

ПОВОЛЖСКИЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Povolzhskiy Journal of Ecology

Номер 4

2023

Number 4



СОДЕРЖАНИЕ

Баскевич М. И., Хляп Л. А., Богданов А. С. Мышовка Штранда <i>Sicista strandi</i> (Rodentia, Dipodoidea) на юго-западной периферии ареала вида: генетические и экологические аспекты	385
Дрозденко Т. В., Медянкина М. В., Антал Т. К. Оценка показателей развития фитопланктона и качества воды Чудско-Псковского озера в современных условиях	404
Кириллова И. А., Кириллов Д. В. Мониторинг популяции <i>Cypripedium guttatum</i> (Orchidaceae, Liliopsida) на северной границе ареала (Республика Коми, Европейская Россия)	420
Кондратенков И. А. Возможность определения необходимой протяженности учетных маршрутов ЗМУ на основании площади охотничьих угодий	437
Опарина О. С., Опарин М. Л., Мамаев А. Б., Опарина А. М. Численность и демографическая структура популяции дрофы (<i>Otis tarda</i>) (Otididae, Aves) на токовых участках в саратовском и волгоградском Заволжье	454
Сырчина Н. В., Пилип Л. В., Колеватых Е. П., Ашихмина Т. Я. Влияние различных способов обработки на численность бактерий рода <i>Clostridium</i> (Clostridia, Bacteria) в побочных продуктах животноводства	466
Феоктистова Н. Ю., Мещерский И. Г., Кацман Е. А., Мещерский С. И., Гуреева А. В., Куприянов В. П., Богомолов П. Л., Кропоткина М. В., Давыдов И. Д., Леонов А. Г., Суров А. В. Генетическая дифференциация внутри двух крупных филогрупп обыкновенного хомяка (<i>Cricetus cricetus</i>) (Cricetidae, Rodentia), граница между ними и численность популяций	481

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Арушанян Г. С., Шелоп В. В., Смирнова Е. Б. Состояние ценопопуляций редких растений урочища «Большие мочажины» в Балашовском районе Саратовской области	498
--	-----



CONTENTS

Baskevich M. I., Khlyap L. A., Bogdanov A. S. Strand's mouse <i>Sicista strandi</i> (Rodentia, Dipodoidea) on the southwestern periphery of its range: Genetic and environmental aspects	385
Drozdhenko T. V., Medyankina M. V., Antal T. K. Estimation of indicators of phytoplankton development and water quality of the Peipus-Pskov Lake in modern conditions	404
Kirillova I. A., Kirillov D. V. Monitoring of a <i>Cypripedium guttatum</i> (Orchidaceae, Liliopsida) population on the northern border of its distribution range (Komi Republic, European Russia)	420
Kondratenkov I. A. Possibility to determine the necessary length of WRC survey routes based on the area of hunting grounds	437
Oparina O. S., Oparin M. L., Mamaev A. B., Oparina A. M. Abundance and demographic structure of the great bustard (<i>Otis tarda</i>) (Otididae, Aves) population at lek areas in the Saratov and Volgograd Trans-Volga region	454
Syrchina N. V., Pilip L. V., Kolevatykh E. P., Ashikhmina T. Ya. Effect of various processing methods on the numbers of <i>Clostridium</i> (Clostridia, Bacteria) in animal by-products	466
Feoktistova N. Yu., Meschersky I. G., Katsman E. A., Meschersky S. I., Gureeva A. V., Kupriyanov V. P., Bogomolov P. L., Kropotkina M. V., Davydov I. D., Leonov A. G., Surov A. V. Genetic differentiation within two large phylogroups of the common hamster (<i>Cricetus cricetus</i>) (Cricetidae, Rodentia), the boundary between them, and the population abundance	481

SHORT COMMUNICATIONS

Arushanyan H. S., Shelop V. V., Smirnova E. B. Status of rare plant populations of the tract "Bolshiye Mochazhiny" in Balashov district, Saratov region	498
--	-----

Оригинальная статья

УДК 591.582.2:598.842.3

<https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-4-385-403>

МЫШОВКА ШТРАНДА *SICISTA STRANDI* (RODENTIA, DIPODOIDEA) НА ЮГО-ЗАПАДНОЙ ПЕРИФЕРИИ АРЕАЛА ВИДА: ГЕНЕТИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

М. И. Баскевич ^{1✉}, Л. А. Хляп ¹, А. С. Богданов ²

¹ Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН
Россия, 119071, г. Москва, Ленинский проспект, д. 33

² Институт биологии развития им. Н. К. Кольцова РАН
Россия, 119334, г. Москва, ул. Вавилова, д. 26

Поступила в редакцию 22.06.2023 г., после доработки 03.07.2023 г., принята 14.07.2023 г., опубликована 12.12.2023 г.

Аннотация. Впервые на основе исследования нуклеотидных последовательностей фрагмента гена *IRBP* ядерной ДНК в популяции *Sicista strandi* из юго-западной периферии ареала вида (горный Кавказ, окрестности кордона Экипцоко, Зольский район Кабардино-Балкарии, сопредельная территория с *tetra turica* вида) и их сопоставления с молекулярными характеристиками у представителей вида из ряда пунктов Русской равнины изучено ее положение в структуре вида. Установлено, что по данному молекулярному признаку изученная кавказская популяция относится к южной группировке вида, охватывающей помимо Кавказа выборки из бассейнов Нижнего (Ростовская область) и Среднего (Луганская область) Дона и предположительно из Нижнего Поволжья, отличаясь от образцов из северных частей ареала вида в Центральном Черноземье (Курская, Белгородская области). В популяции *S. strandi* из юго-западной периферии ареала вида впервые исследован ряд экологических и биологических характеристик (биотопическая приуроченность, состав популяции, численность, суточная, сезонная активность, размножение, питание), рассматриваемых в сравнительном аспекте в связи с генетической дифференциацией вида.

Ключевые слова: мышовка Штранда, популяция, молекулярные (*IRBP*) особенности, эколого-биологические особенности, кордон Экипцоко, Кавказ

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания Института проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН (проект № FFER – 2021-0003) и Института биологии развития им. Н. К. Кольцова РАН (проект № 0088-2021-0019).

Соблюдение этических норм. Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы ухода и использования животных были соблюдены.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

✉ Для корреспонденции. Лаборатория микроэволюции млекопитающих Института проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН.

ORCID и e-mail адреса: Баскевич Марина Исаковна: <https://orcid.org/0000-0003-0632-4949>, mbaskevich@mail.ru; Хляп Людмила Айзиковна: <https://orcid.org/0000-0001-7698-5887>, khlyap@mail.ru; Богданов Алексей Станиславович: <https://orcid.org/0000-0002-2106-3989>, bogdalst@yahoo.com.

Для цитирования. Баскевич М. И., Хляп Л. А., Богданов А. С. Мышовка Штранда *Sicista strandi* (Rodentia, Dipodidae) на юго-западной периферии ареала вида: генетические и экологические аспекты // Поволжский экологический журнал. 2023. № 4. С. 385 – 403. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-4-385-403>

ВВЕДЕНИЕ

В 1989 г. была проведена ревизия широко распространенного от Скандинавского полуострова до Забайкалья и от Кавказа до устья Печоры (Pucek, 1982) политипического вида лесной мышовки *Sicista betulina* s. l. Pallas, 1778. Итогом этой ревизии явилось обоснование видового ранга одного из ее подвидов: мышовки Штранда *S. strandi* Formosov, 1931, характеризующегося 44-хромосомным кариотипом, в отличие от такового ($2n = 32$) у вида-двойника *S. betulina* s. str. (Соколов и др., 1989), хотя позднее были найдены и другие диагностические признаки: краниометрические (Баскевич и др., 2005a), молекулярные (Баскевич и др., 2005b; Lebedev et al., 2019; Baskevich et al., 2020), позволяющие различать виды-двойники, относящиеся к *Sicista* группы *betulina*. Область распространения мышовки Штранда, уточненная с помощью хромосомного, молекулярного и краниометрического типирования небольшого числа находок, занимает ограниченную территорию на юге восточно-европейской части объединенного ареала *Sicista betulina* s. l. Было показано, что южная граница вида идет по северному склону Главного Кавказского хребта, за исключением его западной горной части (Дзуев, 1988; Соколов и др., 1989; Баскевич, 1990; Шенброт и др., 1995). Западную границу проводят по восточному побережью Азовского моря до впадения р. Дон, от устья Дона до Новочеркасска, а затем чуть западнее границы между Россией и Украиной до широты Курска (примерно 52° с.ш.) (Шенброт и др., 1995; Баскевич и др., 2005b, 2010). Северная граница пока намечена условно. Помимо Курска она включает, предположительно, Воронежскую, южную часть Пензенской (Быстракова, 2000), а в северо-восточной части ареала вида Саратовскую (Баскевич, Опарин, 2000) области. Восточная граница также требует уточнения. Пока ее проводят от устья Терека до Волгограда и Саратова (Шенброт и др., 1995). Принадлежность находок из Правобережья Саратовской области подтверждена по хромосомным (Баскевич, Опарин, 2000) и молекулярным (Lebedev et al., 2019) маркерам, тогда как таксономический статус находок из заволжских популяций (Саратов, Самара, Татарстан) не выяснен. В целом, мозаичный ареал *S. strandi* простирается от южной части Среднерусской возвышенности до Главного Кавказского хребта, где охватывает островные, байрачные, аренные, пойменные леса, отдельные участки степей и защитные лесополосы на Русской равнине, лесостепной и субальпийский пояса на Кавказе. Очевидно, что при относительной узости ареала мышовка Штранда занимает большой спектр биотопов, что при мозаичном характере распространения указывает на возможность структурированности вида по отдельным признакам в ходе их сопоставления у особей из различных частей ареала. Целый ряд полученных ранее, пока фрагментарных фактов указывает на справедливость этой точки зрения. Так, например, дифференциация между северными (Курск) и южными (центральная часть Северного Кавказа) популяциями вида была выявлена

в особенностях строения glans и os penis самцов (Соколов и др., 1989), что отчасти было подтверждено позднее в хромосомных (C-banding) (Баскевич и др., 2005a), молекулярных (*IRBP*) (Baskevich et al., 2020) и краниометрических (Окулова, Баскевич, 2014) результатах, продемонстрировавших отличия между северными (Курск, Саратов) и южными (Северный Кавказ и /или/ Предкавказье) исследованными выборками *S. strandi*. Было высказано гипотетическое предположение рассматривать вышеупомянутые северную и южную формы мышовки Штранда (после их дополнительного исследования) как возможные подвиды (Шенброт и др., 1995), но молекулярные (*IRBP*) данные не исключают их более высокий таксономический статус (Baskevich et al., 2020). По результатам морфологических сопоставлений предполагалось, что северная форма распространена в южной оконечности Среднерусской возвышенности примерно до линии Ростов-на-Дону – Волгоград, а южная – населяет Предкавказье и Северный Кавказ (Шенброт и др., 1995). Эта точка зрения согласуется с предварительными краниометрическими данными (Баскевич и др., 2005a).

В целом, не только таксономическое значение различий между северными и более южными популяциями *S. strandi*, но и границы между ними ещё предстоит оценить. Интересный результат был получен при сравнении на основе мультилокусного анализа образцов с Русской равнины при отсутствии таковых с Кавказа: исследовались образцы из Саратовской, Белгородской, Ростовской областей России и Луганской области Украины, выявившего обособленность образцов из Белгородской области (северная часть ареала) от всех остальных (Lebedev et al., 2019). Очевидно, что этот результат указывает на более сложную структуру вида, чем предполагалось ранее. В этой связи необходимым представляется формирование взглядов на более полную картину структурированности вида и положения отдельных популяций в ней.

Цель настоящего исследования – определение генетических (*IRBP*) и экологических (состав популяции, численность, суточная, сезонная активность, размножение, питание) особенностей у мышовки Штранда из юго-западной периферии ареала в горах Кавказа и их сопоставление с молекулярно-генетическими и экологическими характеристиками вида из других его частей с акцентированием внимания на положении популяции из юго-западной части ареала *S. strandi* в системе вида.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Использованный в работе собственный материал по мышовкам включал 10 кариологически датированных особей *Sicista* группы *betulina*, относящихся к *Sicista strandi* ($2n = 44$), отловленных с 18 по 27 июня 2011 г. на юго-западной периферии ареала вида, в окрестностях кордона Экипцоко (западная часть Кабардино-Балкарии, сопредельная с горной территорией Карачаево-Черкессии), добыча которых сопровождалась отловом ряда других видов млекопитающих: грызунов и насекомоядных, собранных в окрестностях кордона Экипцоко в этот же период времени. Всего за период работы было добыто 30 экз. млекопитающих. Отловы производили ловчими канавками с врытыми в них конусами ($\varnothing = 13.5$ см, $H = 25$ см), а также живоловками.

Молекулярно-генетический анализ. Частично ($n = 2$) с целью уточнения с помощью молекулярных сопоставлений положения популяции *S. strandi* из юго-западной периферии ареала в системе вида этот материал был использован в сиквенс анализе фрагмента (897 bp) гена *IRBP* ядерной ДНК.

Обработка собственных образцов *Sicista*, используемых для последующих сопоставлений, выглядела следующим образом: тотальную ДНК выделяли методом фенол-хлороформной депротеинизации после обработки измельченных тканей протеиназой К по методике Самбрука с соавторами (Sambrook et al., 1989). Праймеры, использованные для амплификации и секвенирования фрагмента экзона 1 ядерного гена *IRBP*, показаны в нашей предшествующей публикации (Baskevich et al., 2020). Полимеразную цепную реакцию (ПЦР) проводили в смеси, содержащей 25 – 30 нг ДНК, 2 мкл 10×Taq-буфера, 1.6 мкл 2.5 mM раствора dNTP, 4 pM каждого праймера, единицу Taq-полимеразы и деионизированную воду до конечного объема 20 мкл. Амплификация была выполнена на приборе ТЕРЦИК (фирмы «ДНК-технология», Россия) по следующей программе: предварительный прогрев при 94°C (3 мин), далее 35 циклов в последовательном режиме: 30 с – 94°C, 1 мин – 57°C, 1 мин – 72°C; в завершение реакции проведена однократная финальная элонгация ПЦР-продуктов при 72°C (6 мин). Автоматическое секвенирование осуществлено с использованием кита ABI PRISM®BigDye™ Terminator v. 3.1 (ABI, США) в Институте биологии развития им. Н. К. Кольцова РАН на генетическом анализаторе ABI 3500 (ABI, США).

Помимо собственного материала по *S. strandi* из юго-западной периферии ареала вида (окрестности кордона Экипцоко, Кабардино-Балкария) и используемого для сравнения такового из северных частей ареала вида в Курской области мы включили в анализ ранее опубликованные и доступные в GenBank последовательности гена *IRBP* ряда представителей вида из нескольких пунктов Русской равнины (табл. 1), а в качестве группы сравнения последовательности гена *IRBP* – особи *S. betulina* из Звенигородской биостанции Московского университета (№ 09-28, GenBank MN175440), а как аутгруппы – извлеченные из GenBank последовательности гена *IRBP* представителя другой группы *Sicista*, *S. caucasica* из Адыгеи (Лагонаки) (Rusin et al., 2018; GenBank KY967467). После выравнивания нуклеотидных последовательностей были получены и проанализированы фрагменты гена *IRBP* длиной 897 п.н.; их начало соответствует таковому последовательностей, установленных Черкезом с соавторами (Cserkés et al., 2015).

Статистическая обработка данных выполнена с помощью компьютерной программы Mega 6.06, разработанной Тамурой с соавторами (Tamura et al., 2013). Подходящую модель нуклеотидных замен выбирали по показателю BIC (Bayesian Information Criterion); мы использовали модель T92+G (Tamura 3-parameter model with gamma distributed) при построении дендрограммы методом Maximum Likelihood (ML) и расчете генетических дистанций (D). Значения бутстреп-поддержки определяли по тысяче репликаций.

Популяционно-экологические исследования. Видовой состав совокупных сборов определяли визуально, а для видов-двойников, в частности, представителей подрода *Terricola* рода *Microtus* – с использованием генетических маркеров (*cytb*)

(Bogdanov et al., 2021). Долю каждого определенного вида, в т.ч. *S. strandi*, в совокупной выборке, выраженную в % (индекс доминирования), принимали за показатель обилия вида в сообществе мелких млекопитающих в регионе исследования.

