	0.215		
Правая сторона листа / Right side of leaf						
Фон / Background	19.76±5.36	21.90±6.69	20.03±6.22	20.87±6.69	-0.01	0.940
Буфер-1 / Buffer-1	19.19±5.51	16.16±8.06	17.19±4.36	19.28±7.39	0.01	0.920
Буфер-2 / Buffer-2	16.90±6.16	17.95±7.04	16.24±4.99	18.29±5.66	-0.09	0.337
Импакт-1 / Impact-1	15.72±4.49	18.67±5.43	18.89±5.08	20.06±5.72	-0.28	0.003
Импакт-2 / Impact-2	15.29±4.79	18.29±7.72	18.68±6.09	18.65±5.90	-0.26	0.006
$R_s$	-0.33	-0.08	-0.04	-0.064		
$p$	0.0001	0.358	0.648	0.459		

*Примечание.* Зависимость от погоды –  $N = 108$ , зависимость от техногенной трансформации почв –  $N = 135$ .

*Note.* Weather dependence –  $N = 108$ , dependence on technogenic soil transformation –  $N = 135$ .

В градиенте неблагоприятности погоды на фоновом участке в благоприятный год большая доля признаков (48%) характеризуется средним уровнем изменчивости, в неблагоприятный год часть признаков переходит в категорию с повышенным уровнем изменчивости (табл. 4). В результате изменяется соотношение долей признаков со средним ( $\chi^2 = 6.81, p = 0.009$ ) и повышенным ( $\chi^2 = 4.67, p = 0.031$ ) уровнями изменчивости и в градиенте ухудшения погоды на фоновом участке изменчивость признаков повышается (см. табл. 3).

Умеренная техногенная нагрузка (Буфер-1) меняет соотношение групп лишь незначительно (низкий уровень:  $\chi^2 = 0.57, p = 0.450$ ; средний:  $\chi^2 = 0.93, p = 0.334$ ).

Повышенная техногенная нагрузка (Буфер-2, Импакт-1, Импакт-2) увеличивает чувствительность *B. pendula* к погоде: в неблагоприятный год по сравнению с благоприятным снижается число признаков с низким уровнем изменчивости (Б-2:  $\chi^2 = 4.39, p < 0.036$ ; И-1:  $\chi^2 = 6.81, p = 0.009$ ; И-2:  $\chi^2 = 3.71, p = 0.054$ ) и увеличивается со средним (Б-2:  $\chi^2 = 5.06, p = 0.025$ ) или повышенным (И-1:  $\chi^2 = 23.39, p < 0.001$ ; И-2:  $\chi^2 = 14.32, p = 0.0002$ ). Следствием этого является статистически значимое повышение изменчивости у растений на техногенно нарушенных территориях.

В градиенте техногенной трансформации почвы в благоприятный год увеличивается число признаков с низким (Фон по сравнению с Импакт-2:  $\chi^2 = 3.71, p = 0.054$ ) и средним ( $\chi^2 = 7.39, p = 0.007$ ) уровнями изменчивости и уменьшается с повышенным ( $\chi^2 = 27.89, p < 0.001$ ). Это приводит к снижению среднего уровня изменчивости. В неблагоприятный год число признаков со средним уровнем увеличивается ( $\chi^2 = 17.03, p = 0.0001$ ), а с повышенным уменьшается ( $\chi^2 = 14.86,$

$p = 0.0001$ ), что также сопровождается снижением среднего уровня изменчивости в градиенте техногенной трансформации почвы.

**Таблица 4.** Распределение признаков (шт. / %) по уровням изменчивости в исследуемых градиентах (левая сторона листа)

**Table 4.** Distribution of features (pieces / %) by variability levels in the studied gradients (left side of the leaf)

Уровень изменчивости / Variability level	Степень благоприятности погоды, балл / Weather favorability degree, points			
	4.0	3.43	3.38	3.24
Фон / Background				
Низкий / Low	4 / 14.8	3 / 11.1	4 / 14.8	4 / 14.8
Средний / Middle	13 / 48.1	10 / 37.0	8 / 29.6	8 / 29.6
Повышенный / Heightened	9 / 33.3	11 / 40.7	14 / 51.9	13 / 48.1
Высокий / High	1 / 3.7	3 / 11.1	1 / 3.7	2 / 7.4
Очень высокий / Very high	0	0	0	0
Буфер-1 / Buffer-1				
Низкий / Low	5 / 18.5	10 / 37.0	4 / 14.8	4 / 14.8
Средний / Middle	17 / 63.0	14 / 51.9	19 / 70.4	16 / 59.3
Повышенный / Heightened	5 / 18.5	1 / 3.7	4 / 14.8	5 / 18.5
Высокий / High	0	1 / 3.7	0	1 / 3.7
Очень высокий / Very high	0	1 / 3.7	0	1 / 3.7
Буфер-2 / Buffer-2				
Низкий / Low	6 / 22.2	8 / 29.6	5 / 18.5	3 / 11.1
Средний / Middle	16 / 59.3	13 / 48.1	18 / 66.7	18 / 66.7
Повышенный / Heightened	5 / 18.5	4 / 14.8	3 / 11.1	4 / 14.8
Высокий / High	0	2 / 7.4	1 / 3.7	2 / 7.4
Очень высокий / Very high	0	0	0	0
Импакт-1 / Impact-1				
Низкий / Low	8 / 29.6	4 / 14.8	4 / 14.8	4 / 14.8
Средний / Middle	16 / 59.3	14 / 51.9	15 / 55.6	11 (40.7)
Повышенный / Heightened	3 / 11.1	9 / 33.3	7 / 25.9	11 (40.7)
Высокий / High	0	0	1 / 3.7	1 / 3.7
Очень высокий / Very high	0	0	0	0
Импакт-2 / Impact-2				
Низкий / Low	7 (25.9)	6 / 22.2	3 / 11.1	4 (14.8)
Средний / Middle	18 / 66.7	15 / 55.6	17 / 63.0	16 / 59.3
Повышенный / Heightened	1 / 3.7	5 / 18.5	6 / 22.2	6 (22.2)
Высокий / High	1 / 3.7	0	1 / 3.7	1 / 3.7
Очень высокий / Very high	0	1 / 3.7	0	0

**Стабильность признаков в исследуемых градиентах условий.** Для характеристики способности признаков переходить из одной категории по шкале изменчивости С. А. Мамаева (1970) в другую, либо сохранять уровень изменчивости использован коэффициент стабильности (КС) – отношение оставшихся неизменными за какой-либо период времени показателей к их общему числу (Нормирование..., 1982). В нашем случае в качестве показателя выступает уровень изменчивости конкретного морфологического признака в градиенте неблагоприятных условий. Коэффициент стабильности признака вычисляли как отношение количе-

ГРУППОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ЛИСТА

ства неизменных уровней к общему их числу. КС установлены для всех исследуемых морфологических признаков листа в градиенте неблагоприятных погодных условий и техногенной трансформации почв (табл. 5). Средние значения КС представлены для всего комплекса изучаемых признаков в градиенте погоды для каждого участка и в градиенте техногенной нагрузки для каждого года.

**Таблица 5.** Коэффициент стабильности (КС) признаков в исследуемых градиентах  
**Table 5.** Stability coefficient (SC) of features in the studied gradients

Признаки / Features	КС в градиенте погоды (на разных участках) / SC in the weather gradient (on different sites)					КС в градиенте техногенной трансформации почв (в разные годы) / SC in the gradient of technogenic soil transformation (in different years)			
	Фон / Background	Буфер-1 / Buffer-1	Буфер-2 / Buffer-2	Импакт-1 / Impact-1	Импакт-2 / Impact-2	4.00	3.4	3.38	3.24
ДЖ 1 / VL 1	0.5	1**	1**	1**	1**	1**	0.8	0.8	1**
2	0.5	0.75	0.75	1**	0.75	0.8	0.4	0.8	1**
3	0.75	0.75	1**	0.75	1**	1**	0.6	0.6	0.8
4	0.75	0.5	0.75	0.75	0.75	0.6	0.6	0.6	0.8
5	1****	0.5	0.5	0.5	1***	0.6	0.4	0.6	0.8
РМКЖ 1-2 / DBEV 1-2	0.75	1**	1**	0.75	1**	1**	0.6	0.8	0.8
2-3	0.5	1**	1**	1**	0.75	0.8	1**	0.8	0.8
3-4	0.75	1**	1**	0.75	0.5	1**	1**	0.8	0.6
4-5	0.5	0.75	1**	0.75	0.5	0.8	0.6	0.6	0.6
РМОЖ 1-2 / DBBV 1-2	0.75	0.75	0.5	0.75	0.75	0.8	0.6	0.6	0.8
2-3	1***	1**	1**	0.75	1**	0.8	0.8	0.8	0.6
3-4	0.75	1**	0.75	1**	1**	0.8	0.8	0.8	0.8
4-5	1***	1**	1**	1**	1**	0.8	0.8	0.8	0.8
Угол 1 / Angle 1	1**	0.75	1**	0.5	0.75	0.6	1**	1**	0.8
2	0.75	0.75	0.75	0.75	0.5	0.8	0.6	0.8	1**
3	0.75	1*	1*	1*	1*	1*	1*	0.8	1*
4	1*	1*	0.75	1*	0.75	0.6	1*	1*	1*
5	0.5	0.75	0.75	0.5	0.75	0.8	0.6	0.6	0.8
ШПЛ / HLW	0.75	0.75	0.5	1*	0.75	0.6	0.6	0.8	1**
ДЛП / LL	0.75	0.75	0.5	0.75	0.5	0.6	0.6	0.6	1**
ШЛП / LW	0.75	0.75	0.75	0.75	1**	0.6	0.6	0.6	1**
ДЧ / PL	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.8	0.6	0.6	0.8
РКШМ / DEWP	0.5	0.75	1**	0.5	1**	0.8	0.8	0.8	0.6
РШО / DWB	0.75	0.5	1***	0.5	1***	0.6	0.8	0.8	0.8
ИФ / SI	0.75	0.75	0.5	1***	0.75	0.8	0.6	0.8	0.6
ИЛП / LAI	1*	1*	1*	1*	0.5	0.8	1*	1*	0.8
ИЛ / LI	0.5	0.75	0.5	0.75	0.5	0.8	1***	0.8	0.6
Среднее значение КС / CS average value	0.74	0.81	0.81	0.80	0.80	0.77	0.73	0.76	0.81

*Примечание.* Стабильность: \* – на низком уровне, \*\* – на среднем, \*\*\* – на повышенном, \*\*\*\* – на высоком уровне изменчивости. ДЖ – длина жилки, РМКЖ – расстояние между концами боковых жилок, РМОЖ – расстояние между основаниями боковых жилок, ШПЛ – ширина половинки листа, ШЛП – ширина листовой пластинки, ДЛП – длина листовой пластинки, ДЧ – длина черешка, РКШМ – расстояние от кончика листа до самого широкого места, РШО – расстояние от самой широкой части до основания листовой пластинки, ИФ – индекс формы, ИЛП – индекс листовой пластинки, ИЛ – индекс листа.

*Note.* Stability: \* – low level, \*\* – middle level, \*\*\* – heightened level, \*\*\*\* – high level of variability. VL – vein length, DBEV – distance between ends of lateral veins, DBBV – distance between bases of lateral veins, HLW – half leaf width, LW – lamina width, LL – lamina length, PL – petiole length, DEWP – distance from leaf tip to the widest part, DWB – distance from the widest part to the base of the leaf blade, SI – shape index, LAI – leaf area index, LI – leaf index.

Выявлена тенденция увеличения средних значений КС в градиенте неблагоприятности погоды, с ростом техногенной трансформации почвы с 0.74 на участке Фон до 0.80 на техногенно нарушенных территориях. Аналогичная картина показана для КС, полученного в градиенте техногенной трансформации почвы, при усилении неблагоприятности погоды. Следовательно, реакция растения на неблагоприятные факторы проявляется в повышении устойчивости признаков листа, связанной со снижением количества переходов исследуемых признаков с одного уровня изменчивости на другой.

Представляет интерес оценить КС при действии одного неблагоприятного фактора: в градиенте неблагоприятности погоды у растений на участке Фон и в градиенте техногенной трансформации почв в благоприятный год. Это позволяет сравнить степень влияния разных факторов на коэффициент стабильности признаков. Так, КС в первом случае равен 0.74, во втором – 0.77, что свидетельствует о сходстве влияния факторов на способность признаков сохранять уровень изменчивости в пределах конкретной категории. Таким образом, можно говорить о неспецифичности реакции березы повислой на действие исследуемых неблагоприятных факторов, проявляющейся в повышении стабильности признаков по уровню изменчивости. При этом стабильность признаков может сохраняться на разных уровнях: низком, среднем, повышенном.

**Выделение морфологических признаков, которые вносят наибольший вклад в изменчивость листа.** Важное значение имеет определение морфологических признаков, которые вносят наибольший вклад в общую изменчивость листа *B. pendula*. Выделение группы диагностических признаков выполнено факторным анализом (методы: главных компонент и факторов максимальной вероятности). В анализ включены все исследуемые морфологические признаки листа. Выделение диагностических признаков проведено для каждой территории отдельно. Результаты представлены в табл. 6.

С помощью критерия каменистой россыпи (критерий отсеивания) было выделено два фактора (F1 и F2), которые определяют максимальные факторные нагрузки. В нашем исследовании доля дисперсии, объясненная F1 и F2, на всех участках составляет от 56 до 65% (табл. 6). Первый главный фактор (F1), лежащий вдоль оси абсцисс, объясняет максимальную долю дисперсии – от 36 до 48% на всех участках. Второй (F2), лежащий вдоль оси ординат, образуют переменные, чье взаимодействие определяет наибольшую долю оставшейся общей дисперсии. В нашем случае он детерминирует от 15 до 22% дисперсии.

Величина факторной нагрузки не превышает по модулю 1. Знак говорит о положительной / отрицательной связи признака с фактором. Так как сильной считается корреляция с коэффициентом Пирсона  $r \geq 0.7$ , то в нагрузках уделено внимание только сильным связям (в табл. 6 выделено жирным). Значение факторной нагрузки близкое к нулю означает, что фактор практически не влияет на данный признак или влияет слабо.

Установлено, что наибольшие факторные нагрузки по первому фактору на всех территориях получают 1 – 8 переменные (длина 1 – 4-й боковых жилок первого порядка), 11 – 16 переменные (расстояние между концами этих же жилок), 25 –

ГРУППОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ЛИСТА

**Таблица 6.** Матрица факторных нагрузок, отражающая степень линейной связи исследуемых морфологических признаков листа *Betula pendula* с каждым общим фактором (результаты факторного анализа)

**Table 6.** Matrix of factor loadings, reflecting the degree of linear relationship of the studied morphological features of the leaf of *Betula pendula* with each common factor (factor analysis results)

Переменная / Variable				Факторные нагрузки / Factor loads											
Признаки листа / Leaf features	№ жилки / Vein number	Сторона листа / Side of leaf	№ признака / Feature number	Фон / Background		Буфер-1 / Buffer-1		Буфер-2 / Buffer-2		Импакт-1 / Impact-1		Импакт-2 / Impact-2			
				F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2		
				5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
Длина боковых жилок первого порядка / Length of lateral veins of the first order	1	л / л	1	<b>0.88</b>	-0.37	<b>0.76</b>	-0.53	<b>0.78</b>	-0.45	<b>0.87</b>	-0.34	<b>0.93</b>	-0.11		
		п / г	2	<b>0.87</b>	-0.37	<b>0.75</b>	-0.52	<b>0.78</b>	-0.46	<b>0.81</b>	-0.34	<b>0.93</b>	-0.08		
	2	л / л	3	<b>0.96</b>	-0.18	<b>0.89</b>	-0.34	<b>0.93</b>	-0.22	<b>0.95</b>	-0.14	<b>0.97</b>	0.08		
		п / г	4	<b>0.96</b>	-0.21	<b>0.87</b>	-0.29	<b>0.93</b>	-0.21	<b>0.95</b>	-0.15	<b>0.96</b>	0.08		
	3	л / л	5	<b>0.95</b>	0.03	<b>0.92</b>	0.03	<b>0.93</b>	0.15	<b>0.93</b>	0.16	<b>0.87</b>	0.30		
		п / г	6	<b>0.95</b>	0.00	<b>0.90</b>	-0.03	<b>0.88</b>	0.18	<b>0.93</b>	0.15	<b>0.89</b>	0.30		
	4	л / л	7	<b>0.88</b>	0.17	<b>0.81</b>	0.34	<b>0.78</b>	0.44	<b>0.83</b>	0.37	<b>0.75</b>	0.47		
		п / г	8	<b>0.88</b>	0.16	<b>0.84</b>	0.27	<b>0.77</b>	0.48	<b>0.82</b>	0.40	<b>0.72</b>	0.46		
	5	л / л	9	<b>0.79</b>	0.27	0.67	0.46	0.67	0.55	<b>0.71</b>	0.51	0.62	0.53		
		п / г	10	<b>0.79</b>	0.25	0.69	0.45	0.63	0.60	<b>0.71</b>	0.51	0.57	0.53		
Расстояние между концами боковых жилок первого порядка / The distance between the ends of the lateral veins of the first order	1 и 2	л / л	11	<b>0.86</b>	0.02	<b>0.75</b>	-0.11	<b>0.70</b>	0.03	<b>0.83</b>	0.00	<b>0.76</b>	0.29		
		п / г	12	<b>0.83</b>	0.03	<b>0.74</b>	-0.16	<b>0.70</b>	-0.05	<b>0.82</b>	-0.03	<b>0.78</b>	0.24		
	2 и 3	л / л	13	<b>0.84</b>	0.22	<b>0.80</b>	0.07	<b>0.76</b>	0.08	<b>0.86</b>	0.09	<b>0.80</b>	0.41		
		п / г	14	<b>0.81</b>	0.15	<b>0.80</b>	0.02	<b>0.75</b>	0.16	<b>0.81</b>	0.15	<b>0.77</b>	0.41		
	3 и 4	л / л	15	<b>0.81</b>	0.26	<b>0.77</b>	0.18	<b>0.71</b>	0.15	<b>0.85</b>	0.17	<b>0.76</b>	0.46		
		п / г	16	<b>0.78</b>	0.20	<b>0.80</b>	0.08	0.66	0.20	<b>0.79</b>	0.17	<b>0.76</b>	0.46		
	4 и 5	л / л	17	0.68	0.28	<b>0.78</b>	0.24	0.69	0.32	<b>0.75</b>	0.27	0.67	0.51		
		п / г	18	<b>0.78</b>	0.26	<b>0.76</b>	0.21	<b>0.72</b>	0.24	<b>0.76</b>	0.31	0.68	0.51		
	Расстояние между основаниями боковых жилок первого порядка / Distance between the bases of the lateral veins of the first order	1 и 2	л / л	19	0.37	-0.60	0.33	-0.54	0.00	-0.58	0.41	-0.49	0.51	-0.32	
			п / г	20	0.40	-0.53	0.30	-0.51	0.00	-0.63	0.36	-0.55	0.43	-0.29	
2 и 3		л / л	21	0.62	-0.51	0.42	-0.70	0.28	<b>-0.75</b>	0.53	-0.62	0.69	-0.28		
		п / г	22	0.63	-0.47	0.43	-0.65	0.27	<b>-0.72</b>	0.58	-0.61	<b>0.71</b>	-0.25		
3 и 4		л / л	23	<b>0.78</b>	-0.24	0.66	-0.56	0.57	-0.56	<b>0.76</b>	-0.42	<b>0.86</b>	-0.09		
		п / г	24	<b>0.77</b>	-0.33	0.66	-0.56	0.53	-0.59	<b>0.74</b>	-0.47	<b>0.82</b>	-0.12		
4 и 5		л / л	25	<b>0.88</b>	0.01	<b>0.83</b>	-0.12	0.76	-0.07	<b>0.86</b>	-0.12	<b>0.88</b>	0.19		
		п / г	26	<b>0.87</b>	-0.01	<b>0.85</b>	-0.17	0.76	-0.09	<b>0.87</b>	-0.10	<b>0.86</b>	0.18		
ДЛП / LL					27	<b>0.96</b>	-0.10	<b>0.96</b>	-0.10	0.92	-0.09	<b>0.90</b>	-0.11	<b>0.96</b>	0.02
ШЛП / LW					28	<b>0.96</b>	-0.02	<b>0.96</b>	-0.02	0.91	-0.22	<b>0.92</b>	-0.09	<b>0.95</b>	-0.03
ДЧ / PL				29	0.57	0.04	0.57	0.04	0.47	-0.24	0.54	-0.24	<b>0.72</b>	-0.06	
Расстояние от кончика листовой пластинки до самого широкого места / Distance from tip of leaf blade to widest part				30	<b>0.90</b>	0.23	<b>0.90</b>	0.23	<b>0.87</b>	0.20	0.84	0.18	<b>0.90</b>	0.29	
Ширина половинки листовой пластинки / Width of half of lamina	л / л	31	<b>0.86</b>	-0.07	<b>0.76</b>	-0.18	<b>0.72</b>	-0.13	0.88	-0.13	0.62	0.09			
	п / г	32	<b>0.87</b>	-0.09	<b>0.79</b>	-0.18	<b>0.75</b>	-0.11	0.89	-0.12	0.69	0.15			
Углы между центральной и боковыми жилками первого порядка / Angles between the central and lateral veins of the first order	1	л / л	33	-0.12	0.69	-0.11	0.39	0.01	0.68	-0.13	0.41	0.07	0.55		
		п / г	34	-0.13	0.56	-0.05	0.27	0.12	0.61	-0.18	0.38	0.07	0.55		
	2	л / л	35	0.12	<b>0.84</b>	0.10	0.63	0.06	<b>0.82</b>	0.12	<b>0.76</b>	0.12	<b>0.80</b>		
		п / г	36	0.04	<b>0.79</b>	0.16	0.58	0.08	<b>0.79</b>	0.07	<b>0.74</b>	0.10	<b>0.86</b>		
	3	л / л	37	0.12	<b>0.74</b>	0.02	<b>0.80</b>	0.02	<b>0.84</b>	0.21	<b>0.76</b>	0.10	<b>0.82</b>		
		п / г	38	0.06	<b>0.76</b>	0.15	<b>0.72</b>	0.04	<b>0.80</b>	0.10	<b>0.72</b>	0.04	<b>0.87</b>		
	4	л / л	39	0.19	<b>0.70</b>	0.02	0.55	0.03	0.69	0.16	0.61	0.11	<b>0.79</b>		
		п / г	40	0.03	<b>0.71</b>	0.00	0.57	-0.03	0.68	-0.03	0.62	0.02	<b>0.80</b>		
	5	п / г	41	0.25	0.54	0.07	0.34	-0.02	0.57	0.20	0.47	0.11	0.61		
		л / л	42	0.23	0.45	0.03	0.38	0.06	0.49	0.17	0.53	0.04	<b>0.72</b>		

Окончание табл. 6  
Table 6. Continuation

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Расстояние от самой широкой части листовой пластинки до основания / Distance from the widest part of the leaf blade to the base	43	0.67	-0.62	0.67	-0.62	0.28	-0.37	0.34	-0.57	0.54	-0.63		
ИФ / SI	44	0.15	<b>0.76</b>	0.15	<b>0.76</b>	0.18	0.54	0.18	0.62	0.21	<b>0.75</b>		
ИЛП / LAI	45	0.01	-0.17	0.01	-0.17	-0.01	0.22	-0.03	-0.03	0.02	0.12		
ИЛ / LI	46	0.30	-0.16	0.30	-0.16	0.14	0.15	0.09	0.20	-0.10	0.08		
Доля влияния группы, % / group influence percentage, %	48.2	17.0	40.6	15.4	35.8	22.3	46.5	17.5	48.0	16.5			
Совокупный, % / Total, %		<b>65.24</b>		<b>55.98</b>		<b>58.05</b>		<b>63.97</b>		<b>64.47</b>			

*Примечание.* Жирным шрифтом выделены значимые факторные нагрузки; п – правая сторона, л – левая сторона листа.

*Note.* Significant factor loadings are highlighted in bold; r – right side of the leaf, l – left side of the leaf.

26 переменные (расстояние между основаниями 4 – 5 боковых жилок), 27 – 28 (длина и ширина листовой пластинки), а также 31 – 32 переменная (ее ширина слева и справа), 30 переменная (расстояние от кончика листовой пластинки до самого широкого места). Эти переменные вносят наибольший вклад в изменение размеров и формы листа. Изменение формы листовой пластинки, обусловленное вытянутостью верхушки, связано в первую очередь, с увеличением расстояния между 4 – 5-й боковыми жилками первого порядка, расположенными в верхней части листа. С этим же признаком может быть связано изменение длины листовой пластинки и расстояние от ее кончика до самого широкого места.

Интенсивность ростовых процессов на разных этапах онтогенеза листа лежит в основе длины 1 – 4-й боковых жилок первого порядка, что, в свою очередь, определяет тип листовой пластинки по соотношению ее длины к ширине.

Второй фактор имеет выраженные нагрузки по 35 – 38-й переменным (углы между центральной и 2 – 3 боковыми жилками первого порядка), а также 44 переменной (индекс формы) на участках Фон, Буфер-1, Импакт-2. Эти переменные определяют форму основания листовой пластинки (степень его усеченности) и тип листа.

Таким образом, методом главных компонент выделены морфологические признаки, которые вносят наибольший вклад в изменчивость листа у растений с исследуемых территорий. В большей степени изменчивость листа определяют мерные признаки. Аллометрические признаки более стабильны.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

По степени изменчивости морфологических признаков растений можно судить о влиянии экологических факторов среды на растительные организмы. В ходе исследования установлено, что большинство изученных признаков по среднему значению коэффициента вариации характеризуются средним уровнем изменчивости. В градиенте неблагоприятности погоды средние значения коэффициентов вариации всех признаков с левой и правой сторон листа увеличиваются. В боль-

шей степени эффект выражен на участках импактной зоны. В градиенте техногенной трансформации почв – снижаются.

Направление изменения коэффициентов вариации на градиенте неблагоприятных условий может выступать в качестве критерия адаптированности организма к ним. Единого мнения по поводу адаптивного характера изменчивости не существует. Снижение уровня изменчивости ряд авторов (Ловелиус, 1979; Северцов, 1990; Безель и др., 2001) характеризуют как показатель низкой устойчивости популяции к изменению условий окружающей среды. Другие же рассматривают низкую степень изменчивости в качестве показателя высокой адаптированности организмов к действию неблагоприятных факторов (Симинел, 1984; Авров, 1996; Титов, 1999; Машкина и др., 2009; Чернодубов, 2009; Чекменева, 2011).

Как показано выше, реакция растений по параметру изменчивости на два градиента противоположная. Направление изменения средних значений коэффициентов вариации в ответ на экологические факторы определяется поведением отдельных признаков листа. По этому показателю признаки можно разделить на три группы. Первая группа со специфичной разнонаправленной реакцией на техногенный и погодный фактор – изменчивость признаков в градиенте неблагоприятности погоды на фоновом участке повышается, в градиенте техногенной трансформации почв в благоприятный год – понижается. К этой группе относятся длина жилок, расстояние между основаниями и концами жилок, длина и ширина листовой пластинки, ширина половинки листа. Согласно результатам факторного анализа именно эти признаки входят в Фактор 1. Они вносят наибольший вклад в изменчивость размеров листа. Вторая группа – признаки с неспецифичной реакцией, проявляющейся в повышении их изменчивости в градиенте неблагоприятности условий: индекс формы, угол между главной жилкой и четвертой от основания листа БЖ первого порядка. Эти признаки входят в Фактор 2, который определяет форму листа. К этой же группе признаков относится расстояние от самого широкого места до основания листовой пластинки, однако данный признак не вошел в Фактор 1 и 2. Следовательно, он не является ведущим, определяющим размеры и форму листа. Третья группа – признаки с неспецифичной реакцией, проявляющейся в понижении изменчивости в градиенте неблагоприятности условий: длина черешка, индекс листовой пластинки, индекс листа, угол между главной жилкой и 1-й, 5-й БЖ первого порядка. Эти признаки не являются ведущими, определяющими размеры и форму листа. К этой же группе относится признак «расстояние от кончика листа до самого широкого места», который входит в Фактор 1 и имеет низкий коэффициент стабильности. Данный признак лежит в основе изменения формы верхушки листа.

Учитывая все вышесказанное, нельзя однозначно судить об адаптивном характере высокой или низкой изменчивости. В большей мере устойчивость организма к неблагоприятным факторам характеризует коэффициент стабильности, отражающий количество переходов признаков с одного уровня изменчивости на другой. У устойчивых к тому или иному экологическому фактору организмов наблюдается стабильное сохранение признака на одном и одном же уровне изменчивости, т.е. у устойчивых к фактору организмов КС стремится к 1, у неустойчи-

вых к 0. Исходя из этого устойчивость растений повышается в градиентах техногенной трансформации и неблагоприятности погодных условий.

## ВЫВОДЫ

1. Большое число изученных признаков имеют средний уровень варьирования, высокий – характерен ИФ, низкий – ИЛП и углам между главной и БЖ первого порядка, расположенным в средней и верхней частях листа. Выявлены признаки, которые изменяют уровень варьирования в разных частях листа: «длина жилки» повышает уровень изменчивости от основания к верхушке листа; «расстояние между основаниями боковых жилок первого порядка» и «угол» – понижают уровень варьирования от основания к верхушке.

2. В градиенте ухудшения погоды изменчивость признаков повышается, на фоновом участке за счет перехода части признаков из категории со средним уровнем изменчивости в категорию с повышенным, на импактных – за счет снижения числа признаков с низким уровнем изменчивости и увеличения с повышенным. В градиенте техногенной трансформации почв изменчивость признаков снижается, в благоприятный год за счет уменьшения частоты встречаемости признаков с повышенным уровнем изменчивости и повышения с низким и средним, в неблагоприятный – за счет увеличения числа признаков со средним уровнем и уменьшения с повышенным.

3. Наибольший вклад в изменчивость размеров листа вносят длина жилок, расстояние между основаниями и концами жилок, длина и ширина листовой пластинки, ширина половинки листа. Индекс формы, угол между главной жилкой и четвертой от основания листа БЖ первого порядка определяют форму листа. Расстояние от кончика листа до самого широкого места определяет как размер, так и форму верхушки листа.

4. Устойчивость организма к неблагоприятным факторам в большей мере характеризует коэффициент стабильности, отражающий количество переходов признака с одного уровня изменчивости на другой, который возрастает как в градиенте техногенной трансформации почв, так и в градиенте неблагоприятности погоды.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абаимов В. Ф. Дендрология: учебное пособие для студентов высших учебных заведений. М. : Академия, 2009. 368 с.
- Абдуллаева С. Д., Асадулаев З. М., Алиев Х. У. Изменчивость количественных признаков листа *Rubus idaeus* L. // Труды Дагестанского отделения Русского ботанического общества. Махачкала : Алеф, 2008. С. 34 – 37.
- Авров Ф. Д. Экология и селекция лиственницы // Проблемы региональной экологии. Томск : Спектр, 1996. Вып. 7. 213 с.
- Бангаев Е. В. Ольха пушистая (*Alnus hirsuta* (Spach) Turcz. ex Rupr.) в Сибири и на Дальнем Востоке России : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 1996. 19 с.
- Безель В. С., Жуйкова Т. В., Позолотина В. Н. Структура ценопопуляций одуванчика и специфика накопления тяжелых металлов // Экология. 1998. № 5. С. 376 – 382.
- Безель В. С., Позолотина В. Н., Бельский Е. А., Жуйкова Т. В. Изменчивость популяционных параметров: адаптация к токсическим факторам среды // Экология. 2001. № 6. С. 447 – 453.

## ГРУППОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ЛИСТА

- Булыгин Н. Е. Дендрология. Л. : Агропромиздат. Ленингр. отд-ние, 1991. 352 с.
- Горчаковский П. Л., Шурова Е. А., Князев М. С., Марина Л. В., Морозова Л. М., Никонина Н. Н., Прямонослова С. А., Салмина Н. П., Шлыкова Н. А., Беляева И. В., Баландин С. В., Васфилова Е. С., Фамелис Т. В., Троценко Г. В., Зуева В. Н., Мелинг Э. А. Определитель соудистых растений Среднего Урала. М. : Наука, 1994. 525 с.
- Декоративные и лекарственные растения (открытый грунт) : каталог Ботанического сада Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. Горки : БГСХА, 2013. 308 с.
- Дрожжина В. Н. Изменение морфометрических показателей вегетативных органов *Tilia cordata* Roth. в условиях городской среды // Промышленная ботаника. 2019. Т. 19, № 3. С. 55 – 58.
- Жуйкова Т. В., Мелинг Э. В., Кайгородова С. Ю., Безель В. С., Гордеева В. А. Особенности почв и травянистых растительных сообществ в условиях техногенеза на Среднем Урале // Экология. 2015. № 3. С. 163 – 172. <https://doi.org/10.7868/S0367059715030130>
- Жуйкова Т. В., Попова А. С., Мелинг Э. В. Сравнительная оценка флуктуирующей асимметрии листовой пластинки *Betula pendula* Roth при разных методах фиксации растительного материала // Самарский научный вестник. 2020. Т. 9, № 4. С. 58 – 65. <https://doi.org/10.17816/snv202094109>
- Жуйкова Т. В., Мелинг Э. В., Попова А. С. К методике оценки интегрального показателя степени благоприятности погодных условий для растений // Самарский научный вестник. 2022. Т. 11, № 2. С. 45 – 51. <https://doi.org/10.55355/snv2022112106>
- Зиятдинова К. З., Уразильдин Р. В., Денисова А. В. Морфология листьев и побегов дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) в условиях загрязнения окружающей среды (на примере Уфимского промышленного центра) // Известия Самарского научного центра РАН. 2012. Т. 14, № 1-6. С. 1466 – 1469.
- Ившина И. Б., Костина Л. В., Каменских Т. Н., Жуйкова В. А., Жуйкова Т. В., Безель В. С. Почвенный микробиоценоз как показатель стабильности луговых сообществ при химическом загрязнении среды тяжелыми металлами // Экология. 2014. № 2. С. 83 – 90. <https://doi.org/10.7868/S0367059714020036>
- Кириллова И. А., Кириллов Д. В. Динамика популяций, репродуктивный успех и сезонное развитие *Cypripedium calceolus* в разных условиях произрастания как ответ на действие погодных факторов // Сибирский экологический журнал. 2021. Т. 28, № 5. С. 590 – 602. <https://doi.org/10.15372/SEJ20210508>
- Кириллова И. А., Кириллов Д. В. Влияние погодных условий на сезонное развитие, структуру популяции и репродуктивный успех *Dactylorhiza incarnata* s. l. (Orchidaceae, Liliopsida) в Республике Коми // Поволжский экологический журнал. 2022. № 2. С. 173 – 192. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2022-2-173-192>
- Клевцова М. А., Юранова А. В. Влияние городских условий на морфометрические параметры листовых пластинок древесных растений // Современные проблемы интродукции и сохранения биоразнообразия растений: материалы 3-й заочной научно-практической конференции с международным участием, посвященной 80-летию Ботанического сада им. проф. Б. М. Козо-Полянского Воронежского госуниверситета. Воронеж : Роза ветров, 2017. С. 164 – 169.
- Клевцова М. А., Михеев А. А. Оценка влияния стрессовых факторов урбанизированной среды на древесные растения // Проблемы и мониторинг природных экосистем : сборник статей VII Всероссийской научно-практической конференции. Пенза : Пензенский государственный аграрный университет, 2020 а. С. 73 – 76.
- Клевцова М. А., Михеев А. А. Экодиагностика урбанизированной среды по морфометрическим показателям листовых пластинок *Betula pendula* Roth // Региональные геосистемы. 2020 б. Т. 44, № 4. С. 432 – 445. <https://doi.org/10.18413/2712-7443-2020-44-4-432-445>

Князев М. С., Третьякова А. С., Подгаевская Е. Н., Золотарёва Н. В., Куликов П. В. Конспект флоры Свердловской области. Часть III: Двудольные растения (Aristolochiaceae – Monotropeae) // Фиторазнообразие Восточной Европы. 2018. Т. XII, № 2. С. 4 – 95. <https://doi.org/10.24411/2072-8816-2018-10013>

Кожевников А. П., Шитицина Н. В., Кондратова Е. Б. Кустарники-интродуценты в озеленительных посадках населенных пунктов Свердловской области // Леса России и хозяйство в них. 2022. № 2. С. 36 – 43. <https://doi.org/10.51318/FRET.2022.27.36.005>

Козлов М. В. Исследование флуктуирующей асимметрии растений в России: мифология и методология // Экология. 2017. № 1. С. 3 – 12. <https://doi.org/10.7868/S0367059717010103>

Лайус Д. Л., Грэм Д. Х., Католикова М. В., Юрцева А. О. Флуктуирующая асимметрия и случайная фенотипическая изменчивость в популяционных исследованиях: история, достижения, проблемы, перспективы // Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. 3: Биология. 2009. № 3. С. 98 – 110.

Ловеллус Н. В. Изменчивость прироста деревьев. Дендроиндикация природных процессов и антропогенных воздействий. Л. : Наука. Ленингр. отд-ние, 1979. 231 с.

Магомедова Б. М. Изменчивость показателей плодов и однолетних семян редкого вида каркас кавказский // Лесоведение. 2019. № 3. С. 188 – 197. <https://doi.org/10.1134/S0024114819020050>

Мазная Е. А., Лянгузова И. В. Эколого-популяционный мониторинг ягодных кустарничков при аэротехногенном загрязнении. СПб. : ВВМ, 2010. 194 с.

Малков Ф. С., Нурминская Ю. В. Байкальский центр изучения морфологии однолетних и многолетних листьев растений // Перспективы развития биомедицинских технологий в Байкальском регионе: сборник тезисов Международной научной конференции. Иркутск : Изд-во Института географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, 2019. С. 54 – 55.