Таблица 1. Материал, использованный в сиквентс-анализе нуклеотидных последовательностей фрагмента (897 п.н.) гена *IRBP* ядерной ДНК в различных популяциях *Sicista strandi* с целью уточнения положения в системе вида популяции из окрестностей Экипцоко (юго-западная периферия ареала вида)

Table 1. Material used in the sequence analysis of the nucleotide sequences of the fragment (897 bp) of the *IRBP* gene of nuclear DNA in several *Sicista strandi* populations in order to clarify the position of the population from the vicinity of Ekiptsoko (southwestern periphery of the range) in the species' system

№ / No.	Код образца (GenBank Accession numbers) / Sample code (GenBank Accession numbers)	2n	Локалитет и его координаты / Location and its coordinates	Источник / Source
1	11-23 (MN175447)	44	Кабардино-Балкария, близ Экипцоко; 43.68° с.ш., 43.08° в.д. / Kabardino-Balkaria, near Ekiptsoko cordon; 43.68° N, 43.08° E	Baskevich et al., 2020; наши данные
	11-83 (MN175448)	44		
2	03-11 (MN175445)	44	Курская область, Стрелецкий участок Центрально-Черноземного заповедника; 51.58° с.ш., 36.08° в.д. / Kursk region, Streletsky section of the Central Black Earth Reserve; 51.58° N, 36.08° E	Baskevich et al., 2020; наши данные
	06-70 (MN175446)	44		
3	KM397158	–	Белогорье, Ямская степь; 51.17° с.ш., 37.65° в.д. / Belogorye, Yamskaya steppe; 51.17° N, 37.65° E	Pisano et al., 2015
4	KF854242	–	Луганская область, Провальская степь; 48.12° с.ш., 39.8° в.д. / Lugansk region, Provalye, 48.12° N, 39.8° E	Cserkesz et al., 2015
5	KP715879	–	Луганская область, Стрельцовская степь; 49.28° с.ш., 40.07° в.д. / Lugansk region, Streltsovskaya steppe; 49.28° N, 40.07° E	Cserkesz et al., 2016
6	KY967466	–	Саратовская область, Воскресенский район, пос. Славянка; 51.84° с.ш., 46.25° в.д. / Saratov region, Voskresensky district, Slavyanka; 51.84° N, 46.25° E	Rusin et al., 2018
7	KY967465	–	Ростовская область, Цимлянские пески; 47.86° с.ш., 42.52° в.д. / Rostov region, Tsimlyansk sands; 47.86° N, 42.52° E	Rusin et al., 2018

Численность изъятых из природы мышовок, добытых с помощью ловчих наваек с врытыми в них конусами, в лугостепи региона исследования, определяли по формуле: где в числителе число отловленных особей (*M*), а в знаменателе произведение количества использованных конусов (*пк*) на количество учетных суток (*пс*); результат деления, умноженный на 100, выраженный в экз. / 100 конусо-суток, отражает численность вида (Юдин и др., 1979; Шефтель, 2018). Всего было отработано 211 конусо-суток.

Для изучения размножения мышовок популяцию вида подразделяли на возрастные группы. В качестве возрастных критериев применялись размерные показатели. Состояние половой системы исследовали у самцов (измеряли длину и ширину семенников и длину везикул) и самок (наличие эмбрионов, их размеры, число темных пятен, состояние матки). Анализировали срок начала размножения и

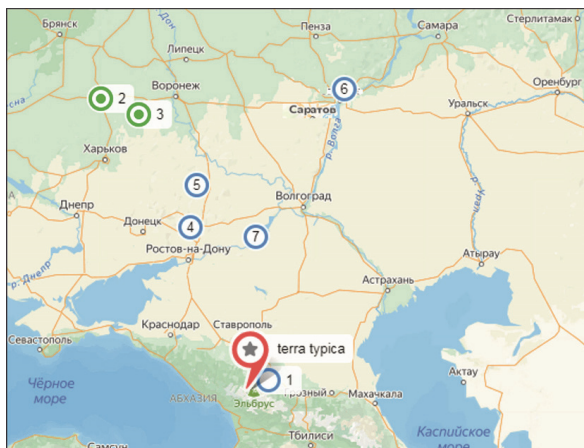


Рис. 1. Место отлова (№ 1) изученной нами кавказской популяции *Sicista strandi* из юго-западной периферии ареала вида и пункты сбора материала с Русской равнины (№ 2 – 7), использованного в сравнительном молекулярном анализе (сиквенс-анализ фрагмента гена *IRBP* ядерной ДНК). Отмеченные на карте номера соответствуют нумерации в табл. 1. Также на рис. 1 обозначено *terra typica* вида

Fig. 1. Capture site (no. 1) of the Caucasian population of *Sicista strandi* studied on the southwestern periphery of its range and the material collection points from the Russian Plain (nos 2–7) used in comparative molecular analysis (sequence analysis of a fragment of the *IRBP* gene of nuclear DNA). The numbers marked on the map correspond to the numbering in Table 1. Also, *terra typica* of the species is indicated in Figure 1

Географические координаты пунктов отлова собственных находок определяли с помощью GPS-навигатора Etrex Garmin (Garmin Ltd., США) с точностью до одной минуты или же использовали с той же точностью географические координаты пунктов отлова из литературных источников (Pisano et al., 2015; Rusin et al., 2018; Lebedev et al., 2019). Нанесение точек на карту (рис. 1) проводили с помощью компьютерных программ ArcGis (Esri, США). Цифрами обозначены номера точек, соответствующие нумерации в табл. 1.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты молекулярного анализа фрагмента первого экзона гена *IRBP* ядерной ДНК в выборке из юго-западной периферии ареала вида в горах Кавказа (окрестности кордона Экипцоко), определенной как *S. strandi* (Baskevich et al., 2020; наши данные), сравниваемой по данному молекулярному признаку с выборками из других пунктов области его распространения (см. табл. 1), показаны на рис. 2.

его предположительную динамику.

Для уточнения суточной активности популяции в регионе исследования канавки проверяли дважды в день: рано утром и поздним вечером.

Характер питания у мышей, изъятых из природы, изучали в самых общих чертах, путем вскрытия желудков и установления соотношения животных и растительных компонентов в их рационе. Характер питания в неволе исследовали эмпирическим путем, предлагая содержащимся в условиях вивария особям различный набор кормов и выявляя среди них предпочтительные.

Показателем обилия идентифицированного вида (кариоморфы) служила доля зверьков, выраженная в %, присутствующих в выборке.

Анализ географического распространения использованных в молекулярных сопоставлениях находок *S. strandi*.

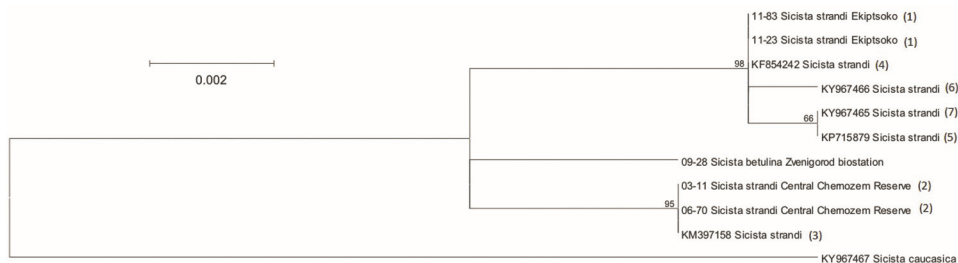


Рис. 2. ML-дендрограмма, построенная при сравнении нуклеотидных последовательностей фрагмента (897 п.н.) первого экзона ядерного гена *IRBP* в различных популяциях *Sicista strandi* с целью уточнения положения в системе вида популяции из окрестностей кордона Экипцоко (юго-западная периферия ареала вида в горах Кавказа). Цифрами в скобках показаны номера пунктов сбора использованных образцов *S. strandi*, соответствующие нумерации в табл. 1 и на рис. 1. В качестве группы сравнения и внешней группы использованы образцы *S. betulina* и *S. caucasica* соответственно (детали показаны в тексте). В узлах ветвления древа указаны значения бутстреп-поддержки, превышающие 65%

Fig. 2. ML-dendrogram constructed by comparing the nucleotide sequences of the fragment (897 bp) of the first exon of the nuclear gene *IRBP* in several *Sicista strandi* populations in order to clarify the position of the population from the vicinity of the Ekiptsoko cordon (southwestern periphery of the range in the Caucasus mountains) in the species' system. The numbers in brackets, corresponding to the numbering in Table 1 and Fig. 1, show the numbers of the collection points of the used *S. strandi* samples. Samples of *S. betulina* and *S. caucasica* (details shown in the text) were used as the comparison group and the outgroup, respectively. In the branch nodes of the tree, bootstrap support values (exceeding 65%) are indicated

Анализ представленных результатов дополняет полученные нами ранее данные, выявившие значительную дифференциацию между гаплотипами особей из окрестностей кордона Экипцоко и Курской области, т.е. между южной и северной группировками вида (Baskevich et al., 2020), поддерживая сведения о морфологических (Соколов и др., 1989) и хромосомных (Баскевич и др., 2005a) различиях выборок из Кавказского региона и Курской области. Представленные сравнительные молекулярные данные указывают на то, что область распространения южной группировки, куда входит Кавказская выборка из юго-западной периферии ареала вида (окрестности кордона Экипцоко), распространяется на территории бассейна Среднего и Нижнего Дона (Стрельцовская, Провальская степь в Луганской области, Цимлянские пески в Ростовской области) и Нижнего Поволжья (Воскресенский район Саратовской области) (Lebedev et al., 2019; наши данные), а ареал северной группировки охватывает две области Центрального Черноземья: Курскую и Белгородскую (Lebedev et al., 2019; Baskevich et al., 2020; наши данные) (см. рис. 1, 2; табл. 1). Результаты полученных молекулярных сопоставлений лишь отчасти согласуются с последними краниометрическими данными, поддерживающими близость выборок *S. strandi* с Кавказа и Приазовья, обособленных от таковых из Центрального Черноземья (Окулова, Баскевич, 2014). При этом обращает на себя внимание несогласованность молекулярных (*IRBP*) и морфологических (Баскевич, Опарин, 2000) данных в отношении принадлежности образцов из северо-

восточной части ареала вида в Саратовской области: по молекулярным результатам они относятся к так называемой южной группировке, тогда как по особенностям строения *glans penis* самцов от нее отличаются (Баскевич, Опарин, 2000).

Интерес представляет также близость исследованной нами популяции из юго-западной периферии ареала вида в горах Кавказа (Зольский район Кабардино-Балкарии, окрестности кордона Экипцоко) к *terra typica* вида, находящемся в сопредельном горном районе Карачаево-Черкессии (Formosov, 1931). Есть все основания полагать, принимая во внимание полученные нами и известные молекулярные (Lebedev et al., 2019; Baskevich et al., 2020; наши результаты), а также морфологические (Соколов и др., 1989, и др.) данные, что южная группировка (по-видимому, собственно форма *strandii*) охватывает и другие популяции с Кавказа и Предкавказья, проникая в Приазовье и, предположительно, в Нижнее Поволжье (хотя последнее обстоятельство еще следует уточнить).

В свете полученных сравнительных молекулярных данных особенности экологии и биологии исследованной нами кавказской популяции *S. strandii* из юго-западной периферии ареала рассматриваются в контексте дифференциации вида, выявленной на молекулярном уровне.

Биотопическая приуроченность. Отловы мелких млекопитающих проводили на кордоне Экипцоко на берегу р. Большой Экипцоко (правый приток р. Малки) в 6 км от ее устья вверх по течению. В этом географическом пункте левый берег представлен безлесной балкой с богатой лугостепной растительностью, состоящей преимущественно из злаков (лисохвост, овсяница и др.) и бобовых (горошки, клевера, чина луговая). Из кустарников очень редко встречался шиповник. Биотопы правого берега также представлены лугостепью, но луговое разнотравье на этих участках соседствует с кустарниковой растительностью и заброшенным яблоневым садом. Зверьки, отловленные живоловками, были приурочены в основном к лугостепи правобережья, а мышовки, добытые с помощью ловчих канавок, обитали на открытых участках лугостепи левого берега (табл. 2).

Таблица 2. Видовой состав грызунов и насекомоядных, добытых в окрестностях кордона Экипцоко (Зольский район Кабардино-Балкарии) в период с 18 по 27 июня 2011 г. с помощью ловчих линий (канавок, К) и живоловок (Ж)

Table 2. Species composition of rodents and insectivores collected in the vicinity of the Ekiptsoko cordon (Zol'sky district of Kabardino-Balkaria) from June 18 to 27, 2011 using trapping lines (grooves with installed cones, GC) and living traps (LT)

Видовая принадлежность особи / Species of an individual	Число отловленных зверьков / Number of animals caught	Способ добычи / Trapping method	Процентное соотношение вида в выборке, % / Percentage of the species in the sample, %
1	2	3	4
Мышовка Штранда <i>Sicista strandii</i> Formosov, 1931	10	К / GC	33.3
Алтайская полёвка <i>Microtus obscurus</i> Eversmann, 1841	1	К / GC	3.3
Кустарниковая полёвка <i>Microtus</i> (<i>Terricola</i>) <i>majori</i> Thomas, 1906	14	Ж / LT	46.7

Окончание табл. 2
Table 2. Continuation

1	2	3	4
Дагестанская полёвка <i>Microtus (Ter-ricola) daghestanicus</i> Shidlovsky, 1919	1	Ж / LT	3.3
Малая лесная мышь <i>Sylvaemus ura-lensis</i> Pallas, 1811	2	Ж / LT	6.7
Бурозубка Радде <i>Sorex raddei</i> Satunin, 1895	2	Ж / LT	6.7

Сходные (степные) ландшафты характерны и для генетически исследованных находок *S. strandi* из Ростовской и Луганской областей, также принадлежащих по молекулярным данным к южной группировке вида, тогда как генетически дифференцированные выборки из Центрального Черноземья (северная группа) приурочены к лесостепной зоне (граница дубравы и некосимой степи, граница осинника и некосимой степи или некосимая степь на Стрелецком и Казацком участках, некосимая степь в Баркаловке Центрально-Черноземного заповедника, балка Сура в Белогорье) (Баскевич и др., 2010; коллекции Зоомузея МГУ). При этом степь в лесостепной зоне Центрального Черноземья, относящаяся к северным лугостепям, отличается от изученной нами горной лугостепи на Кавказе по соотношению многолетних и однолетних растений, по степени проективного покрытия и задернения почвы (Мильков, 1977). Этот результат можно трактовать как дополнение к генетическим отличиям между южной и северной группировками вида и по данному экологическому признаку. Однако нельзя не отметить, что биотопическая приуроченность генетически идентифицированной выборки из лесостепи Правобережья Саратовской области (Славянка) не согласуется с вышеупомянутым предположением, напротив, поддерживая внутривидовую дифференциацию на морфологическом уровне (Баскевич, Опарин, 2000). Также следует напомнить, что пока не идентифицированные по молекулярным данным кавказские и предкавказские находки *S. strandi* известны не только из лугостепных участков лесолугостепного, но и из субальпийского пояса (Formosov, 1931), из пойменного леса в долине р. Камбилеевка в Северной Осетии (Соколов и др., 1989), из лесополос в Ставропольском крае (Даль, Чугунов, 1956).

Видовой состав мелких млекопитающих в регионе исследования и численность *Sicista strandi*. В сообществе мелких млекопитающих обследованного нами в конце июня – начале июля 2011 г. региона *S. strandi* занимала 2-е место по численности (при отловах канавками и живоловками), а при отловах только канавками этот вид доминировал среди добытых грызунов и насекомоядных (см. табл. 2). Численность мышовки Штранда на юго-западной периферии ареала вида, рассчитанная по конусо-суткам, составила величину, равную 4.74 на 100 конусо-суток (Юдин и др., 1979; Шефтель, 2018). Представленные результаты охватывают лишь небольшой временной интервал: конец июня – начало июля 2011 г., и по-видимому, демонстрируют высокую численность вида, связанную с гоном. Напомним, что у мышовок амплитуда колебаний численности изменяется в течение сезона, демонстрируя два пика численности, связанные с гоном и расселением

молодняка (Огнев, 1948; Шенброт и др., 1995). К сожалению, полученных нами данных недостаточно для оценки динамики численности *S. strandi* в регионе исследования и для проверки концепции Н. П. Наумова (1955) о менее устойчивом состоянии вида на периферии его ареала, ранее апробированной на других видах мышовок, и в частности, на периферической популяции (Карелия) вида-двойника мышовки Штранда, лесной мышовке *S. betulina* (Ивантер, 2021).

Суточная и сезонная активность. Все мышовки ($n = 10$), добытые нами на юго-западной горной периферии ареала вида (кордон Экипцоко) на территории Зольского района Кабардино-Балкарии, попались в ловушки в ночные часы и были вынуты из конусов при утренних проверках канавок. В целом, мышовка Штранда характеризуется ночной активностью. Этот факт подтверждают наши наблюдения за мышовкой Штранда в природе на юго-западной периферии ее ареала, а также собственные неопубликованные и литературные данные по другим регионам (Даль, Чугунов, 1956; Баскевич и др., 2010). Однако, по наблюдениям за содержащимися в неволе особями мышовки Штранда из Ставропольского края (Предкавказье) в конце лета они выходили из гнезда на поиски пищи в дневное время суток (Даль, Чугунов, 1956).

Возрастной и половой состав исследованной нами выборки мышовки Штранда, добытой в период с 18 по 27 июня 2011 г. на юго-западной горной периферии ареала вида в окрестностях кордона Экипцоко, Зольского района Кабардино-Балкарии, показан в табл. 3.

Таблица 3. Состав выборки *Sicista strandi* из окрестностей кордона Экипцоко (Зольский район Кабардино-Балкарии), добытой с помощью установленных в период с 18 по 27 июня 2011 г. ловчих канавок

Table 3. Composition of the *Sicista strandi* sample from the vicinity of the Ekiptsoko cordon (Zol'sky district of Kabardino-Balkaria) caught with the help of grooves with installed cones set from June 18 to 27, 2011

Дата отлова / Capture date	Полевой номер особи / Field number of the individual	Пол / Sex	Возраст / Age	Состояние половой системы самки / The state of the female sexual system	Состояние половой системы самца: размеры Testes (T) и vesicular seminalis (v.s.) / The state of the male sexual system: size of testes (T) and vesicular seminalis (v.s.)
1	2	3	4	5	6
19.06.2011	11-6	Самка / Female	Ad	Матка нитевидная / Thread-like uterus	–
21.06.2011	11-7	Самка / Female	Ad	Матка нитевидная / Thread-like uterus	–
21.06.2011	11-11	Самец / Male	Ad	–	T = 7×5, V.s. = 9×2
24.06.2011	11-15	Самка / Female	Ad	Беременность (1+4 Э, Ø = 2 мм) / Pregnancy (1 + 4 embryos /E/, diameter, Ø = 2 mm)	–
24.06.2011	11-17	Самец / Male	Ad	–	T = 7×5, Vesicular = 9

Окончание табл. 3
Table 3. Continuation

1	2	3	4	5	6
25.06.2011	11-23	Самец / Male	Ad	–	T = 6.5×4.5, V.s.=7
25.06.2011	11-24	Самка / Female	Ad	Матка набухшая / Swollen uterus	–
27.06.2011	11-28	Самка / Female	Ad	Матка набухшая / Swollen uterus	–
27.06.2011	11-76	Самец / Male	Ad	–	T = 5.8×4.0
27.06.2011	11-83	Самец / Male	Ad	–	T = 7×5, V.s. = 11

Очевидно, что изученная выборка представлена исключительно половозрелыми особями, из которых половину составляют самцы, а вторую половину самки. Молодняк в собранной в данный период времени выборке отсутствовал. Такой состав изученной выборки мышовки Штранда указывает на то, что с момента пробуждения вида в регионе исследования прошло более месяца, и в анализируемый период популяция находилась на начальной стадии растянутого периода размножения, некоторые показатели которого (см. следующий раздел) указывают на вероятность появления в потенциальных отловах молодняка не ранее начала августа с.г.

Особенности размножения. Самцы мышовки Штранда, отловленные на юго-западной горной периферии ареала вида в окрестностях кордона Экипцоко с 18 по 27 июня 2011 г. (открытый участок горной лугостепи), были в состоянии половой активности. В семенниках и их придатках обнаружено большое количество активных сперматозоидов. Размеры семенников (длина и ширина) варьировали от 7.0×5.0 до 5.8×4.0 мм (в среднем – 6.8×4.7 мм). Первая беременная самка с зачаточными эмбрионами попала в окрестностях кордона Экипцоко 24.06.2011 г. (см. табл. 3), тогда как две самки, отловленные ранее (19.06 и 21.06), имели нитевидные, а позднее (25.06 и 27.06) утолщенные матки (см. табл. 3). Анализ полового состава сборов по мышовке Штранда из региона исследования и оценка состояния половой системы у отловленных в июне 2011 г. особей *S. strandi* на территории кордона Экипцоко Зольского района Кабардино-Балкарии указывают на то, что гон у мышовки Штранда на юго-западной периферии ареала начинается не ранее конца мая – начала июня, а появления кормящих самок и таковых с плацентарными пятнами следовало бы ожидать в данной популяции в более поздний период времени 2011 г., в частности, в конце июля – начале августа. Следует отметить, что полученные нами ранее немногочисленные сведения о характере размножения у мышовки Штранда в других пунктах Кавказа и Предкавказья указывают на их вариабельность в зависимости от региона и года исследований. Так, например, в окрестностях с. Хаймаши в Кабардино-Балкарии (горная лесостепь) в отловах второй половины июня 1986 и 1987 гг. преобладали половозрелые самцы, а все самки были яловыми, т. е. гон, по-видимому, начинался позднее и, напротив, в окрестностях с. Тарское в Северной Осетии (пойменный лес) в конце июня (29.06) 1984 г. уже была обнаружена самка со следами недавнего размножения

(4 т. п.), а в окрестностях с. Сергиевка Ставропольского края (лесополоса) самка со следами недавнего размножения была отмечена 07.06.1988 г. Наиболее ранний (12 мая) достоверный случай беременности у мышовки Штранда был зарегистрирован в Каневском районе Краснодарского края (коллекция ЗИН РАН). В северной части ареала вида гон, по-видимому, начинается позднее. По меньшей мере, все самки, добытые в начале июня 1981, 1983, 2003 гг. на территории Центрально-Черноземного заповедника Курской области, были яловыми, а в Саратовской области (северо-восточная часть ареала вида) первая беременная самка с зачаточными эмбрионами была отмечена 3 июля 2005 г. (коллекция Зоологического музея МГУ). По-видимому, как и другие виды мышовок, *S. strandi* размножается 1 раз в году. Сведения о размере выводка у мышовки Штранда на юго-западной периферии ареала получены нами для единственной вышеупомянутой беременной самки, добытой в окрестностях кордона Экипцоко 24 июня 2011 г., в левом роге матки которой был обнаружен 1, а в правом – 4 эмбриона диаметром 2 мм. Полученные нами результаты о размере выводка у мышовки Штранда на юго-западной периферии ареала соответствуют фрагментарным сведениям по данному показателю (определен по числу эмбрионов или по количеству плацентарных пятен) для вида в северо-восточной части области его распространения: так, 5 эмбрионов диаметром 7 мм было выявлено у самки, отловленной 03.07.2005 г. в окрестностях с. Славянка Саратовской области (Зоологический музей МГУ), и несколько отличаются от таковых в южных популяциях вида, в которых число эмбрионов или плацентарных пятен у исследованных нами ранее самок колебалось от 4 (окрестности с. Безенги, Кабардино-Балкария; с. Тарское, Северная Осетия) до 6 (гора Зека, Северная Осетия; окрестности с. Сергиевка, Ставропольского края). Интересно, что в сборах начала – середины июня 2007 г., добытых на территории заповедника «Белогорье» (близкая к северной часть ареала вида, Зоологический музей МГУ, коллектор Ю. М. Ковальская), у одной самки со следами размножения было выявлено четыре (1/3), а у другой семь (3/4) плацентарных пятен. Очевидно, что фрагментарность накопленных на сегодня сведений о размере выводка у мышовки Штранда пока не позволяет выявить какие-либо закономерности в географической изменчивости данного показателя и его возможной корреляции со структурированностью вида, выявленной на основе использования генетических маркеров (Баскевич и др., 2015; Lebedev et al., 2019; Baskevich et al., 2020; наши данные).

Питание. Анализ содержимого желудков у шести особей мышовки Штранда с юго-западной периферии ареала вида, добытых во второй половине июня 2011 г. в лугостепи окрестностей кордона Экипцоко, указывает на смешанный характер питания этих зверьков в регионе исследования (табл. 4). При этом показано, что преобладающим компонентом содержимого желудков была животная пища, о чем свидетельствует доминирование хитина и хитиновых вкраплений в желудках, изъятых из природы мышовок (см. табл. 4).

По нашим наблюдениям в неволе ($n = 4$) излюбленными кормами особей *S. strandi* из данного географического пункта служили мучной червь, ягоды земляники, клубники, мякоть кисло-сладкого яблока, абрикоса, персика, зерна очищенного подсолнуха, геркулес, пшено, что характерно для содержащихся в неволе

МЫШОВКА ШТРАНДА *SICISTA STRANDI* (RODENTIA, DIPODOIDEA)

мышовок этого вида и из других популяций, а также для других видов мышовок (Даль, Чугунов, 1956; Айрапетьянц, 1969; Шенброт и др., 1995; Баскевич, Хляп, 2011; Ивантер, 2021 и др.), что указывает на утрату проявлявшихся ими в природе пищевых специализаций и приобретение в ходе содержания в неволе новой адаптивной пищевой стратегии.

Таблица 4. Анализ содержимого желудков в изъятый из природы выборке *Sicista strandi*, добытой в лугостепи окрестностей кордона Экипцоко (Зольский район Кабардино-Балкарии) за период с 18 по 27 июня 2011 г.

Table 4. Stomach content analysis in a sample of *Sicista strandi* withdrawn from nature in the meadow–steppe of the vicinity of the Ekiptsoko cordon (Zol'sky district of Kabardino-Balkaria) for the period from June 18 to 27, 2011

Дата отлова / Capture date	Полевой номер особи / Field number of the individual	Пол / Sex	Возраст / Age	Содержимое желудка / Stomach contents
19.06.2011	11-6	Самка / Female	Ad	Белая масса – 70%, зеленая масса – 30%; с повсеместным по всему желудку вкраплением хитина / White mass – 70%, green mass – 30%; with chitin interspersed throughout the stomach
21.06.2011	11-7	Самка / Female	Ad	Белая масса – 50%, хитин – 50% / White mass – 50%, chitin – 50%
21.06.2011	11-11	Самец / Male	Ad	Темно-зеленая масса с повсеместным включением хитина, составляющего основу содержимого желудка / Dark-green mass with ubiquitous inclusion of chitin, the basis of stomach contents
24.06.2011	11-15	Самка / Female	Ad	Темно-зеленая масса с хитином в основе / Dark-green mass with chitin at the base
25.06.2011	11-23	Самец / Male	Ad	Почти пустой желудок, в котором присутствует хитин и темная масса / An almost empty stomach in which chitin and dark mass are present
25.06.2011	11-24	Самка / Female	Ad	Темно-зеленая масса с хитином в основе: хитин – 70%, зелень – 30% / Dark-green mass with chitin at the base: chitin – 70%, greens – 30%

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые на основе исследования нуклеотидных последовательностей фрагмента гена *IRBP* ядерной ДНК в популяции *S. strandi* из юго-западной периферии ареала вида (горный Кавказ, окрестности кордона Экипцоко, Зольский район Кабардино-Балкарии, сопредельная территория с *terra typica* вида) и их сопоставления с молекулярными характеристиками у представителей вида из ряда пунктов Русской равнины изучено ее положение в структуре вида. Установлено, что по данному молекулярному признаку изученная кавказская популяция относится к южной группировке вида, охватывающей помимо Кавказа выборки из бассейнов Нижнего (Ростовская область) и Среднего Дона (Луганская область Украины) и предположительно из Нижнего Поволжья, и отличается от образцов из северных частей ареала вида в Центральном Черноземье (Курская, Белгородская область). В популяции *S. strandi* из юго-западной периферии ареала вида впервые исследован

ряд экологических и биологических характеристик (биотопическая приуроченность, состав популяции, численность, суточная, сезонная активность, размножение, питание), рассмотренные в сравнительном аспекте в связи с генетической дифференциацией вида. Между исследованной кавказской популяцией *S. strandi* и таковыми из северных частей ареала вида отмечены различия в биотопической приуроченности и сезонной активности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Айрапетьянц А. Э. К биологии лесной мышовки в Ленинградской области // Вопросы экологии и биоценологии. Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1969. Вып. 9. С. 115 – 124.
- Баскевич М. И. Кариология и систематика мышовок Кавказа и Предкавказья // Материалы V Всесоюзного совещания Териологического общества АН СССР. М.: АН СССР, 1990. С. 43.
- Баскевич М. И., Опарин М. Л. О новой находке мышовки Штранда *Sicista strandi* (Rodentia, Dipodoidea), уточняющей северо-восточную границу распространения вида // Зоологический журнал. 2000. Т. 79, вып. 9. С. 1133 – 1136.
- Баскевич М. И., Хляп Л. А. Хромосомные исследования в изучении видового разнообразия и особенностей биологии одноцветных мышовок (Rodentia, Dipodoidea, *Sicista*) Кавказа // Териофауна России и сопредельных территорий: международное совещание (IX съезд Териологического общества при РАН). М.: Товарищество научных изданий КМК, 2011. С. 44.
- Баскевич М. И., Окулова Н. М., Опарин М. Л., Власов А. А. Хромосомная и краниометрическая изменчивость у мышовки Штранда *Sicista strandi* (Rodentia, Dipodoidea) на Кавказе и Русской равнине // Млекопитающие горных территорий: материалы международной конференции / под ред. В. В. Рожнова, Ф. А. Темботовой. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2005а. С. 18 – 23.
- Баскевич М. И., Окулова Н. М., Потапов С. Г., Илларионова Н. А., Крысанов Е. Ю., Щипанов Н. А., Опарин М. Л., Власов А. А. К вопросу о диагностике и распространении видов-двойников мышовок (Rodentia, Dipodoidea, *Sicista*) на территории Русской равнины и Кавказа // Труды ЗИН РАН. 2005б. Т. 306. С. 22 – 40.
- Баскевич М. И., Сапельников С. Ф., Потапов С. Г., Власов А. А. О видах-двойниках мышовок (Rodentia, Dipodoidea, *Sicista*) в Курской области: диагностика, изменчивость, особенности биологии // Исследования по Красной книге Курской области. Курск: Центрально-Черноземный заповедник, 2010. Вып. 2. С. 3 – 7.
- Баскевич М. И., Потапов С. Г., Окулова Н. М., Хляп Л. А., Опарин М. Л., Шварц Е. А., Сапельников С. Ф., Малыгин В. М., Черепанова Е. В., Стахеев В. В. Структура вида у мышовок группы *betulina* (Rodentia, Dipodoidea, *Sicista*) фауны Восточной Европы в свете хромосомных, молекулярных и краниометрических данных // Структура вида у млекопитающих: материалы конференции. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2015. С. 15.
- Быстракова Н. В. Таксономическое и генетическое разнообразие мелких млекопитающих Среднего Поволжья: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2000. 24 с.
- Даль С. К., Чугунов Ю. Д. Лесная мышовка в Ставропольском крае (эколого-географический очерк) // Труды НИПЧИ Кавказа и Закавказья. 1956. Вып. 1. С. 354 – 371.
- Дзуев Р. И. Кариологические исследования мышовок (*Sicista*) Центрального Кавказа // Грызуны. Тезисы докладов VII Всесоюзного совещания / ред. С. Е. Раменский. Свердловск: УрО АН СССР, 1988. Т. 1. 70 – 71.
- Ивантер Э. В. К популяционной экологии лесной мышовки (*Sicista betulina* Pall.) на северном пределе ареала. Сообщение I. Численность, биотопическое размещение, суточная активность, питание // Принципы экологии. 2021. № 1. С. 18 – 29. <https://doi.org/10.15393/j1.art.2021.11642>

МЫШЬОВКА ШТРАНДА *SICISTA STRANDI* (RODENTIA, DIPODOIDEA)