Мамаев С. А. Закономерности внутривидовой изменчивости семейства Pinaceae на Урале : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Свердловск, 1970. 54 с.

Машикина О. С., Кузнецова Н. Ф., Исаков Ю. Н., Буторина А. К. Самофертильность у сосны обыкновенной как один из механизмов ее устойчивости к химическим мутагенам // Экология. 2009. № 6. С. 423 – 428.

Мигалина С. В., Иванова Л. А., Махнев А. К. Размеры листа березы как индикатор ее продуктивности вдали от климатического оптимума // Физиология растений. 2009. Т. 56, № 6. С. 948 – 953.

Нормирование материально-технических ресурсов в газовой промышленности : справочник / под ред. Д. Т. Аксенова. М. : Недра, 1982. 208 с.

Полонский В. И., Полякова И. С. Морфометрические показатели листьев *Syringa josikaea* Jacq. в оценке качества городской среды // Вестник КрасГАУ. 2014. № 8 (95). С. 130 – 133.

Попова О. С., Попов В. П., Харахонова Г. У. Древесные растения лесных, защитных, зеленых насаждений : учеб. пособие. Красноярск : Красноярский государственный аграрный университет, 2005. 159 с.

Савинов А. Б., Солошенко М. А. Фенотипические изменения в городских ценопопуляциях подорожника большого при разной техногенной нагрузке на их биотопы // Проблемы регионального экологического мониторинга: материалы научно-практической конференции. Н. Новгород : Нижегородский государственный университет, 2002. С. 121 – 122.

Савинцева Л. С. Экологический анализ адаптивных механизмов растений в урбанизированной среде : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 2015. 24 с.

Северцов А. С. Направленность эволюции. М. : Изд-во МГУ, 1990. 272 с.

Симинел В. Д., Кильчевская О. С. Особенности биологии цветения, опыления и оплодотворения тритикале. Кишинев : Штиинца, 1984. 152 с.

## ГРУППОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ЛИСТА

Соколова Г. Г., Еремина А. А. Влияние загрязнения воздушной среды на развитие листьев древесных растений в условиях г. Горно-Алтайска // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. 2014. № 13. С. 208 – 213.

Титов С. В. Территориальность наземных белличьих Среднего Поволжья // Экология животных и проблемы регионального экологического образования. Саранск : Мордовский государственный педагогический университет, 1999. С. 64 – 67.

Турмухаметова Н. В. Особенности морфогенеза побегов и феноритмов *Betula pendula* Roth и *Tilia cordata* Mill. в условиях городской среды : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2005. 19 с.

Убаева Р. Ш., Муцалова С. Ш. Влияние загрязнения воздушного бассейна на морфологическую структуру листа разных видов кленов в условиях г. Грозного // Наука и бизнес: пути развития. 2013. № 11 (29). С. 60 – 65.

Хикматуллина Г. Р. Сравнение морфологических признаков листа *Betula pendula* в условиях урбаноcреды // Вестник Удмуртского университета. Биология. Науки о Земле. 2013. Вып. 2. С. 48 – 56.

Чекменева Ю. В. Изучение индивидуальной изменчивости хвойных интродуцентов для мониторинга в городской среде : дис. ... канд. с.-хоз. наук. Воронеж, 2011. 227 с.

Чернодубов А. И. Сосна обыкновенная в островных борах Восточно-Европейской равнины: (история – генетика – экология – география). Воронеж : Воронежская государственная лесотехническая академия, 2009. 156 с.

Числа хромосом цветковых растений флоры СССР. Aceraceae – Menyanthaceae / под ред. А. Л. Тахтаджяна. Л. : Наука. Ленингр. отд-ние, 1990. 510 с.

Givnish T. J. Leaf and canopy adaptations in tropical forests // Physiological Ecology of Plants of the Wet Tropics / eds. E. Medina, H. A. Mooney, C. Vázquez-Yanes. Dordrecht : Springer, 1984. P. 51 – 84.

Global Environmental Monitoring System (GEMS). SCOPE Report 3. Toronto : ICSU-SCOPE, 1973. 74 p.

Warren C. R., Dreyer E., Tausz M., Adams M. A. Ecotype adaptation and acclimation of leaf traits to rainfall in 29 species of 16-year-old Eucalyptus at two common gardens // Functional Ecology. 2006. Vol. 20, iss. 6. P. 929 – 940. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2006.01198.x>

## Group variability of the morphological features of the leaf of *Betula pendula* Roth (Betulaceae, Magnoliópsida) in the gradient of weather conditions and technogenic soil transformation

T. V. Zhuikova , E. V. Meling, A. S. Popova

Nizhny Tagil State Social Pedagogical Institute of Russian State Vocational Pedagogical University  
57 Krasnogvardeyskaya St., Nizhny Tagil 622031, Russia

Received: 8 January 2023 / revised: 28 January 2023 / accepted: 30 January 2023

**Abstract.** The group variability of morphological features of the leaves of *Betula pendula* Roth was studied in the gradients of adverse weather conditions and technogenic soil transformation. The studies were carried out on the territory of the Tagil zone of the Middle Urals in 2016–2019. It has been revealed that most of the studied leaf traits have an average level of variation, while a high one is characteristic of the shape index, and a low one is characteristic of the leaf blade index and the angles between the main and lateral vein of the first order, located in the middle and upper parts of the leaf. In the gradient of deterioration of weather conditions, the variability of the features increases, whilst it decreases in the gradient of technogenic soil transformation. The morphological features making the greatest contribution to the variability of the size and shape of the leaf were identified by the method of principal component analysis. Leaf variability is mainly determined by dimensional features. Allometric features are more stable. To assess the resistance of an organism to adverse factors, it is proposed to use the stability coefficient, which reflects the number of trait transitions from one level of variability to another one. This indicator increases both in the gradient of technogenic soil transformation and in the gradient of unfavorable weather.

**Keywords:** *Betula pendula*, group variability, leaf morphological features, weather conditions, technogenic soil transformation

**For citation:** Zhuikova T. V., Meling E. V., Popova A. S. Group variability of the morphological features of the leaf of *Betula pendula* Roth (Betulaceae, Magnoliópsida) in the gradient of weather conditions and technogenic soil transformation. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2023, no. 1, pp. 37–57 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-1-37-57>

## REFERENCES

- Abaimov V. F. *Dendrologiia: uchebnoe posobie dlia studentov vysshikh uchebnykh zavedenii* [Dendrology: A Textbook for Students of Higher Educational Institutions]. Moscow, Akademia Publ., 2009. 368 p. (in Russian).
- Abdullaeva S. D., Asadulaev Z. M., Aliev Kh. U. Variability of quantitative traits of the *Rubus idaeus* L. leaf. In: *Trudy Dagestanskogo otdeleniia Russkogo botanicheskogo obshchestva* [Proceedings of the Dagestan branch of the Russian Botanical Society]. Makhachkala, Aleph Publ., 2008, pp. 34–37 (in Russian).
- Avrov F. D. Ecology and selection of larch. *Problemy regional'noi ekologii* [Problems of Regional Ecology]. Tomsk, Spectr Publ., 1996, iss. 7. 213 p (in Russian).

---

 *Corresponding author.* Department of Natural Sciences and Physical and Mathematical Education, Nizhny Tagil State Social Pedagogical Institute of Russian State Vocational Pedagogical University, Russia.

ORCID and e-mail addresses: Tatyana V. Zhuikova: <https://orcid.org/0000-0001-8658-7372>, [hbfnt@rambler.ru](mailto:hbfnt@rambler.ru); Eleonora V. Meling: [meling-e@mail.ru](mailto:meling-e@mail.ru); Anastasia S. Popova: [stassy.popova@yandex.ru](mailto:stassy.popova@yandex.ru).

Banaev E. V. *Fluffy Alder (Alnus hirsuta (Spach) Turcz. ex Rupr.) in Siberia and the Far East of Russia*. Thesis Diss. Cand. Sci. (Biol.). Novosibirsk, 1996. 19 p. (in Russian).

Bezel' V. S., Zhuikova T. V., Pozolotina V. N. The structure of dandelion cenopopulations and specific features of heavy metal accumulation. *Russian Journal of Ecology*, 1998, vol. 29, no. 5, pp. 331–337.

Bezel' V. S., Pozolotina V. N., Bel'skii E. A. and Zhuikova T. V. Variation in population parameters: Adaptation to toxic environmental factors. *Russian Journal of Ecology*, 2001, vol. 32, no. 6, pp. 413–419. <https://doi.org/10.1023/A:1012534201258>

Bulygin N. E. *Dendrologiia* [Dendrology]. Leningrad, Agropromizdat Publ., 1991. 352 p. (in Russian).

Gorchakovskiy P. L., Shurova E. A., Knyazev M. S., Marina L. V., Morozova L. M., Nikonova N. N., Pryamonosova S. A., Salmina N. P., Shlykova N. A., Belyaeva I. V., Balandin S. V., Vasilova E. S., Famelis T. V., Trotsenko G. V., Zueva V. N., Meling E. A. *Opredelitel' sosudistykh rastenii Srednego Urala* [Determinant of Vascular Plants of the Middle Urals]. Moscow, Nauka Publ., 1994. 525 p. (in Russian).

*Dekorativnye i lekarstvennye rasteniia (otkrytyi grunt): katalog Botanicheskogo sada Belorusskoi gosudarstvennoi sel'skokhoziaistvennoi akademii* [Ornamental and Medicinal Plants (Open Ground): Catalogue of the Botanical Garden of the Belarusian State Agricultural Academy]. Gorky, Belarusian State Agricultural Academy Publ., 2013. 308 p. (in Russian).

Drozhdzhina V. N. Change of morphometric indicators in vegetative organs of *Tilia cordata* Roth. in the conditions of urban environment. *Industrial Botany*, 2019, vol. 19, no. 3, pp. 55–58 (in Russian).

Zhuikova T. V., Meling E. V., Kaigorodova S. Yu., Bezel' V. S., Gordeeva V. A. Specific features of soils and herbaceous plant communities in industrially polluted areas of the Middle Urals. *Russian Journal of Ecology*, 2015, vol. 46, no. 3, pp. 213–221. <https://doi.org/10.1134/S1067413615030133>

Zhuikova T. V., Popova A. S., Meling E. V. Comparative evaluation of the fluctuating asymmetry of the leaf blade of *Betula pendula* Roth with different methods of plant material fixation. *Samara Journal of Science*, 2020, vol. 9, no. 4, pp. 58–65 (in Russian). <https://doi.org/10.17816/snv202094109>

Zhuikova T. V., Meling E. V., Popova A. S. On the methodology for assessing the integral indicator of the degree of favorable weather conditions for plants. *Samara Journal of Science*, 2022, vol. 11, no. 2, pp. 45–51 (in Russian). <https://doi.org/10.55355/snv2022112106>

Ziyatdinova K. Z., Urazgildin R. V., Denisova A. V. Qak (*Quercus robur* L.) Leaves and shoots morphology in the environmental pollution conditions (on the Ufa industrial centre example). *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 2012, vol. 14, no. 1–6, pp. 1466–1469 (in Russian).

Ivshina I. B., Kostina L. V., Kamenskikh T. N., Zhuikova V. A., Zhuikova T. V., Bezel' V. S. Soil microbiocenosis as an indicator of stability of meadow communities in the environment polluted with heavy metals. *Russian Journal of Ecology*, 2014, vol. 45, no. 2, pp. 83–89. <https://doi.org/10.1134/S1067413614020039>

Kirillova I. A., Kirillov D. V. Population dynamics, reproductive success, and seasonal development of *Cypripedium calceolus* under different growing conditions as a response to weather factors. *Contemporary Problems of Ecology*, 2021, vol. 14, no. 5, pp. 472–482. <https://doi.org/10.1134/S1995425521050061>

Kirillova I. A., Kirillov D. V. Impact of weather conditions on the seasonal development, population structure and reproductive success of *Dactylorhiza incarnata* s. l. (Orchidaceae, Liliopsida) in the Komi Republic. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2022, no. 2, pp. 173–192 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2022-2-173-192>

Klevtsova M. A., Yuranova A. V. The influence of urban conditions on morphometric parameters of sheet plates of trees. In: *Sovremennye problemy introduksii i sokhraneniia bioraznoobraziia rastenii: materialy 3-y zaochnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarod-*

*nym uchastiem, posviashchennoi 80-letiiu Botanicheskogo sada im. prof. B. M. Kozo-Polianskogo Voronezhskogo gosuniversiteta* [Modern Problems of the Introduction and Conservation of Plant Biodiversity: Materials of the 3rd Correspondence Scientific and Practical Conference with International Participation, Dedicated to 80th Anniversary of the B. M. Kozo-Polyansky Botanical Garden of Voronezh State University]. Voronezh, Roza vetrov Publ., 2017, pp. 164–169 (in Russian).

Klevtsova M. A., Mikheev A. A. Assessment of the impact of stress factors of urbanized environment on woody plants. In: *Problemy i monitoring prirodnykh ekosistem: sbornik statei VII Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Problems and Monitoring of Natural Ecosystems: Collection of Articles of the VII All-Russian Scientific and Practical Conference]. Penza, Penza State Agrarian University Publ., 2020 a, pp. 73–76 (in Russian).

Klevtsova M. A., Mikheev A. A. The ecodiagnosics of the urbanized environment by morphometric indicators of the leaves *Betula pendula* Roth. *Regional Geosystems*, 2020 b, vol. 44, no. 4, pp. 432–445 (in Russian). <https://doi.org/10.18413/2712-7443-2020-44-4-432-445>

Knyazev M. S., Tretyakova A. S., Podgaevskaya E. N., Zolotareva N. V., Kulikov P. V. Annotated checklist of the flora of Sverdlovsk region. Part III: Dicotyledonous plants (Aristolochiaceae – Monotropaceae). *Phytodiversity of Eastern Europe*, 2018, vol. XII, no. 2, pp. 4–95 (in Russian). <https://doi.org/10.24411/2072-8816-2018-10013>

Kozhevnikov A. P., Shipitsina N. V., Kondratova E. B. Shrubs-the introduced species in landscape plantings of the settlements of the Sverdlovsk region. *Forests of Russia and the Economy in Them*, 2022, no. 2, pp. 36–43 (in Russian). <https://doi.org/10.51318/FRET.2022.27.36.005>

Kozlov M. V. Plant studies on fluctuating asymmetry in Russia: Mythology and methodology. *Russian Journal of Ecology*, 2017, vol. 48, no. 1, pp. 1–9. <https://doi.org/10.1134/S1067413617010106>

Laius D. L., Graham D. Kh., Katolikova M. V., Yurtseva A. O. Fluctuating asymmetry and random phenotypic variability in population studies: History, achievements, problems, prospects. *Vestnik of Saint Petersburg University. Ser. 3. Biology*, 2009, no. 3, pp. 98–110 (in Russian).

Lovelius N. V. *Izmenchivost' prirosta derev'ev. Dendroindikatsiia prirodnykh protsessov i antropogennykh vozdeistvii* [Variability of Tree Growth. Dendroindication of Natural Processes and Anthropogenic Impacts]. Leningrad, Nauka Publ., 1979. 231 p. (in Russian).

Magomedova B. M. Variability of traits of fruits and one-year old seedlings of the rare species *Celtis caucasica* (Ulmaceae). *Russian Journal of Forest Science*, 2019, no. 3, pp. 188–197 (in Russian). <https://doi.org/10.1134/S0024114819020050>

Maznaya E. A., Lyanguzova I. V. *Ekologo-populiatsionnyi monitoring iagodnykh kustarnichkov pri aerotekhnogennom zagriaznenii* [Ecological and Population Monitoring of Berry Shrubs under Aerotechnogenic Pollution]. Saint Petersburg, BBM Publ., 2010. 194 p. (in Russian).

Malkov F. S., Nurminskaya Yu. V. Baikal Center for the Study of the Morphology of Annual and long-term annual leaves. In: *Perspektivy razvitiia biomeditsinskikh tekhnologii v Baikal'skom regione: sbornik tezisev Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii* [Prospects for the Development of Biomedical Technologies in the Baikal Region: Collection of Abstracts of the International Scientific Conference]. Irkutsk, Izdatel'stvo Instituta geografii im. V. B. Sochavy SO RAN, 2019, pp. 54–55 (in Russian).

Mamaev S. A. *The Laws of Intraspecific Variability of the Pinaceae Family in the Urals*. Thesis Diss. Dr. Sci. (Biol.). Sverdlovsk, 1970. 54 p. (in Russian).

Mashkina O. S., Kuznetsova N. F., Isakov Yu. N., Butorina A. K. Self-fertility in Scots pine as a mechanism of resistance to chemical mutagens. *Russian Journal of Ecology*, 2009, vol. 40, no. 6, pp. 399–404.

Migalina S. V., Ivanova L. A., Makhnev A. K. Size of the leaf as a marker of birch productivity at a distance from the climatic optimum. *Russian Journal of Plant Physiology*, 2009, vol. 56, no. 6, pp. 858–862.

*Normirovanie material'no-tekhnicheskikh resursov v gazovoi promyshlennosti: Spravochnik. Pod red. D. T. Aksenova* [Aksenov D. T., ed. Rationing of Material and Technical Resources in the Gas Industry: Handbook]. Moscow, Nedra Publ., 1982. 208 p. (in Russian).

Polonskiy V. I., Polyakova I. S. Morphometric parameters of *Syringa josikaea* Jacq. leaves in the urban environment quality assessment. *Bulletin of KrasSAU*, 2014, no. 8 (95), pp. 130–133 (in Russian).

Popova O. S., Popov V. P., Kharakhonova G. U. *Drevesnye rasteniia lesnykh, zashchitnykh, zelenykh nasazhdenii: uchebnoe posobie* [Woody Plants of Forest, Protective, Green Plantings: Textbook]. Krasnoyarsk, Krasnoyarsk State Agrarian University Publ., 2005. 159 p. (in Russian).

Savinov A. B., Soloshenko M. A. Phenotypic changes in urban cenopopulations of plantain under different technogenic pressure on their biotopes. In: *Problemy regional'nogo ekologicheskogo monitoringa: materialy nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Problems of Regional Ecological Monitoring: Materials of a Scientific-Practical Conference]. Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod State University Publ., 2002, pp. 121–122 (in Russian).

Savintseva L. S. *Ecological Analysis of Adaptive Mechanisms of Plants in an Urbanized Environment*. Thesis Diss. Cand. Sci. (Biol.). Petrozavodsk, 2015. 24 p. (in Russian).

Severtsov A. S. *Napravlennost' evoliutsii* [Direction of Evolution]. Moscow, Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta, 1990. 272 p. (in Russian).

Siminel V. D., Kilchevskaya O. S. *Osobnosti biologii tsvetenii, opyleniia i oplodotvoreniia tritikale* [Biology of Flowering, Pollination and Fertilization of Triticale]. Kishinev, Shtiintsa Publ., 1984. 152 p. (in Russian).

Sokolova G. G., Eremina A. A. The influence of air pollution on the development of woody plant leaves under conditions of Gorno-Altaysk city. *Problems of Botany of Southern Siberia and Mongolia*, 2014, no. 13, pp. 208–213 (in Russian).

Titov S. V. Territoriality of terrestrial squirrels of the Middle Volga. In: *Ekologiia zhivotnykh i problemy regional'nogo ekologicheskogo obrazovaniia* [Ecology of Animals and Problems of Regional Ecological Education]. Saransk, Mordovian State Pedagogical University Publ., 1999, pp. 64–67 (in Russian).

Turmukhmetova N. V. *Features of Shoot Morphogenesis and Phenorhythms of *Betula pendula* Roth and *Tilia cordata* Mill. in the Conditions of the Urban Environment*. Thesis Diss. Cand. Sci. (Biol.). Novosibirsk, 2005. 19 p. (in Russian).

Ubaeva R. Sh., Mutsalova S. Sh. The effect of air pollution on morphological structures of maple leaves of different species in Grozny. *Science and Business: Ways of Development*, 2013, no. 11 (29), pp. 60–65 (in Russian).

Khikmatullina G. R. Comparison of the morphological features of the *Betula pendula* leaf in urban environments. *Bulletin of Udmurt University. Biology. Earth Sciences*, 2013, iss. 2, pp. 48–56 (in Russian).

Chekmeneva Yu. V. *The Study of Individual Variability of Coniferous Introduced Species for Monitoring in an Urban Environment*. Diss. Cand. Sci. (Agric.). Voronezh, 2011. 227 p. (in Russian).

Chernodubov A. I. *Sosna obyknovennaia v ostrovnykh borakh Vostochno-Evropeiskoi ravniny: (istoriia – genetika – ekologiia – geografiia)* [Scotch Pine in the Island Forests of the East European Plain: (History–Genetics–Ecology–Geography)]. Voronezh, Voronezh State Forestry Academy Publ., 2009. 156 p. (in Russian).

Takhtajan A. L., ed. *Chromosome Numbers in Flowering Plants of the Flora of the USSR: Aceraceae – Menyanthaceae*. Leningrad, Nauka Publ., 1990. 510 p. (in Russian).

Givnish T. J. Leaf and canopy adaptations in tropical forests. In: Medina E., Mooney H. A., Vázquez-Yanes C., eds. *Physiological Ecology of Plants of the Wet Tropics*. Dordrecht, Springer, 1984, pp. 51–84.

*Global Environmental Monitoring System (GEMS). SCOPE Report 3*. Toronto, ICSU-SCOPE, 1973. 74 p.

Warren C. R., Dreyer E., Tausz M., Adams M. A. Ecotype adaptation and acclimation of leaf traits to rainfall in 29 species of 16-year-old Eucalyptus at two common gardens. *Functional Ecology*, 2006, vol. 20, iss. 6, pp. 929–940. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2006.01198.x>

Оригинальная статья

УДК 639.1.053(470.44)

<https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-1-58-76>

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ ОХОТНИЧЬИХ ЖИВОТНЫХ ПО ДАННЫМ ЗИМНИХ МАРШРУТНЫХ УЧЕТОВ

И. А. Кондратенков , М. Л. Опарин, О. С. Опарина

*Саратовский филиал Института проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН  
Россия, 410028, г. Саратов, ул. Рабочая, д. 24*

Поступила в редакцию 22.12.2022 г., после доработки 18.01.2023 г., принята 18.01.2023 г.

**Аннотация.** Настоящая статья посвящена исследованию возможности определения экологической плотности охотничьих животных по данным зимнего маршрутного учета (ЗМУ). Определение плотности охотничьих животных является необходимым условием для определения квот их добычи. Наиболее ценным параметром, характеризующим численность популяций конкретных видов охотничьих животных, является экологическая плотность. Она рассчитывается для площади, фактически заселенной тем или иным видом животных. В практике отечественного охотоведения широко используется плотность населения, рассчитанная на площадь свойственных виду угодий. Под свойственными угодьями понимаются территории, обладающие кормовыми, защитными свойствами для данного вида, как всеми вместе или хотя бы одним из указанных свойств. Однако признание той или иной территории свойственной для некоторого вида животных совсем не означает, что она будет им полностью заселена и, напротив, что территории, признанные несвойственными, не будут посещаться этими животными, что подтверждается материалами зимних маршрутных учетов. При анализе следовой активности охотничьих животных в различных угодьях она регистрируется как в угодьях, которые считаются для вида свойственными, так и в несвойственных для него. При обработке данных зимних маршрутных учетов в качестве территории нахождения животного в течение суток берут участок, лежащий внутри минимального выпуклого контура, проведенного вокруг суточного наследа этого животного. В этом случае в качестве территории, занятой каким-либо животным, можно считать территорию, получаемую путем объединения всех минимальных выпуклых контуров, проведенных вокруг всех суточных наследов, оставленных всеми животными данного вида за период учетных работ, и можно считать заселенной ими территорией в это время года. Пересечение маршрутом следа является случайным событием, поэтому для определения экологической плотности вида по данным ЗМУ необходимо применение теории вероятностей.

**Ключевые слова:** локальный ареал охотничьего вида, экологическая плотность охотничьего вида, площадь фактически заселенной территории, зимний маршрутный учет

 Для корреспонденции. Лаборатория экологии наземных позвоночных степной зоны Саратовского филиала Института проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН.

ORCID и e-mail адреса: Кондратенков Игорь Алексеевич: [kondri60@mail.ru](mailto:kondri60@mail.ru); Опарин Михаил Львович: <https://orcid.org/0000-0002-9629-7579>, [oparinml@mail.ru](mailto:oparinml@mail.ru); Опарина Ольга Сергеевна: <https://orcid.org/0000-0001-5581-4122>, [otis07@mail.ru](mailto:otis07@mail.ru).

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ

Для цитирования. Кондратенков И. А., Опарин М. Л., Опарина О. С. Определение экологической плотности некоторых видов охотничьих животных по данным зимних маршрутных учетов // Поволжский экологический журнал. 2023. № 1. С. 58 – 76. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-1-58-76>

### ВВЕДЕНИЕ

Плотность населения является одной из важнейших характеристик популяций диких животных. Она может рассчитываться двумя способами, или на всю площадь некоторой заранее выбранной территориальной единицы, или на площадь территории, фактически заселенной животными. Плотность населения, определяемая в последнем случае, является истинной и получила название экологической плотности (Одум, 1986). В практике отечественного охотоведения широко используется также плотность населения, рассчитанная на площадь свойственных виду угодий. Под свойственными угодьями понимаются территории, обладающие кормовыми, защитными и гнездопригодными свойствами для данного вида, как всеми вместе или хотя бы одним из указанных свойств. Так, при проведении охотустройства, для лося (*Alces alces* L.) и благородного оленя (*Cervus elaphus* L.) в качестве свойственных предлагалось считать лесные угодья, для европейской (*Capreolus capreolus* L.) и сибирской косуль (*Capreolus pygargus* P.) и кабана (*Sus scrofa* L.), как лесные угодья, так и открытые угодья, примыкающие к лесу на ширину до 0.5 км. Для зайца-русака (*Lepus europaeus* P.) и серой куропатки (*Perdix perdix* L.) свойственными предлагалось считать открытые (степные, луговые, полевые) угодья и примыкающие к ним участки леса, глубиной до 0.5 км (Данилов и др., 1966). В дальнейшем такой подход получил широкое распространение, особенно в отношении лося, но также и для других животных, распределение плотности населения чаще всего изучалось в расчете на лесопокрытые и открытые площади (Банников, Теплов, 1964; Червонный, 1975; Филонов, 1983; Данилов, 1986; Ломанов, 2007; Dzięciolowski, 1976; Caughley, Sinclair, 1994; Lindén et al., 1996; Kurki et al., 1998; Engeman et al., 2001; Forsey, Baggs, 2001; Stephens et al., 2006; Keeping, Pelletier, 2014; Keuling et al., 2018 и др.). При этом И. К. Ломанов (2007) приравнял площадь свойственных угодий для лося с фактической площадью, заселенной этим видом, и, соответственно, плотность населения, рассчитанную на площадь свойственных угодий, с экологической плотностью. Удобство такого подхода заключается в том, что лесные или лесопокрытые площади в большинстве случаев известны, и расчет плотности населения животных в отношении их не представляет трудностей, однако есть веские возражения в правомерности такого подхода. Признание нами той или иной территории свойственной для некоторого вида животных совсем не означает, что она будет ими полностью заселена и, напротив, что территории, признанные несвойственными, не будут посещаться этими животными. Собственно, это подтверждается материалами зимних маршрутных учетов, при анализе следовой активности охотничьих животных в различных угодьях. Таким образом, площадь свойственных виду угодий является такой же заранее и в большей степени произвольно выбранной территориальной единицей, как и территории административных образований – районов, областей и т.п. Закономерно возникает вопрос

об объективном определении экологической плотности, так как именно она является экологической характеристикой популяций различных животных, такой же, как, например, воспроизводственный потенциал. Определение последнего, в некоторых случаях, также возможно по данным зимнего маршрутного учета (Кондратенков и др., 2021)

Исследованию возможности определения экологической плотности охотничьих животных по данным зимнего маршрутного учета (ЗМУ) посвящена настоящая статья.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для начала необходимо определиться с тем, что считать территорией, фактически заселенной животными, или территорией обитания вида. В качестве территории нахождения животного в течение суток берут участок, лежащий внутри минимального выпуклого контура, проведенного вокруг суточного наследа этого животного. Понятие минимального выпуклого контура, проведенного вокруг суточного наследа, введено Н. Г. Челинцевым (2000). В этом случае в качестве территории, занятой каким-либо животным, можно считать территорию, получаемую путем объединения всех минимальных выпуклых контуров, проведенных вокруг всех суточных наследов, оставленных этим животным за определенное время, например за время проведения ЗМУ. Следовательно, объединение минимальных выпуклых контуров, проведенных вокруг всех суточных наследов, оставленных всеми животными данного вида за период учетных работ, и можно считать заселенной ими территорией в это время года.

Как можно определить эту территорию на основании данных ЗМУ? Общеизвестно, что если на некоторой исследуемой территории случайным образом или достаточно равномерно расположить большое число маршрутов, ориентированных по различным направлениям, то соотношение суммарных протяженностей этих маршрутов или их частей, проходящих по различным угольям, например лесным и полевым, объективно отразят соотношение площадей этих уголдей на исследуемой территории. Следовательно, отношение суммарной протяженности всех маршрутов, или их частей, проходящих по территории, заселенной животными определенного вида, к общей протяженности всех маршрутов на исследуемой территории будет объективной оценкой отношения площади заселенной территории к общей площади исследуемой территории.

Однако, в отличие от лесных и полевых уголдей, границы заселенной животными территорий при проведении ЗМУ мы определить не можем. Следовательно, необходимо прибегнуть к некоторому упрощению. Мы предлагаем оценивать искомую площадь по отношению суммарной протяженности всех маршрутов, полностью или частично проходящих по территории, заселенной животными, к суммарной протяженности всех маршрутов на исследуемой территории. Это несколько завысит оценку искомой площади. Причем, чем больше будет средняя длина одного маршрута, тем больше будет завышение и, наоборот, чем меньше средняя длина одного маршрута, тем точнее будет оценка. С практической точки зрения данный подход можно считать как оценку площади, заселенной животными, в

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ

первом приближении несколько больше истинной. Соответственно, полученная на ее основании оценка экологической плотности населения будет несколько меньше истинной. Что вполне оправдано с точки зрения наблюдения за состоянием популяций охотничьих животных и обеспечения их устойчивого существования.

Как можно определить, проходит ли маршрут по заселенной животными территории или нет? Если на маршруте имеется хотя бы одно пересечение следа учитываемого животного, то этот маршрут однозначно полностью или частично проходит по искомой территории. Если же на маршруте отсутствуют пересечения, то возможны два варианта: или маршрут проходит по территории, незаселенной учитываемыми животными, или по территории, заселенной ими, но в силу различных случайных причин он не пересек их след. Пересечение маршрутом следа является случайным событием, поэтому сформулируем отличие двух вариантов прохождения маршрутов в терминах теории вероятностей.

Если маршрут полностью или частично находится на территории обитания учитываемого вида, на исследуемой территории, то вероятность пересечения следов, оставляемых животными этого вида, будет ненулевой. Если маршрут целиком лежит за пределами территории их обитания, то вероятность такого события будет равна нулю.

Предположим, что имеется маршрут, полностью или частично проходящий по заселенной животными территории, и вероятность того, что он не пересечет ни одного следа, равна некоторой величине большей нуля и меньше единицы. Тогда, в соответствии с правилами умножения вероятностей, если провести учет следов животных на этом маршруте многократно, то вероятность того, что при этом не будет получено ни одного пересечения следа, будет стремиться к нулю, а вероятность того, что будет пересечен хотя бы один след, будет стремиться к единице (MacKenzie et al., 2002; MacKenzie, Nichols, 2004; Gu, Swihart, 2004; Nielsen et al., 2005).

Это позволяет при многократном проведении учета на одних и тех же маршрутах по характеру изменения числа маршрутов с ненулевыми или нулевыми результатами пересечения следов животных, по мере объединения данных этих учетов, определить долю маршрутов с ненулевой или нулевой вероятностью пересечения следа от числа всех маршрутов на исследуемой территории. Под объединением данных нескольких учетов на одном и том же маршруте понимается следующее: если хотя бы в одном из учетов получено пересечение хотя бы одного следа, то результат учета для данного маршрута считается ненулевым, в противном случае нулевым.

Для практического использования данного метода определения доли маршрутов с нулевой и ненулевой вероятностью пересечения следа учитываемого животного необходимо проведение не менее трех результативных учетов на одних и тех же маршрутах. Под результативностью учета понимается пересечение всеми маршрутами хотя бы одного следа учитываемого животного.

Для аппроксимации данных учетов нами было выбрано следующее выражение:

$$y = a(1 - b^x), \quad 0 < a \leq 1, \quad 0 < b \leq 1, \quad x \geq 3, \quad (1)$$

где  $a$  и  $b$  – коэффициенты уравнения,  $x$  – количество (кратность) проведенных учетов, данные которых используются для аппроксимации уравнения.

Здесь коэффициент  $a$  соответствует доле маршрутов с ненулевой вероятностью пересечения следа учитываемого вида в общем числе всех учетных маршрутов, при условии одинаковой их длины. Либо он (коэффициент  $a$ ) соответствует отношению суммарной протяженности маршрутов с ненулевой вероятностью пересечения следа учитываемого вида к суммарной протяженности всех учетных маршрутов, заложенных на исследуемой территории, в случае их неодинаковой длины.

Коэффициент  $b$  соответствует вероятности того, что на маршруте средней длины с ненулевой вероятностью пересечения следа учитываемого вида будет получен нулевой результат или вероятности того, что в ходе учета на этом маршруте не будет зарегистрировано ни одного пересечения.

Оптимальным, с нашей точки зрения, следует считать данные учета за три года, так как изменением численности животных за это время можно пренебречь.

Оценка площади обитания проводилась в отношении следующих видов: лося, оленя благородного, оленя пятнистого, косули сибирской и косули европейской вместе, зайца-русака, лисицы обыкновенной и волка, а также для серой куропатки и тетерева.

Для определения экологической плотности серой куропатки и тетерева использовались встречи этих птиц на маршрутах.

Для расчета площади обитания изучаемых видов были взяты данные ЗМУ за период с 2013 по 2015 годы.

Если на некоторых маршрутах в течение года учет проводился два или три раза, то их результаты объединялись при сохранении кратности проведения учета в этом году равной единице.

Так как для расчета площади обитания изучаемых видов не обязательно объединять данные учетов в хронологическом порядке, то, с целью снижения влияния случайных составляющих, расчет коэффициентов выражения (1) проводился следующим образом. Сначала рассчитывались для каждого из выбранных лет соотношения суммарных протяженностей всех маршрутов, имеющих хотя бы одно пересечение следа учитываемого вида к суммарной протяженности всех маршрутов на исследуемой территории. Затем среднее значение таких соотношений по всем трем годам бралось как оценка доли суммарной протяженности всех маршрутов с ненулевым показателем учета следов в суммарной протяженности всех маршрутов на исследуемой территории, получаемой для одного года или как первая точка для аппроксимации выражения (1).

Далее результаты учетов всех трех лет были попарно объединены, 2013 с 2014 г., 2014 с 2015 г. и 2013 с 2015 г. Затем определялись указанные выше соотношения, но уже для попарных объединений. Среднее значение из которых рассматривалось как вторая точка для аппроксимации выражения (1). Наконец, объединение данных учета по всем трем годам и определенное на базе этого объединения соотношение суммарных длин указанных выше маршрутов использовалось как третья точка для аппроксимации выражения (1).

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ

Сама аппроксимация проводилась методом наименьших квадратов. В принципе возможны два варианта расчетов, в целом для всей исследуемой территории и отдельно по выделенным категориям угодий – лесным, полевым, болотным. В последнем случае общая площадь заселенной видом территории определялась как сумма заселенных площадей выделенных категорий угодий. Здесь следует ожидать более точного определения площади обитания изучаемых видов, так как средняя длина частей маршрутов, проходящих по выделенным категориям угодий, будет меньше, чем средняя длина маршрутов в целом.

Для сравнения нами были проведены расчеты обоими способами, чтобы сравнение было более наглядным, мы определили заселенные площади выделенных категорий угодий и для первого способа тоже. Для этого нами был применен следующий алгоритм: после того, как была определена общая площадь заселенной видом территории по результатам объединения данных ЗМУ по трем годам, определялись отношения суммарных протяженностей маршрутов или их частей, проходящих по лесным или полевым угодьям и имеющих не нулевой результат учета следов, к суммарным протяженностям всех учетных маршрутов или их частей, проходящих соответственно по лесным или полевым угодьям. Если бы имелось строго равномерное распределение учетных маршрутов на исследуемой территории, то умножив полученные отношения на рассчитанную ранее общую заселенную площадь, мы бы получили оценки площадей заселенных лесных и полевых территорий в первом приближении. Однако густота учетных маршрутов в лесных угодьях, как правило, выше, чем в полевых, во всяком случае это верно для Саратовской области, поэтому возникает необходимость воспользоваться корректирующим коэффициентом, который представляет собой отношение показателя густоты учетных маршрутов, рассчитанной для всей площади исследуемой территории, к соответствующему показателю, рассчитанному для лесных или полевых угодий.

$$Q_{zu}^* = \frac{M_{u(+)} M/Q}{M_{(+)} M_u/Q_u} Q_z, \quad (2)$$

где  $Q_{zu}^*$  – оценка в первом приближении площади заселенной видом территории категории угодий  $u$ ;  $M_{u(+)}$  – суммарная длина маршрутов и их частей, проходящих в категории угодий  $u$  и имеющих не нулевой результат учета следов по результатам объединения данных по трем годам;  $M_{(+)}$  – суммарная длина всех маршрутов на исследуемой территории, имеющих не нулевой результат учета следов по результатам объединения данных по трем годам;  $M$  – суммарная длина всех маршрутов на исследуемой территории,  $Q$  – площадь исследуемой территории,  $M_u$  – суммарная длина маршрутов и их частей, проходящих в категории угодий  $u$ ,  $Q_u$  – площадь категории  $u$  на исследуемой территории,  $Q_z$  – общая площадь заселенной видом территории, рассчитанная первым способом,  $u$  – выделенная категория угодий – «лес», «поле», «болото».