- Мильков Ф. Н. Природные зоны СССР. М.: Мысль, 1977. 296 с.
- Наумов Н. П. Изучение подвижности и численности мелких млекопитающих с помощью ловчих канавок // Вопросы красной, общей и экспериментальной паразитологии и медицинской зоологии. М.: Медгиз, 1955. Т. 9. С. 179 – 202.
- Огнев С. И. Звери СССР и прилежащих стран. Грызуны. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1948. Т. 6. 559 с.
- Окулова Н. М., Баскевич М. И. Краниометрические исследования *Sicista strandi* (Rodentia, Dipodoidea) // Зоологические исследования регионов России и сопредельных территорий: материалы III Международной научной конференции / под ред. А. И. Дмитриева. Н. Новгород: Нижегородский государственный педагогический университет им. К. Минина, 2014. С. 320 – 325.
- Соколов В. Е., Ковальская Ю. М., Баскевич М. И. О видовой самостоятельности мышовки Штранда *S. strandi* Formosov (Rodentia, Dipodoidea) // Зоологический журнал. 1989. Т. 68, вып. 10. С. 95 – 106.
- Шенброт Г. И., Соколов В. Е., Гептнер В. Г., Ковальская Ю. М. Тушканчикиообразные. Млекопитающие России и сопредельных регионов. М.: Наука, 1995. 573 с.
- Шефтель Б. И. Методы учета численности мелких млекопитающих // Russian Journal of Ecosystem Ecology. 2018. Vol. 3, iss. 3. P. 1 – 21.
- Юдин Б. С., Галкина Л. И., Потапкина А. Ф. Млекопитающие Алтае-Саянской горной страны. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1979. 296 с.
- Baskevich M. I., Bogdanov A. S., Khlyap L. A., Malygin V. M., Oparin M. L., Sapelnikov S. F., Shefiel B. I. Phylogeny and differentiation of sibling-species *Sicista* of the group *Betulina* (Rodentia, Dipodoidea): Results of analysis of a fragment of the *IRBP* gene of nuclear DNA variability // Biology Bulletin. 2020. Vol. 47, iss. 5. P. 482 – 489. <https://doi.org/10.1134/S1062359018050047>
- Bogdanov A. S., Khlyap L. A., Kefelioğlu H., Selçuk A. Y., Stakheev V. V., Baskevich M. I. High molecular variability in three pine vole species of the subgenus *Terricola* (*Microtus*, Arvicolinae) and plausible source of polymorphism // Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research. 2021. Vol. 59, iss. 8. P. 2519 – 2538. <https://doi.org/10.1111/jzs.12539>
- Cserkés Z., Aczél-Fridrich Z., Hegyeli Z., Sugár S., Czabán D., Horváth O., Sramkó G. Rediscovery of the Hungarian birch mouse (*Sicista subtilis trizona*) in Transylvania (Romania) with molecular characterisation of its phylogenetic affinities // Mammalia. 2015. Vol. 79, iss. 2. P. 215 – 224.
- Cserkés Z., Rusin M., Shramko G. An integrative systematic revision of the European Southern birch mice (Rodentia, Sminthidae, *Sicista subtilis* group) // Mammal Review. 2016. Vol. 46, iss. 2. P. 114 – 130. <https://doi.org/10.1111/mam.12058>
- Formosov A. N. Notizen über Nager des Westlichen Kaukasus mit Beschreibungen zweier Formen // Folia Zoologica et Hydrobiologica. 1931. Bd. 3, № 1. S. 79 – 84.
- Lebedev V. S., Rusin M. Y., Zemlemerova E. D., Matrosova V. A., Bannikova A. A., Kovalskaya Yu. M., Tesakov A. S. Phylogeny and evolutionary history of birch mice *Sicista* Griffith, 1827 (Sminthidae, Rodentia): Implications from a multigene study // Journal Zoological Systematics and Evolutionary Research. 2019. Vol. 57, iss. 3. P. 695 – 709. <https://doi.org/10.1111/jzs.12279>
- Pisano J., Condamine F. I., Lebedev V., Bannikova A., Quere J.-P., Shenbrot G. I., Pages M., Michaux J. R. Out of Hymalaya: The impact of past Asian environmental changes on the evolutionary and biographical history of Dipodoidea (Rodentia) // Journal of Biogeography. 2015. Vol. 42, iss. 5. P. 856 – 870. <https://doi.org/10.1111/jbi.12476>
- Pucek Z. Family Zapodidae // Handbuch der Säugetiere Europas. Weisbaden: Academic Verlag, 1982. Bd. 2/1. S. 497 – 538.
- Rusin M., Lebedev V., Matrosova V., Zemlemerova E., Lopatina N., Bannikova A. Hidden diversity in the Caucasian mountains: An example of birch mice (Rodentia, Sminthidae, *Sicista*) //

Hystrix the Italian Journal of Mammalogy. 2018. Vol. 29, iss. 1. P. 61 – 66.
<https://doi.org/10.4404/hystrix-00050-2018>

Sambrook J., Fritsch E. F., Maniatis T. Molecular Cloning: A Laboratory Manual. New York: Cold Spring Harbor Laboratory Press, 1989. 398 p.

Tamura K., Stecher G., Peterson D., Filipowski A., Kumar S. MEGA6: Molecular Evolutionary Genetics Analysis version 6.0 // Molecular Biology and Evolution. 2013. Vol. 30, iss. 12. P. 2725 – 2729. <https://doi.org/10.1093/molbev/mst197>

**Strand's mouse *Sicista strandi* (Rodentia, Dipodoidea)
on the southwestern periphery of its range:
Genetic and environmental aspects**

M. I. Baskevich ^{1✉}, L. A. Khlyap ¹, A. S. Bogdanov ²

¹ A. N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences
33 Leninsky Pros., Moscow 119071, Russia

² Koltzov Institute of Developmental Biology, Russian Academy of Sciences
26 Vavilova St., Moscow 119334, Russia

Received: June 22, 2023 / revised: July 3, 2023 / accepted: July 14, 2023 / published: December 12, 2023

Abstract. The position of the *Sicista strandi* population from the southwestern periphery of its range (the mountainous Caucasus, the vicinity of the Ekiptsoko cordon, Zol'sky district of Kabardino-Balkaria, the adjacent territory with *terra typica* of the species) in the species structure was investigated on the basis of a comparative analysis of the nucleotide sequences of a fragment of the gene of nuclear DNA in this population and in representatives of the species from a number of localities from the Russian Plain for the first time. It was established that according to this molecular feature, the studied Caucasian population belongs to the southern grouping of the species, covering, in addition to the Caucasus, samples from the basins of the Lower (Rostov region) and Middle Don (Lugansk region) and presumably from the Lower Volga region, and differs from samples from the northern parts of the range in the Central Chernozem Zone (Kursk and Belgorod region). In the *S. strandi* population from the southwestern periphery of the range, a number of environmental and biological characteristics (biotopic confinement, population composition, abundance, diurnal, seasonal activity, reproduction, and nutrition) considered in a comparative aspect in connection with the genetic differentiation of the species were studied for the first time.

Keywords: *Sicista strandi*, population, molecular (IRBP), ecological and biological features, Korodon Ekiptsoko, Caucasus

Funding. This work was performed within the framework of the state assignment of the A. N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences (Project no. FFER-2021-0003) and Koltzov Institute of Developmental Biology, Russian Academy of Science (Project № 0088-2021-0019).

Ethics approval and consent to participate. All applicable international, national, and/or institutional guidelines for the care and use of animals were followed.

Competing interests: The authors have declared that no competing interests exist.

For citation: Baskevich M. I., Khlyap L. A., Bogdanov A. S. Strand's mouse *Sicista strandi* (Rodentia, Dipodoidea) on the southwestern periphery of its range: Genetic and environmental aspects. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2023, no. 4, pp. 385–403 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-4-385-403>

✉ *Corresponding author.* Laboratory of Mammalian Microevolution, A. N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences, Russia.

ORCID and e-mail addresses: Marina I. Baskevich: <https://orcid.org/0000-0003-0632-4949>, mbaskevich@mail.ru; Liudmila A. Khlyap: <https://orcid.org/0000-0001-7698-5887>, khlyap@mail.ru; Alexey S. Bogdanov: <https://orcid.org/0000-0002-2106-3989>, bogdalst@yahoo.com.

REFERENCES

- Ayrapetyants A. E. Toward the biology of the northern birch mouse in the Leningrad region. *Problems of Ecology and Biocenology*. Leningrad, Leningrad State University Publ., 1969, iss. 9, pp. 115–124 (in Russian).
- Baskevich M. I. Cariology and systematics of mice of the Caucasus and Pied Caucasus. *Materials of the V All-Union Meeting of the Teriological Society of the USSR Academy of Sciences*. Moscow, USSR Academy of Sciences, 1990, pp. 43 (in Russian).
- Baskevich M. I., Oparin M. L. On new finding of the birch mouse *Sicista strandi* (Rodentia, Dipodoidea) specifying the northeastern boundary of the species range. *Zoologicheskii zhurnal*, 2000, vol. 79, iss. 9, pp. 1133–1136 (in Russian).
- Baskevich M. I., Khlyap L. A. Chromosomal studies in the study of species diversity and peculiarities of biology of monochrome mousers (Rodentia, Dipodoidea, *Sicista*) of the Caucasus. *International Conference "Theriofauna of Russia and adjacent territories" (X Congress of Russian Teriological Society RAS)*. Moscow, KMK Scientific Press Ltd., 2011, pp. 44 (in Russian).
- Baskevich M. I., Okulova N. M., Oparin M. L., Vlasov A. A. Chromosomal and craniometric variability in *Sicista strandi* (Rodentia, Dipodoidea) from the Caucasus and Russian plain. In: V. V. Rozhnov, F. A. Tembotova, eds. *Mammals of Mountain Territories: Materials of the International Conference*. Moscow, KMK Scientific Press, 2005a, pp. 18–23 (in Russian).
- Baskevich M. I., Okulova N. M., Potapov S. G., Illarionova N. A., Krysanov E. Yu., Shchipanov N. A., Oparin M. L., Vlasov A. A. On the diagnostics and distribution of sibling species of *Sicista* (Rodentia, Dipodoidea) on the territory of Russian plain and Caucasus. *Proceedings of the Zoological Institute RAS*, 2005b, vol. 306, pp. 22–40 (in Russian).
- Baskevich M. I., Sapelnikov S. F., Potapov S. G., Vlasov A. A. On the twin species of the mouse (Rodentia, Dipodoidea, *Sicista*) in the Kursk region: Diagnosis, variability, peculiarities of biology. *Issledovaniya po Krasnoi knige Kurskoi oblasti* [Studies on the Red Data Book of the Kursk Region]. Kursk, Central Tsernozemy Nature Reserve, 2010, iss. 2, pp. 3–7 (in Russian).
- Baskevich M. I., Potapov S. G., Okulova N. M., Khlyap L. A., Oparin M. L., Shvarts E. A., Sapelnikov S. F., Malygin V. M., Cherepanova E. V., Stakheev V. V. Species structure in mice of the betulina group (Rodentia, Dipodoidea, *Sicista*) of the fauna of Eastern Europe in the light of chromosomal, molecular and craniometric data In: *The Structure of Mammalian Species. Materials of the Scientific Conference*. Moscow, KMK Scientific Press, 2015, pp. 15 (in Russian).
- Bystrakova N. V. *Taxonomic and genetic diversity of small mammals of the Middle Volga Region*. Thesis Diss. Cand. Sci. (Biol.). Moscow, 2000. 24 p. (in Russian).
- Dahl S. K., Chugunov Y. D. Forest mouser in Stavropol Krai (ecological and geographical sketch). *Proceedings of the Research Anti-Plague Institute of the Caucasus and Transcaucasia*, 1956, iss. 1, pp. 354–371 (in Russian).
- Dzuev R. I. Karyological studies of mice (*Sicista*) of the Central Caucasus. In: *Gryzuny. Tezisy dokladov VII Vsesoiuznogo soveshchaniia. Red. S. E. Ramenskii* [S. E. Ramensky, ed. Rodents. Theses of Reports of the VII All-Union Meeting]. Sverdlovsk, Ural Branch of the Academy of Sciences of the USSR, 1988, vol. 1, pp. 70–71 (in Russian).
- Ivanter E. V. To the population ecology of the birch mouse (*Sicista betulina* Pall.) at the northern limit of the range. Report I. Abundance, biotopic disposal, daily activity, nutrition. *Principy ekologii*, 2021, no. 1, pp. 18–29 (in Russian). <https://doi.org/10.15393/j1.art.2021.11642>
- Milkov F. N. *Prirodnye zony SSSR* [Natural Zones of the USSR]. Moscow, Mysl', 1977. 296 p. (in Russian).
- Naumov N. P. Study of mobility and number of small mammals with the help of trapping grooves. *Voprosy kraevoi, obshchei i eksperimental'noi parazitologii i meditsinskoi zoologii* [Issues of Regional, General and Experimental Parasitology and Medical Zoology]. Moscow, Medgiz, 1955, vol. 9, pp. 179–202 (in Russian).

Ognev S. I. *Zveri SSSR i prilozhashchikh stran. Gryzuny* [Mammals of USSR and Adjacent Countries: Rodents]. Moscow, Izdatel'stvo AN SSSR, 1948, vol. 6. 559 p. (in Russian).

Okulova N. M., Baskevich M. I. Craniometric studies of *Sicista strandi* (Rodentia, Dipodoidea). In: A. I. Dmitriev, ed. *Zoological Researches Regions of Russia and Environmental Terrains: Materials of III the International Scientific Conference*. Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod State Pedagogical University named after K. Minin Publ., 2014, pp. 320–325 (in Russian).

Sokolov V. E., Koavalskaya Yu. M., Baskevich M. I. On species status of northern birch mice *Sicista strandi* Formosov (Rodentia, Dipodoidea). *Zoologicheskii zhurnal*, 1989, vol. 68, iss. 10, pp. 95–106 (in Russian).

Shenbrot G. I., Sokolov V. E., Geptner V. G., Kovalskaya Yu. M. *Dipodoidae. Mammals of Russia Andadjacent Regions*. Moscow, Nauka, 1995. 573 p. (in Russian).

Sheftel B. I. Methods for estimating the abundance of small mammals. *Russian Journal of Ecosystem Ecology*, 2018, vol. 3, iss. 3, pp. 1–21 (in Russian).

Yudin B. S., Galkina L. I., Potapkina A. F. *Mlekopitaiushchie Altae-Saianskoi gornoi strany* [Mammals of the Altai-Sayan Mountainous Country]. Novosibirsk, Nauka, 1979. 296 p. (in Russian).

Baskevich M. I., Bogdanov A. S., Khlyap L. A., Malygin V. M., Oparin M. L., Sapelnikov S. F., Sheftel B. I. Phylogeny and differentiation of sibling-species *Sicista* of the group Betulina (Rodentia, Dipodoidea): Results of analysis of a fragment of the *IRBP* gene of nuclear DNA variability. *Biology Bulletin*, 2020, vol. 47, iss. 5, pp. 482–489. <https://doi.org/10.1134/S1062359018050047>

Bogdanov A. S., Khlyap L. A., Kefelioğlu H., Selçuk A. Y., Stakheev V. V., Baskevich M. I. High molecular variability in three pine vole species of the subgenus *Terricola* (*Microtus*, Arvicolinae) and plausible source of polymorphism. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*, 2021, vol. 59, iss. 8, pp. 2519–2538. <https://doi.org/10.1111/jzs.12539>

Cserkés Z., Aczél-Fridrich Z., Hegyeli Z., Sugár S., Czabán D., Horváth O., Sramkó G. Rediscovery of the Hungarian birch mouse (*Sicista subtilis trizona*) in Transylvania (Romania) with molecular characterisation of its phylogenetic affinities. *Mammalia*, 2015, vol. 79, iss. 2, pp. 215–224.

Cserkés Z., Rusin M., Shramko G. An integrative systematic revision of the European Southern birch mice (Rodentia, Sminthidae, *Sicista subtilis* group). *Mammal Review*, 2016, vol. 46, iss. 2, pp. 114–130. <https://doi.org/10.1111/mam.12058>

Formosov A. N. Notizen über Nager des Westlichen Kaukasus mit Beschreibungen zweier Formen. *Folia Zoologica et Hydrobiologica*, 1931, Bd. 3, no. 1, S. 79–84.

Lebedev V. S., Rusin M. Y., Zemlemerova E. D., Matrosova V. A., Bannikova A. A., Kovalskaya Yu. M., Tesakov A. S. Phylogeny and evolutionary history of birch mice *Sicista* Griffith, 1827 (Sminthidae, Rodentia): Implications from a multigene study. *Journal Zoological Systematics and Evolutionary Research*, 2019, vol. 57, iss. 3, pp. 695–709. <https://doi.org/10.1111/jzs.12279>

Pisano J., Condamine F. I., Lebedev V., Bannikova A., Quere J.-P., Shenbrot G. I., Pages M., Michaux J. R. Out of Himalaya: The impact of past Asian environmental changes on the evolutionary and biographical history of Dipodoidea (Rodentia). *Journal of Biogeography*, 2015, vol. 42, iss. 5, pp. 856–870. <https://doi.org/10.1111/jbi.12476>

Pucek Z. Family Zapodidae. In: *Handbuch der Säugetiere Europas*. Weisbaden, Academic Verlag, 1982, Bd. 2/1, S. 497–538.

Rusin M., Lebedev V., Matrosova V., Zemlemerova E., Lopatina N., Bannikova A. Hidden diversity in the Caucasian mountains: An example of birch mice (Rodentia, Sminthidae, *Sicista*). *Hystrix the Italian Journal of Mammalogy*, 2018, vol. 29, iss. 1, pp. 61–66. <https://doi.org/10.4404/hystrix-00050-2018>

Sambrook J., Fritsch E. F., Maniatis T. *Molecular Cloning: A Laboratory Manual*. New York, Cold Spring Harbor Laboratory Press, 1989. 398 p.

Tamura K., Stecher G., Peterson D., Filipski A., Kumar S. MEGA6: Molecular Evolutionary Genetics Analysis version 6.0. *Molecular Biology and Evolution*, 2013, vol. 30, iss. 12, pp. 2725–2729. <https://doi.org/10.1093/molbev/mst197>

Оригинальная статья

УДК 574.583+574.21+574.34+574.633

<https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-4-404-419>

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАЗВИТИЯ ФИТОПЛАНКТОНА И КАЧЕСТВА ВОДЫ ЧУДСКО-ПСКОВСКОГО ОЗЕРА В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Т. В. Дрозденко ^{1✉}, М. В. Медянкина ², Т. К. Антал ¹

¹ Псковский государственный университет

Россия, 180000, г. Псков, пл. Ленина, д. 2

² Московский государственный университет технологий и управления

им. К. Г. Разумовского

Россия, 109004, г. Москва, ул. Земляной вал, д. 73

Поступила в редакцию 07.09.2023 г., после доработки 11.10.2023 г., принята 12.10.2023 г., опубликована 12.12.2023 г.

Аннотация. В настоящее время остро стоит проблема загрязнения гидросферы, следствием которого является падение устойчивости экосистем, разрушение сигнальных связей биоценозов, нарушение пищевых пирамид. В данной работе представлены результаты мониторинга современного состояния фитопланктонных сообществ и качества воды Чудско-Псковского озера – крупного трансграничного водоема, расположенного на северо-западе Псковской области. За вегетационный период 2022 г. в озере выявлен 221 таксон фитопланктона рангом ниже рода из 8 отделов. Средняя численность фитопланктона за все время исследования составляла 11.6 млн кл./л, средняя биомасса – 1.6 г/м³. Проведен эколого-географический анализ, согласно которому в озере преобладали широко распространенные пресноводные планктонные формы микроводорослей, предпочитающие стояче-текущие слабощелочные воды. Согласно индексу Сьеренсена – Чекановского степень общности видового состава планктонных альгоцианофлор Псковского и Чудского озер составляла 73.2%. Сапробиологический анализ показал, что воды исследуемой акватории в 2022 г. отнесли к слабо загрязненным, II классу качества чистоты вод.

Ключевые слова: экологический мониторинг, биоиндикация, фитопланктон, численность, биомасса, сапробиальность, Чудско-Псковское озеро

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 23-24-00353) и частичной финансовой поддержке Псковского государственного университета (проект «Экологический мониторинг дельты реки Великой по структуре и физиологической активности фитопланктона и показателям качества воды»).

Соблюдение этических норм. В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

✉ Для корреспонденции. Лаборатория комплексных экологических исследований Псковского государственного университета.

ORCID и e-mail адреса: Дрозденко Татьяна Викторовна: <https://orcid.org/0000-0002-5553-2296>, tboichuk@mail.ru; Медянкина Мария Владимировна: <https://orcid.org/0000-0002-9195-0399>, 79263841762@yandex.ru; Антал Тарас Корнелиевич: <https://orcid.org/0000-0002-9690-8034>, taras_an@mail.ru.

Для цитирования. Дрозденко Т. В., Медянкина М. В., Антал Т. К. Оценка показателей развития фитопланктона и качества воды Чудско-Псковского озера в современных условиях // Поволжский экологический журнал. 2023. № 4. С. 404 – 419. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-4-404-419>

ВВЕДЕНИЕ

Чудско-Псковское озеро расположено на границе между Эстонией и Псковской и Ленинградской областями России, является четвертым по площади после Ладожского, Онежского и озера Венерн (Швеция) и пятым по объему в Европе. Водоем состоит из различающихся по гидрологическим и гидрохимическим характеристикам, а также по трофическому уровню и составу гидробионтов частей: Чудского озера (площадь 2613 км²), Псковского озера (709 км²) и соединяющего их Теплого озера (236 км²) (Псковско-Чудское озеро, 2022). Площадь водного зеркала озера при среднем уровне воды составляет 3555 км², объем – 25 км³, средняя глубина – 7.1 м, наибольшая – 15.3 м. Чудско-Псковское озеро является нестратифицированным эвтрофным озером. Вода, особенно в южной части озера, очень богата биогенными веществами. Водоем отличается уникально высокой для озер умеренной зоны промысловой рыбопродуктивностью (30 – 40 кг/га). В озере водятся более 30 видов рыб. Макрофиты занимают 5 – 8% всей акватории (Псковско-Чудское озеро, 2012).

В настоящее время Чудско-Псковское озеро испытывает значительную антропогенную нагрузку, связанную со сбросом сточных вод на водосборе, а также за счет сельскохозяйственных объектов (Фрумин, Малышева, 2020). В результате развития промышленности на водосборе озеро подвергается значительному загрязнению тяжелыми металлами и детергентами (Румянцев и др., 2015).

В последние годы увеличились темпы эвтрофикации в Псковско-Чудском водоеме (Ястремский, 2016). Причиной этому является повышение содержания фосфора в акватории, а также изменение соотношения фосфора и азота, что влечет за собой «цветение», зарастание высшей водной растительностью, кислородное голодание и заморы рыбы (Псковско-Чудское озеро, 2022).

Среди организмов, населяющих водную среду, фитопланктону отводится особое значение как компоненту водных экосистем, активно участвующему в формировании качества воды. Планктонные водоросли являются первичным звеном в трофических цепях и быстро реагируют на любые изменения водной среды, изменяя свои структурные показатели. Индикаторные свойства фитопланктона определяются не только фактом нахождения или отсутствия определенных видов, но и степенью их количественного развития. Поэтому изучение таких структурных показателей, как видовой состав, численность и биомасса водорослей в водоеме имеют большое практическое значение (Дрозденко, Антал, 2021; Дрозденко, Волгушева, 2021; Дрозденко и др., 2022; Jakhar, 2013; Machado et al., 2023).

Сезонная динамика фитопланктона связана со сменой абиотических условий в годовом цикле, а также колебаниями гидрохимических показателей (Трифоновна, 1990). Изучая качественный и количественный состав фитопланктона водоема, можно установить основные изменения, происходящие в нем в течение биологи-

ческих сезонов года, а также проследивать многолетнюю динамику водной экосистемы, обусловленную климатическими изменениями и антропогенной нагрузкой.

Целью статьи стало исследование параметров развития фитопланктона и оценка качества воды Чудско-Псковского озера в 2022 году.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования в Чудско-Псковском озере проводили в вегетационный период 2022 г. Гидробиологические пробы отбирали общепринятым способом 2-литровым батометром Паталаса на всем водном столбе 11 постоянных станций (Садчиков, 2003; ГОСТ 31861-2012, 2014) (рис. 1). Параллельно измерялись температура и pH воды в поверхностном (0.5 м) и придонном горизонтах.

Камеральная обработка проб фитопланктона осуществлялась общепринятым способом (Садчиков, 2003). Полученные пробы объемом 450 – 500 мл концентрировались осадочным методом до 10 мл с помощью сифона, затянутого несколькими слоями мельничного газа № 76.

Идентификация микроводорослей производилась в камере Нажотта (0.05 мл) с помощью микроскопа Carl Zeiss Axio Lab. A1 (Carl Zeiss, Германия), используя определители, указанные ранее (Дрозденко, Антал, 2021).

При выделении видовых таксонов водорослей придерживались системы международного сайта AlgaeBase (Guiry, Guiry, 2022).

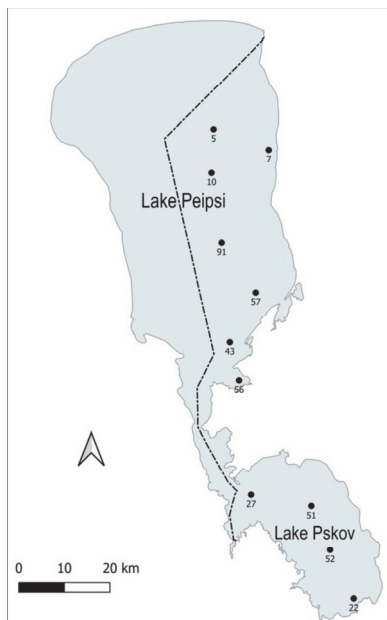


Рис. 1. Постоянные станции мониторинга в Чудско-Псковском озере

Fig. 1. Permanent monitoring stations in the Peipus-Pskov Lake

Для количественного анализа фитопланктона использовалась камера Нажотта объемом 0.05 см³. Пересчет клеток на литр производился по формуле (Садчиков, 2003):

$$N = K \times n \times \left(\frac{A}{a} \right) \times \left(\frac{1000}{V} \right),$$

где N – количество организмов в 1 л воды исследуемого водоема; K – коэффициент, показывающий во сколько раз объем счетной камеры меньше 1 см³; n – количество организмов, обнаруженных на просмотренных полосах счетной камеры; A – количество полос; a – количество полос, на которых производился подсчет водорослей; V – первоначальный объем отобранной пробы, см³; v – объем сгущенной пробы, см³.

Доминирующими видами считались микроводоросли, численность которых была больше 10% от общего количества фитопланктона.

Биомасса фитопланктона определялась методом подобия геометрических фигур (Радченко и др., 2010).

Анализ сходства таксономического состава фитопланктонных сообществ проводился с

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАЗВИТИЯ ФИТОПЛАНКТОНА И КАЧЕСТВА ВОДЫ

использованием индекса Сьеренсена – Чекановского, который рассчитывался по формуле:

$$K_{ч-с} = \frac{2c}{a+b},$$

где a – число видов в одной альгоцианофлоре; b – число видов в другой альгоцианофлоре; c – число видов, общих для двух альгоцианофлор (Шмидт, 1980).

Для сапробиологического анализа использовался метод Пантле – Букк в модификации Сладечека (Sládeček, 1973):

$$S = \frac{\Sigma(s \times h)}{\Sigma h},$$

где S – индекс сапробности обследуемой станции; s – индикаторная значимость каждого вида, определяемая по специальным спискам сапробности; h – относительное значение обилия видов.

Для выделения экологических групп и уточнения эколого-географических характеристик водорослей использовались определители и данные из монографий (Барина и др., 2006; Судницына, 2012). При установлении класса качества воды озера использовалось руководство РД 52.24.309-2011 (2011).

Подготовительную 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

За вегетационный период 2022 г. температура воды в Псковском озере в поверхностном и придонном горизонтах была выше, чем в Чудском (табл. 1). Кислотность воды во все сезоны была слабощелочной с наиболее высокими значениями в летний период.

Таблица 1. Средние значения температуры и pH воды Чудско-Псковского озера, 2022 г.
Table 1. Average values of temperature and pH of the water in the Peipus-Pskov Lake, 2022

Показатель / Parameter	Псковское озеро / Pskov Lake		Чудское озеро / Peipsi Lake	
	Поверхность / Surface	Дно / Bottom	Поверхность / Surface	Дно / Bottom
Май / May				
$t, ^\circ\text{C}$	13.25±0.31	13.00±0.14	12.90±1.44	11.60±0.42
pH	8.47±0.22	8.49±0.20	8.49±0.07	8.32±0.10
Август / August				
$t, ^\circ\text{C}$	24.00±1.20	23.25±0.47	23.17±0.76	21.68±0.41
pH	9.29±0.37	9.12±0.27	8.82±0.22	8.43±0.12
Октябрь / October				
$t, ^\circ\text{C}$	10.23±0.29	10.00±0.24	7.60±0.51	7.52±0.53
pH	8.15±0.09	8.11±0.08	8.41±0.09	8.39±0.12

Качественный состав фитопланктона. За весь период исследований в акватории Чудско-Псковского озера был идентифицирован 221 видовой и внутривидовой таксон фитопланктона из 8 отделов: Bacillariophyta, Chlorophyta, Cyano-bacteria, Ochrophyta, Charophyta, Miozoa, Cryptophyta, Euglenozoa (рис. 2).

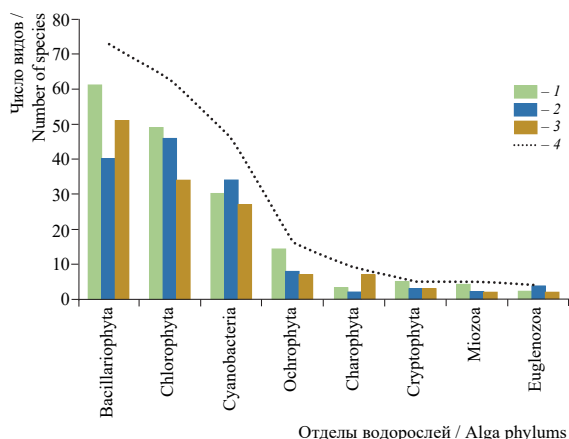


Рис. 2. Соотношение отделов микроводорослей в альгоцианофлоре Чудско-Псковского озера за вегетационный период 2022 г.: 1 – май, 2 – август, 3 – октябрь, 4 – всего видов

Fig. 2. Ratio of microalgae divisions in the algal flora of the Peipus-Pskov Lake for the 2022 growing season: 1 – May, 2 – August, 3 – October, 4 – total of the species

дился отдел Cyanobacteria, содержащий 20.8% видов (см. рис. 2). Больше всего видов было у родов *Aphanocapsa* Nägeli и *Microcystis* Kuetzing ex Lemmermann (по 5).

В Псковском озере за весь период исследования выявлено 168 видовых таксонов фитопланктона, в Чудском – 183. Планктонная альгоцианофлора в обеих акваториях характеризовалась как диатомово-хлорофитово-цианобактериальная. Согласно индексу Сьеренсена – Чекановского степень общности видового состава фитопланктонных сообществ Псковского и Чудского озер была средней и составляла 51.9%. Общим для обеих акваторий являлся 91 видовой таксон фитопланктона.

Число видовых таксонов фитопланктона в зависимости от станции и сезона исследования изменялось от 37 до 88.

В мае было зарегистрировано 168 таксонов микроводорослей рангом ниже рода (в Псковском озере – 128, в Чудском – 137) из 8 отделов (см. рис. 2). Количество видовых таксонов изменялось от 51 (ст. 7) до 88 (ст. 22). Согласно индексу Сьеренсена – Чекановского степень общности видового состава планктонных альгоцианофлор Псковского и Чудского озер была достаточно высокой и составляла 73.2%. Общими для обеих акваторий являлись 97 видовых таксонов фитопланктона.

Флористический комплекс весенней альгоцианофлоры составляли отдел Bacillariophyta, содержащий 61 видовой таксон (36.3% от общего количества видов), Chlorophyta – 49 видов (29.2%) и Cyanobacteria – 30 видов (17.9%). Наиболее представительными родами диатомовых водорослей были *Aulacoseira* (7 видов), *Fragilaria* (6), *Navicula* (5) и *Nitzschia* (4), зеленых – род *Desmodesmus* (7), цианобактерий – *Aphanocapsa* (4) и *Microcystis* (5 видов).

По представленности видами доминировал отдел Bacillariophyta, содержащий 33.0% видовых таксонов микроводорослей от общего видового богатства. Наиболее насыщенными родами были *Aulacoseira* Thwaites и *Navicula* Bory (по 7 видов), *Fragilaria* Lyngbye (6 видов) и *Nitzschia* Hassall (5 видов).

На втором месте располагался отдел Chlorophyta, включающий 28.5% видовых таксонов микроводорослей. Больше всего представителей содержали роды *Desmodesmus* (Chodat) An, Friedl & Hegewald (7 видов) и *Monoraphidium* Komarkova-Legnerova (4 вида).

На третьем месте по количеству видовых таксонов нахо-

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАЗВИТИЯ ФИТОПЛАНКТОНА И КАЧЕСТВА ВОДЫ

На представителей охрофитовых водорослей приходилось 8.3% от общего числа видовых таксонов, на криптофитовых – 3.0%. Микроводоросли остальных отделов заметный вклад в видовое разнообразие альгоцианофлоры не вносили (см. рис. 2).

В августе на всей акватории обнаружено 139 видовых и внутривидовых таксонов фитопланктона (в Псковском озере – 106, в Чудском – 120) из 8 отделов (см. рис. 2). Количество видовых таксонов варьировало от 37 (ст. 5) до 72 (ст. 56). Степень сходства видового состава планктонных альгоцианофлор Псковского и Чудского озер была высокой и составляла 81.4% (92 общих видовых таксона).