Затем полученные в первом приближении оценки площадей заселенных видом территорий выделенных категорий угодий пропорционально увеличиваются или уменьшаются таким образом, чтобы их сумма была равна первоначально рассчитанной общей площади заселенной территории.

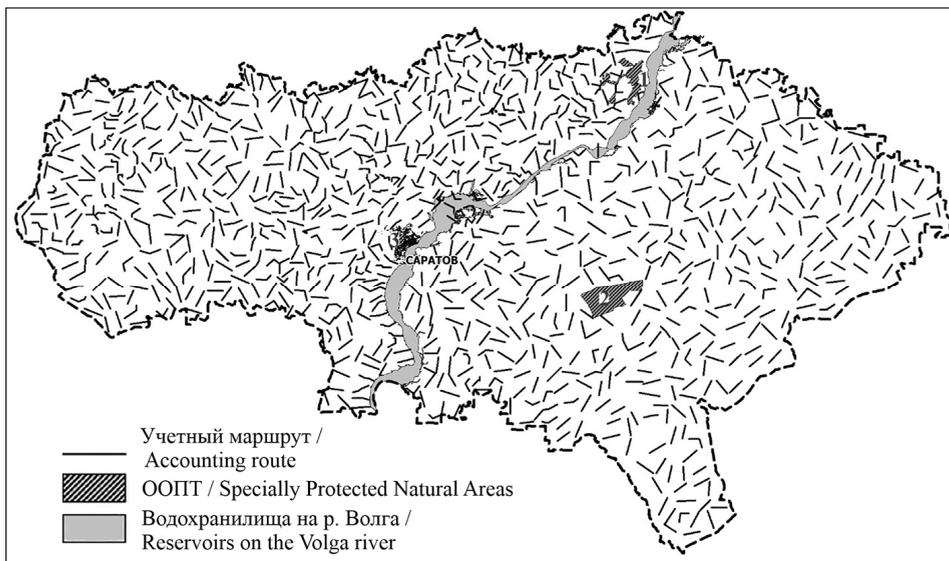
$$\sum_u Q_{zu} = Q_z, \quad (3)$$

где  $Q_{zu}$  – окончательная оценка площади заселенной видом территории категории угодий  $u$ .

Подготовительную обработку и анализ данных проводили в приложении Microsoft Office Excel 2010 (Microsoft Corp.), статистические расчеты выполнены с использованием пакета программ STATISTICA 6.0 (Statsoft Inc., OK, USA).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В соответствии с требованиями Методических указаний по осуществлению органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации переданного полномочия Российской Федерации по осуществлению государственного мониторинга охотничьих ресурсов и среды их обитания методом зимнего маршрутного учета, утвержденных приказом Минприроды России от 11.01.2012 г. № 1, в Саратовской области в 2013 г. была утверждена схема постоянных маршрутов ЗМУ. Всего на территории области был заложен 951 учетный маршрут, общей протяженностью 9480.9 км, из них по лесу – 1009.0 и по полю – 8471.9 (рисунок).



Расположение учетных маршрутов ЗМУ на территории Саратовской области в 2013 г.: 1 – Национальный парк «Хвалынский», 2 – государственный федеральный заказник «Саратовский», 3 – природный парк «Кумысная поляна»

**Figure.** Locations of the counting routes of winter route census on the territory of the Saratov region in 2013: 1 – National Park “Khvalynsky”, 2 – State Federal Nature Reserve “Saratovskiy”, 3 – Natural Park “Kumysnaya Polyana”

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ

На рисунке видно, что учетные маршруты были распределены в правобережной части Саратовской области (более лесной) несколько гуще, чем в левобережной (более степной), но в целом для целей настоящего исследования можно считать, что маршруты ЗМУ на территории области размещены достаточно равномерно.

В это время в качестве исследуемой территории бралась вся территория Саратовской области, за исключением территорий непригодных для ведения охотничьего хозяйства, части акваторий Саратовского и Волгоградского водохранилищ, а также территорий национального парка «Хвалынский», федерального государственного заказника «Саратовский» и природного парка «Кумысная поляна». Площадь исследуемой территории составляла 97874.1 км<sup>2</sup>, в том числе категории «лес» – 6063.6 км<sup>2</sup>, категории «поле» – 91810.5 км<sup>2</sup>. Болота, в связи с их малочисленностью и небольшими размерами, в отдельную категорию угодий при проведении ЗМУ на территории Саратовской области не выделялись.

При этом площадь полукилометровой полосы полевых угодий, прилегающей к лесным, составляла 7050 км<sup>2</sup> или 7.68% от общей площади полевых угодий, а полукилометровой полосы лесных угодий, прилегающей к полевым – 4128 км<sup>2</sup> или 68.1% от общей площади лесных угодий.

В дальнейшем в 2014 и 2015 гг. некоторые маршруты удалялись, некоторые добавлялись, у некоторых маршрутов была изменена конфигурация, что не принципиально, так как число таких маршрутов было невелико, буквально единицы, а в расчетах при объединениях использовались данные, полученные только на тех маршрутах, на которых учет проводился в течение всех объединяемых лет.

Средние трехлетние показатели зимних маршрутных учетов в отношении вышеперечисленных видов охотничьих животных представлены в табл. 1, а расчеты площади обитания популяций изучаемых животных на территории Саратовской области в табл. 2.

В табл. 1 наиболее информативной частью являются данные о суммарной длине суточных следов, оставляемых всеми особями изучаемых видов на исследуемой территории в среднем в течение суток. Особо следует обратить внимание на соотношение суммарных длин суточных следов, оставляемых животными в лесных и полевых угодьях.

Наибольшее соотношение ожидаемо у лося, суммарная длина суточных следов, оставляемых этим видом в лесных угодьях, примерно в пять раз больше аналогичного показателя для полевых угодий. Далее, если рассматривать родственные лосю виды, идет благородный олень, суммарная длина суточных следов в лесу в четыре раза больше, чем в поле, у пятнистого оленя – в два раза больше, а у косуль суммарная длина суточных следов в поле даже несколько больше, чем в лесу. Для вышеуказанных видов наблюдается некоторая закономерность, чем меньше размер тела животного, тем больше относительная протяженность суточных следов, оставляемых особями этого вида в полевых угодьях, и соответственно меньшую долю составляют следы в лесу.

Кабан по данному соотношению занимает промежуточное место между двумя видами оленей, у зайца-русака и лисицы суммарная длина суточных следов в поле примерно в десять раз больше, чем в лесу. У волка тоже суммарная протяженность суточных следов в поле больше, чем в лесу, но только в два раза.

**Таблица 1.** Средние трехлетние показатели зимних маршрутных учетов в отношении некоторых видов охотничьих животных на территории Саратовской области за период с 2013 по 2015 годы  
**Table 1.** Average three-year indicators of winter route counts in relation to some species of game animals on territory of the Saratov region since 2013 to 2015

Показатель / Indicator	Вид / Species											
	<i>Alces alces</i>	<i>Cervus elaphus</i>	<i>Cervus nippon</i>	<i>Carpodacus sp.</i>	<i>Sus scrofa</i>	<i>Lepus europaeus</i>	<i>Vulpes vulpes</i>	<i>Canis lupus</i>	<i>Lynxus tetrix</i>	<i>Perdix perdix</i>		
Частота пересечений, след / 10 км / Crossing frequency, track / 10 km: лес / forest	9.34	2.73	1.73	15.84	31.93	8.36	7.95	0.15	–	–		
поле / field	0.12	0.046	0.055	1.25	0.62	5.93	6.23	0.018	–	–		
Плотота следовых линий*, км / 10 км <sup>2</sup> / Density of trace lines**, km / 10 km <sup>2</sup> : лес / forest	14.7	4.29	2.72	24.88	50.16	13.14	12.49	0.24	–	–		
поле / field	0.19	0.072	0.087	1.96	0.97	9.31	9.78	0.029	–	–		
Суммарная длина суточных следов**, км / Total length of daily tracks**, km: лес / forest	8896.9	2600.3	1649.3	15087.6	30416.3	7966.2	7572.3	144.0	–	–		
поле / field	1781.9	662.1	799.3	17976.3	8922.1	85493.0	8983.3	261.8	–	–		
всего / total	10678.8	3262.4	2448.6	33063.9	39338.4	93459.2	97405.6	405.8	–	–		
отношение лес / поле / forest / field ratio	4.99	3.93	2.06	0.84	3.41	0.09	0.08	0.55	–	–		
Численность, особ. / Numberts, ind	4147	1350	1060	12419	13774	29154	17983	31	2772	252053		
Плотность населения в пересчете на площадь, особ. / 10 км <sup>2</sup> Population density, ind. / 10 km <sup>2</sup> : исследуемой территории / study area	0.42	0.14	0.11	1.27	1.41	2.98	1.84	0.0032	0.28	25.8		
лесных угодий / forest lands	6.84	2.23	1.75	–	–	–	–	–	–	–		
своительных угодий / propriet lands	6.84	2.23	1.75	9.47	10.50	3.04	–	–	2.11	26.3		

*Примечание.* \* – суммарная длина всех следовых линий (суточных следов или их частей), оставляемых всеми особями учитываемого вида на исследуемой территории в среднем в течение суток; Приходящаяся в среднем на единицу площади исследуемой территории. \*\* – суммарная длина всех суточных следов, оставляемых всеми особями учитываемого вида на исследуемой территории в среднем в течение суток.

*Note.* \* – total length of all trace lines (diurnal tracks or parts thereof) left by all individuals of the species under consideration in the study area on average during one day per unit area of the study area on average; \*\* – total length of all daily tracks left by all individuals of the species under consideration in the study area on average during one day.

**Таблица 2.** Площадь (S) территории обитания популяций некоторых видов охотничьих животных в Саратовской области  
**Table 2.** Area (S) of the habitat of populations of some species of hunting animals in the Saratov region

Территория обитания популяции / Habitat of the population	<i>Alces alces</i>		<i>Cervus elaphus</i>		<i>Cervus nippon</i>		<i>Capreolus sp.</i>		<i>Sus scrofa</i>	
	Вариант расчета / Calculation option									
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
S лесных угодий, км <sup>2</sup> / S of forest lands, km <sup>2</sup>	5697.7	4895.3	1358.5	1144.3	400.2	357.6	6031.2	5403.8	<b>6066.6</b>	5508.2
в % от общей S лесных угодий / in % of the total S of forest lands	94.0	80.7	22.4	18.9	6.60	5.90	99.5	89.1	<b>100.1</b>	90.8
S полевых угодий, км <sup>2</sup> / S of field lands, km <sup>2</sup>	18295.3	11855.5	3339.1	2111.2	1787.5	1632.6	46021.4	42991.3	32258.2	27292.7
в % от общей S полевых угодий / in % of the total S of field lands	19.9	12.9	3.64	2.30	1.95	1.78	50.1	46.8	35.1	29.7
S всех угодий, км <sup>2</sup> / S of all lands, km <sup>2</sup>	23993.0	16750.8	4697.6	3255.5	2187.7	1990.2	52052.6	48395.1	38324.8	32800.9
в % от общей S исследуемой территории / in % of the total S of the study area	24.5	17.1	4.80	3.33	2.24	2.03	53.2	49.5	39.2	33.5
Территория обитания популяции / Habitat of the population	<i>Lepus europaeus</i>		<i>Vulpes vulpes</i>		<i>Canis lupus</i>		<i>Lynxus tetrrix</i>		<i>Perdix perdix</i>	
	Вариант расчета / Calculation option									
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
S лесных угодий, км <sup>2</sup> / S of forest lands, km <sup>2</sup>	5869.2	5332.3	6018.0	5728.3	1505.4	886.1	851.5	772.3	1193.1	214.4
в % от общей S лесных угодий / in % of the total S of forest lands	96.8	87.9	99.3	94.5	24.8	14.6	14.0	12.7	19.7	3.54
S полевых угодий, км <sup>2</sup> / S of field lands, km <sup>2</sup>	89352.9	89239.6	89983.7	89738.5	6128.0	7400.9	2229.3	—	46122.8	47584.1
в % от общей S полевых угодий / in % of the total S of field lands	97.3	97.2	98.0	97.7	6.67	8.06	2.43	—	50.2	51.8
S всех угодий, км <sup>2</sup> / S of all lands, km <sup>2</sup>	95222.1	94571.9	96001.7	95466.8	7633.4	8287.0	3080.8	—	47315.9	47798.6
в % от общей S исследуемой территории / in % of the total S of the study area	97.3	96.6	98.1	97.5	7.80	8.47	3.15	—	48.34	48.84

*Примечание.* Жирным шрифтом выделено превышение оценки площади обитания кабана в лесных угодьях над фактической площадью всех лесных угодий.

*Note.* The excess of the estimated area of wild boar habitat in forest land over the actual area of all forest land is highlighted in bold.

Что касается плотностей населения изучаемых видов, рассчитанных для различных территориальных образований, таких как площадь исследуемой территории в целом, площадь лесных и свойственных угодий, мы вернемся к ним позже, когда будем сравнивать их с экологическими плотностями, полученными для этих видов в результате расчетов.

Рассматривая табл. 2, в первую очередь сравним результаты расчетов площадей территорий обитания популяций изучаемых видов двумя способами.

Сразу отметим, что расчет вторым способом, то есть снизу вверх, в большинстве случаев дает несколько меньшие значения площади обитания видов, чем расчет первым способом, то есть сверху вниз, однако, в некоторых случаях получилось все наоборот. Это объясняется статистическим характером результатов расчета, если в ходе учета фиксируется большое количество пересечений учетными маршрутами следов учитываемых видов зверей, причем как в лесу, так и в поле, то расчет вторым методом всегда даст меньший результат, чем расчет первым способом. Если наоборот, число пересечений следов мало, то возникают случайные или статистические ошибки, особенно это сказывается, когда мы и без того небольшой объем выборки еще делим на лесную и полевую части, как при учете волка. В этом случае расчет первым способом более надежен, и он дает меньший результат, чем расчет вторым способом. Что касается птиц, то здесь наблюдалось следующее: несмотря на достаточное количество их встреч при учете, тетерева в большинстве своем были сосредоточены в лесу, а серые куропатки – в поле. Соответственно, встреч тетерева в поле было очень мало, более того, в 2015 г. не было зафиксировано ни одной встречи этого вида в поле, что не позволило вообще сделать расчет площади территории обитания популяции тетерева вторым способом. Серая куропатка встречалась в лесу при учете в каждые из трех указанных лет, но опять же очень мало, соответственно более надежным оказался первый способ расчета.

Обращает на себя внимание расчет площади лесных угодий, входящих в территорию обитания популяции кабана, первым способом. Результат получился несколько большим истинной площади этих угодий на исследуемой территории, что опять же можно объяснить эффектом накопления ошибок при расчете первым способом. Это подтверждает первоначально сделанный нами вывод о том, что второй метод расчета более точный, чем первый, в том случае, если имеется достаточный объем учетных материалов.

В общем можно предложить следующий алгоритм расчета площади территорий обитания популяций животных. Сначала проводится расчет обоими способами, а в качестве результирующего выбирается тот вариант, при котором площадь обитания вида получается наименьшей. Таким образом для всех вышеперечисленных видов зверей, кроме волка, был принят второй вариант расчета, а для волка, тетерева и серой куропатки – первый вариант.

Территория обитания лося в Саратовской области охватывает только 80% площади свойственных для него лесных угодий. Более интересен факт заселенности лосем не свойственных для него полевых угодий. Площадь последних почти в 2.5 раза больше, чем площадь заселенных лосем лесных угодий. То же можно сказать и в отношении благородного и пятнистого оленей. Что касается косуль, то для

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ

них, как и для кабана, свойственными было принято считать полукилометровую полосу полевых угодий, прилегающих к лесным. Площадь такой полосы, как было отмечено выше, составляла 7050 км<sup>2</sup>. На самом деле площадь полевых угодий, заселенных косулями и кабаном, составляла около 43 и 27 тыс. км<sup>2</sup> соответственно. Другими словами, косулями было заселено половина, а кабаном около трети всех полевых угодий Саратовской области.

Заяц-русак заселяет около 88% площади лесных угодий, то есть в условиях Саратовской области он проникает в лес гораздо дальше, чем на полкилометра. Если же рассматривать в целом территорию его обитания, то она охватывает почти всю территорию области – 96.6%. Еще более полно заселяет территорию области лисица – 97.5%.

Популяция волка в то время на территории Саратовской области находилась в депрессии, поэтому заселено этим видом было лишь 7.8% угодий. Опять же полевые угодья в составе территории обитания волка преобладали над лесными.

Преобладанию полевых угодий над лесными в границах территорий обитания копытных животных можно дать следующее объяснение. Полевые угодья в Саратовской области не представляют собой голую степь, территория этих угодий пересекается достаточно густой сетью оврагов и балок, небольших речек и ручьев. Во многих местах эти овраги и балки, а также берега рек и ручьев заросли древесно-кустарниковой растительностью. Кроме того, в Саратовской области широко развита сеть полезащитных лесополос и придорожных лесополос вдоль автомобильных и железных дорог, а также имеются государственные лесные полосы. Местами хорошо представлены ленточные леса и лесные колки, а также посадки лесных культур. Не стоит забывать также сельскохозяйственную деятельность, так как посевы пропашных культур, таких как подсолнечник и кукуруза, а также посевы озимых зерновых способствуют проникновению копытных животных вглубь полевых угодий.

Обращает на себя внимание тот факт, что такие животные, как косули, кабан, заяц-русак и лисица более полно заселяют лесные угодья, чем лось. Это говорит о том, что популяция лося еще не достигла максимально возможного для нее значения, исходя из кормовой емкости свойственных ему угодий. Не заселенными лесом в настоящее время остаются леса левобережной части Саратовской области, где этот вид регистрируется периодически единичными особями, а другие названные выше виды в саратовском Заволжье являются вполне обычными.

Что касается птиц, то ситуация здесь схожая, тетерев проникает вглубь полевых угодий гораздо дальше, чем 0.5 км от опушки леса, а серая куропатка проникает в лесные угодья на очень незначительную глубину. При этом серая куропатка заселяет только половину от всех полевых угодий.

Итак, определившись с порядком расчета площади территорий, заселяемых различными видами животных, можно приступить к расчету экологических плотностей их населения (табл. 3).

Из данных, представленных в табл. 3, следует, что рассчитанные нами экологические или истинные плотности населения изучаемых видов не совпадают с рассчитанными ранее (см. табл. 1) плотностями населения этих видов, в пересчете на

всю площадь исследуемой территории, площади всех лесных и свойственных угодий, за исключением двух случаев. Данное обстоятельство объясняется тем, что животные не заселяют полностью все угодья, считающиеся для них свойственными. С другой стороны, они заселяют гораздо большие площади угодий, считающихся для них не свойственными. Для животных, имеющих очаговый характер размещения, в нашем случае это оба вида оленей, волк и тетерев, расчет плотности населения в пересчете на всю площадь исследуемой территории и площади всех лесных угодий вообще не имеет смысла. Это же можно сказать в отношении расчета плотности населения для свойственных угодий, но уже в отношении всех рассмотренных в настоящей статье видов. В свете проведенных исследований мы приходим к выводу об искусственности таких понятий, как «свойственные угодья» и «не свойственные угодья», правильнее, по нашему мнению, будет выражение «потенциально возможные к заселению территории».

**Таблица 3.** Средняя трехлетняя экологическая плотность населения и другие экологические характеристики некоторых видов охотничьих животных на территории Саратовской области за период с 2013 по 2015 годы

**Table 3.** Three-year average ecological population density and other ecological characteristics of some species of game animals on the territory of the Saratov region since 2013 to 2015

Показатель / Indicator	Вид / Species									
	<i>Alces alces</i>	<i>Cervus elaphus</i>	<i>Cervus nippon</i>	<i>Capreolus sp.</i>	<i>Stus scrofa</i>	<i>Lepus europaeus</i>	<i>Vulpes vulpes</i>	<i>Canis lupus</i>	<i>Lynurus tetrrix</i>	<i>Perdix perdix</i>
Площадь территории обитания вида, км <sup>2</sup> / Habitat area of the species, km <sup>2</sup>	16750.8	3255.5	1990.2	48395.1	32800.9	94571.9	95466.8	7633.4	3080.8	47315.9
Численность, особ. / Number, ind.	4147	1350	1060	12419	13774	29154	17983	31	2772	252053
Экологическая плотность населения, особ. / 10 км <sup>2</sup> / Ecological population density, ind. / 10 km <sup>2</sup>	2.48	4.15	5.33	2.57	4.20	3.08	1.88	0.041	9.0	53.3
Территориальная единица, км <sup>2</sup> / особ. / Territorial unit, km <sup>2</sup> / ind.	4.04	2.41	1.88	3.90	2.38	3.24	5.31	246	0.19	1.11
из них лесных угодий / of which forest land	1.18	0.85	0.34	0.44	0.40	0.18	0.32	48	0.005	0.31
полевых угодий / field lands	2.86	1.56	1.54	3.46	1.98	3.06	4.99	198	0.18	0.80

Что касается упомянутых выше двух исключительных случаев, то они касаются зайца-русака и лисицы, это связано с тем, что этими видами заселены практически все угодья Саратовской области, лисицы это касается в большей степени, чем зайца, поэтому близки расчетные показатели экологической плотности и плотности, рассчитанной для всей площади исследуемой территории.

Теперь рассмотрим более детально рассчитанные нами экологические плотности населения изучаемых видов. Сразу же отмечаем следующую закономер-

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ

ность, наблюдаемую среди родственных видов, чем меньше размер тела животного, тем выше плотность его популяции. Собственно, так и должно быть, чем крупнее животное, тем большая нужна ему территория для добычи пищи, поэтому чем больше размеры тела особи, тем меньше плотность популяции (Mohr, 1940).

Так, экологическая плотность населения серой куропатки больше, чем таковая у тетерева, у лисицы больше, чем у волка, у благородного оленя больше, чем у лося, у пятнистого оленя больше, чем у благородного, а вот косули выпадают из этого ряда. Это можно объяснить тем, что несмотря на то, что косули родственны лосю и оленям, их образ жизни отличается от таковой последних.

Как уже отмечалось ранее, полевые угодья в Саратовской области обладают достаточными кормовыми условиями, чтобы такие животные, как лось и олени их посещали. Однако указанные животные достаточно крупные и защитные условия здесь для них неудовлетворительные, поэтому они выходят в поля, как правило, в ночное время, а днем вынуждены возвращаться в леса.

Размеры косуль значительно меньше, они легко находят себе места с хорошими защитными условиями, таковыми часто являются поля, засеянные высокостебельными сельхозкультурами, такими как подсолнечник, кукуруза, сорго и др. Это позволяет части популяции косуль постоянно находиться в полевых угодьях, так же, как и кабану. Следует учитывать, что косулями заселено половина полевых угодий в Саратовской области, соответственно можно говорить о том, что количественные изменения переросли в качественные.

Интересно также рассмотреть величину, обратную экологической плотности популяции. Она показывает, какова площадь от заселенной видом территории приходится в среднем на одну особь или, другими словами, какова в среднем территория, обеспечивающая пищей одну особь. Ожидаемо указанная территориальная единица больше у хищных животных, особенно она велика у волка 246 км<sup>2</sup> на одну особь, или стая из 4 – 5 особей будет занимать примерно от 1000 до 1200 км<sup>2</sup>, что уже сравнимо с площадью некоторых правобережных муниципальных районов. Затем следуют копытные и заяц-русак, здесь площадь территориальной единицы в зависимости от вида колеблется от примерно 2 (пятнистый олень) до 4 (лось) км<sup>2</sup>. Наименьшая площадь территориальной единицы у тетерева и серой куропатки.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как показали наши исследования, все ранее считавшиеся свойственными угодьями и значительную часть из не свойственных угодий следует считать потенциально заселяемыми территориями для всех изучаемых в настоящей статье видов охотничьих животных. Определить заранее или теоретически на основании материалов лесоустройства и землеустройства сколько фактически будет заселено этих угодий тем или иным видом не представляется возможным. Это будет зависеть от состояния популяций этих животных, в первую очередь от их численности и характера их размещения на исследуемой территории. Таким образом, определить площадь, заселенную тем или иным видом, можно только эмпирическим путем.

Предложенный нами метод определения площади территорий, фактически заселенных различными видами в конце зимнего периода времени по материалам ЗМУ, показал свою пригодность. Рассчитанные на их основании экологические плотности популяций изучаемых видов охотничьих животных и площади территориальных единиц, приходящихся в среднем на одну особь, вполне информативны, так как являются настоящими экологическими характеристиками состояния популяций указанных животных и могут быть использованы в практических целях как для охраны, так и для хозяйственного использования этих видов.

Предложенный нами метод для определения площади территорий, фактически заселенных различными видами охотничьих животных на основе данных ЗМУ, может быть использован и для обработки материалов, полученных при помощи других видов учетов, например на площадках или на стационарных точках наблюдения и т.п. Главное, чтобы элементы сбора учетных данных были постоянны и равномерно размещены на исследуемой территории.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Банников А. Г., Теплов В. П.* Движение численности и плотности населения лося в РСФСР // Биология и промысел лося. М. : Россельхозиздат, 1964. Сб. 1. С. 5 – 12.

*Данилов П. И.* Распространение и численность // Биология и использование лося. Обзор исследований. М. : Наука, 1986. С. 87 – 90.

*Данилов Д. Н., Русанов Я. С., Рыковский А. С., Солдаткин Е. И., Юргенсон П. Б.* Бонитировка охотничьих угодий // Основы охотустройства. М. : Лесная промышленность, 1966. 331 с.

*Кондратенков И. А., Опарин М. Л., Опарина О. С., Сухов С. В.* Определение репродуктивного потенциала популяций диких копытных на территории Саратовской области по динамическим рядам их численности // Поволжский экологический журнал. 2021. № 3. С. 293 – 309. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2021-3-293-309>

*Ломанов И. К.* Научные основы охотничьего ресурсоведения (избранные работы) / под ред. Н. В. Ломановой. М. : Центрохотконтроль, 2007. 291 с.

*Одум Ю.* Экология : в 2 т. М. : Мир, 1986. Т. 2. 376 с.

*Филонов К. П.* Лось. М. : Лесная промышленность, 1983. 246 с.

*Челинцев Н. Г.* Математические основы учета животных / ГУ Центрохотконтроль. М., 2000. 432 с.

*Червоный В. В.* Распределение, плотность населения и динамика численности лося в Европейской части РСФСР // Труды Окского государственного заповедника. 1975. Вып. XI. С. 255 – 279.

*Caughley G., Sinclair A. R. E.* Wildlife Ecology and Management. Oxford : Blackwell Scientific, 1994. 334 p.

*Dzięciolowski R.* Estimating ungulate numbers in a forest by track counts // Acta Theriologica. 1976. Vol. 21, no.15. P. 217 – 222.

*Engeman R. M., Constantin B., Nelson M., Woolard J., Bourassa J.* Monitoring changes in feral swine abundance and spatial distribution // Environmental Conservation. 2001. Vol. 28, iss. 3. P. 235 – 240. <https://doi.org/10.1017/S0376892901000248>

*Forsey E. S., Baggs E. M.* Winter activity of mammals in riparian zones and adjacent forests prior to and following clear-cutting at Copper Lake, Newfoundland, Canada // Forest Ecology and Management. 2001. Vol. 145, iss. 3. P. 163 – 171. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00404-7](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00404-7)

*Gu W., Swihart R. K.* Absent or undetected? Effects of non-detection of species occurrence on wildlife-habitat models // Biological Conservation. 2004. Vol. 116, iss. 2. P. 195 – 203. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(03\)00190-3](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(03)00190-3)

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ

*Keeping D., Pelletier R.* Animal density and track counts: Understanding the nature of observations based on animal movements // PLoS ONE. 2014. Vol. 9, no. 5. Article number e96598. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0096598>

*Keuling O., Sange M., Acevedo P., Podgorski T., Smith G., Scandura M., Apollonio M., Ferraglio E., Body G., Vicente J.* Guidance on estimation of wild boar population abundance and density: methods, challenges, possibilities // EFSA Supporting Publications. 2018. Vol. 15, iss. 7. Article number EN-1449. <https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2018.EN-1449>

*Kurki S., Nikula A., Helle P., Linden H.* Abundances of red fox and pine marten in relation to the composition of boreal forest landscapes // Journal Animal Ecology. 1998. Vol. 67, iss. 6. P. 874 – 886. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2656.1998.6760874.x>

*Lindén H., Helle E., Helle P., Wikman M.* Wildlife triangle scheme in Finland: methods and aims for monitoring wildlife populations // Finnish Game Research. 1996. Vol. 49. P. 4 – 11.

*MacKenzie D. I., Nichols J. D.* Occupancy as a surrogate for abundance estimation // Animal Biodiversity and Conservation. 2004. Vol. 27, iss. 1. P. 461 – 467.

*MacKenzie D. I., Nichols J. D., Lachman G. B., Droege S., Royle J. A., Langtimm C. A.* Estimating site occupancy rates when detection probabilities are less than one // Ecology. 2002. Vol. 83, iss. 8. P. 2248 – 2255.

*Mohr C. O.* Comparative populations of game, for and other mammals // The American Midland Naturalist. 1940. Vol. 24, № 3. P. 581 – 584. <https://doi.org/10.2307/2420859>

*Nielsen S. E., Johnson C. J., Heard D. C., Boyce M. S.* Can models of presence-absence be used to scale abundance? Two case studies considering extremes in life history // Ecography. 2005. Vol. 28, iss. 2. P. 197 – 208. <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2005.04002.x>

*Stephens P. A., Zaumyslova O. Y., Miquelle D. G., Myslenkov A. I., Hayward G. D.* Estimating population density from indirect sign: Track counts and the Formozov–Malyshev–Pereleshin formula // Animal Conservation. 2006. Vol. 9, iss. 3. P. 339 – 348. <https://doi.org/10.1111/j.1469-1795.2006.00044.x>

## Estimation of the ecological density of some species of hunting animals according to winter route censuses

I. A. Kondratenkov , M. L. Oparin, O. S. Oparina

Saratov Branch of A. N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences  
24 Rabochaya St., Saratov 410028, Russia

Received: 22 December 2022 / revised: 18 January 2023 / accepted: 18 January 2023

**Abstract.** This article is devoted to the study of the possibility of determining the ecological density of game animals according to winter route censuses. Determining the density of game animals is a prerequisite for determining their prey quotas. The most valuable parameter characterizing population estimation of specific species of game animals is ecological density. She calculated for the area actually inhabited by a particular animal species. The population density, calculated on the area suitable for the type of land, is widely used in the practice of domestic hunting. Territories with feeding and protective properties for this species are considered suitable sites. The materials of winter route counts confirm that the territories suitable for any animal species are not always completely populated by it, and the territories recognized as unsuitable are visited by these animals. Tracking activity of game animals is recorded both in areas that are considered suitable for the species, and in areas that are not typical for it. The territory of the animal during the day is the area lying inside the minimum convex contour drawn around the daily track of this animal. In this case, as the territory occupied by some animal, we can consider the territory obtained by combining all the minimum convex contours drawn around all daily traces left by this animal for a certain time. The union of the minimum convex contours drawn around all daily traces left by all animals of a given species during the period of accounting work can be considered as the territory inhabited by them at this time of the year. The crossing of a track by a route is a random event. Therefore, to determine the ecological density of a species according to the winter route censuses data, it is necessary to apply the probability theory.

**Keywords:** local range of a hunting species, ecological density of a hunting species, area of actually populated territory, winter route census

**For citation:** Kondratenkov I. A., Oparin M. L., Oparina O. S. Estimation of the ecological density of some species of hunting animals according to winter route censuses. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2023, no. 1, pp. 58–76 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-1-58-76>

### REFERENCES

Bannikov A. G., Teplov V. P. The movement of the number and density of the population of moose in the RSFSR. In: *Biologiya i promysel losia* [Biology and Fishing of Moose]. Moscow, Rossel'khozizdat Publ., 1964, book 1, pp. 5–12 (in Russian).

---

 *Corresponding author.* Laboratory of Ecology of Terrestrial Vertebrates of the Steppe Zone, Saratov branch of A. N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences, Russia.

*ORCID and e-mail addresses:* Igor A. Kondratenkov: [kondri60@mail.ru](mailto:kondri60@mail.ru); Mikhail L. Oparin: <https://orcid.org/0000-0002-9629-7579>, [oparinml@mail.ru](mailto:oparinml@mail.ru); Olga S. Oparina: <https://orcid.org/0000-0001-5581-4122>, [otis07@mail.ru](mailto:otis07@mail.ru).

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ

Danilov P. I. Distribution and abundance. In: *Biologiya i ispol'zovanie losia. Obzor issledovaniy* [Biology and use of elk. Research Overview]. Moscow, Nauka Publ., 1986, pp. 87–90 (in Russian).

Danilov D. N., Rusanov Ya. S., Rykovsky A. S., Soldatkin E. I., Jurgenson P. B. Bonitirovka hunting grounds. In: *Osnovy okhotustroistva* [Fundamentals of Hunting Management]. Moscow, Lesnaia promyshlennost' Publ., 1966. 331 p. (in Russian).

Kondratenkov I. A., Oparin M. L., Oparina O. S., Sukhov S. V. Estimation of the growth rate of wild ungulate populations in the territory of the Saratov region by the dynamic series of their numbers. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2021, no. 3, pp. 293–309 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2021-3-293-309>

Lomanov I. K. *Nauchnye osnovy okhotnich'ego resursovedeniia (izbrannye raboty). Pod red. N. V. Lomanovoi* [Lomanova N. V., ed. *Scientific Foundations of Hunting Resource Studies (Selected Works)*]. Moscow, Tsentrokhotkontrol' Publ., 2007. 291 p. (in Russian).

Odum E. P. *Basic Ecology*: in 2 vols. Moscow, Mir Publ., 1986, vol. 2. 376 p. (in Russian).

Filonov K. P. *Los'* [Moose]. Moscow, Lesnaia promyshlennost' Publ., 1983. 246 p. (in Russian).

Chelintsev N. G. *Matematicheskie osnovy ucheta zhiivotnykh* [The Mathematical Basis of Animal Censuses]. Moscow, GU Tsentrokhotkontrol' Publ., 2000. 432 p. (in Russian).

Chervonny V. V. Distribution, population density and dynamics of the number of moose in the European part of the RSFSR. *Proceedings of the Oka State Nature Biosphere Reserve*, 1975, iss. XI, pp. 255 – 279 (in Russian).

Caughley G., Sinclair A. R. E. *Wildlife Ecology and Management*. Oxford, Blackwell Scientific, 1994. 334 p.

Dzięciolowski R. Estimating ungulate numbers in a forest by track counts. *Acta Theriologica*, 1976, vol. 21, no.15, pp. 217–222.

Engeman R. M., Constant B., Nelson M., Woolard J., Bourassa J. Monitoring changes in feral swine abundance and spatial distribution. *Environmental Conservation*, 2001, vol. 28, iss. 3, pp. 235–240. <https://doi.org/10.1017/S0376892901000248>

Forsey E. S., Baggs E. M. Winter activity of mammals in riparian zones and adjacent forests prior to and following clear-cutting at Copper Lake, Newfoundland, Canada. *Forest Ecology and Management*, 2001, vol. 145, iss. 3, pp. 163–171. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00404-7](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00404-7)

Gu W., Swihart R. K. Absent or undetected? Effects of non-detection of species occurrence on wildlife-habitat models. *Biological Conservation*, 2004, vol. 116, iss. 2, pp. 195–203. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(03\)00190-3](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(03)00190-3)

Keeping D., Pelletier R. Animal density and track counts: Understanding the nature of observations based on animal movements. *PLoS ONE*, 2014, vol. 9, no. 5, article number e96598. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0096598>

Keuling O., Sange M., Acevedo P., Podgorski T., Smith G., Scandura M., Apollonio M., Ferraglio E., Body G., Vicente J. Guidance on estimation of wild boar population abundance and density: methods, challenges, possibilities. *EFSA Supporting Publications*, 2018, vol. 15, iss. 7, article number EN-1449. <https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2018.EN-1449>

Kurki S., Nikula A., Helle P., Linden H. Abundances of red fox and pine marten in relation to the composition of boreal forest landscapes. *Journal Animal Ecology*, 1998, vol. 67, iss. 6, pp. 874–886. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2656.1998.6760874.x>

Lindén H., Helle E., Helle P., Wikman M. Wildlife triangle scheme in Finland: methods and aims for monitoring wildlife populations. *Finnish Game Research*, 1996, vol. 49, pp. 4–11.

MacKenzie D. I., Nichols J. D. Occupancy as a surrogate for abundance estimation. *Animal Biodiversity and Conservation*, 2004, vol. 27, iss. 1, pp. 461–467.

MacKenzie D. I., Nichols J. D., Lachman G. B., Droege S., Royle J. A., Langtimm C. A. Estimating site occupancy rates when detection probabilities are less than one. *Ecology*, 2002, vol. 83, iss. 8, pp. 2248–2255.