Доминировал по видовому богатству отдел Chlorophyta, представленный 46 видовыми таксонами микроводорослей (33.1% от общего числа видов). Далее следовали отделы Bacillariophyta, содержащий 40 видов (около 28.8%), и Cyanobacteria – 34 вида (около 24.5%). Наиболее богатыми по числу видов были роды *Aulacoseira* (6), *Fragilaria* (4) из диатомовых, *Desmodesmus* (4 вида) из зеленых водорослей, роды *Aphanocapsa* (5 видов) и *Microcystis* (6) из цианобактерий.

Микроводоросли из отдела Ochrophyta были представлены 8 видовыми таксонами (5.8%). На долю остальных отделов в совокупности приходилось 7.9% (см. рис. 2).

В октябре было выявлено 133 видовых и внутривидовых таксона фитопланктона (в Псковском озере – 107, в Чудском – 111) также из 8 отделов (см. рис. 2). Число видовых таксонов колебалось в зависимости от станции исследования от 47 (ст. 5) до 67 (ст. 43).

По представленности видами превалировал отдел Bacillariophyta, в котором был зарегистрирован 51 видовой таксон фитопланктона (38.3%). По количеству видов доминировали роды *Aulacoseira* (6 видов), *Fragilaria*, *Navicula* и *Nitzschia* (по 5 видов).

Далее следовал отдел Chlorophyta, содержащий 34 таксона фитопланктона рангом ниже рода (25.6%). Наиболее насыщен видами был род *Desmodesmus* (4 вида).

На третьем месте располагались цианобактерии, содержащие 27 видовых таксонов микроорганизмов (20.3%) с максимальным количеством видов в родах *Aphanocapsa* (5) и *Microcystis* (6). Микроводоросли, принадлежащие к остальным отделам, заметный вклад в видовое богатство планктонной альгоцианофлоры не вносили (см. рис. 2).

Таким образом, флористический комплекс планктонной альгоцианофлоры в мае и октябре 2022 г. характеризовался как диатомово-хлорофитово-цианобактериальный, в августе – как хлорофитово-диатомово-цианобактериальный.

Согласно опубликованным и фондовым данным подобная картина наблюдалась в 2020 и 2021 гг. (Drozdhenko et al., 2021), за исключением лета 2021 г., когда по видовому богатству превалировал отдел Bacillariophyta.

Преобладание в таксономическом составе диатомовых, зеленых водорослей и цианобактерий характерно для большинства проточных водоемов севера бореальной зоны (Габышев, Габышева, 2009).

Видовой состав фитопланктона в большей степени зависит от физико-географических особенностей рассматриваемых станций, морфологии берега, характера и степени антропогенного воздействия. Наибольшее видовое богатство

фитопланктона наблюдалось на участках, находящихся в относительной близости к берегу, и подверженным антропогенному загрязнению в районе населенных пунктов. К таким станциям относится, например, ст. 22 в Псковском озере, расположенная близ дельты р. Великой, представленной системой низких, большей частью заболоченных островов (около 40), разделенных протоками. На этой станции и в весенний, и в летний периоды было зарегистрировано большее число видовых таксонов микроводорослей, по сравнению с другими станциями (88 и 68 видов соответственно). В Чудском озере максимальным видовым богатством характеризовались ст. 43 в мае (80 видовых таксонов) и ст. 56 в августе (72 видовых таксона). Данные станции, по сравнению с другими, ближе находятся к береговой линии, а также к соединяющему с Псковским Теплым озеру (см. рис. 1).

Полученное в результате исследований распределение видов водорослей по отделам характерно для такового в умеренных широтах: весной и летом наиболее представлен видами был отдел Bacillariophyta, летом – Chlorophyta.

Известно, что весной и осенью в озерах умеренных широт возникает природное явление – термобар, представляющее собой узкую зону, где происходит погружение воды, имеющей наибольшую плотность, от поверхности до дна. Термобар существенно влияет на экосистему озера, препятствуя горизонтальному перемешиванию между участками с разными параметрами воды (температурой, минерализацией, скоростью течения и т.д.) и формирует барьер между областями с благоприятными (с теплой водной массой) и менее благоприятными (с холодной водной массой) условиями для роста и развития фитопланктонных сообществ (Цыденов, 2016). Отмечено, что благодаря нисходящему течению термобар может аккумулировать в себе фитопланктон и другие организмы на поверхности с локальным максимумом популяции (Parfenova et al., 2000). Кроме того, диатомовые водоросли, несмотря на значительную скорость погружения воды внутри фронта термобара, имеют тенденцию оставаться в эвфотической зоне (Kelley, 1997), чем, возможно, и объясняется их превалирование по числу видов в весенний и осенний сезоны.

Количественный состав фитопланктона. Сезонная периодичность фитопланктона является составляющей его многолетней сукцессии, которая определяется, в первую очередь, сменой гидролого-климатических фаз (Корнева, 2015).

Весна. Численность фитопланктона весной изменялась от 723.3 тыс. кл./л на ст. 7 до 39.6 млн кл./л на ст. 22. Средняя численность фитопланктона по всей акватории составила 14.4 млн кл./л (в Псковском озере – 25.6 млн кл./л, в Чудском – 7.9 млн кл./л.) (табл. 2), что почти в 7 раз превышает значения, полученные в мае 2020 и 2021 гг. (Drozdenko et al., 2021).

Наибольший вклад в численность вносили цианобактерии (69.4 – 91.6%) с максимальным содержанием на ст. 22. Среди доминант в зависимости от станций отмечались представители родов *Aphanocapsa*, *Aphanothece*, *Woronichinia*, *Microcystis*, *Snowella*.

Биомасса весеннего фитопланктона варьировала от 164.8 мг/м³ на ст. 7 до 3.7 г/м³ на ст. 22, в среднем составляя 1.7 г/м³ (в Псковском озере – 2.9 г/м³, в Чудском – 923.4 мг/м³) (см. табл. 2), что в 2 раза выше полученных ранее значений (Drozdenko et al., 2021).

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАЗВИТИЯ ФИТОПЛАНКТОНА И КАЧЕСТВА ВОДЫ

Таблица 2. Средние по станциям численность и биомасса фитопланктона Чудско-Псковского озера («итого» с учетом неидентифицированных жгутиковых), 2022 г.

Table 2. Station-average abundance and biomass of phytoplankton in the Peipus-Pskov Lake (“total” including unidentified flagellates), 2022

Сезон / Season	Отдел водорослей / Alga phylums								Итого / Total
	Cyanobacteria	Euglenozoa	Ochrophyta	Charophyta	Bacillariophyta	Miozoa	Cryptophyta	Chlorophyta	
Средняя численность, тыс. кл./л / Average abundance, thousand cells/L									
Май / May	12219.8±11077.2	4.2±6.6	122.9±156.1	4.0±5.8	782.3±663.9	3.0±4.5	132.2±159.5	930.7±712.3	14354.1±12375.8
Август / August	13408.3±18068.6	2.8±4.8	129.7±262.7	1.0±2.0	419.3±307.7	4.9±5.2	28.9±29.0	687.8±609.4	14685.3±18793.5
Октябрь / October	4601.3±1770.2	1.2±2.8	15.0±15.4	4.8±6.6	625.9±224.5	1.2±2.8	4.5±4.7	613.0±390.0	5845.8±2250.7
Средняя биомасса, мг/м³ / Average biomass, mg/m³									
Май / May	104.4±124.3	7.4±11.7	16.8±15.0	12.9±22.9	1050.3±830.6	5.1±8.2	163.3±232.2	242.7±170.7	1651.0±1257.9
Август / August	377.7±413.2	6.8±11.9	77.2±202.9	1.2±2.4	539.1±383.6	70.1±83.1	6.5±9.6	262.6±208.8	1344.4±650.7
Октябрь / October	94.5±58.8	2.2±4.9	3.4±3.9	11.9±21.8	1492.7±614.8	0.9±2.1	0.5±1.1	177.4±52.5	1783.7±698.4

Наибольшую роль в биомассе играли диатомовые водоросли (42.9 – 79.7%). В количественном отношении преобладали виды родов: *Aulacoseira*, *Cyclotella*. Биомасса зеленых водорослей достигала 38.3% на ст. 57 при более низких показателях на остальных станциях. Лидирующие по численности цианобактерии в биомассу вносили 1.3 – 11.6%.

Лето. Численность летнего фитопланктона колебалась от 960.0 тыс. кл./л на ст. 10 до 67.0 млн кл./л на ст. 56. Средняя численность микроводорослей составила 14.7 млн кл./л (в Псковском озере – 11.1 млн кл./л, в Чудском – 16.8 млн кл./л) (см. табл. 2), что, согласно опубликованным и фондовым данным, сопоставимо со значениями численности фитопланктона в 2020 г. и в 2 раза больше, чем в августе 2021 г. (Drozdhenko et al., 2021).

Максимальный вклад в численность, как и в весенний период, вносили цианобактерии. Их доля изменялось от 46.4% на ст. 7 до 95.0% на ст. 57. Максимальным развитием отличались микроводоросли родов *Aphanocapsa*, *Aphanothece*, *Microcystis*, как и в предыдущий год мониторинга. Представители отдела Bacillariophyta в общую численность в зависимости от станции вносили 11.2 – 48.3%, Chlorophyta – 1.2 – 14.5%.

Биомасса фитопланктона в исследованной акватории изменялась от 190.7 мг/м³ на ст. 10 до 2.8 г/м³ на ст. 56, в среднем составляя 1.3 г/м³ (в Псковском озере – 1.4 г/м³, в Чудском – 1.3 г/м³), что примерно в 3-4 раза ниже, чем в августе 2020 – 2021 гг. (Drozdhenko et al., 2021).

Значительный вклад в биомассу фитопланктона вносили диатомовые водоросли: 9.3 – 88.8%. На представителей отдела Chlorophyta в общей биомассе приходилось не более 20.0%, цианобактерий – 28.1%.

Осень. Численность осеннего фитопланктона в акватории изменялась от 3.5 млн кл./л на ст. 5 до 10.9 млн кл./л на ст. 22, в среднем составляя 5.9 млн кл./л (в Псковском озере – 8.0 млн кл./л, в Чудском – 4.6 млн кл./л) (см. табл. 2), что в 1.5 раза ниже, чем в предыдущие 2 года исследований (Drozdenco et al., 2021).

Как и в предыдущие сезоны, наибольший вклад в численность вносили цианобактерии (70.2 – 86.9%) с максимальным их содержанием на ст. 27. Количественными характеристиками отличались представители родов *Aphanocapsa*, *Aphanothece*, *Cyanocatena*, *Cyanodictyon*, *Microcystis*, *Woronichinia*. Содержание диатомовых и зеленых водорослей в общей численности не превышало 20.0 и 16.0% соответственно.

Биомасса фитопланктона в октябре изменялась от 0.6 г/м³ на ст. 57 до 2.9 г/м³ на ст. 52 при средней – 1.8 г/м³ (в Псковском озере – 2.4 г/м³, в Чудском – 1.4 г/м³) (см. табл. 2), что в 1.5 раза ниже, чем в 2020 г. и сопоставимо с данными 2021 г. (Drozdenco et al., 2021).

Основной вклад в биомассу осенней альгоцианофлоры озера вносили диатомовые водоросли: 76.8 – 90.3% в зависимости от станции исследования. Наиболее яркую роль играли виды родов *Aulacoseira*, *Cyclotella*, а также некоторые крупноклеточные виды из родов *Cumatopleura*, *Gyrosigma*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Iconella*.

Таким образом, расчеты количественных показателей за весь вегетационный период 2022 г. показали, что средняя численность фитопланктона составила 11.6 млн кл./л, что в 1.2 раза больше значений, полученных в 2020 г. и почти в 2 раза выше прошлогодних значений. Такая разница объясняется бурным развитием мелкоклеточных цианобактерий в 2022 г. Средняя биомасса фитопланктона в 2022 г. по всей акватории составила 1.6 г/м³, что в 1.5 раза ниже, чем в 2020 – 2021 гг., за счет большего содержания мелкоклеточных форм водорослей.

Известно, что сезонная динамика фитопланктона водоемов умеренной зоны характеризуется, как правило, тремя пиками биомассы: весенним, летним и осенним. Развитие фитопланктона в весенний и осенний сезоны чаще всего определено диатомовыми водорослями. Летом, наряду с диатомовыми, увеличивается доля зеленых водорослей, а также наблюдается повышение активности цианопрокариот и золотистых (Корнева, 2015). Осенью планктонная альгоцианофлора снова характеризуется превалированием представителей отдела Bacillariophyta (Трифонов, 1990).

Так, согласно полученным результатам, вклад диатомовых в общую биомассу был максимален весной и осенью – 64.8 и 83.7% соответственно. Летом наблюдалось незначительное снижение диатомовых в общей биомассе до 40.1% и увеличение роли зеленых до 19.5% (в мае и октябре вклад зеленых в биомассу был 14.7 и 9.9% соответственно). У цианобактерий пик развития приходился на летний сезон – до 28.1% от общей биомассы, а весной и осенью их содержание было незначительным: 6.3 и 5.3% соответственно.

Таким образом, наблюдаемая годовая динамика фитопланктона является характерной для водоемов умеренной зоны.

Эколого-географический анализ. Согласно экологической характеристике, по отношению к местообитанию в Чудско-Псковском озере в 2022 г. группа планктонных водорослей насчитывала 51.5% от общего числа микроводорослей.

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАЗВИТИЯ ФИТОПЛАНКТОНА И КАЧЕСТВА ВОДЫ

На группу планктонно-бентосных и донных организмов, представленных в основном диатомовыми водорослями, приходилось 27.5 и 18.3% соответственно. Обитатели обрастаний составляли 2.8%.

По отношению к галобности в планктонной альгоцианофлоре озера более половины организмов являлись индифферентами (50.5% от общего числа). На долю галофилов приходилось 9.6%, галофобов – 2.8%, олигогалобов – 2.8%. Единично встречен мезаголоб – диатомовая водоросль *Eiscocconeis flexella* (Kützinger) F. Meister. У трети обнаруженных микроводорослей данных по отношению к солености не имелось.

По отношению к pH у большей части водорослей информации не было (67.0%). На группу алкалифилов приходилось 20.2%, индифферентов – 8.3%, ацидофилов – 2.8%, алкалибионтов – 1.8%.

Стояче-текучие воды предпочитали 27.5% микроводорослей, стоячие – 5.1%, текучие – 0.5%. Информации по отношению к реофильности не было у 67.0% обнаруженных видов.

Географический анализ фитопланктона Чудско-Псковского озера показал, что большинство водорослей являлись космополитами (56.8% от общего числа). Бореальные виды составляли 6.4%, голарктические – 3.2%, арктоальпийские – 2.3%, циркумбореальные и арктические – по 0.5%. Данные по распространению не имели 30.3% микроводорослей.

В целом по эколого-географической характеристике альгоцианофлору Чудско-Псковского озера можно отнести к типично умеренной, свойственной большинству озер балтийского типа.

Сапробиологический анализ. Для определения уровня органического загрязнения и степени антропогенной нагрузки на биогеоценозы Чудско-Псковского озера был проведен сапробиологический анализ. Большинство микроводорослей являлись бета-мезосапробионтами. Значения индексов сапробности по Пантле – Букк варьировали от 1.63 в мае на ст. 57 до 2.21 в августе на ст. 9 (табл. 3). Среднее значение индекса сапробности за весь вегетационный период 2022 г. составило 1.91. Это позволяет отнести воды озера к бета-мезосапробной зоне самоочищения, II классу качества чистоты вод, что в целом сопоставимо с исследованиями прошлых лет (Drozdzenko et al., 2021).

Таблица 3. Значения индекса сапробности Чудского-Псковского озера в 2022 г.

Table 3. Values of the saprobity index of the Peipus-Pskov Lake in 2022

Станции / Station	Месяц / Month		
	Май / May	Август / August	Октябрь / October
1	2	3	4
Псковское озеро / Pskov Lake			
22	1.80	1.80	1.97
52	1.96	2.06	1.99
51	1.87	1.91	1.92
27	1.98	1.82	1.97
Среднее / Average	1.90±0.07	1.90±0.10	1.96±0.03

Окончание табл. 3
Table 3. Continuation

1	2	3	4
Чудское озеро / Peipsi Lake			
56	2.06	1.70	2.04
43	1.84	1.84	1.83
57	1.63	1.80	1.73
91	1.89	2.21	1.76
10	1.81	1.94	1.77
5	1.88	2.05	1.85
7	1.97	2.17	1.87
Среднее / Average	1.87±0.13	1.96±0.18	1.84±0.10

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Гидробиологический мониторинг позволяет оценить современное состояние водоемов и их возможную трансформацию. Водные организмы одни из первых реагируют на антропогенное воздействие, в связи с чем выступают надежными индикаторами качества среды.