Mohr C. O. Comparative populations of game, for and other mammals. *The American Midland Naturalist*, 1940, vol. 24, no. 3, pp. 581–584. <https://doi.org/10.2307/2420859>

Nielsen S. E., Johnson C. J., Heard D. C., Boyce M. S. Can models of presence-absence be used to scale abundance? Two case studies considering extremes in life history. *Ecography*, 2005, vol. 28, iss. 2, pp. 197–208. <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2005.04002.x>

Stephens P. A., Zaumyslova O. Y., Miquelle D. G., Myslenkov A. I., Hayward G. D. Estimating population density from indirect sign: Track counts and the Formozov–Malyshev–Pereleshin formula. *Animal Conservation*, 2006, vol. 9, iss. 3, pp. 339–348. <https://doi.org/10.1111/j.1469-1795.2006.00044.x>

Оригинальная статья

УДК 574.3.591

<https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-1-77-96>

**ЭКОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ  
ИММУННЫХ РЕАКЦИЙ *PELOPHYLAX RIDIBUNDUS*  
И *P. LESSONAE* (AMPHIBIA: RANIDAE)  
АНТРОПОГЕННО-ТРАНСФОРМИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

**Е. Б. Романова <sup>1✉</sup>, С. А. Луконина <sup>2</sup>, Е. С. Рябинина <sup>1</sup>, В. Д. Плотникова <sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н. И. Лобачевского*

*Россия, 603950, г. Нижний Новгород, просп. Гагарина, д. 23*

<sup>2</sup> *Пензенский государственный университет*

*Россия, 440026, г. Пенза, ул. Красная, д. 40*

Поступила в редакцию 23.05.2022 г., после доработки 12.07.2022 г., принята 14.07.2022 г.

**Аннотация.** Цель работы – оценка состояния популяций бесхвостых амфибий антропогенной территории по комплексу показателей иммунного гомеостаза организма. В работе использованы: лягушка озерная *Pelophylax ridibundus* (Pallas, 1771) и лягушка прудовая *P. lessonae* (Camerano, 1882) из природных популяций водных объектов г. Нижнего Новгорода. Приоритетные химические загрязнители водоемов определяли методом спектрофотометрии. Идентификация видов проводилась при помощи мультиплексной ПЦР тест-системы. Результаты идентификации верифицировались секвенированием митохондриального гена ND2 и фрагмента ядерного гена SAI. У всех собранных особей определяли число эритроцитов, лейкоцитов, лейкоцитарный профиль и уровень иммунных комплексов. Выявлено превышение норматива качества воды по содержанию тяжелых металлов для водоемов рыбохозяйственного назначения во всех водных объектах. Молекулярно-генетическая диагностика показала наличие в выборке озерных лягушек как «чистых» *P. ridibundus*, так и особей с интрогрессивной мтДНК азиатской формы озерной лягушки (*P. cf. bedriagae*). В выборке прудовых лягушек все изученные особи имели только видоспецифические маркеры мт- и яДНК *P. lessonae*. Озерные лягушки отличались от прудовых повышенным содержанием эритроцитов, нейтрофилов, базофилов, мелких иммунных комплексов и пониженным содержанием лимфоцитов. Выявленные изменения иммуногематологических показателей зеленых лягушек обуславливались комплексным генотоксичным воздействием загрязнителей водных объектов. Показано снижение индекса соотношения лимфоцитов / эозинофилов при повышении концентрации нитритов, повышение активности гуморальных иммунных реакций в условиях загрязнения водной среды сульфатами, возрастание доли незрелых лейкоцитарных клеток (миелоцитов) в крови лягушек при повышении концентрации в воде марганца и нитратов. В условиях среднего стресса, определяемого уровнем загряз-

✉ *Для корреспонденции.* Институт биологии и биомедицины Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н. И. Лобачевского.

*ORCID и e-mail адреса:* Романова Елена Борисовна: <https://orcid.org/0000-0002-1925-7864>, [romanova@ibbm.unn.ru](mailto:romanova@ibbm.unn.ru); Луконина Светлана Александровна: <https://orcid.org/0000-0003-0400-9603>, [lanochkal@yandex.ru](mailto:lanochkal@yandex.ru); Рябинина Елена Сергеевна: <https://orcid.org/0000-0001-5544-2912>, [ryabinina.e.s@yandex.ru](mailto:ryabinina.e.s@yandex.ru); Плотникова Валерия Дмитриевна: <https://orcid.org/0000-0002-4305-7651>, [psyche\\_medeas@mail.ru](mailto:psyche_medeas@mail.ru).

нения воды, регулирующие системы крови лягушек отражали стресс-индуцированную реакцию, более выраженную в организме озерных лягушек по сравнению с прудовыми.

**Ключевые слова:** амфибии, секвенирование, ПЦР, гидрохимия, иммунные комплексы, лейкоцитарная формула, иммуногематологические показатели

**Для цитирования.** Романова Е. Б., Луконина С. А., Рябинина Е. С., Плотникова В. Д. Эколого-физиологический анализ иммунных реакций *Pelophylax ridibundus* и *P. lessonae* (Amphibia: Ranidae) антропогенно-трансформированных территорий // Поволжский экологический журнал. 2023. № 1. С. 77 – 96. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-1-77-96>

## ВВЕДЕНИЕ

Выявление факторов и механизмов функционирования адаптивных реакций организмов в изменяющихся условиях среды на уровне видов является сутью аутоэкологических исследований. Такой подход необходим как для изучения разных популяций одного вида, так и экосистем, элементами которых являются виды. В адаптации организмов к условиям среды, возникающим при воздействии экстремальных факторов, в частности, загрязняющих химических веществ, непосредственно участвует система крови, обеспечивающая важнейшие гомеостатические функции организма. Амфибии представляют собой класс, который делает определенный прорыв в совершенствовании системы адаптивного иммунитета, обладают хорошо развитой нервной, иммунной, гематологической системами (Романова и др., 2014) и считаются хорошими биоиндикаторами загрязнения окружающей среды (Леонтьева, Семенов, 1997; Пескова, 2001, 2003; Вершинин, 2004, 2014; Вафис, Пескова, 2009; Силс, 2010; Минеева, Минеев, 2011; Вершинин и др., 2017; Coico et al., 2003; Peskova et al., 2019 и др.). Несмотря на обилие литературных данных по изучению гематологических показателей, практически отсутствуют исследования по сравнительному анализу адаптивных реакций системы крови и различий со стороны иммунной системы у разных видов амфибий, обитающих в близких и качественно различных условиях среды. Актуальность таких исследований определяется необходимостью изучения эколого-физиологических особенностей популяций в естественной среде, когда темпы антропогенных и климатических изменений требуют постоянной мобилизации адаптивных резервов организма, что позволяет видам выживать и расширять ареал на урбанизированных территориях.

Цель работы: оценка состояния популяций зеленых лягушек, обитающих на урбанизированной территории по комплексу показателей иммунного гомеостаза организма.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Лабораторные и полевые исследования проводили в течение полевого сезона 2021 г. на территории Нижегородской области. В работе были использованы зооиндикаторы: лягушка озерная *Pelophylax ridibundus* (Pallas, 1771) и лягушка прудовая *P. lessonae* (Camerano, 1882) из природных популяций искусственных водоемов г. Нижнего Новгорода со значительной антропогенной нагрузкой: оз. Вторчермет (Канавинский район) 56°31'19.44" N, 43°84'88.89" E; оз. Силикатное (Сор-

мовский район) 56°37'09.12" N, 43°77'76.08" E и Нижегородской области: низинного болота Белкино (Борский район) 56°28'62.08" N, 44°54'80.75" E. Объем каждой выборки составлял 15 – 20 особей. Все работы проводились в соответствии с «Международными руководящими принципами для биомедицинских исследований на животных» (International Guiding..., 2012). В исследованных водоемах в прибрежной зоне были отобраны пробы воды, в которых с помощью спектрофотометра Nach DR-2800 (Nach Company, США) определены химические загрязнители: железо общее, марганец, медь, хром, нитрат-ионы ( $\text{NO}_3^-$ ), нитрит-ионы ( $\text{NO}_2^-$ ), свинец, никель, цинк, хлориды, сульфаты, сульфиды, нефтепродукты и водородный показатель (рН). Расчет удельного комбинаторного индекса загрязненности воды (УКИЗВ) проводили согласно нормативной документации (РД 52.24.643-2002). В расчете учитывали показатели, превышающие норматив качества воды для водоемов рыбохозяйственного назначения (ПДК<sub>рыб-хоз</sub>) (Нормативы качества..., 2010).

Первичная видовая идентификация лягушек проводилась по внешним морфологическим признакам: сочленение голеностопного сустава, форма внутреннего пяточного бугра и цвет резонаторов у самцов. Эти признаки являются общепринятыми при определении зеленых лягушек (Банников и др., 1977). Поскольку точная идентификация зеленых лягушек затруднена из-за их морфологического сходства, в лаборатории молекулярной экологии и систематики животных при кафедре зоологии и экологии Пензенского государственного университета была проведена молекулярно-генетическая идентификация видов.

В качестве образцов тканей для выделения ДНК использовали часть пальца передней конечности амфибий (40 особей). ДНК выделяли методом высаливания (Aljanabi, Martinez, 1997) в сочетании с лизисом протеиназой К. Использовали два молекулярно-генетических маркера: для митохондриальной ДНК (мтДНК), наследуемой по материнской линии – фрагмент первой субъединицы гена цитохром оксидазы (COI), для ядерной ДНК (ядДНК), имеющей «менделевский» тип наследования – интрон 1 гена сывороточного альбумина (SAI-1) (Plötner et al., 2008).

Идентификация видов проводилась при помощи мультиплексной тест-системы, состоящей из общего и видоспецифичных праймеров (Ermakov et al., 2019) (табл. 1). Режим амплификации состоял из 30 циклов: 30 с при 94°C, 30 с при 60 и 62°C (соответственно для SAI и COI) и 30 с при 72°C. Метод, основанный на разнице длин видоспецифичных амплифицируемых фрагментов, позволяет надежно определять все виды комплекса европейских зеленых лягушек, включая гибридных особей, а также выявлять криптические формы озерной лягушки – «западную» (собственно *P. ridibundus*) и «восточную» (анатолийскую лягушку, *P. cf. bedriagae*).

Для верификации результатов идентификации мультиплексной тест-системой проведено секвенирование гена ND2 мтДНК (1038 п.н.) у 12 экз. (30% выборки) и фрагмента гена SAI ядДНК (871 п.н.) у 9 экз. (23% выборки). Ген ND2 амплифицировали с использованием универсального праймера ND2L1 5'-AAG CTT TTG GGC CCA TAC CCC-3' (Meyer, 1993) и специфичного для зеленых лягушек праймера ND2H1 5'-GCA AGT CCT ACA GAA ACT GAA G-3' (Litvinchuk et al., 2020). Фрагмент ядерного гена SAI амплифицировали с помощью пары праймеров SA-F

5'-ССА ТАС ААА ТГТ GCT ААG TAG GTT-3' и SA-R 5'-CGG TAA GGG GAC ATA ATT CA-3' (Plötner et al., 2008; Akin et al., 2010). Режим амплификации состоял из начальной денатурации 5 мин при 94°C, затем 32 цикла: 30 с при 94°C, 30 с при 60°C для ND2 и 53°C для SAI-1, 60 с при 72°C, и конечная элонгация 5 мин при 72°C.

**Таблица 1.** Праймеры мультиплексной ПЦР-тест-системы идентификации видов зеленых лягушек (Ermakov et al., 2019)

**Table 1.** Primers of the multiplex PCR test system for the identification of green frog species (Ermakov et al., 2019)

Название / Primer	Позиция / Position	Последовательность (5'-3') / Sequence (5'-3')	Температура отжига, °С / Annealing temperature, °C	Длина продукта, п.н. / PCR product length, bp	Специфичность / Specificity
COIF-Pb	183-204	CTTGGAAATTGACTCGTGCCA	63.8	440	<i>P. cf. bedriagae</i>
COIF-Pl	329-349	GAAGTGTGTACCCCCACTAG	63.7	294	<i>P. lessonae</i>
COIF-Pr	409-429	GCTGGGGTTTCATCAATTCTG	61.8	214	<i>P. ridibundus</i>
COIR-Pu	624-601	CCTGCRGGATCAAAAAATGTTGT	63.6	–	Все три вида / All three species
SA1R-Pb	450-429	TTGTTCCCTATACTAAGGTCAC	59.3	415	<i>P. cf. bedriagae</i>
SA1R-Pl	140-119	TACCGTACCGATATTTGTATGC	60.2	109	<i>P. lessonae</i>
SA1R-Pr	245-221	GATACAAATGATACATTTCCACCT	61.0	210	<i>P. ridibundus</i>
SA1F-Pu	25-59	CCATACAAATGTGCTAAGTAGGTT	61.3	–	Все три вида / All three species

Каждая реакционная смесь для ПЦР (25 мкл) содержала 50 – 100 нг ДНК, 1 мкМ смеси праймеров, 0.2 мМ dNTPs, 1.5 мМ MgCl<sub>2</sub>, 2.5 мкл 10× ПЦР буфер (10 мМ Tris-HCl, pH 8.3, 50 мМ KCl и 2 единицы полимеразы Taq (Thermo Scientific)).

Полученные продукты ПЦР анализировали методом электрофореза в 6%-ном полиакриламидном геле (размер стеклянной пластинки 8×10 см) с последующим окрашиванием бромидом этидия для УФ-визуализации (рис. 1).

Секвенирование проводили на автоматическом секвенаторе ABI 3500 (Applied Biosystems) (Hitachi, Япония) с применением наборов BigDye® Terminator 3.1 (Applied Biosystems) и тех же праймеров, что использовались при амплификации.

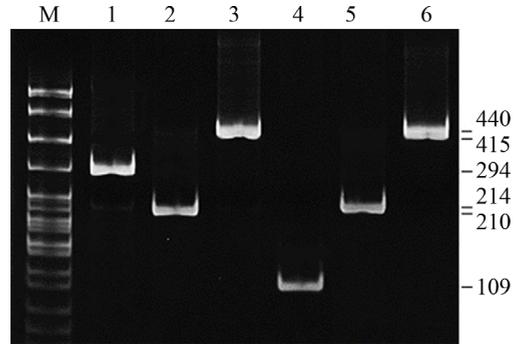
Число эритроцитов, лейкоцитов (тыс. / мм<sup>3</sup>) и дифференцированный подсчет видов лейкоцитов (в %): нейтрофилов разной степени зрелости, базофилов, эозинофилов, моноцитов и лимфоцитов, проводили общепринятым способом (Меньшиков и др., 1987). На основании лейкоцитарной формулы крови рассчитывали интегральные лейкоцитарные индексы (отн. ед.): кровно-клеточный показатель (ККП); реактивный ответ нейтрофилов (РОН); лимфоцитарно-гранулоцитарный индекс (ИЛГ); индекс соотношения нейтрофилов и лимфоцитов (ИСНЛ); индекс

соотношения лимфоцитов и эозинофилов (ИСЛЭ); индекс соотношения нейтрофилов и эозинофилов (ИСНЭ); индекс сдвига лейкоцитов (ИСЛ); индекс ядерного сдвига нейтрофилов (ИЯСН) (Ткаченко, Дерхо, 2014; Sabagna et al., 2005).

Активность иммунной защиты на гуморальном уровне оценивали по содержанию иммунных комплексов в сыворотке крови лягушек, методом селективной преципитации в растворе полиэтиленгликоля (ПЭГ), позволяющей выявить крупные (ПЭГ, 3.5%) и мелкие (ПЭГ, 7.0% иммунные комплексы. Оптическую плотность растворов определяли на спектрофотометре СФ-2000 (ООО «ОКБ Спектр», Россия) при 200, 280, 350 и 450 нм. Число иммунных комплексов выражали в ед. опт. плотности / 100 мл сыворотки (Гриневиц, Алферов, 1981; Khokhlova et al., 2004).

Полученные первичные данные проверяли на нормальность распределения по критериям Шапиро – Уилка, Лиллиефорса, Колмогорова – Смирнова. Поскольку полученное значение  $p$  для данных критериев оказалось меньше принятого критического уровня ( $\alpha < 0.05$ ), то нулевая гипотеза была отклонена и принята альтернативная гипотеза – распределение показателей считать отличающимся от нормального. Следовательно, дальнейший анализ данных проводили методами непараметрической статистики с расчетом критериев: Краскела – Уоллиса ( $H$ ) (при сравнении нескольких независимых групп по одному признаку); Манна – Уитни ( $U$ ) (при попарном сравнении групп). Для выявления отличий между группами объектов по совокупности показателей использовался многомерный дисперсионный анализ с использованием лямбды Уилкса ( $\lambda$ Wilks) в качестве критериальной статистики. Ввиду несоответствия первичных данных нормальному распределению, значимость отличий ( $p$ -значения) рассчитывалась путем рандомизации с использованием перестановочной процедуры (Шитиков, Розенберг, 2014). За величину уровня статистической значимости принимали  $\alpha = 0.05$ . С учетом вида распределения центральные тенденции и рассеяние изученных показателей описывали медианой ( $Me$ ) и интерквартильным размахом ( $IQR$ ) (значения 25-го и 75-го перцентилей).

Все расчеты проводили в среде R (R Core Team, 2020) с применением пакетов программ Microsoft Excel 2013 (Microsoft Corp., USA) и Statistica 8 (StatSoft Inc., OK, USA).



**Рис. 1.** Электрофореграмма продуктов мультиплексной ПЦР-реакции генов COI мтДНК (лунки 1 – 3) и SAI-1 яДНК (лунки 4 – 6): 1, 4 – *Pelophylax lessonae*; 2, 5 – *P. ridibundus*; 3, 6 – *P. cf. bedriagae*; M – маркер длин нуклеотидных последовательностей pBR/HpaII. Справа приведены длины амплифицируемых фрагментов (п.н.)

**Fig. 1.** Electrophoregram of the products of multiplex PCR with species-specific primers for COI mtDNA (lanes 1–3) and SAI-1 nuDNA (lanes 4–6). Lanes in polyacrylamide gel: 1, 4 – *Pelophylax lessonae*; 2, 5 – *P. ridibundus*; 3, 6 – *P. cf. bedriagae*; M is the molecular length marker. Lengths of PCR products (in bp) are shown on the right side of the electrophoregram

## РЕЗУЛЬТАТЫ

*Характеристика абиотических условий обитания лягушек рода Pelophylax.* По результатам гидрохимического анализа для каждого водоема согласно нормативной документации (РД 52.24.643-2002) был рассчитан удельный комбинаторный индекс загрязненности воды (УКИЗВ) и определен класс качества воды. В расчетах учитывали показатели, превышающие норматив качества воды для водоемов рыбохозяйственного назначения (ПДК<sub>рыб-хоз</sub>) (Нормативы качества..., 2010), выбранный нами как наиболее жесткий из существующей нормативно-технической документации. Согласно полученным результатам в водных пробах оз. Силикатное с доминированием озерных лягушек выявлено превышение ПДК по марганцу (50 ПДК), меди (30 ПДК), хрому (2.5 ПДК), цинку (11 ПДК). Содержание других тяжелых металлов (Fe, Pb, Ni, Co) не превышало значение ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения. В высоких концентрациях содержались ионы гидросульфида (HS<sup>-</sup>). УКИЗВ 7.15, вода грязная, 4-й класс, разряд «б». Воды оз. Вторчермет, где доминировали прудовые лягушки, также характеризовались высоким уровнем загрязнения тяжелыми металлами. Установлено превышение ПДК по марганцу (30 ПДК), меди (60 ПДК), хрому (4.9 ПДК), цинку (4 ПДК), кобальту (1.6 ПДК). УКИЗВ – 4.4, вода грязная, 4-й класс, разряд «а». Экстремально

**Таблица 2.** Генетическая характеристика озерных лягушек оз. Силикатное (г. Нижний Новгород) с различными комбинациями генетических маркеров мтДНК /яДНК

**Table 2.** Genetic characteristics of lake frogs from the lake Silikatnoe (Nizhny Novgorod) with various combinations of mtDNA/nDNA genetic markers

Номер особи / Individual number	мтДНК / mtDNA	яДНК / nDNA
1	<i>P. cf. bedriagae</i>	<i>P. ridibundus</i>
2	<i>P. ridibundus</i>	<i>P. ridibundus</i>
3	<i>P. ridibundus</i>	<i>P. ridibundus</i>
4	<i>P. ridibundus</i>	<i>P. ridibundus</i>
5	<i>P. cf. bedriagae</i>	<i>P. ridibundus</i>
6	<i>P. cf. bedriagae</i>	<i>P. ridibundus</i>
7	<i>P. ridibundus</i>	<i>P. ridibundus</i>
8	<i>P. cf. bedriagae</i>	<i>P. ridibundus</i>
9	<i>P. cf. bedriagae</i>	<i>P. ridibundus</i>
10	<i>P. ridibundus</i>	<i>P. ridibundus</i>
11	<i>P. cf. bedriagae</i>	<i>P. ridibundus</i>
12	<i>P. cf. bedriagae</i>	<i>P. ridibundus</i>
13	<i>P. ridibundus</i>	<i>P. ridibundus</i>
14	<i>P. ridibundus</i>	<i>P. ridibundus</i>
15	<i>P. cf. bedriagae</i>	<i>P. ridibundus</i>
16	<i>P. ridibundus</i>	<i>P. ridibundus</i>
17	<i>P. ridibundus</i>	<i>P. ridibundus</i>
18	<i>P. cf. bedriagae</i>	<i>P. ridibundus</i>
19	<i>P. cf. bedriagae</i>	<i>P. ridibundus</i>
20	<i>P. ridibundus</i>	<i>P. ridibundus</i>

грязная вода выявлена в бол. Белкино (5-й класс, УКИЗВ- 34.02) с превышением ПДК по железу (17.3 ПДК), марганцу (330 ПДК), меди (770 ПДК), хрому (12.05 ПДК), цинку (17 ПДК), никелю (4.1 ПДК) и кобальту (9 ПДК). Показателем сильного загрязнения вод болота являлось присутствие в высоких концентрациях соединений серы: ионов сульфида (S<sup>2-</sup>) и сульфатов (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>).

*Видовая идентификация и генетическая структура популяций лягушек рода Pelophylax.* Озерные лягушки. В выборке озерных лягушек оз. Силикатное (20 особей) результаты мультиплексного типирования маркера мтДНК показали равное соотношение гаплотипов «восточной» и «западной» формы озерной лягушки. Исследование маркера яДНК выявило наличие только аллелей «западной» формы (табл. 2). Таким образом, выборка состоит из генетически «чистых» экземпляров *P. ridibundus* и особей, несущих чужерод-

ную (интрогрессивную) мтДНК азиатской озерной лягушки *P. cf. bedriagae*. Отметим, что, по данным А. Ю. Иванова (2019), на долю особей, содержащих интрогрессивную комбинацию маркеров мт- и яДНК приходится около трети озерных лягушек, обитающих в восточной части ареала вида.

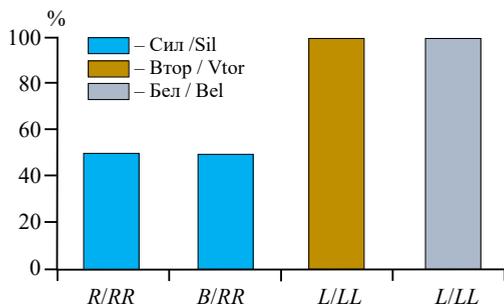
В выборках прудовых лягушек оз. Вторчермет и бол. Белкино все изученные особи имели только видоспецифические маркеры *P. lessonae*, как митохондриальной, так и ядерной ДНК (рис. 2).

Секвенирование митохондриального маркера (ген ND2) у 6 экз. озерных лягушек двух митохондриальных линий – «западной» (3 экз.) и «восточной» (3 экз.) – полностью подтвердило данные мультиплексного типирования. Все гаплотипы «западной» формы (озерная лягушка: 2, 3, 4, оз. Силикатное) оказались идентичны и соответствовали варианту R17 (Plötner et al., 2008). Этот вариант является наиболее распространенным у озерных лягушек и отмечен в странах Центральной Европы, в Болгарии, Латвии, Польше, Румынии, Сербии, Словакии, Украине, Франции, России (Калининградская, Московская, Свердловская, Саратовская, Тульская, Воронежская, Рязанская, Нижегородская, Ульяновская области, Ставропольский край, Калмыкия, Марий Эл) (Plötner et al., 2008; Litvinchuk et al., 2020; Svinin et al., 2021).

Гаплотипы «восточной» формы (озерная лягушки: 1, 5, 6, оз. Силикатное) также были идентичными и относились к гаплотипу, ранее выявленному у озерных лягушек во многих регионах европейской части России: Куйбышевская, Астраханская, Волгоградская, Ульяновская, Нижегородская, Рязанская области, Башкирия, Мордовия, Марий Эл, Татарстан, а также отмеченному в западном Казахстане и на северо-востоке Турции (Akin et al., 2010; Litvinchuk et al., 2020; Svinin et al., 2021).

Секвенирование ядерного маркера (SAI-1) трех экземпляров озерных лягушек показало его специфичность для «западной» формы. Первичная последовательность изученных нами экземпляров тождественна гаплотипу, обнаруженному у озерных лягушек Черноморского побережья Кавказа, Крыма, Астраханской, Волгоградской, Калужской, Куйбышевской, Саратовской, Челябинской области, Марий Эл, Татарстана, а также Украины и Западного Казахстана.

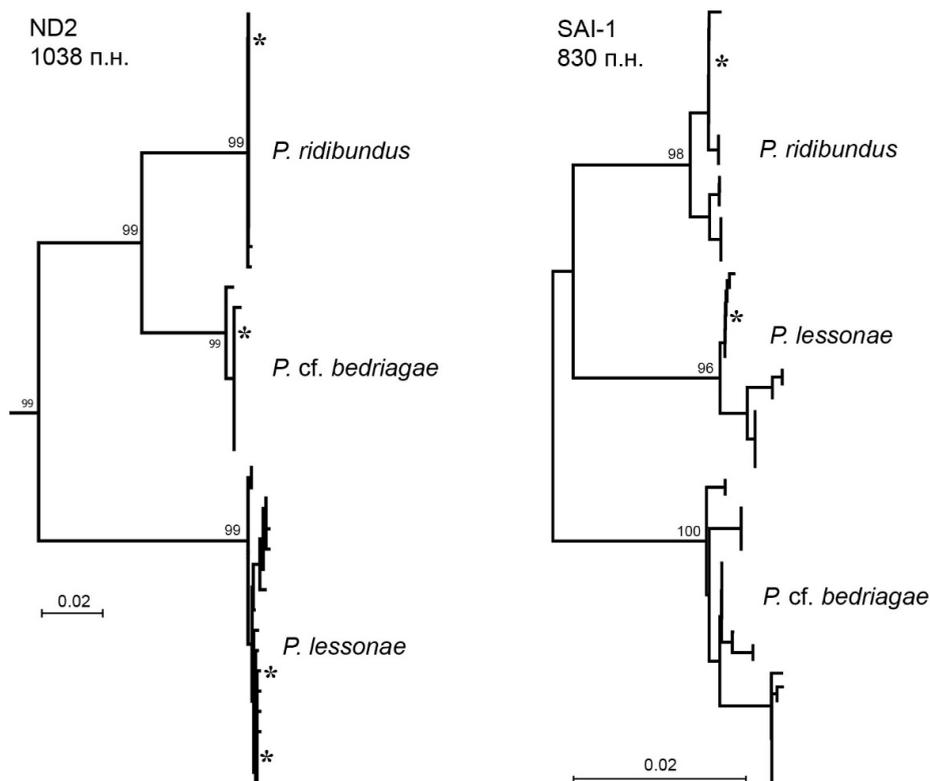
**Прудовые лягушки.** Определена первичная последовательность ND2 у шести экземпляров прудовых лягушек из двух локалитетов (оз. Вторчермет и бол. Белкино). Обнаружено



**Рис. 2.** Генетическая характеристика выборок зеленых лягушек (доля от общего числа в выборке): Сил – оз. Силикатное, Втор – оз. Вторчермет, Бел – бол. Белкино; R – *Pelophylax ridibundus*, B – *P. cf. bedriagae*, L – *P. lessonae*

**Fig. 2.** Genetic characterization of green frog samples (share of the total in the group): Sil – lake Silikatnoe, Vtor – lake Vtorchermet, Bel – Belkino swamp; R – *Pelophylax ridibundus*, B – *P. cf. bedriagae*, L – *P. lessonae*

два гаплотипа, один из которых, найденный у 4 экземпляров (оз. Вторчермет № 2, 3 бол. Белкино № 1, 2), соответствовал варианту L2 – широко распространенному митохондриальному гаплотипу прудовых лягушек (рис. 3), встречающемуся от юго-восточной Европы до Центральной Европы и Скандинавии (Plötner et al., 2008). На территории России такие же гаплотипы отмечены в Марий Эл, Мордовии, Ульяновской, Московской, Калужской и Рязанской областях (Litvinchuk et al., 2020; Svinin et al., 2021). Другой гаплотип, отличающийся на одну замену от L2 и обнаруженный у двух экземпляров (Вторчермет № 1, бол. Белкино № 2), являлся уникальным, поскольку мы не обнаружили идентичных гаплотипов в базе GenBank NCBI (см. рис. 3).



**Рис. 3.** Дендрограмма (NJ-метод), показывающая дифференциацию озерных (*P. ridibundus* и *P. cf. bedriagae*) и прудовой (*P. lessonae*) лягушек, по данным GenBank NCBI, и положение исследованных гаплотипов (\*). Приведены бутстрэп-поддержки выше 90%. Внешняя группа не показана

**Fig. 3.** Dendrogram (NJ method) showing the differentiation of lake (*P. ridibundus* and *P. cf. bedriagae*) and pond (*P. lessonae*) frogs according to GenBank NCBI data and the position of the studied haplotypes (\*). Bootstrap supports above 90% are given. No outgroup is shown

ЭКОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИММУННЫХ РЕАКЦИЙ

Структура ядерного маркера (ген SAI) прудовой лягушки характеризуется делецией повтора RanaCR1 размером более 500 п.н. (Akin, 2015). У всех шести секвенированных экземпляров (Вторчермет № 1, 2, 3; бол. Белкино № 1, 2, 11) обнаружена эта делеция, что подтверждает видовую идентификацию, полученную методом мультипраймерной ПЦР-реакции.

Таким образом, молекулярно-генетический анализ выборки зеленых лягушек Нижегородской области показал, что озерная лягушка представлена двумя генетическими дифференцированными криптическими формами «западной» (*P. ridibundus*) и «восточной» (анатолийской лягушкой *P. cf. bedriagae*). В исследованной выборке озерных лягушек (оз. Силикатное) соотношение генетически «чистых» *P. ridibundus* (R/RR) и особей с интрогрессивной мтДНК *P. cf. bedriagae* (B/RR) оказалось равным 1:1.

У прудовой лягушки все экземпляры оказались генетически «чистыми» *P. lessonae* с видоспецифическими маркерами (L/LL).

Оценка иммуногематологических показателей и состояние клеточных факторов иммунитета лягушек рода *Pelophylax*. Количественное содержание лейкоцитов у обобщенной выборки прудовых лягушек (Вторчермет, бол. Белкино) и озерных лягушек статистически значимо не различалось ( $z = 1.78, p = 0.07$ ), однако выявлено значимое превышение содержания эритроцитов в периферической крови озерных лягушек ( $z = 2.26, p = 0.02$ ) по сравнению с прудовыми. Анализ формулы крови прудовых лягушек оз. Вторчермет и бол. Белкино при попарном сравнении не выявил различий в лейкограммах, что позволило нам объединить результаты в общую группу и провести повторное сравнение лейкоцитарного состава крови озерных (оз. Силикатное) и прудовых лягушек (объединенная выборка) парным критерием Манна – Уитни.

В лейкоцитарной формуле крови озерных лягушек отметим повышенное (в 1.6 раза) содержание всех форм гранулоцитов по сравнению с прудовыми лягушками, кроме эозинофилов, доля которых в крови обоих видов была одинаковой ( $z = 1.26, p = 0.81$ ). При этом содержание нейтрофильных гранулоцитов в крови озерных лягушек, за счет вклада клеток разной степени зрелости: юных, палочкоядерных и сегментоядерных, оказалось почти в 2 раза выше по сравнению с прудовыми лягушками (табл. 3).

**Таблица 3.** Показатели лейкоцитарной системы крови озерных и прудовых лягушек  
**Table 3.** Parameters of the blood leukocyte system of lake and pond frogs

Показатель / Indicator	<i>Pelophylax ridibundus</i>		<i>Pelophylax lessonae</i>		Статистические показатели / Statistical indicators	
	Me	IQR	Me	IQR	U	p
1	2	3	4	5	6	7
Лейкоцитарная формула крови / WBC (white blood cells)						
Миелоциты, % / Myelocytes, %	2.50	4.00	2.50	2.50	229.50	0.81
Сумма нейтрофилов, % / Neutrophil sum, %	9.50	9.50	5.00	3.00	<b>108.50</b>	<b>0.002</b>
В том числе: / Including: Юные, % / Young neutrophils, %	4.00	3.00	2.50	2.00	<b>133.00</b>	<b>0.012</b>

Окончание табл. 3  
Table 3. Continuation

1	2	3	4	5	6	7
Палочкоядерные, % / Stab neutrophils, %	1.00	1.50	1.00	0.10	<b>132.00</b>	<b>0.011</b>
Сегментоядерные, % / Segmented neutrophils, %	3.50	3.00	2.00	2.00	<b>121.00</b>	<b>0.005</b>
Базофилы, % / Basophils, %	7.00	7.00	2.50	3.50	<b>130.00</b>	<b>0.009</b>
Эозинофилы, % / Eosinophils, %	7.00	9.00	7.00	3.50	186.00	0.20
Моноциты, % / Monocytes, %	3.00	2.50	3.00	1.50	222.00	0.67
Лимфоциты, % / Lymphocytes, %	66.00	10.50	79.00	7.00	<b>46.50</b>	<b>0.000005</b>
Лейкоцитарные индексы / Integral leukocyte indices						
ККП, отн. ед. / Blood cell indicator, rel. un.	0.20	0.13	0.11	0.06	<b>76.50</b>	<b>0.00012</b>
РОН, отн. ед. / Reactive neutrophil response, rel. un.	0.008	0.03	0.004	0.006	<b>153.50</b>	<b>0.042</b>
ИЛГ, отн. ед. / Lymphocyte-granulocyte index, rel. un.	46.51	25.21	86.11	54.85	<b>75.00</b>	<b>0.0001</b>
ИСНЛ, отн. ед. / Index of the neutrophils and lymphocytes ratio, rel.un.	0.07	0.07	0.03	0.02	<b>85.50</b>	<b>0.0002</b>
ИСЛЭ, отн. ед. / Index of the lymphocytes and eosinophils ratio, rel. un.	9.16	9.29	11.64	8.36	160.00	0.06
ИСНЭ, отн. ед. / Index of the neutrophils and eosinophils ratio, rel. un.	0.62	1.53	0.50	0.69	196.50	0.31
ИСЛ, отн. ед. / Leukocyte shift index, rei.un.	0.38	0.14	0.17	0.08	<b>39.00</b>	<b>0.000002</b>
ИЯСН, отн. ед. / Neutrophil nuclear shift index, rel. un.	2.70	1.52	2.83	2.91	240.00	0.99

Примечание. *Me* – медиана, *IQR* – интерквартильный размах, *U* – критерий Манна – Уитни, *p* – уровень значимости; жирным шрифтом выделены значимые различия.

Note. *Me* – median, *IQR* – interquartile range, *U* – Mann–Whitney test, *p* – significance level; statistically significant differences are shown in bold.

Тенденция к росту количества нейтрофилов (повышение неспецифической защитной системы организма) в формуле крови озерных лягушек компенсировалась снижением доли лимфоцитов. Напротив, в лейкоцитарной формуле крови

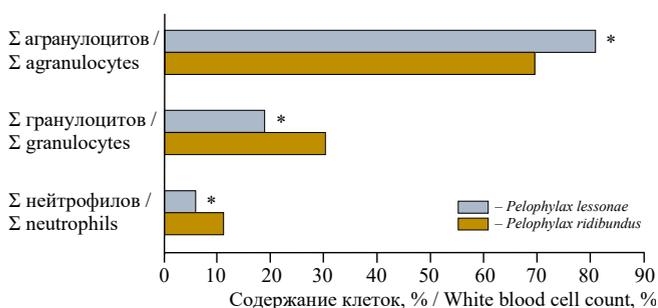


Рис. 4. Относительное содержание в крови озерных и прудовых лягушек лейкоцитарных клеток гранулоцитарного и агранулоцитарного рядов; \* – статистически значимые различия

Fig. 4. Relative content of leukocyte cells of the granulocytic and agranulocytic series in the blood of lake and pond frogs; \* – statistically significant differences

прудовых лягушек отмечено пониженное содержание гранулоцитов и повышенная доля агранулоцитов за счет увеличения числа лимфоцитов. Методом многомерного дисперсионного анализа ( $\lambda$ Wilks = 0.202,  $F = 7.36$ ,  $p = 0.000003$ ) выявлены значимые различия по лейкоцитарному профилю озерной и прудовой лягушки (рис. 4). При этом доля агранулоцитов в крови

ЭКОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИММУННЫХ РЕАКЦИЙ

прудовых лягушек в 1.16 раза превышала аналогичный показатель озерных, а содержание гранулоцитов и нейтрофильных гранулоцитов оказалось меньше (см. рис. 4).

Степень развития иммунопатологических процессов в организме зеленых лягушек оценивали по концентрации и размеру циркулирующих иммунных комплексов. Уровень крупных иммунных комплексов (показатель активной сбалансированной работы иммунной системы) в крови озерных и прудовых лягушек был примерно одинаковым. Уровень мелких иммунных комплексов в крови озерных лягушек значимо превышал этот показатель у прудовых лягушек (табл. 4).