В водных экосистемах ведущая роль в продуцировании первичного органического вещества отводится фитопланктону. От функционирования водорослей зависит жизнедеятельность остальных звеньев трофических цепей водоема. Фитопланктон представляет собой чувствительный и надежный индикатор водных экосистем, благодаря которому можно диагностировать загрязнение водной среды еще до выявления его химическими методами.

Согласно результатам настоящего исследования в мае, августе и октябре 2022 г. в Чудско-Псковском озере был зарегистрирован 221 таксон фитопланктона рангом ниже рода из 8 отделов: Bacillariophyta, Chlorophyta, Cyanobacteria, Ochrophyta, Charophyta, Euglenozoa, Cryptophyta и Miozoa. Флористический комплекс планктонной альгоцианофлоры составляли диатомовые, зеленые водоросли и цианобактерии.

В акватории озера преобладали широко распространенные пресноводные планктонные формы микроводорослей, предпочитающие стояче-текущие слабощелочные воды.

Средняя численность фитопланктона озера за весь период исследования составляла 11.6 млн кл./л, средняя биомасса – 1.6 г/м³.

Сапробиологический анализ показал, что воды исследуемой акватории в 2022 г. относились к слабо загрязненным, II классу качества чистоты вод.

Если проследить динамику общей биомассы фитопланктона, используя данные более ранних исследований, то наблюдается следующее. Средняя биомасса фитопланктона за период 1970 – 2010 гг. в мае составляла 8.70 г/м³ (0.87 – 28.22 г/м³), в августе – 15.85 г/м³ (1.36 – 40.05 г/м³), а в октябре – 13.95 (3.49 – 67.77 г/м³) (Ястремский, 2016). В результате исследований 2012 – 2015 гг. установлено, что значение биомассы фитопланктона в Чудском озере составляло 2.1 г/м³, в Псковском – 5.4 г/м³ (Шаров, Андреева, 2016).

Таким образом, наблюдается общая тенденция к снижению биомассы фитопланктона в Чудско-Псковском озере, что может быть связано с изменениями рьяда

гидрохимических и гидрологических показателей, уровня воды в водоеме, а также значительным уменьшением антропогенной нагрузки в связи с закрытием промышленных предприятий в 90-х гг. XX в.

Результаты настоящего исследования вносят существенный вклад в исследование структурной организации и особенностей функционирования фитопланктона Чудско-Псковского озера, выявляют устойчивость фитопланктонных сообществ в условиях меняющихся абиотических условий, эвтрофирования и загрязнения природных вод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Баринова С. С., Медведева А. Л., Анисимова О. В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив: Pilies Studio Publ., 2006. 498 с.

Габышев В. А., Габышева О. И. Водоросли планктона реки Анабар // Вестник Томского государственного университета. 2009. № 324. С. 354 – 358.

ГОСТ 31861-2012. Вода. Общие требования к отбору проб. М.: Стандартинформ, 2014. 63 с.

Дрозденко Т. В., Антал Т. К. Оценка качества воды устья реки Великой по показателям фитопланктона // Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер. Рыбное хозяйство. 2021. № 1. С. 51 – 60. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2021-1-51-60>

Дрозденко Т. В., Волгушева А. А. Фитопланктон и качество воды озера Кучане (Псковская область, Россия) // Поволжский экологический журнал. 2021. № 3. С. 251 – 261. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2021-3-251-261>

Дрозденко Т. В., Александрова С. М., Антал Т. К., Тихомирова Е. И. Структурные показатели и токсичные виды цианобактерий Псковского озера // Поволжский экологический журнал. 2022. № 4. С. 388 – 399. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2022-4-388-399>

Корнева Л. Г. Фитопланктон водохранилищ бассейна Волги. Кострома: Костромской печатный дом, 2015. 284 с.

Псковско-Чудское озеро / науч. ред. Т. Тимм, А. Раукас, Ю. Хаберман, А. Яани. Тарту: Eesti Loodusfoto, 2012. 490 с.

Псковско-Чудское озеро // Рыбы и озера Псковской области. Псков, 2022. URL: http://pskovfish.ru/ozero-sp/ozera_pskovsko_chydscoe.htm (дата обращения: 15.04.2023).

Радченко И. Г., Капков В. И., Федоров В. Д. Практическое руководство по сбору и анализу проб морского фитопланктона: учебно-методическое пособие для студентов биологических специальностей университетов. М.: Мордвинцев, 2010. 60 с.

РД 52.24.309-2011. Руководящий документ. Организация и проведение режимных наблюдений за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши. Ростов-на-Дону: Росгидромет, 2011. 67 с.

Румянцев В. А., Драбкова В. Г., Измайлова А. В. Озера европейской части России. СПб.: ЛЕМА, 2015. 389 с.

Садчиков А. П. Методы изучения пресноводного фитопланктона: методическое руководство. М.: Университет и школа, 2003. 157 с.

Судницина Д. Н. Альгофлора водоемов Псковской области. Псков: ЛОГОС Плюс, 2012. 224 с.

Трифонов И. С. Экология и сукцессия озерного фитопланктона. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1990. 184 с.

Фрумин Г. Т., Малышева Н. А. Динамика качества воды Псковского озера (2000 – 2018 гг.) // Труды Карельского научного центра РАН. 2020. № 4. С. 32 – 39. <https://doi.org/10.17076/lim1133>

Цыденов Б. О. Численное воспроизведение гидробиологических процессов в период развития весеннего термобара на основе модели «нутриент – фитопланктон – зоопланктон» // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. 2016. № 3 (41). С. 86 – 97. <https://doi.org/10.17223/19988621/41/9>

Шаров А. Н., Андреева И. В. Пространственно-временная организация фитопланктона Чудско-Псковского озера // Принципы экологии. 2016. Т. 5, № 5. С. 71 – 80. <https://doi.org/10.15393/j1.art.2016.5502>

Шмидт В. М. Статистические методы в сравнительной флористике. Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1980. 176 с.

Ястремский В. В. Структура и продуктивность фитопланктона Чудско-Псковского озера. СПб.: ГосНИОРХ, 2016. 296 с.

Drozdenko T., Fedorov S., Kek I. Seasonal dynamics of phytoplankton and some hydrochemical indicators of the Peipsi-Pskov Lake // Environment. Technology. Resources: Proceeding of the 13th International Scientific and Practical Conference. Rezekne: Rezekne Academy of Technologies, 2021. Vol. 1. P. 50 – 54. <https://doi.org/10.17770/etr2021vol1.6557>

Guiry M. D., Guiry G. M. AlgaeBase. Galway: National University of Ireland, 2022. Available at: <http://www.algaebase.org> (accessed December 22, 2022).

Jakhar P. Role of phytoplankton and zooplankton as health indicators of aquatic ecosystem: A review // International Journal of Innovative Research and Studies. 2013. Vol. 2. P. 389 – 500.

Kelley D. E. Convection in ice-covered lakes: Effects on algal suspension // Journal of Plankton Research. 1997. Vol. 19, iss. 12. P. 1859 – 1880. <https://doi.org/10.1093/plankt/19.12.1859>

Machado K. B., Andrade A. T., Almeida M. F., Nabout J. C. Systematic mapping of phytoplankton literature about global climate change: Revealing temporal trends in research // Hydrobiologia. 2023. Vol. 850, iss. 1. P. 167 – 182. <https://doi.org/10.1007/s10750-022-05052-y>

Parfenova V. V., Shimaraev M. N., Kostornova T. Y., Domysheva V. M., Levin L. A., Dryuker V. V., Zhdanov A. A., Gnatovskii R. Y., Tsekhanovskii V. V., Logacheva N. F. On the vertical distribution of microorganisms in Lake Baikal during spring deep-water renewal // Microbiology. 2000. Vol. 69, iss. 3. P. 357 – 363. <https://doi.org/10.1007/BF02756748>

Sládeček V. System of Water Quality from the Biological Point of View // Achieves für Hydrobiologie – Beiheft Ergebnisse der Limnologie. 1973. Bd. 7, № 1. S. 1 – 218.

Estimation of indicators of phytoplankton development and water quality of the Peipus-Pskov Lake in modern conditions

T. V. Drozdenko ^{1✉}, M. V. Medyankina ², T. K. Antal ¹

¹ Pskov State University

2 Lenin Square, Pskov 180000, Russia

² K. G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management

73 Zemlyanoy val St., Moscow 109004, Russia

Received: September 7, 2023 / revised: October 11, 2023 / accepted: October 12, 2023 / published: December 12, 2023

Abstract. Currently, there is an acute problem of pollution of the hydrosphere, which results in a drop in the stability of ecosystems, destruction of the signaling links of biocenoses, and food pyramid violation. This paper presents the results of our monitoring the current state of phytoplankton communities and water quality of the Peipus-Pskov Lake, a large transboundary reservoir located in the northwest of the Pskov region. During the growing season of 2022, 221 phytoplankton taxa with ranks below the genus from 8 divisions were identified. The average abundance of phytoplankton over the entire period of our study was 11.6 million cells/L, the average biomass was 1.6 g/m³. An ecological and geographical analysis was carried out, according to which widespread freshwater planktonic forms of microalgae predominated in the lake, preferring stagnant-flowing weakly alkaline waters. According to the Sjörensén–Chekanovsky index, the degree of commonality of the species composition of the planktonic algal floras in the Pskov and Peipsi Lakes was 73.2%. Saprobiological analysis showed that the waters of the study area in 2022 were slightly polluted (class II of water quality).

Keywords: ecological monitoring, bioindication, phytoplankton, abundance, biomass, saprobity, Peipus-Pskov Lake

Funding. The study was financially supported by the Russian Science Foundation (Project No. 23-24-00353) and partial financial support of Pskov State University (Project “Ecological monitoring of the Velikaya River delta by the structure and physiological activity of phytoplankton and water quality indicators”).

Ethics approval and consent to participate: This work does not contain any studies involving human and animal subjects.

Competing interests: The authors have declared that no competing interests exist.

For citation: Drozdenko T. V., Medyankina M. V., Antal T. K. Estimation of indicators of phytoplankton development and water quality of the Peipus-Pskov Lake in modern conditions. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2023, no. 4, pp. 404–419 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-4-404-419>

✉ *Corresponding author.* Laboratory of Integrated Environmental Research, Pskov State University, Russia.

ORCID and e-mail addresses: Tatiana V. Drozdenko: <https://orcid.org/0000-0002-5553-2296>, tboichuk@mail.ru; Mariya V. Medyankina: <https://orcid.org/0000-0002-9195-0399>, 79263841762@yandex.ru; Taras K. Antal: <https://orcid.org/0000-0002-9690-8034>, taras_an@mail.ru.

REFERENCES

- Barinova S. S., Medvedeva L. A., Anisimova O. V. *Biodiversity of Algae-indicators of the Environment*. Tel Aviv, Pilies Studio Publ., 2006. 498 p. (in Russian).
- Gabyshhev V. A., Gabyshcheva O. I. Plankton algae of the Anabar river. *Tomsk State University*, 2009, no. 324, pp. 354–358 (in Russian).
- GOST 31861-2012. *Water. General Requirements for Sampling*. Moscow, Standardinform, 2014. 63 p. (in Russian).
- Drozdenko T. V., Antal T. K. Evaluating water quality in Velikaya River by using phytoplankton characteristics. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry*, 2021, no. 1, pp. 51–60 (in Russian). <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2021-1-51-60>
- Drozdenko T. V., Volgusheva A. A. Phytoplankton and water quality of Lake Kuchane (Pskov region, Russia). *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2021, no. 3, pp. 251–261 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2021-3-251-261>
- Drozdenko T. V., Aleksandrova S. M., Antal T. K., Tikhomirova E. I. Structural indicators and toxic species of cyanobacteria of Pskov Lake. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2022, no. 4, pp. 388–399 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2022-4-388-399>
- Korneva L. G. *Phytoplankton of Volga River Basin Reservoirs*. Kostroma, Kostroma Print House, 2015. 284 p. (in Russian).
- Timm T., Raukas A., Haberman Ju., Jaani A., eds. *Pskov-Peipsi Lake*. Tartu, Eesti Loodusfoto, 2012. 490 p. (in Russian).
- Pskov-Peipsi Lake. In: *Ryby i ozero Pskovskoi oblasti* [Fish and Lakes of the Pskov Region]. Pskov, 2022. Available at: http://pskovfish.ru/ozero-sp/ozera_pskovsko_chyidskoe.htm (accessed April 15, 2023).
- Radchenko I. G., Kapkov V. I., Fedorov V. D. *Prakticheskoe rukovodstvo po sboru i analizu prob morskogo fitoplanktona: uchebno-metodicheskoe posobie dlia studentov biologicheskikh spetsial'nostei universitetov* [Practical Guide to Collection and Analysis of Marine Phytoplankton Samples: Textbook for Students of Biological Specialties of Universities]. Moscow, Mordvintsev, 2010. 60 p. (in Russian).
- RD 52.24.309-2011. *Guiding Document. Organization and Conduct of Regime Observations of the Condition and Pollution of Surface Waters of Land*. Rostov-on-Don, Roshydromet, 2011. 67 p. (in Russian).
- Rumyantsev V. A., Drabkova V. G., Izmailova A. V. *Ozera evropeiskoi chasti Rossii* [Lakes of the European part of Russia]. Saint Petersburg, LEMA, 2015. 389 p. (in Russian).
- Sadchikov A. P. *Metody izucheniia presnovodnogo fitoplanktona: metodicheskoe rukovodstvo* [Methods for Studying Freshwater Phytoplankton: A Methodological Guide]. Moscow, Universitet i shkola, 2003. 157 p. (in Russian).
- Sudnitsyna D. N. *Al'goflora vodoemov Pskovskoi oblasti* [Algoflora of Water Bodies of the Pskov Oblast]. Pskov, LOGOS Plus, 2012. 224 p. (in Russian).
- Trifonova I. S. *Ekologiya i suksessiya ozernogo fitoplanktona* [Ecology and Succession of Lake Phytoplankton]. Leningrad, Nauka, 1990. 184 p. (in Russian).
- Frumin G. T., Malysheva N. A. Water quality changes in lake Pskovskoe (2000–2018). *Transactions of the Karelian Research Centre RAS*, 2020, no. 4, pp. 32–39 (in Russian). <https://doi.org/10.17076/lim1133>
- Tsydenov B. O. Numerical simulation of hydrobiological processes during the spring thermal bar on the basis of the nutrient phytoplankton–zooplankton model. *Tomsk State University Journal of Mathematics and Mechanics*, 2016, no. 3(41), pp. 86 – 97 (in Russian). <https://doi.org/10.17223/19988621/41/9>
- Sharov A. N., Andreeva I. V. Spatio-temporal organization of phytoplankton in Peipsi Lake. *Principy ekologii*, 2016, vol. 5, no. 5, pp. 71–80 (in Russian). <https://doi.org/10.15393/j1.art.2016.5502>

Shmidt V. M. *Statisticheskie metody v sravnitel'noi floristike* [Statistical Methods in Comparative Floristry]. Leningrad, Leningrad State University Publ., 1980. 176 p. (in Russian).

Yastremsky V. V. *Struktura i produktivnost' fitoplanktona Chudsko-Pskovskogo ozera* [Structure and Productivity of Phytoplankton of Lake Peipus-Pskov]. Saint Petersburg, State Research Institute of Lake and River Fishery Publ., 2016. 296 p. (in Russian).

Drozdenco T., Fedorov S., Kek I. Seasonal dynamics of phytoplankton and some hydrochemical indicators of the Peipsi-Pskov Lake. *Environment. Technology. Resources: Proceeding of the 13th International Scientific and Practical Conference*. Rezekne, Rezekne Academy of Technologies, 2021, vol. 1, pp. 50–54. <https://doi.org/10.17770/etr2021vol1.6557>

Guiry M. D., Guiry G. M. *AlgaeBase*. Galway, National University of Ireland, 2022. Available at: <http://www.algaebase.org> (accessed December 22, 2022).

Jakhar P. Role of phytoplankton and zooplankton as health indicators of aquatic ecosystem: A review. *International Journal of Innovative Research and Studies*, 2013, vol. 2, pp. 389–500.

Kelley D. E. Convection in ice-covered lakes: Effects on algal suspension. *Journal of Plankton Research*, 1997, vol. 19, iss. 12, pp. 1859–1880. <https://doi.org/10.1093/plankt/19.12.1859>

Machado K. B., Andrade A. T., Almeida M. F., Nabout J. C. Systematic mapping of phytoplankton literature about global climate change: Revealing temporal trends in research. *Hydrobiologia*, 2023, vol. 850, iss. 1, pp. 167–182. <https://doi.org/10.1007/s10750-022-05052-y>

Parfenova V. V., Shimaraev M. N., Kostornova T. Y., Domyшева V. M., Levin L. A., Dryukker V. V., Zhdanov A. A., Gnatovskii R. Y., Tsekhanovskii V. V., Logacheva N. F. On the vertical distribution of microorganisms in Lake Baikal during spring deep-water renewal. *Microbiology*, 2000, vol. 69, iss. 3, pp. 357–363. <https://doi.org/10.1007/BF02756748>

Sládeček V. System of Water Quality from the Biological Point of View. *Achieves für Hydrobiologie – Beiheft Ergebnisse der Limnologie*, 1973, Bd. 7, no. 1, S. 1–218.