**Таблица 4.** Уровень иммунных комплексов в крови озерных и прудовых лягушек  
**Table 4.** Level of the immune complexes in the blood of lake and pond frogs

Вид лягушек / Species of frog	280 нм / nm		350 нм / nm		450 нм / nm	
	<i>Me</i>	<i>IQR</i>	<i>Me</i>	<i>IQR</i>	<i>Me</i>	<i>IQR</i>
Содержание крупных иммунных комплексов, ед. опт / 100 мл / Content of large immune complexes, optical density un. /100 ml						
<i>Pelophylax ridibundus</i>	12.60	15.75	11.56	19.10	8.85	19.38
<i>Pelophylax lessonae</i>	9.36	12.30	12.63	16.50	10.26	15.22
Статистические показатели / Statistical indicators	$U = 0.63, p = 0.52$		$U = 0.72, p = 0.46$		$U = 0.47, p = 0.63$	
Содержание мелких иммунных комплексов, ед. опт / 100 мл / Content of small immune complexes, optical density un. /100 ml						
<i>Pelophylax ridibundus</i>	26.01	23.26	20.58	20.60	15.57	18.02
<i>Pelophylax lessonae</i>	11.24	13.30	12.16	14.40	11.48	12.40
Статистические показатели / Statistical indicator	$U = 2.76, p = 0.004$		$U = 2.47, p = 0.01$		$U = 1.81, p = 0.06$	
Коэффициент соотношения крупных/мелких иммунных комплексов, отн. ед. / Ratio of large/small immune complexes, rel. un.						
<i>Pelophylax ridibundus</i>	0.48	0.57	0.79	0.52	0.73	0.44
<i>Pelophylax lessonae</i>	0.81	0.42	0.88	0.35	0.88	0.34
Статистические показатели / Statistical indicators	$U = 2.78, p = 0.005$		$U = 0.92, p = 0.35$		$U = 1.96, p = 0.04$	

*Примечание.* *Me* – медиана, *IQR* – интерквартильный размах, *U* – критерий Манна – Уитни, *p* – уровень значимости.

*Note.* *Me* – median, *IQR* – interquartile range, *U* – Mann–Whitney test, *p* – significance level; statistically significant differences are shown in bold.

Установлено возрастание коэффициента соотношения крупных к мелким иммунным комплексам, свидетельствующее о повышении активности гуморальных иммунных реакций в условиях загрязнения водной среды сульфатами (табл. 5).

**ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ**

Иммунная система является критической мишенью для большинства ксенобиотиков и экстремальных экологических факторов. Характерной особенностью является и неодинаковая чувствительность отдельных ее звеньев к стрессовым факторам среды. Эти различия обусловлены высокой структурно-метаболической гетерогенностью иммунной системы организма и сложностью сетевых взаимодей-

ствий отдельных ее компонентов. Отметим также, что чувствительность иммунного ответа позволяет в ряде случаев выявить наличие патологических реакций в организме, когда никакими другими методами эти реакции выявить не удастся. В связи с этим дополнительную информацию о состоянии иммунного ответа зеленых лягушек могут дать интегральные индексы, которые отражают взаимоотношения между различными классами клеток лейкоцитарной формулы крови. Как известно, повышенное содержание нейтрофилов, снижение доли лимфоцитов и увеличение отношения доли нейтрофилов к лимфоцитам являются показателями острого стресса у позвоночных животных. Высокие значения индексов: ККП; ИСЛ, ИСНЛ для озерных лягушек по сравнению с выборками прудовых лягушек, обусловленные увеличением содержания нейтрофильных гранулоцитов всех форм зрелости и базофилов, а также снижением числа лимфоцитов, показывали, что регулирующие системы крови не имели выраженного лимфоцитарного профиля и отражали стресс-индуцированную реакцию лейкоцитов (Sabagna et al., 2005; Davis et al., 2008). По-видимому, специфика гидрохимических условий водной среды приводила в организме озерных лягушек к усилению продукции воспалительных медиаторов, обуславливающих пролиферацию, а впоследствии и миграцию лимфоцитов, что хорошо иллюстрировалось возрастанием реактивного ответа нейтрофилов (РОН) ( $z = 2.02, p = 0.04$ ). Поддержание иммунологической реактивности организма озерных лягушек в условиях повышенного загрязнения среды определялось функциональной активностью нейтрофилов, что подтверждалось более низким показателем лимфоцитарно-гранулоцитарного индекса (ИЛГ) ( $z = 3.87, p = 0.0001$ ) по сравнению с прудовыми лягушками. Интегральный индекс ИЛГ можно рассматривать как показатель сбалансированности ответной реакции клеток крови на комплексное воздействие факторов внешней среды, снижение этого показателя на фоне повышения индекса сдвига лейкоцитов (ИСЛ) свидетельствовало о недостаточном ресурсе адаптационных механизмов организма озерных лягушек за счет отставания клеток лимфоцитарно-моноцитарного звена.

**Таблица 5.** Зависимость показателей гомеостаза зеленых лягушек от концентрации загрязнителей водной среды обитания

**Table 5.** Dependence of the indicators of homeostasis of green frogs on the concentration of pollutants in the aquatic environment

Показатели загрязнения / Chemical pollutants	Показатель / Indicator	Уравнение регрессии / Regression equation	$r$	$R^2$	$p$
Марганец / Manganese	Миелоциты, % / Myelocytes, %	$y = 3.07 + 0.25x$	0.99	1.00	0.0005
Нитраты (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) / Nitrate (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	Миелоциты, % / Myelocytes, %	$y = 3.12 + 0.073x$	0.98	0.9987	0.03
Нитриты (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ) / Nitrite (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	ИСЛЭ, отн. ед. / Index of the lymphocytes and eosinophil, rel. un	$y = 16.38 - 106.23x$	-0.99	0.998	0.02
Сульфаты (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) / Sulfates (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	Коэффициент соотношения иммунных комплексов, отн. ед. / Ratio of immune complexes, rel. un.	$y = -1.97 + 0.06x$	0.99	0.99	0.035

*Примечание.*  $r$  – коэффициент корреляции,  $R^2$  – коэффициент детерминации,  $p$  – уровень значимости.

*Note.*  $r$  – correlation coefficient,  $R^2$  – determination coefficient,  $p$  – significance level.

## ЭКОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИММУННЫХ РЕАКЦИЙ

Амфибии, так же как рептилии и птицы, характеризуются гетерогенностью по иммуноглобулинам. У амфибии обнаружены три класса легких цепей иммуноглобулинов:  $\kappa$ ,  $\lambda$  и  $\sigma$  (Das et al., 2008) и описаны два изотипа иммуноглобулинов: высокомолекулярный: IgM и низкомолекулярный IgY. В отличие от IgM, IgY имеет длительный период действия, производится в большем количестве и обеспечивает большую защиту от инфекций (Warr et al., 1995). В модельных экспериментах со шпорцевыми лягушками показано, что антитела изотипа IgY, в высокой степени тимусзависимые, обнаруживались в клеточной культуре, только в условиях идентичности гаплотипов взаимодействующих клеток (Robert, Ohta, 2009). Относительно недавно у амфибий идентифицирован новый иммуноглобулин D (Ohta, Flajnik, 2006), который экспрессируется на поверхности зрелых В-клеток вместе с IgM и играет роль в модуляции развития гуморального иммунитета (Geisberger et al., 2006).

Показателем защиты организма и функциональной активности гуморального иммунного ответа является уровень циркулирующих иммунных комплексов. Повышенное содержание мелких иммунных комплексов свидетельствовало о дисбалансе в работе гуморальной защиты озерных лягушек, при этом не происходило полной нейтрализации АГ и нарушалось соотношение АГ–АТ. Одновременно наблюдалось повышение в крови доли воспалительных клеток: эозинофилов, нейтрофилов, макрофагов и снижение числа лимфоцитов. Более низкие значения коэффициента соотношения крупных/мелких иммунных комплексов у озерных лягушек по сравнению с прудовыми свидетельствовали о пониженной активации лимфоцитов как эффекторного звена иммунного ответа.

Выявленные изменения иммуногематологических показателей зеленых лягушек обусловлены, по-видимому, комплексным гемотоксичным воздействием приоритетных загрязнителей водных объектов. Регрессионным анализом показано снижение индекса соотношения лимфоцитов/эозинофилов при повышении концентрации нитритов и возрастание содержания в крови лягушек доли незрелых лейкоцитарных клеток (миелоцитов) при повышении концентрации марганца и нитратов в водной среде обитания, что являлось одним из признаков кумулятивного токсикоза организма.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ полученных данных показывает межвидовые различия видов зеленых лягушек в путях адаптации на уровне системы крови к комплексу гидрохимических условий среды, проявляющиеся в существенных специфических отклонениях функционирования иммунной системы организма. У озерных лягушек комплексное воздействие химических загрязнителей, техногенного происхождения в высоких концентрациях вызывало активизацию процесса эритропоза и напряжение неспецифической защитной системы крови. Лейкоцитарная формула крови прудовых лягушек иллюстрировала развитие лейкомоидной реакции лимфатического типа, т.е. характеризовалась пониженным содержанием нейтрофильных гранулоцитов (в том числе юных форм) и повышенной долей лимфоцитов.

Процесс иммунологической перестройки в организме зеленых лягушек, обитающих в разных биотопических условиях, адекватно отражали и популяционные маркеры иммунного статуса (лейкоцитарные индексы): кровно-клеточный показатель (ККП), индекс соотношения нейтрофилов и лимфоцитов (ИСНЛ), лимфоцитарно-гранулоцитарный индекс (ИЛГ), реактивный ответ нейтрофилов (РОН), индекс сдвига лейкоцитов (ИСЛ). Стабильность онтогенеза обеспечивалась разнонаправленными изменениями клеточных и гуморальных форм иммунного реагирования: у озерных лягушек, в большей степени, за счет усиления неспецифических реакций; у прудовых лягушек – за счет активного, адекватного и сбалансированного гуморального иммунного ответа.

*Авторы выражают глубокую признательность и благодарность доценту кафедры зоологии и экологии Пензенского государственного университета кандидату биологических наук Ермакову Олегу Александровичу за организацию работ по молекулярному определению вида амфибий, ценные советы и конструктивные замечания.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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

Вафис А. А., Пескова Т. Ю. Реакция крови озерной лягушки *Rana ridibunda* Pal. на воздействие сточных вод сахарных заводов // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. 2009. № 2 (16). С. 8 – 18.

Вершинин В. Л. Гемопозз бесхвостых амфибий – специфика адаптационного генеза видов в современных экосистемах // Зоологический журнал. 2004. Т. 83, № 11. С. 1367 – 1374.

Вершинин В. Л. Функциональные особенности популяций амфибий в градиенте урбанизации // Известия Самарского научного центра РАН. 2014 Т. 16, № 5 (1). С. 344 – 348.

Вершинин В. Л., Буракова А. В., Вершинина С. Д. Сравнительный анализ паразитоценозов амфибий сем. Ranidae (Anura) в градиенте урбанизации // Экология. 2017. № 5. С. 385 – 395.

Гриневич Ю. А., Алферов А. Н. Определение иммунных комплексов в крови онкологических больных // Лабораторное дело. 1981. № 8. С. 493 – 495.

Иванов А. Ю. Молекулярно-генетические и экологические особенности распространения криптических форм озерной лягушки в восточной части ареала : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Пенза, 2019. 22 с.

Леонтьева О. А., Семенов Д. В. Земноводные как биоиндикаторы антропогенных изменений среды // Успехи современной биологии. 1997. Т. 117, вып. 6. С. 726 – 736.

Меньшиков В. В., Делекторская Л. Н., Золотницкая Р. П., Андреева З. М., Анкирская А. С., Балаховский И. С., Белокриницкий Д. В., Воропаева С. Д., Гаранина Е. Н., Лукичева Т. И., Плетнева Н. Г., Смоляницкий А. Я. Лабораторные методы исследования в клинике М. : Медицина, 1987. 368 с.

Минеева О. В., Минеев А. К. Нарушения лейкоцитарной формулы крови озёрной лягушки Саратовского водохранилища // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. 2011. № 2 (2). С. 94 – 97.

Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектах рыбохозяйственного значения (Приказ Федерального агентства по рыболовству от 18.01.2010 г. № 20). М., 2010. 90 с.

## ЭКОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИММУННЫХ РЕАКЦИЙ

- Пескова Т. Ю. Влияние антропогенных загрязнений среды на земноводных. Волгоград : Волгоградский государственный педагогический университет, 2001. 156 с.
- Пескова Т. Ю. Действие смесей солей тяжелых металлов на головастики бесхвостых земноводных // Известия Самарского научного центра РАН. 2003. № 1. С. 157 – 164.  
РД 52.24.643-2002. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям / Росгидромет. Ростов н/Д, 2002 56 с.
- Романова Е. Б., Николаев В. Ю., Гелаивили Д. Б. Экологические аспекты организации иммунной системы амфибий // Современная герпетология. 2014. Т. 14, вып. 3/4. С. 126 – 133.
- Силс Е. А. Популяционные особенности гематологических показателей периферической крови сеголеток *Rana ridibunda* Pall. в условиях урбанизации // Экология. 2010. № 2. С. 158 – 160.
- Ткаченко Е. А., Дерхо М. А. Лейкоцитарные индексы при экспериментальной кадмиевой интоксикации мышей // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2014. № 3 (47). С. 81 – 83.
- Шутиков В. К., Розенберг Г. С. Рандомизация и бутстреп: статистический анализ в биологии и экологии с использованием R. Тольятти : Кассандра, 2014. 314 с.
- Aljanabi S. M., Martinez I. Universal and rapid salt-extraction of high genomic DNA for PCR-based techniques // Nucleic Acids Research. 1997. Vol. 25, iss. 22. P. 4692 – 4693. <https://doi.org/10.1093/nar/25.22.4692>
- Akin Peksen Ç. Molecular evolution and phylogeography of the Eastern Mediterranean water frog (*Pelophylax*) complex: PhD Thesis / School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University. Ankara, 2015. 342 p.
- Akin Ç., Can Bilgin C., Beerli P., Westaway R., Ohst T., Litvinchuk S. N., Uzzell T., Bilgin M., Hotz H., Guex G.-D., Plötner J. 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, iss. 11. P. 2111 – 2124. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2010.02368.x>
- Cabagna M. C., Lajmanovich R. C., Stringhini G., Sanchez-Hernandez J. C., Peltzer P. M. Hematological parameters of health status in the common toad *Bufo arenarum* in agro ecosystems of Santa Fe Province, Argentina // Applied Herpetology. 2005. Vol. 2. P. 373 – 380.
- Coico R., Sunshine G., Benjamini E. Immunology. A Short Course. Hoboken : Wiley-Liss Publ., 2003. 237 p.
- Das S., Nikolaidis N., Klein J., Nei M. Evolutionary redefinition of immunoglobulin light chain isotypes in tetrapods using molecular markers // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2008. Vol. 105. P. 16647 – 16652.
- Davis A. K., Maney D. L., Maerz J. C. The use of leukocyte profiles to measure stress in vertebrates: A review for ecologists // Functional Ecology. 2008. Vol. 22, iss. 5. P. 760 – 772. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2008.01467.x>
- Ermakov O., Ivanov A., Titov S., Svinin A., Litvinchuk S. N. New multiplex PCR method for identification of east European green frog species and their hybrids // Russian Journal of Herpetology. 2019. Vol. 26, № 6. P. 367 – 370. <https://doi.org/10.30906/1026-2296-2019-26-6-367-370>
- Geisberger R., Lamers M., Achatz G. The riddle of the dual expression of IgM and IgD // Immunology. 2006. Vol. 118. P. 429 – 437.
- International Guiding Principles for Biomedical Research Involving Animals. Geneva, Switzerland : Council for International Organization of Medical Sciences Publ., 2012. 4 p.
- Khokhlova I. S., Spinu M., Krasnov B. R., Degen A. A. Immune response to fleas in a wild desert rodent: Effect of parasite species, parasite burden, sex of host and host parasitological experience // Journal of Experimental Biology. 2004. Vol. 207. P. 2725 – 2733.

*Litvinchuk S. N., Ivanov A. Yu., Lukonina S. A., Ermakov O. A.* A record of alien *Pelophylax* species and widespread mitochondrial DNA transfer in Kaliningradskaya Oblast' (the Baltic coast, Russia) // *Bioinvasions Records*. 2020. Vol. 9, № 3. P. 599 – 617. <https://doi.org/10.3391/bir.2020.9.3.16>

*Meyer A.* Evolution of mitochondrial DNA in fishes // *Molecular Biology Frontiers, Biochemistry and Molecular Biology of Fishes* / eds. P. W. Hochachka, T. P. Mommsen. New York ; Amsterdam : Elsevier Press, 1993. Vol. 2. P. 1 – 38.

*Ohta Y., Flajnik M.* IgD, like IgM, is a primordial immunoglobulin class perpetuated in most jawed vertebrates // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2006. Vol. 103. P. 10723 – 10728.

*Peskova T. Ju., Bachevskaya O. N., Plotnikov G. K.* Hematological indices of the lake frog *Pelophylax ridibundus* (Pallas, 1771) (Ranidae, Anura) inhabiting reservoirs in the Northwestern Ciscaucasia with various pollution types. *Current Studies in Herpetology*, 2019, vol. 19, no. 1–2, pp. 40–45. <https://doi.org/10.18500/1814-6090-2019-19-1-2-40-45>

*Plötner J., Uzzell T., Beerli P., Spolsky C., Ohst T., Litvinchuk S. N., Guex G.-D., Reyer H.-U., Hotz H.* Widespread unidirectional transfer of mitochondrial DNA: A case in western Palaearctic water frogs // *Journal of Evolutionary Biology*. 2008. Vol. 21, № 3. P. 668 – 681. <https://doi.org/10.1111/j.1420-9101.2008.01527.x>

*Plötner J., Köhler F., Uzzell T., Beerli P., Schreiber R., Guex G.-D., Hotz H.* Evolution of serum albumin intron-1 is shaped by a 5 truncated non-long terminal repeat retrotransposon in western Palaearctic water frogs (Neobatrachia) // *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 2009. Vol. 53, iss. 3. P. 784 – 791.

R Core Team. R : A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria, 2020. Available at: <http://www.R-project.org> (accessed 17 December 2020).

*Robert J., Ohta Y.* Comparative and developmental study of the immune system in *Xenopus* // *Developmental Dynamics*. 2009. Vol. 238, iss. 6. P. 1249 – 1270.

*Svinin A. O., Dedukh D. V., Borkin L. J., Ermakov O. A., Ivanov A. Yu., Litvinchuk J. S., Zamaletdinov R. I., Mikhaylova R. I., Trubyanov A. B., Skorinov D. V., Rosanov Yu. M., Litvinchuk S. N.* Genetic structure, morphological variation, and gametogenic peculiarities in water frogs (*Pelophylax*) from northeastern European Russia // *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*. 2021. Vol. 59, iss. 3. P. 646 – 662. <https://doi.org/10.1111/jzs.12447>

*Warr G. W., Magor K. E., Higgins D. A.* IgY: Clues to the origins of modern antibodies // *Immunology Today*. 1995. Vol. 16. P. 392 – 398.

**Ecological and physiological analysis of immune reactions  
of *Pelophylax ridibundus* and *P. lessonae* (Amphibia: Ranidae)  
in anthropogeneously transformed territories**

E. B. Romanova <sup>1✉</sup>, S. A. Lukonina <sup>2</sup>, E. S. Ryabinina <sup>1</sup>, V. D. Plotnikova <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod  
23 Gagarin Avenue, Nizhni Novgorod 603950, Russia

<sup>2</sup>Penza State University  
40 Krasnaya St., Penza 440026, Russia

Received: 23 May 2022 / revised: 12 July 2022 / accepted: 14 July 2022

**Abstract.** The purpose of the work is to assess the state of Anura populations living in an anthropogenic territory according to a set of indicators of the body's immune homeostasis. The objects of the study were *Pelophylax ridibundus* (Pallas, 1771) and *P. lessonae* (Camerano, 1882), living in the natural populations of reservoirs in Nizhny Novgorod. Priority chemical pollutants of the water bodies were determined by spectrophotometry. Species were identified using a multiplex PCR test system. The identification results were confirmed by sequencing of the mitochondrial ND2 gene and a fragment of the SAI protein. We counted the numbers of erythrocytes and leukocytes, determined the leukocyte profile and the level of immune complexes in all frogs. An excess of the water quality standard for the content of heavy metals was revealed in all the water bodies. Molecular genetic diagnostics showed the presence of both "pure" *P. ridibundus* and individuals with introgressive mtDNA of the Anatolian form of the lake frog (*P. cf. bedriagae*) in the sample of lake frogs. In the sample of pond frogs, all studied individuals had only species-specific mt- and nDNA markers of *P. lessonae*. *P. ridibundus* differed from *P. lessonae* by an increased content of erythrocytes, neutrophils, basophils, small immune complexes, and a reduced content of lymphocytes. The revealed changes in the immunohematological parameters of green frogs were caused by the complex henotoxic effect of pollutants in the water bodies. A decrease in the lymphocytes/eosinophils ratio index was shown with an increase in the concentration of nitrites, an increased activity of humoral immune responses in conditions of sulfate pollution of the aquatic environment, an increase in the proportion of myelocytes in the blood of frogs with an increased concentration of manganese and nitrates in water. Under conditions of environmental stress, the blood regulatory systems of frogs reflected a stress-induced reaction, which was more pronounced in the body of lake frogs compared to pond ones.

**Keywords:** amphibians, sequencing, PCR, hydrochemistry, immune complexes, WBC (white blood cells), immunohematological parameters

**For citation:** Romanova E. B., Lukonina S. A., Ryabinina E. S., Plotnikova V. D. Ecological and physiological analysis of immune reactions of *Pelophylax ridibundus* and *P. lessonae* (Amphibia: Ranidae) in anthropogeneously transformed territories. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2023, no. 1, pp. 77–96 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-1-77-96>

✉ *Corresponding author.* Department of Ecology of Institute of Biology and Biomedicine, Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod, Russia.

*ORCID and e-mail addresses:* Elena B. Romanova: <https://orcid.org/0000-0002-1925-7864>, [romanova@ibbm.unn.ru](mailto:romanova@ibbm.unn.ru); Svetlana A. Lukonina: <https://orcid.org/0000-0003-0400-9603>, [lanochkal@yandex.ru](mailto:lanochkal@yandex.ru); Elena S. Ryabinina: <https://orcid.org/0000-0001-5544-2912>; [ryabinina.e.s@yandex.ru](mailto:ryabinina.e.s@yandex.ru); Valeria D. Plotnikova: <https://orcid.org/0000-0002-4305-7651>, [psyche\\_medea@mail.ru](mailto:psyche_medea@mail.ru).

## REFERENCES

Bannikov A. G., Darevsky V. G., Ishchenko A. K., Rustamov N. N. Shcherbak I. S. *Opredelitel zemnovodnykh i presmykajushchikhsja fauny SSSR* [A Guide of Amphibians and Reptiles of Fauna of USSR]. Moscow, Prosveshchenie Publ., 1977. 415 p. (in Russian).

Vafis A. A., Peskova T. Yu. Blood change of lake frog (*Rana ridibunda*) influenced by sugar-beet mill sewage. *Problems of Contemporary Science and Practice. Vernadsky University*, 2009, no. 2 (16), pp. 8–18 (in Russian).

Vershinin V. L. Hemopoiesis of anurans – specific features of adaptogenesis in species in recent ecosystems. *Zoologicheskii zhurnal*, 2004, vol. 83, no. 11, pp. 1367–1374 (in Russian).

Vershinin V. L. Functional specific of amphibian populations in urbanistic gradient. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 2014, vol. 16, no. 5 (1), pp. 344–348 (in Russian).

Vershinin V. L., Burakova A. V., Vershinina S. D. Comparative analysis of the parasitocenoses of amphibians from the family Ranidae (Anura) in the urbanization gradient. *Russian Journal of Ecology*, 2017, vol. 48, no. 5, pp. 466–475.

Grinevich Ju. A., Alferov A. N. Determination of immune complexes in the blood of cancer patients. *Laboratornoe delo*, 1981, no. 8, pp. 493–495 (in Russian).

Ivanov A. Ju. *Molecular Genetic and Ecological Features of Cryptic Forms of the Lake Frog in the Eastern Part of the Range*. Thesis Diss. Cand. Sci. (Biol.). Penza, 2019. 22 p. (in Russian).

Leontyeva O. A., Semenov D. V. Amphibians as bioindicators of anthropogenic change. *Uspekhi Sovremennoi Biologii*, 1997, vol. 117, no. 6, pp. 726–736 (in Russian).

Menshikov V. V., Delektorskaya, L. N., Zolotnitskaya R. P., Andreeva Z. M., Ankirskaya A. S., Balakhovsky I. S., Belokrinitzky D. V., Voropaeva S. D., Garanina E. N., Lukicheva T. I., Pletneva N. G., Smolyanitsky A. I. *Laboratornye metody issledovaniya v klinike* [Laboratory Methods of a Research in the Clinic]. Moscow, Meditsina Publ., 1987. 368 p. (in Russian).

Mineeva O. V., Mineev A. K. Disorders of blood leukocyte formula in the lake frog of the Saratov reservoir. *Vestnik Nizhegorodskogo Universiteta im. N. I. Lobachevskogo*, 2011, vol. 2, no. 2, pp. 94–97 (in Russian).

*Standards of Quality of Water of Water Objects of Fishery Value, Including Standards of Threshold Limit Values of Harmful Substances in Waters Water Objects of Fishery Value* (approved by the order of the Federal Fishery Agency on 18 January 2010, no. 20). Moscow, 2010. 90 p. (in Russian).

Peskova T. Yu. *Impact of Anthropogenic Environment Pollution on Amphibians*. Volgograd, Volgograd State Pedagogical University Publ., 2001. 156 p. (in Russian).

Peskova T. Yu. The influence of mixtures of heavy metal salts on tadpoles of anurans. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 2003, no. 1, pp. 157–164 (in Russian).

RD 52.24.643-2002. *Metod kompleksnoi otsenki stepeni zagriaznennosti poverkhnostnykh vod po gidrokhimicheskim pokazateliam / Rosgidromet* [Method for a Comprehensive Assessment of the Degree of Pollution]. Rostov-on-Don, Rosgydromet Publ., 2002. 56 p. (in Russia)

Romanova E. B., Nikolaev V. Yu., Gelashvili D. B. Ecological aspects of the immune system of amphibians. *Current Studies in Herpetology*, 2014, vol. 14, iss 3–4, pp. 126–133 (in Russian).

Sils E. A. Population characteristics of hematological parameters of the peripheral blood of postmetamorphic *Rana ridibunda* Pall. in urbanized areas. *Russian Journal of Ecology*, 2010, vol. 41, no. 2, pp. 189–191.

Tkachenko Ye. A., Derkho M. A. Leukocytic indices in experimental cadmium intoxication of mice. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*, 2014, no. 3, pp. 81–83 (in Russian).

Shitikov V. K., Rozenberg G. S. *Randomizatsiya i butstrep: statisticheskij analiz v biologii i jekologii s ispol'zovaniem R*. [Randomization and Bootstrap: Statistical Analysis in Biology and Ecology Using R]. Togliatti, Kassandra Publ., 2014. 314 p. (in Russian).

Aljanabi S. M., Martinez I. Universal and rapid salt-extraction of high genomic DNA for PCR-based techniques. *Nucleic Acids Research*, 1997, vol. 25, iss. 22, pp. 4692–4693. <https://doi.org/10.1093/nar/25.22.4692>

Akin Peksen Ç. *Molecular evolution and phylogeography of the Eastern Mediterranean water frog (Pelophylax) complex*. PhD Thesis. Ankara, School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University, 2015. 342 p.

Akin Ç., Can Bilgin C., Beerli P., Westaway R., Ohst T., Litvinchuk S. N., Uzzell T., Bilgin M., Hotz H., Guex G.-D., Plötner J. 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, iss. 11, pp. 2111–2124. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2010.02368.x>

Cabagna M. C., Lajmanovich R. C., Stringhini G., Sanchez-Hernandez J. C., Peltzer P. M. Hematological parameters of health status in the common toad *Bufo arenarum* in agro ecosystems of Santa Fe Province, Argentina. *Applied Herpetology*, 2005, vol. 2, pp. 373–380.

Coico R., Sunshine G., Benjamini E. *Immunology. A Short Course*. Hoboken, Wiley-Liss Publ., 2003. 237 p.

Das S., Nikolaidis N., Klein J., Nei M. Evolutionary redefinition of immunoglobulin light chain isotypes in tetrapods using molecular markers. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2008, vol. 105, pp. 16647–16652.

Davis A. K., Maney D. L., Maerz J. C. The use of leukocyte profiles to measure stress in vertebrates: A review for ecologists. *Functional Ecology*, 2008, vol. 22, iss. 5, pp. 760–772. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2008.01467.x>

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

Geisberger R., Lamers M., Achatz G. The riddle of the dual expression of IgM and IgD. *Immunology*, 2006, vol. 118, pp. 429–437.

*International Guiding Principles for Biomedical Research Involving Animals*. Geneva, Switzerland, Council for International Organization of Medical Sciences Publ., 2012. 4 p.

Khokhlova I. S., Spinu M., Krasnov B. R., Degen A. A. Immune response to fleas in a wild desert rodent: Effect of parasite species, parasite burden, sex of host and host parasitological experience. *Journal of Experimental Biology*, 2004, vol. 207, pp. 2725–2733.

Litvinchuk S. N., Ivanov A. Yu., Lukonina S. A., Ermakov O. A. A record of alien *Pelophylax* species and widespread mitochondrial DNA transfer in Kaliningradskaya Oblast' (the Baltic coast, Russia). *Bioinvasions Records*, 2020, vol. 9, no. 3, pp. 599–617. <https://doi.org/10.3391/bir.2020.9.3.16>

Meyer A. Evolution of mitochondrial DNA in fishes. In: P. W. Hochachka, T. P. Mommsen, eds. *Molecular Biology Frontiers, Biochemistry and Molecular Biology of Fishes*. New York, Amsterdam, Elsevier Press, 1993, vol. 2, pp. 1–38.

Ohta Y., Flajnik M. IgD, like IgM, is a primordial immunoglobulin class perpetuated in most jawed vertebrates. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2006, vol. 103, pp. 10723–10728.

Peskova T. Ju., Bachevskaya O. N., Plotnikov G. K. Hematological indices of the lake frog *Pelophylax ridibundus* (Pallas, 1771) (Ranidae, Anura) inhabiting reservoirs in the Northwestern Ciscaucasia with various pollution types. *Current Studies in Herpetology*, 2019, vol. 19, no. 1–2, pp. 40–45. <https://doi.org/10.18500/1814-6090-2019-19-1-2-40-45>

Plötner J., Uzzell T., Beerli P., Spolsky C., Ohst T., Litvinchuk S. N., Guex G.-D., Reyer H.-U., Hotz H. Widespread unidirectional transfer of mitochondrial DNA: A case in western Palearctic water frogs. *Journal of Evolutionary Biology*, 2008, vol. 21, no. 3, pp. 668–681. <https://doi.org/10.1111/j.1420-9101.2008.01527.x>

Plötner J., Köhler F., Uzzell T., Beerli P., Schreiber R., Guex G.-D., Hotz H. Evolution of serum albumin intron-1 is shaped by a 5 truncated non-long terminal repeat retrotransposon in western Palearctic water frogs (Neobatrachia). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 2009, vol. 53, iss. 3, pp. 784–791.

R Core Team. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria, 2020. Available at: <http://www.R-project.org> (accessed 17 December 2020).

Robert J., Ohta Y. Comparative and developmental study of the immune system in *Xenopus*. *Developmental Dynamics*, 2009, vol. 238, iss. 6, pp. 1249–1270.

Svinin A. O., Dedukh D. V., Borkin L. J., Ermakov O. A., Ivanov A. Yu., Litvinchuk J. S., Zamaletdinov R. I., Mikhaylova R. I., Trubyanov A. B., Skorinov D. V., Rosanov Yu. M., Litvinchuk S. N. Genetic structure, morphological variation, and gametogenic peculiarities in water frogs (*Pelophylax*) from northeastern European Russia. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*, 2021, vol. 59, iss. 3, pp. 646–662. <https://doi.org/10.1111/jzs.12447>

Warr G. W., Magor K. E., Higgins D. A. IgY: Clues to the origins of modern antibodies. *Immunology Today*, 1995, vol. 16, pp. 392–398.

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Краткое сообщение

УДК 598.28.29(470.1/.2)

<https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-1-97-106>

### ДУБРОВНИК *OCYRIS AUREOLUS* (PALLAS, 1773) (AVES, PASSERIFORMES) НА СЕВЕРЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ

Е. С. Преображенская<sup>1</sup>, П. Н. Амосов<sup>2</sup>✉

<sup>1</sup> Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН  
Россия, 119071, г. Москва, Ленинский просп., д. 33

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины  
Россия, 196084, г. Санкт-Петербург, ул. Черниговская, д. 5

Поступила в редакцию 18.10.2022 г., после доработки 24.11.2022 г., принята 24.11.2022 г.

**Аннотация.** Исследования распространения и численности дубровника (*Ocyris aureolus*) проводились на территории Архангельской области и в отдельных граничащих с ней районах Республики Коми в 2001 – 2022 гг. Всего было обследовано 57 луговых и лугоболотных территорий, ряд из них неоднократно в разные годы. В 2001 – 2011 гг. дубровник встречался почти на всех обследованных территориях, кроме некоторых суходольных лугов и крайних северо-восточных пойменных угодий в низовьях р. Мезени. Но уже в эти годы наблюдались тенденции к снижению его численности, на что указывают проведенные в течение нескольких лет учеты в пойме р. Пинеги. В последующие годы дубровник регистрировался лишь на обширных луговых массивах в поймах крупных рек. Относительно высокая плотность отмечена лишь на трех (из 35 обследованных) участках заливных лугов, в поймах Северной Двины и Ваги. На большинстве территорий, где он был встречен, отмечали лишь по 1 – 3 особи. Кроме суходольных лугов он перестал встречаться на пойменных лугах небольшой площади. Так как условия обитания дубровника у северо-западных границ ареала значительно не изменились, причиной снижения его численности здесь можно считать ухудшение условий обитания во время пролета и зимовок.

**Ключевые слова:** дубровник, распространение, север европейской части России

**Для цитирования.** Преображенская Е. С., Амосов П. Н. Дубровник *Ocyris aureolus* (Pallas, 1773) (Aves, Passeriformes) на севере Европейской России // Поволжский экологический журнал. 2023. № 1. С. 97 – 106. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-1-97-106>

✉ Для корреспонденции. Кафедра биологии, экологии и гистологии Санкт-Петербургского государственного университета ветеринарной медицины.

ORCID и e-mail адреса: Преображенская Екатерина Сергеевна: <https://orcid.org/0000-0002-2986-6444>,  
voop21@rambler.ru; Амосов Павел Николаевич: <https://orcid.org/0000-0002-3627-8026>, pavel-amosov@yandex.ru.

**Введение.** В последние десятилетия возросло внимание к дубровнику как виду, снижающему численность на всем своем ареале. Сокращение численности дубровника отмечается в Японии (Tamada et al., 2014), на территории России – в Центральной Сибири (Бурский, 2015), Байкальском регионе (Ананьин, 2015; Ивушкин, 2017; Mlikovsky, Styblo, 2016), на юге Амурской области (Антонов, 2016), на Урале (Поляков и др., 2017) и на севере европейской части России (Хохлова, Артемьев, 2012; Амосов, 2018).

Основной причиной резкого сокращения численности многие авторы считают отлов большого числа птиц в южном Китае, а также интенсификацию сельского хозяйства и резкое увеличение использования пестицидов в местах зимовки и пролета (Мищенко, 2018; Heim et al., 2021).

В последние годы наметились тенденции к восстановлению численности вида в Западном Забайкалье (Доржиев и др., 2018).

Достаточно стабильно население дубровника в Республике Коми на пойменных лугах в бассейне Средней Вычегды. В 2015 г. его плотность там составляла 11.4 особ./км<sup>2</sup>, в 2016 – 5.1 особ./км<sup>2</sup>, а в 2017 – 12.5 особ./км<sup>2</sup> (Минеев и др., 2017; Минеев и др., 2018). На крайнем западе его гнездового ареала, в Карелии, численность дубровника начала снижаться в конце прошлого столетия. В 2001 – 2005 гг. его численность была на порядок ниже в восточных районах республики, а в некоторых местах он перестал регистрироваться (Хохлова, Артемьев, 2012).

Дубровник на севере европейской части России заселяет луга в речных поймах, которые являются в основном землями сельскохозяйственного назначения. Значительная их часть в последние годы не используется для сельскохозяйственных целей. Реже он встречается на травяных болотах.

Площадь сельскохозяйственных угодий Архангельской области составляет 630.2 тыс. га (1.9% от площади континентальной части области), в том числе пашня – 275.5 (37.9%), сенокосы и пастбища – 347.7 (47.7%), залежь и многолетние насаждения – 10.0 тыс. га (1.3%) (Доклад. Состояние и охрана окружающей среды Архангельской области, 2021).

Целью статьи является рассмотрение современного состояния и динамики распространения и численности дубровника на севере европейской части России.

**Материал и методы.** В ходе наблюдений с 2001 по 2022 г. нами было обследовано около 57 луговых и луго-болотных местообитаний на территории Архангельской области и, частично, в западной части Республики Коми. На ряде из них работы проведены в течение нескольких сезонов. Из них только в 34 местах исследований в разные годы было зарегистрировано обитание дубровника. За 20-летний период были обследованы луговые и травяно-болотные местообитания в пойме реки Северная Двина и ее притоков Пинега, Вага, Вычегда; рек Онеги, Мезени и Куоя. Места проведенных исследований приведены в таблице.

В основном исследования проводились маршрутным методом, с регистрацией всех встреченных особей и пересчетом данных на площадь по дальности их обнаружения (Равкин, Челинцев, 1997). Общая длина маршрутов, пройденных с учетом, составила 1119 км. Из них около 50 км учетных маршрутов пройдено по территории Удорского района Республики Коми у границы с Архангельской обла-

стью, а остальная часть – по территории Архангельской области. Два сезона в Пинежье (Архангельская обл.) использовали метод круговых площадок (Бибби и др., 2000). Суммарная площадь учетных площадок – 348 га.

В статью включены факты наблюдения дубровников в Архангельской области орнитологами-любителями (<http://ru-birds.ru/>). Также мы приводим места исследований, где дубровник не был отмечен, что показывает характер расселения вида в регионе в последние десятилетия.

Статистическая обработка включала расчёт критерия Манна – Уитни ( $U$ ) в пакете программ Statistica 6.1 (StatSoft Inc., OK, USA).

**Результаты и их обсуждение.** Местообитания дубровника связаны с луговой и луго-болотной растительностью с редкими кустарниками в виде куртин или полос вдоль мелиоративных канав или естественных водоемов. Ранее он крайне редко встречался на лугах припойменной террасы, предпочитая низинные участки, особенно в местах с широкой поймой. В последние годы суходольные луга на припойменных склонах он избегает. Так, например, в 2001 г. у на левом берегу р. Пинега на низкой пойме в окрестностях дер. Голубино плотность дубровника составила 5.3 особ./км<sup>2</sup>, а на противоположном высоком берегу Пинеги он совсем не зарегистрирован (таблица).

До 2000 г. проведенные нами исследования распространения дубровника в северной части Архангельской области указывают на обитание дубровника на пойменных лугах в долине Северной Двины от Емецка до Архангельска, где он гнездился. На большинстве обследованных участков он входил в состав доминантов (Амосов, 2018).

В начале 2000-х гг. численность дубровника оставалась стабильной, но наблюдается сокращение числа мест, где он продолжал встречаться. Таким образом, усиливается фрагментация его распространения. В отдельных районах увеличивается расстояние между отдельными локальными популяциями вида.

На пойменных лугах в районе пос. Емецк, где в месте слияния рек Емцы и Северной Двины образуется широкая открытая пойма с луговой растительностью и ивняками, используемая в рассматриваемый период в качестве сенокосов и выпасов, плотность дубровника в июне 2006 г. была наиболее высокой – более 100 особ./км<sup>2</sup>. В последующие годы из-за превращения этих лугов в залежи, зарастания лугов ивняками в гнездовой сезон 2015 г. он не был обнаружен в низкой части поймы.

В период с 2001 по 2006 г. в других точках исследований его плотность населения варьировала от 5 до 53 особ./км<sup>2</sup>. Не отмечено обитание дубровника в этот период только на северо-востоке – в низовьях р. Мезени и на правобережных суходольных лугах р. Пинеги.

Уже в первые годы текущего столетия численность дубровника в Архангельской области начинает сокращаться. В некоторых местах наших исследований он не регистрировался. С 2011 по 2022 г. дубровник не встречен на северо-востоке Архангельской области: в низовьях р. Кулой в окрестностях с. Долгощелье, в низовьях р. Мезень, у дер. Совполье у р. Немнюга, на участке поймы р. Мезень от с. Большая Пысса (Республика Коми) до дер. Вожгора, а также в пойме р. Пеза (приток р. Мезень) в районе дер. Бычье и Сафоново, на востоке – в долине р. Пинеги (от дер. Кучкас до дер. Каскомень).

Плотность и количество особей (пар) *Ocyris aureolus* на лугах и травяных болотах на севере европейской части России за период 2001 – 2022 г.

**Table. Density and numbers of individuals (pairs) of *Ocyris aureolus* in meadows and grass marshes in the northern European Russia for 2001–2022**

№ / No.	Обследованная территория, окрестности населенных пунктов (административный район) / Examined area, surroundings of settlements (administrative district)	Год / Year	Длина маршрута или площадь обследованной территории / Length of the route or the area of the surveyed territory	Плотность, особ./км <sup>2</sup> / Density, ind./km <sup>2</sup>	Число учтенных особей и/или пар / Number of registered individuals and/or pairs
1	2	3	4	5	6
1	Левый берег р. Пинеги напротив дер. Голубино (Пинежский район) / Left bank of the Pinega river opposite the village Golubino (Pinezhsky district)	2001	147 га	5.3	44 ♂, 3 пары
2	Левый берег р. Пинеги напротив дер. Голубино (Пинежский район) / Left bank of the Pinega river opposite the village Golubino (Pinezhsky district)	2002	54 га + 6 км	8.2	25 ♂, 2 пары
3	р. Вага, с. Ровдино (Шенкурский район) / Vaga river, village Rovdino (Shenkursky district)	2003	16 км	15	14 ♂
4	Правый берег р. Пинеги, дер. Голубино, суходольные луга (Пинежский район) / Right bank of the Pinega river, village of Golubino, dry meadows (Pinezhsky district)		17 км	-	1 ♂
5	Левый берег р. Пинеги напротив дер. Голубино (Пинежский район) / Left bank of the Pinega river opposite the village Golubino (Pinezhsky district)	2004	40.7 км	13.4	30 ♂, 1 пара
6	р. Пинега, дер. Голубино, дер. Кулогора (Пинежский район) / The Pinega River, Golubino village, Kulogora village (Pinezhsky district)		11 км	6	2 ♂, 1 пара
7	р. Пинега, с. Карпогоры (Пинежский район) / Pinega river, village Karporogy (Pinezhsky district)		19.5 км	27.6	12 ♂, 3 пары
8	Остров Мудьюг, Двинская губа Белого моря, травяные болота и луга (Приморский район) / Mudyug Island, Dvinskaya bay of the White Sea, grass marshes and meadows (Primorsky district)		12.7 км	8.6	2 ♂, 1 пара
9	Левый берег р. Пинеги напротив дер. Голубино (Пинежский район) / Left bank of the Pinega river opposite the village Golubino (Pinezhsky district)	2005	28.7 км	28.6	38 ♂, 3 пары
10	р. Вычегда, пос. Сойга (Ленский район) / Vychegda river, settlement Soiga (Lensky district)		23 км	1.7	2 ♂
11	р. Онега, пос. Оксовский – Североонежск (Плесецкий район) / Onega river, village Osovsky – Severoonezhsk (Plesetsky district)		19.8 км	5.1	5 ♂
12	Левый берег р. Пинеги напротив дер. Голубино (Пинежский район) / Left bank of the Pinega river opposite the village Golubino (Pinezhsky district)	2006	17 км	21.7	7 ♂
13	р. Сев. Двина, с. Емецк (Холмогорский район) / Severnaya Dvina river, village Yemetsk (Kholmogorsky district)		16.4 км	52.9	21 ♂
14	Дельта р. Сев. Двина, Заостровье (Приморский район) / Delta of the Severnaya Dvina river, Zaostrovye (Primorsky district)		26.2	17.6	34 ♂, 1 пара
15	Левый берег р. Пинеги напротив дер. Голубино (Пинежский район) / Left bank of the Pinega river opposite the village Golubino (Pinezhsky district)	2011	3 км	-	53 ♂
			26.4 км	8.4	4 ♂
					13 ♂, 7 пар

Окончание таблицы  
Table. Continuation

1	2	3	4	5	6
16	р. Сев. Двина, пос. Сосновый, дер. Тимоховская, пос. Авнюгский (Верхне-Тоемский район) / Severnaya Dvina river, settlement Sosnovy, village Timokhovskaya, settlement Avnyugsky (Verkhne-Toyomsky district)	2014	10.3 км 22.8 км 26.6 км	4.3 0.9 3.2	5 ♂, 1 пара 1 ♂ 5 ♂, 1 пара
17	р. Пинега, Карпогоры – Ясный (Пинежский район) / Pinega river, Karpogory – Yasny (Pinezhsky district)	2015	50.2 км	1.2	3 ♂
18	р. Онега, Ярнема, Североонежск, Конево (Плесецкий район) / Onega river, Yarnema, Severoonezhsk, Konevo (Plesetsky district)	2016	41 км	1	2 ♂ (окрестности Конево)
19	р. Вага, с. Долматово (Вельский район) / Vaga river, village Dolmatovo (Velsky district)		19.6 км	2.3	2 ♂, 2 пары
20	Среднее течение р. Мезень, с. Глотова – Сельб, (Удорский район, Коми) / Middle course of the Mezen river, village Glotovo – Selyb, (Udorsky district, Komi)	2017	23.6 км	0.8	3 ♂
21	р. Мезень, с. Лешуконское – Целегора, (Лешуконский район) / Mezen river, village Leshukonskoje – Tselegora, (Leshukonsky district)		35.7 км	0.8	1 ♂
22	р. Пинега, Никольский о-в (Пинежский район) / Pinega river, Nikolsky Island (Pinezhsky district)		21 км	-	1 ♂
23	р. Сев. Двина, дер. Чамово – Усть-Ваенга (Виноградский район) / Severnaya Dvina river, village Chamovo – Ust-Vaenga (Vinogradovsky district)	2018	51.8 км	3.0	12 ♂ и 1 ♀
24	Левый берег р. Ваги (дер. Чащинская – Тюхневская в окрестностях Шенкурска), (Шенкурский район) / Left bank of the Vaga river (village Chashchinskaya – Tyukhnevskaya in the vicinity Shenkursk), (Shenkursky district)		22.3 км	15.5	20 ♂, 2 пары
25	р. Мезенская Пижма, дер. Шегмас, (Лешуконский район) / Mezenskaya Pizma river, village Shegmas, (Leshukonsky district)	2020	-	-	1 ♂
26	р. Вычегда, пос. Сойга (Ленский район) / Vychedga river, settlement Soiga (Lensky district)	2022	25 км	-	1 пара
27	Левый и правый берега р. Ваги, окрестности г. Шенкурска / Left and right banks of the Vaga river, vicinity of the city Shenkursk		6.5 км 15 км	-	26 ♂, 3 ♀ 7 ♂
28	р. Вага, с. Шеговары – дер. Сенчуковская (Шенкурский район) / Vaga river, village Shegovary – village Senchukovskaya (Shenkursky district)		6 км	-	18 ♂
29	Устье р. Ваенги (Виноградский район) / Mouth of the Vaenga river (Vinogradovsky district)		12 км	-	18 ♂, 1 ♀

В юго-восточной части Архангельской области он не обнаружен в верховьях Северной Двины (окрестности дер. Большая Слудка – с. Дябрино; с. Ср. Шипицино, Евда), на правом берегу р. Вычегды в окрестностях пос. Сойга, с. Козмино и с. Лена. В западной части области дубровник отсутствовал в низовьях р. Онеги, в окрестностях г. Няндомы и пос. Шалакуша, у озер Мошенское и Воеозеро, в долине р. Устья (дер. Бережная – Михалевская), в окрестностях г. Вельска, а также на некоторых участках среднего течения Северной Двины у дер. Вороновская, с. Брин-Наволоки, дер. Куликовская в низовьях р. Ваги, а также в дельте Северной Двины у Архангельска.

Дубровник исчезает на небольших по площади пойменных лугах, сильно заросших древесно-кустарниковой растительностью вследствие прекращения их сельскохозяйственного использования. Он уже не обитает на суходольных лугах,

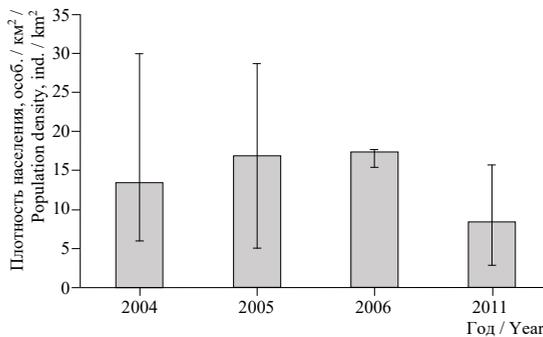
где ранее и так был редок. Но на широких открытых речных поймах он продолжает встречаться с низкой плотностью.

Наличие данных по плотности дубровника в долине р. Пинеги в окрестностях дер. Голубино по сезонам 2004 – 2006 и 2011 гг. позволили нам сделать попытку оценить изменения этого параметра (рисунок). Но эти изменения средней плотности населения дубровника с учетом минимальных и максимальных значений по критерию Манна – Уитни статистически незначимы ( $p \leq 0.05$ ),  $U_{\text{эмп}} = 1 - 6$ .

Проведенные начиная с 2013 г. исследования (см. таблицу) выявили ряд точек обитания дубровника в Архангельской области. Наиболее многочисленны поселения вида отмечены на участках широкой поймы р. Северная Двина и р. Вага: в окрестностях г. Шенкурска, между дер. Чащинская и Тюхневская и между с. Шеговары и дер. Сенчуковской в Шенкурском районе, у дер. Чамово и пос. Усть-Ваеньга в Виноградовском районе, у пос. Сосновый и пос. Авнюгский в Верхне-Тоемском районе. Причем на левобережье р. Ваги в окрестностях г. Шенкурска его численность возможно даже выросла. В июне 2018 г. было отмечено 20 поющих самцов дубровника и 2 пары на 22.3 км маршрута. А в июне 2022 г. там же на маршруте длиной 6.5 км уже зарегистрировано 26 самцов и 3 самки.

В других местах (см. таблицу) всего зарегистрировано от 1 до 3 поющих самцов. Кроме того, дубровник ежегодно с 2015 по 2022 г. встречался в окрестностях г. Котласа (Архангельская область) на Антоновских лугах в долине р. Вычегды. Регистрировали от 1 до 8 поющих самцов (А. Морозов, <http://ru-birds.ru/>). Одного поющего самца дубровника отмечали в 28.06.2019 г. в окрестностях дер. Велкодворская на лугах около р. Вага в Вельском районе Архангельской области (Н. Останова, <http://ru-birds.ru/>).

Таким образом, в последнее десятилетие дубровник заселяет в Архангельской области наиболее обширные массивы лугов в поймах крупных рек. На большин-



Динамика плотности дубровника в долине р. Пинеги в окрестностях дер. Голубино (Пинежский район, Архангельская область) в 2004 – 2011 г.

**Figure.** Dynamics of the *Ocyris aureolus* density in the Pinega river valley in the vicinity of the village Golubino (Pinezhsky district, Arkhangelsk region) in 2004–2011

стве таких луговых массивов он малочислен, лишь в двух обследованных нами пунктах отмечены поселения, включающие не менее 10 поющих самцов. Мелкие луговые угодья и луга на высокой части припойменной террасы, как правило, остаются не заселенными дубровником.

Часть пойменных лугов на севере Европейской России остаются пригодными для обитания дубровника, несмотря на снижение интенсивности сельскохозяйственной деятельности и, как следствие, изменения луговых фитоценозов. Некоторые пойменные луга сохраняют

прежний состав растительности с сокращением их площади вследствие их зарастания ивами и другими видами кустарников и деревьев, которое происходит, как и ранее, только в прибрежной полосе или, на осушенных лугах, по краям мелиоративных каналов. Наличие куртин или полос древесно-кустарниковой растительности на лугах не является препятствием для обитания здесь дубровников.

**Заключение.** Исходя из имеющихся данных можно заключить, что дубровник снизил свою численность на севере европейской части России, по сравнению с концом прошлого столетия.

Распространение дубровника в Архангельской области стало более фрагментарным, мозаичным. Он перестал встречаться на суходольных лугах, пойменных лугах, равномерно зарастающих древесно-кустарниковой растительностью, а также небольших по площади луговинах, посреди лесов. В основном он в последнее десятилетие обитает на участках широкой поймы крупных рек Северная Двина, Пинега, Вага, Мезень (кроме крайнего северо-востока), где предпочитает открытые пойменные разнотравные луга с незначительным участием древесно-кустарниковой растительности.

Численность дубровника в указанных местообитаниях стабильно низкая, ее колебания статистически незначимы.

Для получения более ясной картины распространения, численности вида, их динамики на севере Европейской России необходимо продолжение исследований, особенно в Архангельской области, частично в Республике Коми, восточных районах Карелии и Вологодской области.

Существенный вклад в сохранение дубровника на всем современном его ареале внесет улучшение условий его местообитаний в период зимовок в южном Китае и Юго-восточной Азии.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Амосов П. Н. Динамика и современная численность дубровника в Архангельской области // Первый Всероссийский орнитологический конгресс : тезисы докладов. Тверь : Тверской государственный университет, 2018. С. 4.

Ананьин А. А. Овсянка-дубровник (*Ocyris aureola* Pall.) в Северо-Восточном Прибайкалье – катастрофическое исчезновение вида // Байкальский зоологический журнал. 2015. № 1. С. 82 – 86.

Антонов А. И. Динамика гнездовой популяции дубровника *Emberiza aureola* Pallas, 1773 на юге Амурской области // Проблемы экологии Верхнего Приамурья. Благовещенск : Изд-во Благовещенского государственного педагогического университета, 2016. Вып. 17. С. 68 – 71.

Бурский О. В. Взаимосвязанные изменения особенностей жизненного цикла у дубровника (*Emberiza aureola*) // Энергетика и годовые циклы птиц (памяти В. Р. Дольника): материалы международной конференции / под ред. Н. С. Чернецова, Т. В. Дольника, Т. Б. Голубевой, В. М. Гаврилова. М. : Т-во науч. изд. КМК, 2015. С. 61 – 67.

Бибби К., Джонс М., Марден С. Методы полевых экспедиционных исследований. Исследования и учеты птиц / пер. с англ. М. : Союз охраны птиц России, 2000. 186 с.

Доклад. Состояние и охрана окружающей среды Архангельской области за 2020 год / отв. ред. О. В. Перхурова. Текст электронный. Архангельск : САФУ, 2021. 478 с. URL: [http://eco29.ru/doklad/Doklad\\_2020.pdf](http://eco29.ru/doklad/Doklad_2020.pdf) (дата обращения: 14.08.2022).

Доржиев Ц. З., Бадмаева Е. Н., Гулгенов А. З. Новые сведения о редких и малоизученных птицах Западного Забайкалья // Природа Внутренней Азии. 2018. № 1 (6). С. 86 – 92.

Ивушкин В. Е. Изменение численности дубровника (*Ocyris aureola*, Aves, Emberizidae) в последние годы в Прибайкалье // Динамика численности птиц в наземных ландшафтах. 30-летие программ мониторинга зимующих птиц России и сопредельных регионов: материалы Всероссийской научной конференции. М. : Т-во науч. изд. КМК, 2017. С. 228 – 234.

Минеев О. Ю., Кочанов С. К., Накул Г. Л. Фауна птиц бассейна Средней Вычегды (Республика Коми) // Русский орнитологический журнал. 2017. Т. 26, экспресс-вып. 1428. С. 1391 – 1415.

Минеев О. Ю., Накул Г. Л., Кочанов С. К. Фауна птиц бассейна Средней Вычегды (Республика Коми) по наблюдениям 2017 года // Русский орнитологический журнал. 2018. Т. 27, экспресс-вып. 1620. С. 2653 – 2666.

Мищенко А. Л. Дубровник в Европейской России: история побед и поражений // Первый Всероссийский орнитологический конгресс: тезисы докладов. Тверь : Тверской государственный университет, 2018. С. 226.

Поляков В. Е., Гурин А. Е., Сесин А. В., Еременко И. Н. Наблюдения редких и находящихся у границ гнездовых ареалов птиц в окрестностях Екатеринбурга // Фауна Урала и Сибири. 2017. № 1. С. 210 – 218.

Равкин Е. С., Челинцев Н. С. Методика маршрутного учета населения птиц в заповедниках // Вопросы экологии и охраны позвоночных животных / ред. И. Р. Гуль. Киев ; Львов, 1997. С. 62 – 78.

Хохлова Т. Ю., Артемьев А. В. Дубровник *Emberiza aureola* в Карелии // Русский орнитологический журнал. 2012. Т. 21, экспресс-вып. 762. С. 1262 – 1266.

Heim W., Chan S., Hölzel N., Ktitorov P., Mischenko A., Kamp J. East Asian buntings: Ongoing illegal trade and encouraging conservation responses // Conservation Science and Practice. 2021. Vol. 3, iss. 6. Article number e405. <https://doi.org/10.1111/csp2.405>

Mlikovsky J., Styblo P. Biometry, ecology and population status of the endangered Yellow-breasted bunting *Emberiza aureola* in the Svyatoy Nos wetlands, Lake Baikal, Eastern Siberia, Russia // Forktail. 2016. Vol. 32. P. 1 – 4.

Tamada K., Tomizawa M., Umeki M., Takada M. Population trends of grassland birds in Hokkaido, focussing on the drastic decline of the Yellow-breasted bunting // Ornithological Science. 2014. Vol. 13, iss. 1. P. 29 – 40. <https://doi.org/10.2326/osj.13.29>

## Yellow-breasted bunting *Ocyris aureolus* (Pallas, 1773) (Aves, Passeriformes) in the Northern European Russia

E. S. Preobrazhenskaia<sup>1</sup>, P. N. Amosov<sup>2✉</sup>

<sup>1</sup> A. N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences  
33 Leninsky Prosp., Moscow 119071, Russia

<sup>2</sup> Saint Petersburg State University of Veterinary Medicine  
5 Chernigovskaya St., Saint Petersburg 196084, Russia

Received: 18 October 2022 / revised: 24 November 2022 / accepted: 24 November 2022

**Abstract.** Our studies of the distribution and abundance of the yellow-breasted bunting (*Ocyris aureolus*) were carried out on the territory of the Arkhangelsk region and in certain bordering areas of the Komi Republic in 2001–2022. A total of 57 meadow and meadow-swamp territories were surveyed, and a number of them – repeatedly in several years. In 2001–2011, the yellow-breasted bunting was found in almost all the surveyed territories, except some dry meadows and extreme northeastern floodplain lands in the lower reaches of the Mezen river. But already in these years, there were trends towards a decrease in its numbers, as indicated by the records carried out in the floodplain of the Pinega river for several years. In subsequent years, the yellow-breasted bunting was recorded on vast grasslands in the floodplains of large rivers only. A relatively high density was observed only in three (out of 35 surveyed) sections of flood meadows, in the floodplains of the Northern Dvina river and Vaga river. In most of the territories where it was found, only 1–3 individuals were recorded. In addition to dry meadows, it has ceased to occur in small-area floodplain meadows. Since the habitat conditions of the yellow-breasted bunting at the northwestern borders of its range have not changed significantly, the cause for this decrease in its numbers there can be considered the deterioration of habitat conditions during the flight and wintering.

**Keywords:** *Ocyris aureolus*, distribution, Northern European Russia

**For citation:** Preobrazhenskaia E. S., Amosov P. N. Yellow-breasted bunting *Ocyris aureolus* (Pallas, 1773) (Aves, Passeriformes) in the Northern European Russia. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2023, no. 1, pp. 97–106 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-1-97-106>

### REFERENCES

Amosov P. N. Dynamics and current population of Yellow-breasted bunting in the Arkhangelsk region. In: *Pervyi Vserossiiskii ornitologicheskii congress: tezisy dokladov* [The First All-Russian Ornithological Congress. Abstracts of reports]. Tver, Tver State University Publ., 2018, pp. 4 (in Russian).

Ananin A. A. Yellow-breasted bunting (*Ocyris aureola* Pall.) in North-Eastern Baikal region – the cause of catastrophic extinction of a species. *Baikal Zoological Journal*, 2015, iss. 1, pp. 82–86 (in Russian).

Antonov A. I. Breeding population trend of Yellow-breasted bunting *Emberiza aureola* Pallas, 1773 at the South of Amur Region. In: *Problemy ekologii Verkhnego Priamur'ia* [Problems of

---

✉ *Corresponding author.* Department of Biology, Ecology and Histology of Saint Petersburg State University of Veterinary Medicine, Russia.

ORCID and e-mail addresses: Ekaterina S. Preobrazhenskaia: <https://orcid.org/0000-0002-2986-6444>, voop21@rambler.ru; Pavel N. Amosov: <https://orcid.org/0000-0002-3627-8026>, pavel-amosov@yandex.ru.

Ecology of the Upper Amur Region: Collection of Scientific Papers]. Blagoveshchensk, Izdatel'stvo Blagoveshchenskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta, 2016, iss. 17, pp. 68–71 (in Russian).

Bourski O. V. Interrelated changes of life history traits in Yellow-breasted bunting (*Emberiza aureola*). In: N. S. Chemetsov, T. V. Dolnik, T. B. Golubeva, V. M. Gavrilov, eds. *Energetics and Annual Cycles of Birds (in Memory of V.R. Dolnik). Materials of the International Conference*. Moscow, KMK Scientific Press Ltd., 2015, pp. 61 – 67 (in Russian).

Bibby C., Jones M., Marsden S. *Expedition Field Techniques. Bird Surveys*. English translation. Moscow, Soyuz okhrany ptits Rossii, 2000. 186 p. (in Russian).

*Doklad. Sostoianie i okhrana okruzhaiushchei sredy Arkhangel'skoi oblasti za 2020 god. Otv. red. O. V. Perkhurova. Tekst elektronnyi* [O. V. Perkhurova, ed. Report. State and Protection of the Environment of the Arkhangel'sk Region in 2020. Electronic text]. Arkhangel'sk, Northern (Arctic) Federal University Publ., 2021. 478 p. Available at: [https://eco29.ru/doklad/Doklad\\_2020.pdf](https://eco29.ru/doklad/Doklad_2020.pdf) (accessed 14 August 2022).

Dorzhiev T. Z., Badmaeva E. N., Gulgenov A. Z. New information about rare and understudied birds of Western Transbaikal. *Nature of Inner Asia*, 2018, no. 1 (6), pp. 86–92 (in Russian).

Ivushkin V. E. Changes in the number of the Yellow-breasted bunting (*Ocyris aureola*, Aves, Emberizidae) in the Baikal region during the last few years. In: *Population Dynamics of Birds in Terrestrial Landscapes. Dedicated to the 30th Anniversary of Wintering Bird Monitoring Programs of Russia and Neighboring Regions. – Proceedings of the Russian Scientific Conference*. Moscow, KMK Scientific Press, 2017, pp. 228–234 (in Russian).

Mineev O. Yu., Kochanov S. K., Nakul G. L. Avifauna of the basin of the middle reaches of the Vychegda (Komi Republic). *Russian Journal of Ornithology*, 2017, vol. 26, express-issue 1428, pp. 1391–1415 (in Russian).

Mineev O. Yu., Nakul G. L., Kochanov S. K. Fauna of birds of the Middle Vychegda basin (the Komi Republic) according to the observations of 2017. *Russian Journal of Ornithology*, 2018, vol. 27, express-issue 1620, pp. 2653–2666 (in Russian).

Mishchenko A. L. Yellow-breasted bunting in European Russia: History of victories and defeats. In: *Pervyi Vserossiiskii ornitologicheskii kongress: tezisy dokladov* [The First All-Russian Ornithological Congress. Abstracts of reports]. Tver, Tver State University Publ., 2018, pp. 226 (in Russian).

Polyakov V. E., Gurin A. E., Sesin A. V., Eremenko I. N. Observations of rare birds and birds living at the borders of their ranges near Ekaterinburg. *Fauna of the Urals and Siberia*, 2017, no. 1, pp. 210–218 (in Russian).

Ravkin E. S., Chelintsev N. S. Methodology of route accounting of bird populations in nature reserves. In: *Voprosy ekologii i okhrany pozvonochnykh zhivotnykh. Red. I. R. Gul'* [R. Gul, ed. Problems of Ecology and Protection of Vertebrate Animals]. Kiev, Lviv, 1997, pp. 62–78 (in Russian).

Khokhlova T. Yu., Artemiev A. V. The Yellow-breasted bunting *Emberiza aureola* in Karelia. *Russian Journal of Ornithology*, 2012, vol. 21, express-issue 762, pp. 1262–1266 (in Russian).

Heim W., Chan S., Hölzel N., Ktitorov P., Mischenko A., Kamp J. East Asian buntings: Ongoing illegal trade and encouraging conservation responses. *Conservation Science and Practice*, 2021, vol. 3, iss. 6, article number e405. <https://doi.org/10.1111/csp2.405>

Mlikovsky J., Styblo P. Biometry, ecology and population status of the endangered Yellow-breasted bunting *Emberiza aureola* in the Svyatoy Nos wetlands, Lake Baikal, Eastern Siberia, Russia. *Forktail*, 2016, vol. 32, pp. 1–4.

Tamada K., Tomizawa M., Umeki M., Takada M. Population trends of grassland birds in Hokkaido, focussing on the drastic decline of the Yellow-breasted bunting. *Ornithological Science*, 2014, vol. 13, iss. 1, pp. 29–40. <https://doi.org/10.2326/osj.13.29>

Краткое сообщение

УДК 579.6;504.06

<https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-1-107-116>

## ВЛИЯНИЕ ГИПОХЛОРИТА НАТРИЯ НА МИКРОБИОТУ И ЗАПАХ НАВОЗНЫХ СТОКОВ

Н. В. Сырчина<sup>1✉</sup>, Л. В. Пилип<sup>2</sup>, Е. П. Колеватых<sup>3</sup>,  
Т. Я. Ашихмина<sup>1,4</sup>, Д. А. Кузнецов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Вятский государственный университет

Россия, 610000, г. Киров, ул. Московская, д. 36

<sup>2</sup> Вятский государственный агротехнологический университет

Россия, 610017, г. Киров, Октябрьский просп., д. 133

<sup>3</sup> Кировский государственный медицинский университет

Россия, 610998, г. Киров, ул. К. Маркса, д. 112

<sup>4</sup> Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН

Россия, 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28

Поступила в редакцию 18.10.2022 г., после доработки 24.11.2022 г., принята 24.11.2022 г.

**Аннотация.** Навозные стоки (НС) животноводческих предприятий представляют собой богатую питательную среду для развития различных аэробных микроорганизмов (МО). В результате биодеструкции органических компонентов НС в воздух поступает широкий спектр запахообразующих веществ (ЗОВ) и парниковых газов. Интенсивность и основные направления деструкции НС зависят от состава и численности микробиоты. Для подавления процессов разложения биогенных составляющих НС может найти применение раствор гипохлорита натрия. В процессе исследований установлено, что внесение 0.005% активного хлора в жидкую фракцию НС (рН – 6.8; влажность – 99.1%) приводит к снижению численности таких представителей гнилостной микробиоты, как *Bacteroides* spp., *Clostridium* spp., *Escherichia coli*, *Pseudomonas* spp., *Sarcina ventriculi*, *Peptostreptococcus anaerobius*. Соответствующие аммонификаторы принимают активное участие в процессах биодеструкции органических веществ, в результате которых образуются уксусная, изовалериановая, масляная кислоты, индолы, скатолы, аммиак, сероводород, меркаптаны и другие ЗОВ. Численность микробиоты, не вносящей заметного вклада в продукцию ЗОВ (*Saccharomyces cerevisiae*, *Rhodotorula glutinis*, *Lactobacillus* spp. и др.), наоборот, увеличилась. Возросло количество некоторых продуцентов летучих жирных кислот (ЛЖК): *Anaerococcus prevotii*, *Acidaminococcus* spp., *Prevotella* spp. и др., однако это не оказало заметного влияния на интенсивность и характер запаха НС, что может быть обусловлено образованием нелетучих солей ЛЖК при рН выше 7.0. Численность *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Klebsiella* sp., *Proteus* spp., *Alistipes putredinis*, *Bifidobacterium* spp., *Candida tropicalis*, *Candida albicans* при добавке в НС NaOCl практически не изменилась. В результате трансформации

✉ Для корреспонденции. Кафедра фундаментальной химии и методики обучения химии Вятского государственного университета.

ORCID и e-mail адреса: Сырчина Надежда Викторовна: <https://orcid.org/0000-0001-9695-7146>, [nvms1956@mail.ru](mailto:nvms1956@mail.ru); Пилип Лариса Валентиновна: <https://orcid.org/0000-0001-8049-6760>, [pilip\\_larisa@mail.ru](mailto:pilip_larisa@mail.ru); Колеватых Екатерина Петровна: <https://orcid.org/0000-0001-6147-3555>, [hibica@mail.ru](mailto:hibica@mail.ru); Ашихмина Тамара Яковлевна: <https://orcid.org/0000-0003-4919-0047>, [ecolab2@gmail.com](mailto:ecolab2@gmail.com); Кузнецов Дмитрий Алексеевич: <https://orcid.org/0000-0002-5554-8378>, [dimzaaa@gmail.com](mailto:dimzaaa@gmail.com).

микробиоты общая эмиссия газообразных веществ, основными компонентами которых являются парниковые газы CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub>, уменьшилась более чем на 17%. Интенсивность неприятного запаха существенно снизилась. Раствор NaOCl может найти применение для обработки НС в навозосборных ваннах. Внедрению практики обработки НС этим биоцидом способствует его доступность, низкая стоимость и безопасность для окружающей среды.

**Ключевые слова:** гипохлорит натрия, биоцидные свойства, навозные стоки, микробиота навозных стоков, запах

**Для цитирования.** Сырчина Н. В., Пилип Л. В., Колеватых Е. П., Ашихмина Т. Я., Кузнецов Д. А. Влияние гипохлорита натрия на микробиоту и запах навозных стоков // Поволжский экологический журнал. 2023. № 1. С. 107 – 116. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-1-107-116>

**Введение.** Интенсивность и характер запаха навозных стоков (НС) во многом обусловлены видовым составом и численностью микроорганизмов (МО), принимающих участие в процессах их биодеструкции. Основной вклад в эмиссию широкого спектра запахообразующих веществ (ЗОВ) из биогенных отходов вносит анаэробная микробиота (Пилип и др., 2020). Ведущими продуцентами аммиака являются *Clostridium aminophilum*, *Clostridium sticklandii*, *Peptostreptococcus anaerobius*, *Bacteroides fragilis* (Ward et al., 2018); летучие жирные кислоты (ЛЖК) активно образуются в результате жизнедеятельности бактерий родов *Eubacterium*, *Clostridium* (Zhu et al., 2016); в эмиссии сероводорода основное участие принимают диссимилирующие сульфатредуцирующие бактерии, способные использовать сульфаты в качестве акцепторов электронов (Whitehead et al., 2013; St-Pierre et al., 2017), а образование тиоспиртов (меркаптанов) происходит в процессе метаболизма органических веществ такими МО, как *Bacillus sporogenes*, *Bacillus putrificus*, *Escherichia coli*, *Proteus vulgaris* (Вайсман и др., 2008).

Растворы гипохлорита натрия (NaOCl) находят широкое применение в качестве экономичных, эффективных и безопасных для окружающей среды антисептиков и дезинфектантов. Биоцидные свойства соответствующих растворов обусловлены хлорноватистой кислотой (HOCl), образующейся в процессе гидролиза NaOCl:  $\text{NaOCl} + \text{H}_2\text{O} = \text{HOCl} + \text{NaOH}$ .

Для хлорноватистой кислоты характерны выраженные окислительные свойства. Максимальную биоцидную активность растворы NaOCl проявляют в интервале pH от 7.0 до 7.6, что связано с образованием метастабильной системы, генерирующей синглетный молекулярный кислород и ряд радикалов (ClO·, Cl·, O·, OH·), нарушающих работу ферментов клеток микроорганизмов (Седунов и др., 2009). В ряде исследований показано, что растворы NaOCl могут найти применение для обработки навоза и НС с целью улучшения их микробиологических характеристик и устранения неприятного запаха (Пилип, Сырчина, 2018; Способ устранения запаха..., 2019; Терентьев и др., 2019).

Поскольку разные группы МО проявляют неодинаковую устойчивость к воздействию NaOCl (Журавлев и др., 2019), большой практический интерес представляют исследования, сфокусированные на выявление основных трансформаций микробных сообществ биогенных отходов под воздействием этого биоцида. Результаты данных разработок необходимы для создания эффективных технологий,

направленных на снижение биологического загрязнения окружающей среды и управление процессами эмиссии ЗОВ и парниковых газов из биогенных отходов.

Цель настоящей работы: установить влияние раствора гипохлоританатрия на микробиоту, снижение запаха и эмиссию газов из навозных стоков.

**Материал и методы.** Для проведения исследований использовали жидкую фракцию свиных НС (рН: 6.8; влажность: 99.1%), полученную в результате сепарирования навоза в навозосборных ваннах до момента разделения на фракции составляло 10 суток. Пробы НС помещали в стерильные прозрачные 5-литровые пластиковые емкости, на горловинах герметично закрепляли специальные пакеты из FEP пленки, в которые собирали выделяющиеся газы. Объем НС в каждой емкости составлял 4 л. Эксперимент проводили в лабораторных условиях при естественном освещении и температуре  $22 \pm 2^\circ\text{C}$ . Время от начала эксперимента (внесение добавок) до его окончания составило 7 суток. Интенсивность запаха определяли по окончании эксперимента органолептическим методом и оценивали в баллах по шкале от 0 (запах отсутствует) до 5 (запах соответствует нативным НС). Группа экспертов для оценки запаха включала 6 человек.

Варианты эксперимента: 1 – НС без добавок (контроль); 2 – НС с добавкой раствора NaOCl. Массовая доля активного хлора в НС с добавкой NaOCl составляла 0.005%. Добавка раствора NaOCl привела к повышению рН НС до 7.1.

Забор материала для микробиологических исследований проводили в стерильных условиях с поверхности НС. В течение 1 ч образцы были доставлены в микробиологическую лабораторию. Отбор проб с поверхности НС обусловлен тем, что формирующаяся на поверхности пленка микроорганизмов (биопленка) оказывает существенное влияние на процесс газовой эмиссии. Микроорганизмы, находящиеся в аэробных условиях на поверхности НС, могут активно использовать кислород для окисления различных органических и неорганических веществ, включая  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , летучие жирные кислоты, меркаптаны и др., снижая, таким образом, эмиссию ЗОВ.

Для определения качественного и количественного состава микробиоты НС использовали метод серийных десятикратных разведений. Посев материала производили на стандартные и специализированные питательные среды с применением модифицированного агарового чашечного метода (ОФС.1.7.2.0008.15). Идентификацию МО проводили с помощью биохимических тестов ЭНТЕРОтест 24N, АНАЭРОтест 23, СТРЕПТОтест16, СТАФИтест16, САНДИДАтест21 (ERBA LACHEMA, Чехия). Для выделения анаэробных бактерий использовали микроанаэроустат, питательные среды АнаэроАгар (HIMEDIA, Индия), а также газогенерируемые пакеты (HIMEDIA, Индия) для создания анаэробнобиоза (время 24 – 72 суток, температура  $37^\circ\text{C}$ ). Культивирование дрожжей осуществляли на среде Сабуро и жидкой среде специального состава (сахароза,  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , KCl,  $\text{MgSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ). Пробы инкубировали в течение 7 – 14 дней при  $26 - 30^\circ\text{C}$ .

Все исследования проводили в трёхкратной повторности. Статистическую обработку полученных результатов выполняли стандартными методами с использованием встроенного пакета программ Microsoft Excel (Microsoft Corp., USA). Статистическую значимость различий средних величин оценивали по *t*-критерию

Стьюдента (использовали гетероскедастический двусторонний тест ТТЕСТ из статистического пакета Microsoft Excel).

**Результаты и их обсуждение.** В результате экспериментальных исследований установлено, что обработка жидкой фракции НС раствором NaOCl оказала существенное влияние на количественный и качественный состав МО, при этом различные МО по-разному реагировали на соответствующий дезинфектант. В таблице приведены данные, характеризующие влияние NaOCl на микробиоту поверхностного слоя НС, а также запах и эмиссию газов из этого отхода.

Влияние гипохлорита натрия на микробиоту и запах навозных стоков

**Table.** Effect of sodium hypochlorite on the microbiota and odor of manure effluents

Показатель / Index	Вариант эксперимента / Experimental option	
	1 (контроль) / 1 (control)	2 (добавка NaOCl) / 2 (additive NaOCl)
Общий объем выделившихся газов, мл / Total volume of evolved gases, ml	3450±245	<b>2850±138 (p = 0.0316)</b>
Интенсивность запаха, баллов / Odor intensity, points	5	<b>2.2±0.3 (p = 0.0038)</b>
Общее количество микроорганизмов, КОЕ/мл / Total numbers of microorganisms, CFU/ml	(6.6±1.3)·10 <sup>7</sup>	(8.0±1.4)·10 <sup>7</sup> (p = 0.2735)
Микроорганизмы, численность которых уменьшилась при внесении NaOCl, КОЕ/мл / Microorganisms, whose number decreased upon the introduction of NaOCl, CFU/ml		
<i>Enterococcus</i> sp.	(7.2±2.3)·10 <sup>2</sup>	<b>(4.3±0.4)·10<sup>1</sup> (p = 0.0364)</b>
<i>Escherichia coli</i>	(4.3±0.9)·10 <sup>6</sup>	<b>(7.1±1.3)·10<sup>4</sup> (p = 0.01475)</b>
<i>Clostridium</i> spp.	(6.2±1.3)·10 <sup>7</sup>	<b>(8.4±1.6)·10<sup>6</sup> (p = 0.0178)</b>
<i>Bacteroides ovatus</i> , <i>B. vulgatus</i> , <i>B. fragilis</i>	(7.4±2.3)·10 <sup>5</sup>	<b>(7.3±0.5)·10<sup>4</sup> (p = 0.0374)</b>
<i>Peptostreptococcus</i> spp., <i>P. anaerobius</i>	(6.3±2.3)·10 <sup>4</sup>	(7.2±1.3)·10 <sup>3</sup> (p = 0.0518)
<i>Sarcina ventriculi</i>	(6.2±1.8)·10 <sup>5</sup>	<b>(5.3±0.7)·10<sup>3</sup> (p = 0.0274)</b>
<i>Pseudomonas</i> spp.	(5.1±1.4)·10 <sup>3</sup>	<b>отсутствует (p = 0.0242)</b>
Микроорганизмы, численность которых увеличилась при внесении NaOCl, КОЕ/мл / Microorganisms, whose number increased upon the introduction of NaOCl, CFU/ml		
<i>Fusobacterium nucleatum</i> , <i>F. varium</i> , <i>F. necrophorum</i>	(7.4±2.7)·10 <sup>2</sup>	<b>(6.3±0.9)·10<sup>3</sup> (p = 0.0053)</b>
<i>Prevotella buccalis</i> , <i>P. intermedia</i> , <i>P. bivia</i> , <i>P. melanigenica</i> , <i>P. oralis</i>	(5.2±1.3)·10 <sup>2</sup>	<b>(7.2±1.3)·10<sup>3</sup> (p = 0.0118)</b>
<i>Capnocytophaga ochracea</i>	(9.2±2.8)·10 <sup>2</sup>	<b>(5.2±1.4)·10<sup>4</sup> (p = 0.0241)</b>
<i>Peptococcus niger</i>	(4.2±1.4)·10 <sup>3</sup>	<b>(6.1±0.8)·10<sup>4</sup> (p = 0.0054)</b>
<i>Peptoniphilus asaccharolyticus</i>	(9.3±2.7)·10 <sup>2</sup>	<b>(5.2±0.8)·10<sup>4</sup> (p = 0.0080)</b>
<i>Anaerococcus prevotii</i>	(9.1±2.4)·10 <sup>2</sup>	<b>(4.2±1.3)·10<sup>4</sup> (p = 0.0317)</b>
<i>Acidaminococcus fermentans</i>	(7.1±1.9)·10 <sup>3</sup>	<b>(5.2±0.9)·10<sup>4</sup> (p = 0.0105)</b>
<i>Lactobacillus</i> spp.	(7.2±2.3)·10 <sup>3</sup>	<b>(7.2±1.3)·10<sup>4</sup> (p = 0.0112)</b>
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	(5.2±1.3)·10 <sup>4</sup>	<b>(7.1±0.9)·10<sup>7</sup> (p = 0.0053)</b>
<i>Rhodotorula glutinis</i>	(7.3±2.4)·10 <sup>4</sup>	<b>(8.2±1.3)·10<sup>5</sup> (p = 0.0021)</b>

*Примечание.* Жирным шрифтом выделены варианты с добавками, достоверно ( $P > 0.95$ ) отличающиеся от вариантов без добавок.

*Note.* Bold font shows options with additives, reliably ( $P > 0.95$ ) different from those without additives.

Согласно приведенным в таблице данным, в микробных сообществах контрольных образцов доминировали анаэробные МО (*Clostridium* spp., *Escherichia coli*, *Bacteroides* sp., *Sarcina ventriculi*, *Klebsiella* sp.) – продуценты широкого спек-

тра ЗОВ. Соответствующие МО являются обычными представителями микробиоты желудочно-кишечного тракта животных. Доля *Clostridium* spp. в этой группе превышала 90% от общей численности выявленных МО. Для представителей рода *Clostridium* характерно наличие активных протеолитических ферментов, позволяющих гидролизовать углеводы, белки и пептиды с последующим сбраживанием продуктов гидролиза. Основными метаболитами клостридий являются кислоты, спирты, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, минеральные вещества. Богатый разнообразными органическими соединениями навоз является хорошей питательной средой для развития этих МО. Способность образовывать споры, толерантность к кислороду, высокая устойчивость в условиях засухи и перепада температур позволили многим видам рода *Clostridium* широко распространиться в окружающей среде, включиться в биогеоценозы и стать обычными обитателями почв селитебных территорий (Соколов, Соколов, 2014; Cabral, 2010). Активному развитию клостридий в НС способствует не только способность выживать вне организма животных, но и устойчивость к антибиотикам (Shah et al., 2010), которые находят применение в промышленном животноводстве для профилактики и лечения болезней, а также повышения продуктивности животных (Sui et al., 2018).

Второе место по численности занимала *Escherichia coli* (6.07%), для которой также характерна высокая резистентность к антибиотикам (Allocati et al., 2013) и способность выживать в окружающей среде вне организма животных. Кроме представителей кишечной микробиоты в составе НС были выявлены и МО, источником которых являются корма для животных (*Saccharomyces cerevisiae*, *Rhodotorula glutinis*).

Обработка НС раствором NaOCl привела к снижению численности таких представителей гнилостной микробиоты, как *Bacteroides* spp., *Clostridium* spp., *Escherichia coli*, *Pseudomonas* spp., *Sarcina ventriculi*, *Peptostreptococcus anaerobius*. Соответствующие аммонификаторы принимают активное участие в процессах биодеструкции органических веществ, в результате которых образуются уксусная, изовалериановая, масляная кислоты, индолы, скатолы, аммиак, сероводород, меркаптаны и другие ЗОВ.

Численность микробиоты, не вносящей заметного вклада в продукцию ЗОВ (*Saccharomyces cerevisiae*, *Rhodotorula glutinis*, *Lactobacillus* spp. и др.), при добавлении NaOCl увеличилась. Следует отметить, что штаммы *Saccharomyces cerevisiae* и *Lactobacillus* spp. не проявляют токсичные и токсигенные свойства и используются в составе биопрепаратов для переработки биогенных отходов и устранения неприятного запаха продуктов разложения (Van Fan et al., 2018; Kim et al., 2019). Выявленная толерантность дрожжей рода *Rhodotorula* к действию NaOCl может представлять определенный практический интерес, поскольку эти микроорганизмы способны включать в свой метаболизм высокотоксичные полициклические арены, что крайне важно для защиты окружающей среды от загрязнения. Возросло и количество некоторых продуцентов ЛЖК (*Anaerococcus prevotii*, *Acidaminococcus* spp., *Prevotella* spp. и др.), однако это не оказало заметного влияния на интенсивность и характер запаха НС, что может быть обусловлено образованием нелетучих солей ЛЖК при pH выше 7.

Численность *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Klebsiella* sp., *Proteus* spp., *Alistipes putredinis*, *Bifidobacterium* spp., *Candida tropicalis*, *Candida albicans* в обработанных NaOCl НС практически не изменилась.

В результате трансформации микробиоты общая эмиссия газообразных веществ из НС уменьшилась более чем на 17%. Данный эффект имеет большое практическое значение. Известно, что при разложении навоза образуются такие газообразные продукты, как  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  (Hao et al., 2001; Møller et al., 2004). Выброс этих газов в атмосферу приводит к увеличению парникового эффекта. На животноводство приходится около 18% выбросов парниковых газов. Подавление эмиссии газообразных продуктов разложения НС можно рассматривать в качестве одного из механизмов уменьшения углеродного следа животноводческой продукции. Кроме того, в помещениях для содержания животных улучшаются гигиенические характеристики воздуха и, соответственно, уменьшаются расходы на вентиляцию и отопление.

**Заключение.** Выполненные исследования показали, что обработка жидкой фракции НС раствором гипохлорита натрия оказывает существенное влияние на микробиоту. Снижение численности гнилостных МО и увеличение количества МО, обладающих хозяйственно полезными признаками (*Saccharomyces cerevisiae*, *Rhodotorula glutinis*, *Lactobacillus* spp.), способствуют уменьшению интенсивности неприятного запаха, подавлению эмиссии парниковых газов, улучшению качества воздуха в помещениях для содержания животных.

Раствор  $\text{NaOCl}$  может найти применение для обработки НС непосредственно в навозосборных ваннах. Внедрению практики обработки НС этим биоцидом способствуют его доступность, низкая стоимость и безопасность для окружающей среды.

Расходы предприятий на приобретение соответствующего дезинфектанта могут быть существенно снижены за счет использования щелочных растворов  $\text{NaOCl}$ , образующихся в качестве отходов производства хлора электролизным методом.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Вайсман Я. И., Рудакова Л. В., Жилинская Я. Т. Процессы, протекающие на полигонах ТБО // Твердые бытовые отходы. 2008. № 1. С. 14 – 19.
- Журавлёв П. В., Алешина В. В., Марченко Б. И. Определение дезинфицирующего действия негашёной извести на микрофлору иловых осадков сточных вод очистных сооружений канализации и животноводческих комплексов // Гигиена и санитария. 2019. Т. 98, № 5. С. 483 – 488. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-5-483-488>
- Пилип Л. В., Сырчина Н. В. Новые подходы к дезодорации свиного навоза // Иппология и ветеринария. 2018. № 4 (30). С. 99 – 106.
- Пилип Л. В., Козвонин В. А., Сырчина Н. В., Колеватых Е. П., Ашихмина Т. Я. Влияние подкисления навозных стоков на их микробиологические характеристики // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 3. С. 161 – 167. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-3-161-167>
- Седунов С. Г., Козырева А. В., Швецов А. Б., Тараскин К. А. Хлорные дезинфектанты и их применение в современной водоподготовке // Молекулярные технологии. 2009. № 3. С. 98 – 121.
- Соколов М. С., Соколов Д. М. Санитарно-бактериологическая оценка почвы и органических удобрений // Агрехимия. 2014. № 5. С. 3 – 19.
- Способ устранения запаха вентиляционных выбросов из производственных помещений для содержания свиней : пат. 2708599 Рос. Федерация : МПК, B01D 53/34, F24F 7/00, A01K 1/00, C05F 3/00 / Ашихмина Т. Я., Сырчина Н. В., Терентьев Ю. Н., Пилип Л. В. ; за-

явитель и патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вятский государственный университет». № 2019106585 ; заявл. 07.03.2019 ; опубл. 09.12.2019, Бюл. № 34. 9 с.

*Терентьев Ю. Н., Сырчина Н. В., Ашихмина Т. Я., Пулип Л. В.* Снижение эмиссии запахообразующих веществ в условиях промышленных свиноводческих предприятий // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 2. С. 113 – 120. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2019-2-113-120>

*Allocati N., Masulli M., Alexeyev M. F., Di Ilio C.* *Escherichia coli* in Europe: An overview // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2013. Vol. 10, № 12. P. 6235 – 6254. <https://doi.org/10.3390/ijerph10126235>

*Cabral J. P. S.* Water microbiology. Bacterial pathogens and water // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2010. Vol. 7, № 10. P. 3657 – 3703. <https://doi.org/10.3390/ijerph7103657>

*Hao X., Chang C., Larney F. J., Travis G. R.* Greenhouse gas emissions during cattle feedlot manure composting // Journal of Environmental Quality. 2001. Vol. 30, iss. 2. P. 376 – 386. <https://doi.org/10.2134/jeq2001.302376x>

*Kim J. A., Bayo J., Cha J., Choi Y. J., Jung M. Y., Kim D. H., Kim Y.* Investigating the probiotic characteristics of four microbial strains with potential application in feed industry // PLoS ONE. 2019. Vol. 14, № 6. P. e0218922. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218922>

*Møller H. B., Sommer S. G., Ahring B. K.* Biological degradation and greenhouse gas emissions during pre-storage of liquid animal manure // Journal of Environmental Quality. 2004. Vol. 33, iss. 1. P. 27 – 36. <https://doi.org/10.2134/jeq2004.2700>

*Shah D., Dang M. D., Hasbun R., Koo H. L., Jiang Z. D., DuPont H. L., Garey K. W.* Clostridium difficile infection: update on emerging antibiotic treatment options and antibiotic resistance // Expert Review of Anti-infective Therapy. 2010. Vol. 8, iss. 5. P. 555 – 564. <https://doi.org/10.1586/eri.10.28>

*St-Pierre B., Wright A.-D. G.* Implications from distinct sulfate-reducing bacteria populations between cattle manure and digestate in the elucidation of H<sub>2</sub>S production during anaerobic digestion of animal slurry // Applied Microbiology and Biotechnology. 2017. Vol. 101, iss. 13. P. 5543 – 5556. <https://doi.org/10.1007/s00253-017-8261-1>

*Sui Q., Meng X., Wang R., Zhang J., Yu D., Chen M., Wang Y., Wei Y.* Effects of endogenous inhibitors on the evolution of antibiotic resistance genes during high solid anaerobic digestion of swine manure // Bioresource Technology. 2018. Vol. 270. P. 328 – 336. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.09.043>

*Van Fan Y., Lee C. T., Klemeš J. J., Chua L. S., Sarmidi M. R., Leow C. W.* Evaluation of effective microorganisms on home scale organic waste composting // Journal of Environmental Management. 2018. Vol. 216. P. 41 – 48. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.04.019>

*Ward B. K., Dufault R. J., Hassell R., Cutulle M. A.* Affinity of hyperammonia-producing bacteria to produce bioammonium/ammonia utilizing five organic nitrogen substrates for potential use as an organic liquid fertilizer // ACS Omega. 2018. Vol. 3, iss. 9. P. 11817 – 11822. <https://doi.org/10.1021/acsomega.7b02083>

*Whitehead T. R., Spence C., Cotta M. A.* Inhibition of hydrogen sulfide, methane, and total gas production and sulfate-reducing bacteria in vitro swine manure by tannins, with focus on condensed quebracho tannins // Applied Microbiology and Biotechnology. 2013. Vol. 97, iss. 18. P. 8403 – 8409. <https://doi.org/10.1007/s00253-012-4562-6>

*Zhu Y., Zheng G., Gao D., Chen T., Wu F., Niu M., Zou K.* Odor composition analysis and odor indicator selection during sewage sludge composting // Journal of the Air & Waste Management Association. 2016. Vol. 66, iss. 9. P. 930 – 940. <https://doi.org/10.1080/10962247.2016.1188865>

## Effect of sodium hypochlorite on the microbiota and odor of manure effluents

N. V. Syrchina <sup>1✉</sup>, L. V. Pilip <sup>2</sup>, E. P. Kolevatykh <sup>3</sup>,  
T. Ya. Ashikhmina <sup>1,4</sup>, D. A. Kuznetsov <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Vyatka State University

36 Moskovskaya St., Kirov 610000, Russia

<sup>2</sup> Vyatka State Agrotechnological University  
133, Oktyabrsky Pros., Kirov 610017, Russia

<sup>3</sup> Kirov State Medical University

112 K. Marx St., Kirov 610998, Russia

<sup>4</sup> Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of RAS  
28 Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, Republic of Komi 167982, Russia

Received: 18 October 2022 / revised: 24 November 2022 / accepted: 24 November 2022

**Abstract.** Manure effluents (ME) of livestock enterprises represent a rich nutrient medium for the development of various aerobic microorganisms (MO). During the biodegradation of the organic components of ME, a wide range of odor-forming substances (OFS) and greenhouse gases enter the atmospheric air. The intensity and main directions of ME destruction depend on the composition and amount of microbiota. A solution of sodium hypochlorite can be used to suppress the decomposition of the biogenic components of ME. In the course of our research, it was found that the introduction of 0.005% active chlorine into the liquid fraction of ME (pH ~ 6.8; humidity ~ 99.1%) leads to a decrease in the numbers of putrefactive microbiota, namely: *Bacteroides*, *Clostridium*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas*, *Sarcina ventriculi*, and *Peptostreptococcus anaerobius*. The corresponding ammonifiers are actively involved in the biodegradation processes of organic substances to form acetic acid, isovaleric acid, butyric acid, indoles, skatoles, ammonia, hydrogen sulfide, mercaptans and others. The numbers of microbiota not making a significant contribution to the production of OFS (*Saccharomyces cerevisiae*, *Rhodotorula glutinis*, *Lactobacillus* ssp. and others), on the contrary, increased. The numbers of some producers of volatile fatty acids (VFA), namely: *Anaerococcus prevotii*, *Acidaminococcus*, *Prevotella* spp. etc. increased. However, this did not affect the intensity and nature of the ME odor, which can be explained by the formation of non-volatile VFA salts at pH above 7.0. The numbers of *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Klebsiella* sp., *Proteus* ssp., *Alistipes putredinis*, *Bifidobacterium* ssp., *Candida tropicalis*, and *Candida albicans* almost did not change when NaOCl was added to ME. As a result of the microbiota transformation, the total emission of gaseous substances, whose main components are the greenhouse gases CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub>, decreased by more than 17%. The unpleasant odor intensity has significantly decreased. A NaOCl solution can be used to treat ME in manure storage baths. The introduction of the practice of treating ME with this biocide is facilitated by its availability, low cost and safety for the environment.

**Keywords:** sodium hypochlorite, biocidal properties, manure effluents, microbiota of manure effluents, odor

---

✉ *Corresponding author.* Department of Fundamental Chemistry and Methods of Teaching Chemistry, Vyatka State University, Russia.

*ORCID and e-mail addresses:* Nadezhda V. Syrchina: <https://orcid.org/0000-0001-9695-7146>, [nvms1956@mail.ru](mailto:nvms1956@mail.ru); Larisa V. Pilip: <https://orcid.org/0000-0001-8049-6760>, [pilip\\_larisa@mail.ru](mailto:pilip_larisa@mail.ru); Ekaterina P. Kolevatykh: <https://orcid.org/0000-0001-6147-3555>, [hibica@mail.ru](mailto:hibica@mail.ru); Tamara Ya. Ashikhmina: <https://orcid.org/0000-0003-4919-0047>, [ecolab2@gmail.com](mailto:ecolab2@gmail.com); Dmitriy A. Kuznetsov: <https://orcid.org/0000-0002-5554-8378>, [dimzaaa@gmail.com](mailto:dimzaaa@gmail.com).

**For citation:** Syrchina N. V., Pilip L. V., Kolevatykh E. P., Ashikhmina T. Ya., Kuznetsov D. A. Effect of sodium hypochlorite on the microbiota and odor of manure effluents. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2023, no. 1, pp. 107–116 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-1-107-116>

## REFERENCES

- Vaisman Ya. I., Rudakova L. V., Zhilinskaya Ya. T. Processes occurring at landfills. *Municipal Solid Waste*, 2008, no. 1, pp. 14–19 (in Russian).
- Zhuravlev P. V., Aleshnya V. V., Marchenko B. I. Determination of the disinfectant action of caustic lime on the microflora of sludge of wastewater of cleaning facilities for sewerage and cattle-breeding complexes. *Hygiene and Sanitation*, 2019, vol. 98, no. 5, pp. 483 – 488 (in Russian). <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-5-483-488>
- Pilip L. V., Syrchina N. V. New approaches to the deodorization of pig manure. *Hippology and Veterinary*, 2018, no. 4 (30), pp. 99–106 (in Russian).
- Pilip L. V., Kozvonin V. A., Syrchina N. V., Kolevatykh E. P., Ashikhmina T. Ya. Effect of acidification of manure runoff on their microbiological characteristics. *Theoretical and Applied Ecology*, 2020, no. 3, pp. 161–167 (in Russian). <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-3-161-167>
- Sedunov S. G., Kozyreva A. V., Shvetsov A. B., Taraskin K. A. Chloric disinfection tools and their application in the municipal water treatment. *Molecular Technologies*, 2009, no. 3, pp. 98–121 (in Russian).
- Sokolov M. S., Sokolov D. M. Sanitary-bacteriological evaluation of soils and organic fertilizers. *Agrohimia*, 2014, no. 5, pp. 3–19 (in Russian).
- Method for Removing Odor of Ventilation Emissions from Industrial Premises for Keeping Pigs*. Patent RU 2708599. Int. Cl. B01D 53/34, F24F 7/00, A01K 1/00, C05F 3/00. Ashikhmina T. Ya., Syrchina N. V., Terentev Yu. N., Pilip L. V.; Proprietor: federalnoe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya “Vyatskij gosudarstvennyj universitet”. Application: 2019106585, Published: 07.03.2019, Date of publication 09.12.2019, Bulletin no. 34. 9 p. (in Russian).
- Terentev Yu. N., Syrchina N. V., Ashikhmina T. Ya., Pilip L. V. Reducing the emission of odorous substances in industrial pig breeding enterprises. *Theoretical and Applied Ecology*, 2019, no. 2, pp. 113–120 (in Russian). <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2019-2-113-120>
- Allocati N., Masulli M., Alexeyev M. F., Di Ilio C. *Escherichia coli* in Europe: An overview. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2013, vol. 10, no. 12, pp. 6235–6254. <https://doi.org/10.3390/ijerph10126235>
- Cabral J. P. S. Water microbiology. Bacterial pathogens and water. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2010, vol. 7, no. 10, pp. 3657–3703. <https://doi.org/10.3390/ijerph7103657>
- Hao X., Chang C., Larney F. J., Travis G. R. Greenhouse gas emissions during cattle feedlot manure composting. *Journal of Environmental Quality*, 2001, vol. 30, iss. 2, pp. 376–386. <https://doi.org/10.2134/jeq2001.302376x>
- Kim J. A., Bayo J., Cha J., Choi Y. J., Jung M. Y., Kim D. H., Kim Y. Investigating the probiotic characteristics of four microbial strains with potential application in feed industry. *PLoS ONE*, 2019, vol. 14, no. 6, pp. e0218922. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218922>
- Møller H. B., Sommer S. G., Ahring B. K. Biological degradation and greenhouse gas emissions during pre-storage of liquid animal manure. *Journal of Environmental Quality*, 2004, vol. 33, iss. 1, pp. 27–36. <https://doi.org/10.2134/jeq2004.2700>
- Shah D., Dang M. D., Hasbun R., Koo H. L., Jiang Z. D., DuPont H. L., Garey K. W. Clostridium difficile infection: update on emerging antibiotic treatment options and antibiotic re-

sistance. *Expert Review of Anti-infective Therapy*, 2010, vol. 8, iss. 5, pp. 555–564. <https://doi.org/10.1586/eri.10.28>

St-Pierre B., Wright A.-D. G. Implications from distinct sulfate-reducing bacteria populations between cattle manure and digestate in the elucidation of H<sub>2</sub>S production during anaerobic digestion of animal slurry. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2017, vol. 101, iss. 13, pp. 5543–5556. <https://doi.org/10.1007/s00253-017-8261-1>

Sui Q., Meng X., Wang R., Zhang J., Yu D., Chen M., Wang Y., Wei Y. Effects of endogenous inhibitors on the evolution of antibiotic resistance genes during high solid anaerobic digestion of swine manure. *Bioresource Technology*, 2018, vol. 270, pp. 328–336. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.09.043>

Van Fan Y., Lee C. T., Klemeš J. J., Chua L. S., Sarmidi M. R., Leow C. W. Evaluation of effective microorganisms on home scale organic waste composting. *Journal of Environmental Management*, 2018, vol. 216, pp. 41–48. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.04.019>

Ward B. K., Dufault R. J., Hassell R., Cutulle M. A. Affinity of hyperammonia-producing bacteria to produce bioammonium/ammonia utilizing five organic nitrogen substrates for potential use as an organic liquid fertilizer. *ACS Omega*, 2018, vol. 3, iss. 9, pp. 11817–11822. <https://doi.org/10.1021/acsomega.7b02083>

Whitehead T. R., Spence C., Cotta M. A. Inhibition of hydrogen sulfide, methane, and total gas production and sulfate-reducing bacteria in vitro swine manure by tannins, with focus on condensed quebracho tannins. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2013, vol. 97, iss. 18, pp. 8403–8409. <https://doi.org/10.1007/s00253-012-4562-6>

Zhu Y., Zheng G., Gao D., Chen T., Wu F., Niu M., Zou K. Odor composition analysis and odor indicator selection during sewage sludge composting. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 2016, vol. 66, iss. 9, pp. 930–940. <https://doi.org/10.1080/10962247.2016.1188865>

**СОДЕРЖАНИЕ ЖУРНАЛА за 2022 г.**

**№ 1**

<i>Ермохин М. В., Табачишин В. Г.</i> Ложная весна в нерестовых миграциях чесночниц ( <i>Pelobates</i> , Anura): распространение в европейской части России и масштаб феномена в 2020 году . . . .	3
<i>Магеррамов Ш. В., Марцоха К. С., Яковлев С. А., Манджиева В. С., Бондарев В. А., Лиджи-Гаряева Г. В., Матросов А. Н., Попов Н. В.</i> Влияние современного потепления климата на динамику численности малого суслика ( <i>Spermophilus pygmaeus</i> Pallas, 1778) (Rodentia, Mammalia) в Ильменно-Придельтовом районе Прикаспийской низменности . . . . .	17
<i>Опарина О. С., Опарин М. Л., Кудрявцев А. Ю., Опарина А. М.</i> Характеристика местообитаний дрофы ( <i>Otis tarda</i> ) (Otidae, Aves) в Заволжье по доступности кормовой базы в период выкармливания птенцов . . . . .	34
<i>Пархоменко А. С., Кашин А. С., Шилова И. В., Гребенюк Л. В., Богослов А. В., Денисов А. А., Кондратьева А. О., Пархоменко В. М.</i> Изменчивость морфологических параметров <i>Traza natans</i> (Tetraceae, Magnoliopsida) при реинтродукции в водоемы Саратовской области из водоемов Воронежской области . . . . .	55
<i>Романова Е. Б., Столярова И. А., Бакиев А. Г., Горелов Р. А.</i> Лейкоцитарный состав крови черепах <i>Emys orbicularis</i> и <i>Mauremys caspica</i> (Reptilia: Testudines: Emydidae, Geoemydidae) при синтопии . . . . .	79
<i>Шитиков В. К., Зинченко Т. Д., Головатюк Л. В.</i> Дифференциация экологических ниш на примере донных сообществ Среднего и Нижнего Поволжья . . . . .	94

**КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ**

<i>Смирнова Е. Б., Занина М. А., Семенова Н. Ю., Арушанян Г. С., Шелоп В. В.</i> Ресурсы и онтогенетическая структура ценопопуляций рода <i>Viola</i> (Violaceae, Magnoliopsida) в Правобережье Саратовской области . . . . .	109
<i>Содержание журнала за 2021 г.</i> . . . . .	120
<i>Авторский указатель за 2021 г.</i> . . . . .	124
<i>Правила для авторов</i> . . . . .	126

**№ 2**

<i>Карманова Т. Н., Горельшьева Д. И.</i> Гельминтофауна мышевидных грызунов на территории г. Москвы . . . . .	135
<i>Кашин А. С., Крицкая Т. А., Кондратьева А. О., Петрова Н. А., Шилова И. В., Пархоменко А. С., Муртазалиев Р. А.</i> Географические особенности распределения растений <i>Tulipa suaveolens</i> Roth (Liliaceae, Magnoliophyta) по окраске цветка в европейской части ареала . . . . .	150
<i>Кириллова И. А., Кириллов Д. В.</i> Влияние погодных условий на сезонное развитие, структуру популяции и репродуктивный успех <i>Dactylorhiza incarnata</i> s. l. (Orchidaceae, Liliopsida) в Республике Коми . . . . .	173
<i>Панченко Л. В., Кузянов Д. А., Плешакова Е. В., Позднякова Н. Н., Муратова А. Ю., Турковская О. В.</i> Влияние компонентов корневых экссудатов растений на деградацию фенантрена ризобактерией <i>Mycolicibacterium gilvum</i> (Mycobacteriaceae, Actinobacteria) . . . . .	193
<i>Tuyen D. T., Thanh N. T. K., Khoa N. X. B., Cuong N. C.</i> Identification of hydrocarbon-degrading bacterial consortium isolated from the oil-contaminated muddy soil in Hanoi, Vietnam [Туйен Д. Т., Тхань Н. Т. К., Кхоа Н. С. Б., Кыонг Н. К. Идентификация консорциума бактерий, разлагающих углеводороды, выделенных из загрязненной нефтью илистой почвы в Ханое, Вьетнам] . . . . .	206
<i>Успанова Д. М., Мурзина Ю. И., Коробейникова А. С., Петерсон А. М., Глинская Е. В., Арефьев К. А., Нечаева О. В.</i> Биоремедиационный потенциал аборигенных микроорганизмов чернозема южного . . . . .	216

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

- Аникин В. В., Кондратьев Е. Н. Распределение экологических групп чешуекрылых (Lepidoptera, Insecta) в гнездах береговой ласточки (*Riparia riparia* (Linnaeus, 1758)) на территории Саратовской области ..... 232
- Занина М. А., Смирнова Е. Б., Семенова Н. Ю., Володченко А. Н., Меркулова Е. К. Редкие растения флористических комплексов реки Ветлянка ..... 242

## № 3

- Денисова Г. Р., Черемушкина В. А., Асташенков А. Ю., Таловская Е. Б. Динамика онтогенетической структуры ценопопуляций *Dracoscephalum fruticosum* Stephan (Lamiaceae, Magnoliopsida) в Туве ..... 255
- Кацман Е. А. Оценка биомассы кормовых макрофитов на модельном участке обитания евроазиатского бобра (*Castor fiber* Linnaeus, 1758) (Castoridae, Mammalia) в Государственном природном заповеднике «Приволжская лесостепь» ..... 268
- Кудрявцев А. Ю. Динамика экосистем свежей субори центра Приволжской возвышенности ..... 279
- Макарова Е. М., Теканова Е. В., Калинкина Н. М. Состояние бактериопланктона р. Лососинки (притока Онежского озера) и качество воды по микробиологическим показателям ..... 292
- Мамаев А. Б., Опарин М. Л., Опарина О. С. Особенности динамики численности жаворонков (Alaudidae, Aves) в полупустынной зоне саратовского Заволжья ..... 307
- Политаева Н. А., Ильин И. В., Опарина А. М., Донецкова А. С. Новые энергетические подходы использования отработанных биосорбентов микроводорослей *Chlorella kessleri* (Chlorellaceae, Chlorellales) ..... 322
- Романова Е. Б., Соломайкин Е. И., Бакиев А. Г., Горелов Р. А., Кленина А. А. Адаптивные реакции системы крови *Elaphe dione*, *Natrix natrix*, *Natrix tessellata* (Reptilia: Colubridae) ..... 336
- Сырчина Н. В., Пилип Л. В., Ашихмина Т. Я., Кантор Г. Я. Влияние глауконитсодержащих хвостов обогащения фосфоритов на подвижность свинца в почвах ..... 350

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

- Опаев А. С. Насколько длинные вокальные композиции могут запоминать птицы? Общие песенные последовательности у самцов голосистой пеночки (*Phylloscopus schwarzi*) (Passeriformes, Aves) ..... 361

## № 4

- Блохин Ю. Ю., Артеменков Д. В. О влиянии запрета охоты на численность и добычу вальдшнепа *Scolopax rusticola* (Scolopacidae, Aves) в Европейской России ..... 375
- Дрозденко Т. В., Александрова С. М., Антал Т. К., Тихомирова Е. И. Структурные показатели и токсичные виды цианобактерий Псковского озера ..... 388
- Кацман Е. А., Саян А. С., Богомолов П. Л., Румянцев А. Б. Влияние трансформации ландшафта и фактора беспокойства на распределение нор обыкновенного хомяка (*Cricetus cricetus* L., 1758) (Rodentia: Cricetidae) в условиях парковой зоны города Симферополя ..... 400
- Курина Е. М., Головатюк Л. В. Распространение высших ракообразных (Malacostraca, Arthropoda) в реках полупустынной зоны (на примере притоков Волгоградского водохранилища) ..... 415
- Пукинская М. Ю. Реконструкция динамики темнохвойных лесов Тебердинского заповедника и перспективы их естественного восстановления после массового усыхания ..... 431
- Равкин Ю. С., Богомолова И. Н. Распределение и структура населения птиц Северной Евразии в первой половине лета ..... 452

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

- Ермохин М. В., Табачишин В. Г. Фенологические изменения даты окончания зимовки лягушки озерной – *Pelophylax ridibundus* (Pallas, 1771) (Ranidae, Anura) в долине р. Медведицы (Саратовская область) в условиях трансформации климата ..... 474
- Сысолятина М. А., Олькова А. С. Потенцирование токсического действия меди в присутствии лантана в биотестах на *Daphnia magna* Straus (Cladocera, Crustacea) ..... 483

## TABLE OF CONTENTS 2022

## No. 1

<i>Yermokhin M. V., Tabachishin V. G.</i> False spring in the spawning migrations of Spadefoot toads ( <i>Pelobates</i> , Anura): Distribution in the European Russia and the phenomenon scale in 2020 .....	3
<i>Magerramov S. V., Martsokha K. S., Yakovlev S. A., Mandzhieva V. S., Bondarev V. A., Lidzhigaryaeva G. V., Matrosov A. N., Popov N. V.</i> Modern climate warming impact on the population dynamics of the small ground squirrel ( <i>Spermophilus pygmaeus</i> Pallas, 1778) (Rodentia, Mammalia) in the Ilmenno-Pridel'tovy region of the Caspian lowland .....	17
<i>Oparina O. S., Oparin M. L., Kudryavtsev A. Yu., Oparina A. M.</i> Characteristics of the great bustard ( <i>Otis tarda</i> ) (Otididae, Aves) habitats in the Trans-Volga region according to food availability during the chick rearing period .....	34
<i>Parkhomenko A. S., Kashin A. S., Shilova I. V., Grebenyuk L. V., Bogoslov A. V., Denisov A. A., Kondratyeva A. O., Parkhomenko V. M.</i> Variability of morphological parameters of <i>Trapa natans</i> (Trapaceae, Magnoliópsida) during reintroduction into water bodies of the Saratov region from those of the Voronezh region .....	55
<i>Romanova E. B., Stolyarova I. A., Bakiev A. G., Gorelov R. A.</i> Leukocyte blood composition of <i>Emys orbicularis</i> and <i>Mauremys capsica</i> (Reptilia: Testudines: Emydidae, Geoemydidae) at syntopy ...	79
<i>Shitikov V. K., Zinchenko T. D., Golovatyuk L. V.</i> Ecological niche differentiation on the example of bottom communities of the Middle and Lower Volga regions .....	94

## SHORT COMMUNICATIONS

<i>Smirnova E. B., Zanina M. A., Semenova N. Yu., Arushanyan H. S., Shelop V. V.</i> Resources and ontogenetic structure of cenopopulations of the genus <i>Viola</i> (Violaceae, Magnoliópsida) in the Right Volga bank of the Saratov region .....	109
<i>Table of Contents 2021</i> .....	120
<i>Authors Index 2021</i> .....	124
<i>Rules for Authors</i> .....	126

## No. 2

<i>Karmanova T. N., Gorelysheva D. I.</i> Helminth fauna of mouse-like rodents in the territory of Moscow City .....	135
<i>Kashin A. S., Kritskaya T. A., Kondratieva A. O., Petrova N. A., Shilova I. V., Parkhomenko A. S., Murtazaliev R. A.</i> Geographical features of <i>Tulipa suaveolens</i> Roth (Liliaceae, Magnoliophyta) distribution by flower color across its European range .....	150
<i>Kirillova I. A., Kirillov D. V.</i> Impact of weather conditions on the seasonal development, population structure and reproductive success of <i>Dactylorhiza incar-nata</i> s. l. (Orchidaceae, Liliopsida) in the Komi Republic .....	173
<i>Panchenko L. V., Kuzyanov D. A., Pleshakova Ye. V., Pozdnyakova N. N., Muratova A. Yu., Turkovskaya O. V.</i> Effect of plant root exudate constituents on the degradation of phenanthrene by rhizobacterium <i>Mycobacterium gilvum</i> (Mycobacteriaceae, Actinobacteria) .....	193
<i>Tuyen D. T., Thanh N. T. K., Khoa N. X. B., Cuong N. C.</i> Identification of hydrocarbon-degrading bacterial consortium isolated from the oil-contaminated muddy soil in Hanoi, Vietnam .....	206
<i>Uspanova D. M., Murzina Yu. I., Korobeinikova A. S., Peterson A. M., Glinskaya E. V., Arefiev K. A., Nechaeva O. V.</i> Bioremediation potential of native microorganisms of the southern chernozem .....	216

## SHORT COMMUNICATIONS

<i>Anikin V. V., Kondratev E. N.</i> Distribution of ecological groups of lepidoptera (Lepidoptera, Insecta) in the nests of sand martin ( <i>Riparia riparia</i> (Linnaeus, 1758)) in the Saratov region .....	232
---	-----

<i>Zanina M. A., Smirnova E. B., Semenova N. Yu., Volodchenko A. N., Merkulova E. K.</i> Rare plants of the floral complexes of the Vetlyanka river .....	242
---	-----

### № 3

<i>Denisova G. R., Cheryomushkina V. A., Astashenkov A. Yu., Talovskaya E. B.</i> Ontogenetic structure dynamics of coenopopulations of <i>Dracoce-phalum fruticosum</i> Stephan (Lamiaceae, Magnoliopsida) in Tuva .....	255
<i>Katzman E. A.</i> Assessment of the biomass of forage macrophytes in a model habitat of the Eurasian beaver ( <i>Castor fiber</i> Linnaeus, 1758) (Castoridae, Mammalia) in the State Nature Reserve "Volga forest-step" .....	268
<i>Kudryavtsev A. Yu.</i> Dynamics of ecosystems of fresh subor (pine woods on sandy soils) in the central part of the Volga Upland .....	279
<i>Makarova E. M., Tekanova E. V., Kalinkina N. M.</i> Bacterioplankton status in the Lososinka River (a tributary of Lake Onego) and water quality by microbiological indicators .....	292
<i>Mamaev A. B., Oparin M. L., Oparina O. S.</i> Features of the population dynamics of larks (Alaudidae, Aves) in the semi-desert zone of the Saratov Trans-Volga region .....	307
<i>Politaeva N. A., Illin I. V., Oparina A. M., Donetskova A. S.</i> New energy approaches to the use of waste biosorbents of microalgae <i>Chlorella kessleri</i> (Chlorellaceae, Chlorellales) .....	322
<i>Romanova E. B., Solomaykin E. I., Bakiev A. G., Gorelov R. A., Klenina A. A.</i> Adaptive reactions of the blood system of <i>Elaphe diene</i> , <i>Natrix natrix</i> , and <i>N. tessellata</i> (Reptilia: Colubridae) .....	336
<i>Syrchina N. V., Pilip L. V., Ashikhmina T. Ya., Kantor G. Ya.</i> Effect of glauconite-containing wastes obtained during phosphorite enrichment on lead mobility in soils .....	350

### SHORT COMMUNICATIONS

<i>Opaev A. S.</i> How long are the vocal sequences a passerine bird can memorize? Common song sequences of Radde's warbler males ( <i>Phylloscopus schwarzi</i> ) (Passeriformes, Aves) .....	361
--	-----

### № 4

<i>Blokhin Yu. Yu., Artemenkov D. V.</i> Impact of the hunting ban on the population and hunting bag of the Eurasian Woodcock <i>Scolopax rusticola</i> (Scolopacidae, Aves) .....	375
<i>Drozdenko T. V., Aleksandrova S. M., Antal T. K., Tikhomirova E. I.</i> Structural indicators and toxic species of cyanobacteria of Pskov Lake .....	388
<i>Katzman E. A., Sayan A. S., Bogomolov P. L., Roumyantzev A. B.</i> Influence of landscape transformation and anxiety factor on the distribution of burrows of the Common hamster ( <i>Cricetus cricetus</i> L., 1758) (Rodentia: Cricetidae) in the conditions of the park zone of the city of Simferopol .....	400
<i>Kurina E. M., Golovatyuk L. V.</i> Distribution of crustaceans (Malacostraca, Arthropoda) in rivers of the semi-desert zone (with the example of the Volgograd reservoir tributaries) .....	415
<i>Pukinskaya M. Yu.</i> Reconstruction of the dynamics of the dark coniferous forests of the Teberdinsky Nature Reserve and prospects for their natural recovery after mass drying out .....	431
<i>Ravkin Yu. S., Bogomolova I. N.</i> Distribution and structure of bird assemblage in Northern Eurasia in the first half of summer .....	452

### SHORT COMMUNICATIONS

<i>Yermokhin M. V., Tabachishin V. G.</i> Phenological changes in the wintering end date of <i>Pelophylax ridibundus</i> (Pallas, 1771) (Ranidae, Anura) in the Medveditsa river valley (Saratov region) under conditions of climate transformation .....	474
<i>Sysolyatina M. A., Olkova A. S.</i> Potentiation of the toxic action of copper in the presence of lanthanum in bioassays for <i>Daphnia magna</i> Straus (Cladocera, Crustacea) .....	483

**АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ за 2022 г.**

- Александрова С. М. № 4, с. 388  
 Аникин В. В. № 2, с. 232  
 Антал Т. К. № 4, с. 388  
 Арефьев К. А. № 2, с. 216  
 Артеменков Д. В. № 4, с. 375  
 Арушанян Г. С. № 1, с. 109  
 Асташенков А. Ю. № 3, с. 255  
 Ашихмина Т. Я. № 3, с. 350  
 Бакиев А. Г. № 1, с. 79; № 3, с. 336  
 Блохин Ю. Ю. № 4, с. 375  
 Богомолов П. Л. № 4, с. 400  
 Богомоллова И. Н. № 4, с. 452  
 Богослов А. В. № 1, с. 55  
 Бондарев В. А. № 1, с. 17  
 Володченко А. Н. № 2, с. 242  
 Глинская Е. В. № 2, с. 216  
 Головатюк Л. В. № 1, с. 94; № 4, с. 415  
 Горелов Р. А. № 1, с. 79; № 3, с. 336  
 Горельшева Д. И. № 2, с. 135  
 Гребенюк Л. В. № 1, с. 55  
 Денисов А. А. № 1, с. 55  
 Денисова Г. Р. № 3, с. 255  
 Донецкова А. С. № 3, с. 322  
 Дрозденко Т. В. № 4, с. 388  
 Ермохин М. В. № 1, с. 3; № 4, с. 474  
 Занина М. А. № 1, с. 109; № 2, с. 242  
 Зинченко Т. Д. № 1, с. 94  
 Ильин И. В. № 3, с. 322  
 Калинин Н. М. № 3, с. 292  
 Кантор Г. Я. № 3, с. 350  
 Карманова Т. Н. № 2, с. 135  
 Кацман Е. А. № 3, с. 268; № 4, с. 400  
 Кашин А. С. № 1, с. 55; № 2, с. 150  
 Кириллов Д. В. № 2, с. 173  
 Кириллова И. А. № 2, с. 173  
 Кленина А. А. № 3, с. 336  
 Кондратьев Е. Н. № 2, с. 232  
 Кондратьева А. О. № 1, с. 55; № 2, с. 150  
 Коробейникова А. С. № 2, с. 216  
 Крицкая Т. А. № 2, с. 150  
 Кудрявцев А. Ю. № 1, с. 34; № 3, с. 279  
 Кузьянов Д. А. № 2, с. 193  
 Курина Е. М. № 4, с. 415  
 Кхоа Н. С. Б. № 2, с. 206  
 Кьонг Н. К. № 2, с. 206  
 Лиджи-Гаряева Г. В. № 1, с. 17  
 Магеррамов Ш. В. № 1, с. 17  
 Макарова Е. М. № 3, с. 292  
 Мамаев А. Б. № 3, с. 307  
 Манджиева В. С. № 1, с. 17  
 Марцоха К. С. № 1, с. 17  
 Матросов А. Н. № 1, с. 17  
 Меркулова Е. К. № 2, с. 242  
 Муратова А. Ю. № 2, с. 193  
 Мурзина Ю. И. № 2, с. 216  
 Муртазалиев Р. А. № 2, с. 150  
 Нечаева О. В. № 2, с. 216  
 Олькова А. С. № 4, с. 483  
 Опаев А. С. № 3, с. 361  
 Опарин М. Л. № 1, с. 34; № 3, с. 307  
 Опарина А. М. № 1, с. 34; № 3, с. 322  
 Опарина О. С. № 1, с. 34; № 3, с. 307  
 Панченко Л. В. № 2, с. 193  
 Пархоменко А. С. № 1, с. 55; № 2, с. 150  
 Пархоменко В. М. № 1, с. 55  
 Петерсон А. М. № 2, с. 216  
 Петрова Н. А. № 2, с. 150  
 Пилип Л. В. № 3, с. 350  
 Плешакова Е. В. № 2, с. 193  
 Позднякова Н. Н. № 2, с. 193  
 Политаева Н. А. № 3, с. 322  
 Попов Н. В. № 1, с. 17  
 Пукинская М. Ю. № 4, с. 431  
 Равкин Ю. С. № 4, с. 452  
 Романова Е. Б. № 1, с. 79; № 3, с. 336  
 Румянцев А. Б. № 4, с. 400  
 Саян А. С. № 4, с. 400  
 Семенова Н. Ю. № 1, с. 109; № 2, с. 242  
 Смирнова Е. Б. № 1, с. 109; № 2, с. 242  
 Соломайкин Е. И. № 3, с. 336  
 Столярова И. А. № 1, с. 79  
 Сырчина Н. В. № 3, с. 350  
 Сысолятина М. А. № 4, с. 483  
 Табачишин В. Г. № 1, с. 3; № 4, с. 474  
 Таловская Е. Б. № 3, с. 255  
 Теканова Е. В. № 3, с. 292  
 Тихомирова Е. И. № 4, с. 388  
 Туен Д. Т. № 2, с. 206  
 Турковская О. В. № 2, с. 193  
 Тхань Н. Т. К. № 2, с. 206  
 Успанова Д. М. № 2, с. 216  
 Черемушкина В. А. № 3, с. 255  
 Шелоп В. В. № 1, с. 109  
 Шилова И. В. № 1, с. 55; № 2, с. 150  
 Шитиков В. К. № 1, с. 94  
 Яковлев С. А. № 1, с. 17

**AUTHORS INDEX 2022**

- Aleksandrova S. M. no. 4, p. 388  
 Anikin V. V. no. 2, p. 232  
 Antal T. K. no. 4, p. 388  
 Arefiev K. A. no. 2, p. 216  
 Artemenkov D. V. no. 4, p. 375  
 Arushanyan H. S. no. 1, p. 109  
 Ashikhmina T. Ya. no. 3, p. 350  
 Astashenkov A. Yu. no. 3, p. 255  
 Bakiev A. G. no. 1, p. 79; no. 3, p. 336  
 Blokhin Yu. Yu. no. 4, p. 375  
 Bogomolov P. L. no. 4, p. 400  
 Bogomolova I. N. no. 4, p. 452  
 Bogoslov A. V. no. 1, p. 55  
 Bondarev V. A. no. 1, p. 17  
 Cheryomushkina V. A. no. 3, p. 255  
 Cuong N. C. no. 2, p. 206  
 Denisov A. A. no. 1, p. 55  
 Denisova G. R. no. 3, p. 255  
 Donetskova A. S. no. 3, p. 322  
 Drozdenko T. V. no. 4, p. 388  
 Glinskaya E. V. no. 2, p. 216  
 Golovatyuk L. V. no. 1, p. 94; no. 4, p. 415  
 Gorelov R. A. no. 1, p. 79; no. 3, p. 336  
 Gorelysheva D. I. no. 2, p. 135  
 Grebenyuk L. V. no. 1, p. 55  
 Illin I. V. no. 3, p. 322  
 Kalinkina N. M. no. 3, p. 292  
 Kantor G. Ya. no. 3, p. 350  
 Karmanova T. N. no. 2, p. 135  
 Kashin A. S. no. 1, p. 55; no. 2, p. 150  
 Katzman E. A. no. 3, p. 268; no. 4, p. 400  
 Khoa N. X. B. no. 2, p. 206  
 Kirillov D. V. no. 2, p. 173  
 Kirillova I. A. no. 2, p. 173  
 Klenina A. A. no. 3, p. 336  
 Kondratev E. N. no. 2, p. 232  
 Kondratieva A. O. no. 1, p. 55; no. 2, p. 150  
 Korobeinikova A. S. no. 2, p. 216  
 Kritskaya T. A. no. 2, p. 150  
 Kudryavtsev A. Yu. no. 1, p. 34; no. 3, p. 279  
 Kurina E. M. no. 4, p. 415  
 Kuzyanov D. A. no. 2, p. 193  
 Lidzhi-Garyeva G. V. no. 1, p. 17  
 Magerramov S. V. no. 1, p. 17  
 Makarova E. M. no. 3, p. 292  
 Mamaev A. B. no. 3, p. 307  
 Mandzhieva V. S. no. 1, p. 17  
 Martsokha K. S. no. 1, p. 17  
 Matrosov A. N. no. 1, p. 17  
 Merkulova E. K. no. 2, p. 242  
 Muratova A. Yu. no. 2, p. 193  
 Murtazaliev R. A. no. 2, p. 150  
 Murzina Yu. I. no. 2, p. 216  
 Nechaeva O. V. no. 2, p. 216  
 Olkova A. S. no. 4, p. 483  
 Opaev A. S. no. 3, p. 361  
 Oparin M. L. no. 1, p. 34; no. 3, p. 307  
 Oparina A. M. no. 1, p. 34; no. 3, p. 322  
 Oparina O. S. no. 1, p. 34; no. 3, p. 307  
 Panchenko L. V. no. 2, p. 193  
 Parkhomenko A. S. no. 1, p. 55; no. 2, p. 150  
 Parkhomenko V. M. no. 1, p. 55  
 Peterson A. M. no. 2, p. 216  
 Petrova N. A. no. 2, p. 150  
 Pilip L. V. no. 3, p. 350  
 Pleshakova Ye. V. no. 2, p. 193  
 Politaeva N. A. no. 3, p. 322  
 Popov N. V. no. 1, p. 17  
 Pozdnyakova N. N. no. 2, p. 193  
 Pukinskaya M. Yu. no. 4, p. 431  
 Ravkin Yu. S. no. 4, p. 452  
 Romanova E. B. no. 1, p. 79; no. 3, p. 336  
 Roumyantzev A. B. no. 4, p. 400  
 Sayan A. S. no. 4, p. 400  
 Semenova N. Yu. no. 1, p. 109; no. 2, p. 242  
 Shelop V. V. no. 1, p. 109  
 Shilova I. V. no. 1, p. 55; no. 2, p. 150  
 Shitikov V. K. no. 1, p. 94  
 Smirnova E. B. no. 1, p. 109; no. 2, p. 242  
 Solomaykin E. I. no. 3, p. 336  
 Stolyarova I. A. no. 1, p. 79  
 Syrchina N. V. no. 3, p. 350  
 Sysolyatina M. A. no. 4, p. 483  
 Tabachishin V. G. no. 1, p. 3; no. 4, p. 474  
 Talovskaya E. B. no. 3, p. 255  
 Tekanova E. V. no. 3, p. 292  
 Thanh N. T. K. no. 2, p. 206  
 Tikhomirova E. I. no. 4, p. 388  
 Turkovskaya O. V. no. 2, p. 193  
 Tuyen D. T. no. 2, p. 206  
 Uspanova D. M. no. 2, p. 216  
 Volodchenko A. N. no. 2, p. 242  
 Yakovlev S. A. no. 1, p. 17  
 Yermokhin M. V. no. 1, p. 3; no. 4, p. 474  
 Zanina M. A. no. 1, p. 109; no. 2, p. 242  
 Zinchenko T. D. no. 1, p. 94

## ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

### 1. Общие положения

1.1. «Поволжский экологический журнал» выходит четыре раза в год и публикует оригинальные статьи, являющиеся результатом научных исследований в различных областях экологии организмов, включая экологию экосистем, сообществ, популяций, природоохранную экологию и эволюционную экологию, краткие сообщения и рецензии, а также хронику и информацию на русском и английском языках. Приоритет отдается оригинальным научным статьям, основанным на явно сформулированных гипотезах, проверенных современными статистическими методами. Журнал также может публиковать обзорные статьи ведущих специалистов по приоритетным направлениям экологии по предварительному согласованию с редколлегией журнала.

Нежелательно представление к публикации материалов феноменологического характера (находки видов, однолетние исследования сообществ и популяций, инвентаризационные (например, состав флоры и фауны) и описательные рукописи статей, не содержащие принципиально новых воспроизводимых экологических результатов).

Опубликованные материалы, а также материалы, представленные для публикации в других журналах, к рассмотрению не принимаются. Статьи, содержащие элементы плагиата и самоплагиата, автоматически снимаются с рассмотрения.

1.2. Полные статьи принимаются на 16 страницах и содержат до 5 рисунков и 4 таблиц, краткие сообщения – на 6 страницах и до 2 рисунков. Таблицы не должны занимать более 20% общего объема статьи.

1.3. Статья должна быть написана сжато, аккуратно оформлена и тщательно отредактирована. Редакция не вступает с Авторами в дискуссию! Также не занимается доведением рукописей до необходимого научного и технического уровня.

1.4. Для публикации статьи автору необходимо представить в редакцию следующие материалы и документы:

- направление от организации;
- подписанный авторами текст статьи, включая резюме (краткое изложение предмета исследований, результатов и выводов), таблицы, рисунки и подписи к ним на русском и английском языках;

- сведения об авторах: имя, отчество и фамилия, должность, ученая степень и научное звание, ORCID, служебные адреса и телефоны, телефаксы и адреса электронной почты с указанием автора, ответственного за переписку с редакцией на русском и английском языках. Сокращения названия учреждений недопустимы.

Все соавторы несут ответственность за информацию, представленную в рукописи.

Плата за публикацию рукописей не взимается.

1.5. В течение 2 недель со дня поступления рукописи в редакцию авторам направляется уведомление о ее получении с указанием даты поступления и регистрационного номера статьи.

1.6. Статьи, направляемые в редакцию, подвергаются рецензированию и в случае положительной рецензии – научному и контрольному редактированию. Рецензии статей, принятых к публикации, высылаются авторам в электронной форме, рецензии отклоненных статей – в письменной форме. Редакция вправе не вступать в переписку с автором относительно причин (оснований) отказа в публикации статьи.

1.7. Статья, направленная автору на доработку, должна быть возвращена в исправленном виде вместе с её первоначальным вариантом в максимально короткие сроки. К перера-

ботанной рукописи необходимо приложить письмо от авторов, содержащее ответы на все замечания и поясняющее все изменения, сделанные в статье. Статья, задержанная на срок более трёх месяцев или требующая повторной доработки, рассматривается как вновь поступившая.

В публикуемой статье приводятся первоначальная дата поступления рукописи в редакцию и дата принятия рукописи после переработки.

Подача рукописи – все материалы принимаются только через сайт журнала, используя сервис «Отправить статью». При возникновении каких-либо проблем, сложностей, необходимо обратиться к ответственному секретарю по электронной почте [поволжский@sevin.ru](mailto:поволжский@sevin.ru)

## 2. Структура публикаций

2.1. Публикация статей и кратких сообщений начинается с индекса УДК (слева), затем следует заглавие статьи, инициалы и фамилии авторов (следует указывать имя и фамилию автора в принятой им транскрипции), полное официальное название учреждения и его почтовый адрес с индексом. Далее приводится дата поступления материала в редакцию, а затем – аннотация объемом 250 – 400 слов и ключевые слова на русском и английском языках. Ключевые слова можно брать из названия статьи. Например:

УДК 598.115.31(470.44/.47)

ЭКОЛОГИЯ ПИТАНИЯ ПРЫТКОЙ ЯЩЕРИЦЫ (*LACERTA AGILIS*)

И. В. Дмитриев <sup>1✉</sup>, Н. А. Сергеев <sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Институт проблем экологии и эволюции имени А. Н. Северцова РАН  
Россия, 119071, г. Москва, Ленинский просп., д. 33*

<sup>2</sup> *Саратовский национальный исследовательский государственный университет  
имени Н. Г. Чернышевского  
Россия, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83*

Поступила в редакцию 23.05.2022 г., после доработки 27.06.2022 г., принята 29.06.2022 г.

2.2. Редакция рекомендует авторам структурировать представляемый материал, используя подзаголовки: ВВЕДЕНИЕ (формулируется суть исследования, кратко обсуждается современное состояние вопроса, ставится цель и соответствующие ей задачи исследования), МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ (описывается положенный в основу статьи материал, его количество, место, время и методы сбора подробно, но в лаконичной форме для полевых исследований либо методы постановки натурального или лабораторного эксперимента), РЕЗУЛЬТАТЫ (излагаются полученные научные результаты), ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ (проводится обсуждение результатов), ЗАКЛЮЧЕНИЕ (подводится итог полученных результатов и делаются выводы), БЛАГОДАРНОСТИ (выражается признательность коллегам, помогавшим в сборе материала либо давшим ценные советы или консультации, а также указываются источники финансирования работы), СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

## 3. Требования к оформлению рукописи

3.1. Текст статьи должен быть напечатан через полтора интервала на белой бумаге формата А4 с полями не менее 2.5 см, размер шрифта – 14.

3.2. Все страницы рукописи, включая таблицы, рисунки, список литературы, следует пронумеровать. При подготовке рукописи следует соблюдать единообразие терминов. Следует соблюдать единообразие в обозначениях, системах единиц измерения, номенклатуре. Нужно, по мере возможности, избегать сокращений, кроме общепотребительных, и если все-таки используются сокращения, то они должны быть расшифрованы в тексте при их первом упоминании.

3.3. Заглавие должно четко отражать содержание статьи (не более 15 слов). Причем, если статья посвящена одному или нескольким видам, в заголовке обязательно латинские названия видов, о которых идет речь. Также в скобках следует указать высшие таксоны (преимущественно названия класса, семейства), к которым относятся объекты исследования.

Между инициалами и фамилией всегда ставится пробел: А. А. Иванов. Не используйте более одного пробела между словами и знак табуляции вместо отступа в первой строке абзаца. Десятичные цифры набираются только через точку, а не через запятую (0.50, а не 0,50). Используются только угловые «кавычки».

3.4. Первое упоминание любого названия организма должно сопровождаться полным научным (латинским) названием с указанием автора (фамилия полностью) и года опубликования, например, *Otis tarda* Linnaeus, 1758; при следующем упоминании фамилия автора и год не приводятся, а название рода дается сокращенно (*O. tarda*). Разрешаются лишь общепринятые сокращения – названия мер, физических, химических и математических величин и терминов и т.п. Все сокращения должны быть расшифрованы, за исключением небольшого числа общеупотребительных. Сокращения из нескольких слов разделяются пробелами (760 мм рт. ст.; м над ур. м.), за исключением самых общеупотребительных: и т.д., и т.п., с.ш. (северная широта), в.д. (восточная долгота).

3.5. Все физические величины должны быть даны в Международной системе (СИ). Размерности отделяются от цифры пробелом (10 кПа), кроме градусов, процентов, промилле: 10°, 10°C, 10‰, 10‰. При перечислении, а также в числовых интервалах размерность приводится лишь для последнего числа (1 – 10°C, 1 – 10°).

3.6. Таблицы следует представлять отдельно от текста, на листах формата А4. Следует избегать многостраничных таблиц; большие по объему данные предпочтительнее распределить между несколькими таблицами. Каждая таблица должна быть пронумерована арабскими цифрами и иметь тематический заголовок, кратко раскрывающий её содержание. Подзаголовки столбцов должны быть максимально краткими и информативными. Единицы измерения в головке или боковике таблицы указываются после запятой. Первичные цифровые данные (не обработанные статистически), как правило, не публикуются. Диаграммы и графики не должны дублировать содержание таблиц. Если таблица в рукописи единственная – ее номер не ставится, а слово «таблица» в тексте пишется полностью.

3.7. Рисунки прилагаются отдельно. Формат рисунка должен обеспечивать ясность передачи всех деталей. Обозначения и все надписи на рисунках даются на русском и английском языках; размерность величин указывается через запятую. Подрисуночная подпись должна быть самодостаточной без апелляции к тексту. Если иллюстрация содержит дополнительные обозначения, их следует расшифровать после подписи. При ссылке на рисунок в тексте используют сокращение (рис. 1), за исключением случаев, когда рисунок один (рисунок). При повторных ссылках ставится см. (см. рис. 1, см. рисунок).

3.8. Список цитируемой литературы следует оформлять в соответствии с ГОСТ Р 7.0.7–2009 «Статьи в журналах и сборниках. Издательское оформление» и ГОСТ Р 7.0.5–2008 «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления». Прочитываемые в тексте работы располагаются в алфавитном порядке, по фамилиям авторов. В начале даются работы на русском языке и на языках с близким алфавитом (болгарский, белорусский, украинский и др.), затем – на иностранных языках. В библиографии иностранных работ должно сохраняться оригинальное написание, принятое в данном языке. Недостающие буквы или их элементы могут быть дорисованы ручкой (например, украинские і, ї, є и т. п.). Работы одного и того же автора приводятся в хронологическом порядке. Допускаются только общепринятые сокращения.

В тексте статьи цитируемые работы указываются в круглых скобках – приводятся фамилия автора работы и год ее публикации, например: (Павлов, 1976), К. Давид (David,

2001); два автора (Тимофеев-Ресовский, Тюрюканов, 1966; Skira, Brothers, 2000); если авторов более двух, то (Шляхтин и др., 2005; Brown et al., 1941).

Ссылки на диссертации и авторефераты не приветствуются, тезисы докладов и материалы конференций приводятся по минимуму; пожелание к авторам – избегать устаревших источников и ориентироваться на современные исследования, представленные в рецензируемых изданиях. Ссылки на неопубликованные или находящиеся в печати работы не допускаются. Все процитированные в статье работы должны быть указаны в списке литературы. В списке литературы инициалы ставятся после фамилий авторов, разделяются пробелами между собой и набираются курсивом: *Чумаков А. А., Chumakov A. A.* Год, том, номер журнала и т.п. разделяются между собой и отделяются от соответствующих цифр пробелами: 2002. Т. 1, № 1. С. 30, или: 2002. Vol. 1, № 1. P. 30. Для обозначения номера употребляется знак «№», а не буква N. Библиографическое описание дается в следующем порядке.

Образец оформления ссылок на книги:

*Бигон М., Харпер Дж., Таунсенд К.* Экология. Особи, популяции и сообщества : в 2 т. / пер. с англ. М. : Мир, 1989. Т. 1. 667 с.

*Panov E. N.* Wheatears of the Palearctic : Ecology, Behaviour and Evolution of the Genus *Oenanthe*. Sofia ; Moscow : Pensoft, 2005. 439 p.

Образец оформления ссылок на статьи из журнала:

*Розенберг Г. С.* Идеализированный объект и фундаментальные понятия современной экологии (с примерами из экологии растительности) // Поволжский экологический журнал. 2002. № 3. С. 246 – 256.

*Тимофеев-Ресовский Н. В., Тюрюканов А. Н.* Об элементарных биохорологических подразделениях биосферы // Бюллетень МОИП. Отдел Биологический. 1966. Т. 71, № 1. С. 123 – 132.

*Maekawa K., Yoneda M., Togashi H. A.* A preliminary study of the age structure of the red fox in eastern Hokkaido // Japanese Journal of Ecology. 1980. Vol. 30, № 2. P. 103 – 108.

*Crump M. L.* Anuran reproductive modes : Evolving perspectives // Journal of Herpetology. 2015. Vol. 49, iss. 1. P. 1 – 16. <https://doi.org/10.1670/14-097>

Образец оформления ссылок на статьи из сборника:

*Стриганова Б. Р.* Вклад почвообитающих животных в биодинамику степных почв // Биоресурсы и биоразнообразие экосистем Поволжья : прошлое, настоящее, будущее : материалы международного совещания / под ред. акад. Д. С. Павлова. Саратов : Изд-во Саратовского университета, 2005. С. 53 – 54.

*Dravesky M., Lehocky M.* Gniazdowanie orlica krzykliwego *Aquila pomarina* w sztucznych gniazdach na Słowacji // Badania i Problemy Ochrony Orlica Grubodziobego *Aquila clanga* i Orlica Krzykliwego *Aquila pomarina* : Materiały Międzynarodowej konferencji / eds. T. Mizera, B.-U. Meyburg. Osowiec ; Poznań ; Berlin : Bogucki Wydawnictwo Naukowe, 2005. S. 177 – 178.

Образец оформления ссылок на диссертации:

*Березуцкий М. А.* Антропогенная трансформация флоры южной части Приволжской возвышенности : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Воронеж, 2000. 40 с.

*Лебедева Л. А.* Птицы саратовского Заволжья (эколого-фаунистические особенности орнитофауны) : дис. ... канд. биол. наук. Саратов, 1967. 220 с.

Образец описания электронных публикаций на физическом носителе (CD-ROM, DVD-ROM, электронный гибкий диск и т.д.):

Амфибии и рептилии Ульяновской области [Электрон. ресурс] / Ульянов. гос. ун-т. Электрон. текст, граф., зв. дан. (62.2 Mb). Ульяновск : Электрон. изд-во «Новая линия»,

2003. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) : зв., цв. Систем. Требования : Pentium – 233 MMX ; Video 8 Mb ; 2x CD-ROM дисковод ; 16-бит зв. карта ; мышь. Загл. с диска.

Образец описания электронных публикаций в Интернете (после электронного адреса в круглых скобках приводят сведения о дате обращения к электронному сетевому ресурсу с указанием числа, месяца и года):

Экосистемные услуги – современные технологии // Экосистемные услуги / Ин-т проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН. М., 2012. URL: [http://www.sevin.ru/ecosys\\_services/](http://www.sevin.ru/ecosys_services/) (дата обращения: 03.03.2012).

Martínez C. Sisón común – *Tetrax tetrax* (Linnaeus, 1758) // Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles / eds. L. M. Carrascal, A. Salvador. Madrid : Museo Nacional de Ciencias Naturales, 2008. Available at: <http://www.vertebradosibericos.org/aves/tettet.html> (accessed 30 May 2008).

#### References для русскоязычных источников.

При существовании переводной версии статьи (книги), следует представить именно ее; если переводной версии не существует, то следует использовать транслитерацию (<http://translit.ru>, вариант LC), при этом в квадратных скобках обязательно представляется перевод на английский язык названия статьи (книги), после описания добавляется язык публикации (in Russian); если описываемая публикация имеет DOI, его обязательно надо указывать. При переводе кириллической ссылки место издания и название издательства следует указывать полностью.

Примеры оформления Библиографического списка в References.

Образец оформления ссылок на книги:

Begon M., Harper J., Townsend C. *Ecology. Individuals, Populations and Communities*. Moscow, Mir Publ., 1989. Vol. 1. 667 p. (in Russian).

Panov E. N. *Wheatears of the Palearctic Ecology, Behaviour and Evolution of the Genus Oenanthe*. Sofia, Moscow, Pensoft, 2005. 439 p.

Образец оформления ссылок на статьи из журнала:

Rozenberg G. S. Idealizing object and fundamental notions of the modern ecology (with examples from vegetation ecology). *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2002, no. 3, pp. 246–256 (in Russian).

Timofeev-Resovsky N. V., Tyuryukanov A. N. On biochorological units of the biosphere. *Bulletin of Moscow Society of Naturalists, Biological Series*, 1966, vol. 71, iss. 1, pp. 123–132 (in Russian).

Maekawa K., Yoneda M., Togashi H. A. A Preliminary study of the age structure of the red fox in Eastern Hokkaido. *Japanese Journal of Ecology*, 1980, vol. 30, no. 2, pp. 103 – 108.

Crump M. L. Anuran reproductive modes: Evolving perspectives. *Journal of Herpetology*, 2015, vol. 49, iss. 1, pp. 1–16. <https://doi.org/10.1670/14-097>

Образец оформления ссылок на статьи из сборника:

Striganova B. R. Soil animal contribution into the biodynamics of steppe soils. In: D. S. Pavlov, ed. *Bioresources and Biodiversity of Volga Ecosystems: Their Past, Present, Future: Proceedings of the International Meeting*. Saratov, Izdatel'stvo Saratovskogo universiteta, 2005, pp. 53–54 (in Russian).

Dravesky M., Lehocky M. Gniazdowanie orlica krzykliwego *Aquila pomarina* w sztucznych gniazdach na Slowacji. In: T. Mizera, B.-U. Meyburg, eds. *Badania i Problemy Ochrony Orlica Grubodziobego Aquila clanga i Orlica Krzykliwego Aquila pomarina: Materiały Międzynarodowej konferencji*. Osowiec, Poznań, Berlin, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, 2005. S. 177–178.

Образец оформления ссылок на диссертации:

Berezutsky M. A. *Antropogennaia transformatsiia flory iuzhnoi chasti Privolzhskoi vozvyshechnosti* [Anthropogenic transformation of the flora in the Southern Volga Upland]. Thesis Diss. Dr. Sci. (Biol.). Voronezh, 2000. 40 p. (in Russian).

Lebedeva L. A. *Ptitsy sарatovskogo Zavolzh'ia (ekologo-faunisticheskie osobennosti ornitofauny)* [Birds of the Trans-Volga Saratov region (ecofaunistic properties of the bird fauna)]. Diss. Cand. Sci. (Biol.). Saratov, 1967. 220 p. (in Russian).

Образец описания электронных публикаций в Интернете (после электронного адреса в круглых скобках приводят сведения о дате обращения к электронному сетевому ресурсу с указанием числа, месяца и года):

Ecosystem Services – Modern Technologies. *Ecosystem Services*. Moscow, 2012. Available at: [https://www.sevin.ru/ecosys\\_services/](https://www.sevin.ru/ecosys_services/) (accessed 3 March 2012).

Martínez C. Sisón común – *Tetrax tetrax* (Linnaeus, 1758). *Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles*. Madrid, Museo Nacional de Ciencias Naturales, 2008. Available at: <https://www.vertebradosibericos.org/aves/tettet.html> (accessed 30 May 2008).

#### 4. Требования к оформлению электронной версии

4.1. Текст рукописи, а также таблицы должны быть предоставлены в виде файлов (одного или нескольких) в формате MS Word 6.0 и выше для Windows. Текст файла должен быть идентичен распечатке текста статьи.

4.2. Графики и диаграммы должны быть выполнены в специализированном редакторе, входящем в состав MS Word, что значительно облегчит их редактирование (при необходимости), или же в формате редактора векторной графики – Corel Draw, Adobe Illustrator. Растровые версии, а также графики и диаграммы, созданные в MS Excel, редакцией не принимаются. Диаграммы должны быть черно-белыми, а все деления необходимо выполнять штриховкой.

4.3. Иллюстрации должны быть представлены в форматах: LineArt (растр) – TIFF 600 – 1200 dpi (LZW сжатие), Grey (фото) – JPEG 300 – 600 dpi (степень сжатия 8 – 10). Векторные рисунки следует подавать в форматах EPS, AI, CDR, не используя при этом специфических заливок и шрифтов. Рисунки, созданные в каких-либо текстовых редакторах, не принимаются. Названия файлов с рисунками даются латиницей, должны включать фамилию первого автора и соответствовать порядковому номеру рисунка в рукописи (например, 01ivanov.tif, 02ivanov.jpeg).

4.4. Все элементы текста в изображениях (графиках, диаграммах, схемах), если это возможно, должны иметь гарнитуру Times New Roman, Times New Roman Cyr.

4.5. Подписи к рисункам и тематические заголовки к таблицам на русском и английском языках приводятся в текстовой части статьи.

*Рукописи, оформленные без соблюдения настоящих правил  
или не соответствующие профилю журнала,  
в редакции не регистрируются и возвращаются авторам без рассмотрения*

Редактор *А. Б. Мамаев*  
Редактор английского текста *С. Л. Шмаков*  
Художник обложки *И. Е. Табачишина*  
Оригинал-макет подготовлен *В. Г. Табачишиным*  
Корректор *Ю. И. Астахова*

Свидетельство о регистрации ПИ №ФС77-23682 от 16.03.2006 г.  
в Федеральной службе по надзору за соблюдением законодательства  
в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия  
Учредители: Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН,  
Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского

ООО «Товарищество научных изданий КМК».  
*при участии ИП Михайлова К.Г.*  
123100 Москва, а/я 16; [mikhailov2000@gmail.com](mailto:mikhailov2000@gmail.com)

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленных материалов в ООО «Фотоэксперт».  
109316 Москва, Волгоградский проспект, д.42, корп.5, эт.1, пом. I, комн. 6.3-23Н.  
Подписано в печать 14.03.2023. Подписано в свет 17.03.2023.  
Формат 70x100/16. Объём 8,0 печ.л. Бум. мелов. Тираж 40 экз. Цена свободная

ISSN 1684-7318



9 771684 731009 >

ISSN 1684-7318 ПОВОЛЖСКИЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ 2023 №1



ТОВАРИЩЕСТВО  
НАУЧНЫХ  
ИЗДАНИЙ КМК