Оригинальная статья

УДК 582.594.2

<https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-4-420-436>

МОНИТОРИНГ ПОПУЛЯЦИИ *CYPRIPEDIUM GUTTATUM* (ORCHIDACEAE, LILIOPSIDA) НА СЕВЕРНОЙ ГРАНИЦЕ АРЕАЛА (РЕСПУБЛИКА КОМИ, ЕВРОПЕЙСКАЯ РОССИЯ)

И. А. Кириллова , Д. В. Кириллов

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

Россия, 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28

Поступила в редакцию 13.04.2023 г., после доработки 15.05.2023 г., принята 15.05.2023 г., опубликована 12.12.2023 г.

Аннотация. Представлены результаты 12-летнего изучения популяции редкой орхидеи *Cypripedium guttatum* Sw. на северной границе ее ареала, на территории Республики Коми (северо-восток Европейской России). Наши исследования показали, что погодные факторы (температура воздуха и количество осадков) оказывают влияние на сезонное развитие побегов и габитус растений. На численность побегов влияют погодные условия предыдущего вегетационного периода: положительно – температура первой декады августа и отрицательно – ранние осенние заморозки и сумма осадков всего периода. Выявлена отрицательная корреляционная связь числа цветущих побегов с температурой второй декады июля предыдущего вегетационного периода и положительная связь числа ювенильных растений с осадками августа предыдущего вегетационного периода. Завязываемость плодов довольно низкая (17.1%), что характерно для этого вида. На эффективность опыления *C. guttatum* отрицательно влияет высокая температура воздуха во время его цветения (вторая декада июня). Одна коробочка содержит в среднем 4065 семян. Реальная семенная продуктивность побега варьирует от 1989 до 7064 шт., она связана с осадками второй декады июля текущего вегетационного периода. Высокая численность исследуемой популяции (25 тыс. побегов), соответствие онтогенетического спектра базовому спектру вида, ежегодное присутствие ювенильных растений семенного происхождения свидетельствуют об устойчивом ее состоянии.

Ключевые слова: орхидные, мониторинг, завязываемость плодов, семенная продуктивность

Финансирование. Работа выполнена в рамках госзадания Института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН (№ 122040600026-9).

Соблюдение этических норм. В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Кириллова И. А., Кириллов Д. В. Мониторинг популяции *Cypripedium guttatum* (Orchidaceae, Liliopsida) на северной границе ареала (Республика Коми, Европейская Россия) // Поволжский экологический журнал. 2023. № 4. С. 420 – 436. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-4-420-436>

 Для корреспонденции. Отдел флоры и растительности Севера Института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН.

ORCID и e-mail адреса: Кириллова Ирина Анатольевна: <https://orcid.org/0000-0001-7774-7709>, kirillova_orchid@mail.ru;
Кириллов Дмитрий Валерьевич: <https://orcid.org/0000-0002-6577-693X>, kirdimka@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Долгосрочные мониторинговые исследования необходимы для понимания демографии растений и прогнозирования рисков их исчезновения. Особенно важны они для редких видов, характеризующихся особыми требованиями. К таким видам относятся все представители семейства Орхидные. Жизненный цикл этих растений уникален. Семена орхидей крошечные и лишены запаса питательных веществ, поэтому для прорастания им необходимо сформировать ассоциацию с симбиотическими грибами (Rasmussen et al., 2015). Кроме того, орхидеи характеризуются высокой специализацией опыления, стеноитностью, слабой конкурентоспособностью и высокой декоративностью. В настоящее время существует очень мало исследований динамики численности различных наземных видов орхидей (Shefferson et al., 2020).

Один из представителей этого семейства – *Cypripedium guttatum* Sw., редкий вид, включенный в Красные книги 43 регионов России, в том числе и в Красную книгу Республики Коми (2019). Численность и ареал его в последние несколько десятилетий сокращаются, особенно в европейской части России. Вид исчез в Тульской, Тамбовской, Тверской и Ярославской областях (Вахрамеева и др., 2014).

Цель статьи – оценка долгосрочной динамики и жизнеспособности популяции этого вида на северной границе его ареала, на территории Республики Коми (северо-восток европейской части России).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Cypripedium guttatum – многолетнее длиннокорневищное растение. Голарктический бореальный вид. В России встречается в центральных, восточных и северо-восточных районах европейской части, на Урале, в Сибири, на Дальнем Востоке, Камчатке и Сахалине (Аверьянов, 1999). В Республике Коми проходит северо-западная граница его ареала, *C. guttatum* встречается в южных районах региона, на Тимане и Урале (Kirillov, Kirillova, 2022). Кальцефил, растет в хвойных и смешанных лесах, часто заболоченных, по низинным и переходным болотам, на облесенных и осыпных известняковых склонах. Вид размножается в основном вегетативно, реже – семенным способом. В Республике Коми опылителями *C. guttatum* являются пчелы (*Lasioglossum calceatum* и *L. brevicorne*) и мухи-журчалки (Кириллова и др., 2017).

Исследования проводили с 2009 по 2022 гг. на территории заказника «Сыктывкарский» (юг Республики Коми). Популяция расположена в пойме р. Сысола (N61.555°, E50.659°), в сосново-берёзовом хвощово-осоково-сфагновом лесу. При ее изучении использовали общепринятые в популяционной биологии методики с учетом специфики изучения редких видов (Злобин и др., 2013). За счетную единицу принимали парциальный побег. Численность популяции определяли как произведение средней популяционной плотности побегов на пробных трансектах на площадь популяции. Для оценки площади популяции применяли смешанную технику совместного использования материалов общедоступных данных дистанционного зондирования земли и данных наземной съемки границ популяции методом одной базисной точки (Панченко, 2011). Для измерения магнитного азимута ис-

пользовали буссоль Suunto KB-20 (Suunto, Финляндия) на штативе. Расстояния измеряли рулеткой (10 м, 2-й класс точности) или нитевым измерителем расстояния WalkTach (Haglof, Швеция). В камеральных условиях на основании полученных данных проецировали точки центров куртин или угловые точки группировки на карту с помощью геоинформационной среды QGIS 3.0 и генерировали векторные полигональные слои для дальнейшего анализа и составления схем пространственного размещения популяции. Магнитное склонение определяли на дату проведения полевых работ с помощью сервиса NOAA Magnetic Field Calculator (www.ngdc.noaa.gov).

Для определения онтогенетического спектра популяции в 2010 г. заложили постоянную площадку – 18 м², на которой ежегодно (за исключением 2012 и 2013 гг.) подсчитывали число побегов и фиксировали их онтогенетические состояния. Выделяли ювенильное (*j*) (побеги с одним-двумя листьями срединной формации с 1 – 3 жилками), имматурное (*im*) (побеги с двумя листьями с 5 жилками), взрослое вегетативное (*v*) (побеги с двумя листьями с 7 жилками), генеративное (*g*) (цветущие растения) онтогенетические состояния.

Ежегодно с 2009 по 2022 гг. (за исключением 2012 и 2013 гг.) в полевых условиях у 30 генеративных побегов в популяции были измерены следующие морфологические признаки: высота, размеры листьев и прицветников (брактей), в отдельные годы измерены и размеры частей цветка. Кроме того, подсчитывали количество завязавшихся плодов и собирали коробочки со зрелыми семенами. Семена анализировали с помощью светового микроскопа МСП-2 (увеличение 4.5×) с цифровой видеокамерой TC-500 (ЛОМО, Россия). Измерения проводили на цифровых фотоснимках в программе TourView (TourTek, Китай). Оценивали среднюю длину и ширину семени и зародыша и их объем (Arditti et al., 1979; Healey et al., 1980) у 40 – 50 семян из выборки каждого года. Для определения качества семян брали смесь семян из коробочек, отобранных с разных растений в пределах популяции (не менее 600 семян каждый год), их просматривали под световым микроскопом МСП-2, отмечая семена с зародышем и неполноценные семена (без нормально развитого зародыша). Подсчет количества семян в коробочках проводили с применением разработанного нами метода анализа цифровых изображений семян орхидных в программном пакете ImageJ 1.54b (Кириллова, Кириллов, 2017).

Характеристика вегетационных периодов 2009 – 2022 гг. приведена в табл. 1. Температуру воздуха оценивали с помощью информации, полученной с температурных логгеров Thermochron (Maxim Integrated, США), установленных в месте произрастания *C. guttatum*. Данные по количеству осадков оценивали с помощью информации, размещенной в открытом «Массиве срочных данных об основных метеорологических параметрах на станциях России» ВНИИ Гидрометеорологической информации – МЦД (<http://aisori-m.meteo.ru>). Использовали данные по метеостанции «Сыктывкар» (международный индекс 23804) (61.677° N, 50.785° E).

В тексте и таблицах приведены среднее арифметическое (*M*) и стандартное отклонение (*SD*). Проверку на нормальность распределения выборок значений морфометрических параметров растений и семян проводили с помощью *W*-теста Шапиро – Уилка. Для сравнения выборок использовали две группы методов: па-

МОНИТОРИНГ ПОПУЛЯЦИИ *CYPRIPEDIUM GUTTATUM*

раметрические (t -критерий Стьюдента для выборок с нормальным распределением) и непараметрические (критерий Уилкоксона – Манна – Уитни для данных с отклонениями от нормального распределения).

Таблица 1. Среднесуточные температуры воздуха и количество осадков с мая по август каждые десять дней месяца (в формате месяц_десять дней) и метеорологическая характеристика вегетационных периодов на участке проведения исследований (Республика Коми, Европейская Россия)

Table 1. Average daily air temperatures and precipitation amount from May to August (5–8) every ten days (“month_10 days”) and the meteorological characteristics of vegetation periods at the study site (Komi Republic, European Russia)

Год / Year	Среднесуточные температуры, °C / Average daily temperatures, °C												CAT/ST
	5 I	5 II	5 III	6 I	6 II	6 III	7 I	7 II	7 III	8 I	8 II	8 III	
2009	7.1	8.0	11.3	12.6	18.1	13.0	11.8	18.1	18.1	13.5	16.2	11.7	1717.0
2010	11.0	16.9	11.6	11.8	12.5	17.8	19.9	17.9	22.7	24.9	14.0	8.5	1896.0
2011	11.4	6.0	15.2	16.4	11.5	19.6	18.6	18.9	22.9	14.4	13.6	11.0	1874.6
2013	6.4	8.5	11.6	15.4	15.5	21.0	21.1	17.2	19.8	18.8	16.6	13.2	1875.7
2014	4.9	13.6	13.3	15.5	11.8	13.1	16.2	13.8	13.6	19.4	16.2	12.6	1708.9
2015	8.0	15.2	17.7	15.0	13.8	20.0	12.3	13.9	15.0	14.9	13.3	9.2	1822.0
2016	9.5	10.8	15.4	10.6	16.4	14.7	18.0	18.3	18.8	18.9	17.7	13.8	1834.6
2017	3.6	6.0	5.5	11.2	14.4	12.2	15.4	19.7	18.4	15.0	15.9	15.6	1449.0
2018	3.8	10.5	9.6	7.7	13.3	20.3	18.1	20.4	18.7	15.3	14.4	12.8	1552.6
2019	10.9	12.2	10.7	13.7	12.3	15.3	15.8	15.2	14.9	10.1	12.9	10.5	1462.1
2020	7.9	10.6	10.7	15.0	14.4	10.9	19.8	19.8	18.5	14.7	12.0	14.4	1717.6
2021	7.1	17.4	11.1	13.8	15.7	21.0	17.9	18.3	13.9	15.3	17.1	12.6	1735.9
2022	6.0	8.6	8.4	16.5	14.8	13.3	18.4	20.9	18.3	19.1	15.9	16.8	1827.5
Год / Year	Количество осадков, мм / Precipitation amount, m												CO/PA
	5 I	5 II	5 III	6 I	6 II	6 III	7 I	7 II	7 III	8 I	8 II	8 III	
2009	2.7	9.0	30.0	48.7	52.5	30.3	37.7	23.9	20.1	5.7	48.3	7.2	281.9
2010	14.4	0.2	20.5	42.2	53.4	1.1	11.0	17.9	3.0	0.8	13.6	33.9	192.8
2011	9.7	21.2	15.4	20.0	11.1	1.0	20.0	39.4	2.0	11.2	3.0	16.1	182.5
2013	14.8	13.8	16.8	2.0	15.6	16.3	22.3	0.0	7.9	5.8	19.5	13.1	122.9
2014	28.5	0.6	17.4	10.8	63.1	30.5	8.3	9.1	66.8	26.8	7.7	48.1	282.5
2015	12.8	1.8	26.6	21.0	14.6	19.3	4.1	13.3	25.1	44.4	31.6	8.4	251.3
2016	5.0	28.0	1.8	17.8	6.5	26.3	18.2	35.9	16.3	31.3	81.0	58.7	293.8
2017	27.4	7.6	19.2	20.5	43.0	34.1	14.8	10.6	53.6	60.9	15.6	6.7	254.7
2018	30.9	18.0	28.5	35.6	30.9	9.4	46.9	39.8	0.0	16.2	24.3	11.4	235.3
2019	2.4	17.6	64.3	66.7	5.9	17.8	15.8	31.7	86.7	43.4	11.7	56.0	336.4
2020	14.2	19.2	33.0	10.0	13.0	17.5	1.8	17.3	39.0	41.8	7.2	21.5	222.8
2021	46.0	9.0	7.5	2.4	31.8	28.0	27.1	0.3	38.5	15.1	7.6	13.8	196.7
2022	7.5	13.5	37.4	6.0	10.9	49.5	0.7	4.7	26.7	39.9	7.2	32.0	225.9

Примечание. CAT – сумма активных температур >10°C; CO – сумма осадков за период с температурой >10°C.

Note. ST – Sum of temperature values (°C) over the period with temperature values > 10°C; PA – Precipitation amount (mm) over the period with temperature values > 10°C.

Подготовительную обработку и анализ данных проводили в приложении Microsoft Office Excel 2010 (Microsoft Corp.). Статистические расчеты выполнены с помощью среды R (вер.3.6.3) (The R foundation).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Наши исследования показали, что вегетация *C. guttatum* начинается в конце мая – начале июня (рис. 1). Считается, что отрастание новых побегов этого вида приходится на период, когда подстилка и верхний слой почвы прогреется до $+7 - +9^{\circ}\text{C}$ (Вахрамеева и др., 2014). В 2017 – 2018 гг. почва прогрелась до необходимой температуры только ко второй декаде июня, соответственно и побеги появились позже обычного. Зацветает *C. guttatum* обычно в середине июня (средняя многолетняя дата начала цветения – 16 июня). Однако, в зависимости от температуры текущего вегетационного периода, время цветения может сдвинуться в ту или иную сторону (см. рис. 1). Самое раннее цветение отмечено в 2015 г. (первая декада июня), наиболее позднее – в 2017 г. (первая декада июля). Плоды созревают к началу августа. К октябрю коробочки растрескиваются и семена высыпаются.

Исследования морфометрических параметров генеративных побегов показали, что их средняя высота в изученной популяции за все время наблюдений составила 24.7 ± 2.72 см. Нижний лист 8.5 ± 0.59 см длиной и 5.0 ± 1.06 см шириной, второй снизу лист – 9.5 ± 1.06 см длиной и 5.1 ± 0.65 см шириной. Прицветник (брактея) – 2.8 ± 0.52 см длиной и 1.2 ± 0.25 см шириной. Верхний лепесток цветка 2.6 ± 0.24 см длиной и 1.9 ± 0.20 см шириной; боковой – 2.0 ± 0.18 см длиной и 0.7 ± 0.08 см шириной, нижний – 1.8 ± 0.21 см длиной и 0.7 ± 0.09 см шириной. Губа 2.0 ± 0.17 см длиной, 1.3 ± 0.16 см шириной и 1.5 ± 0.14 см высотой.

Морфометрические признаки генеративных побегов и цветов *C. guttatum* в разные годы изучения приведены в табл. 2 и 3. Высота их варьировала от 22.7 (в 2011 г.) до 26.4 см (в 2009 г.). Наибольшая длина листьев отмечена в 2010 г., наименьшая – в 2021 г. (см. табл. 2). Размеры листьев связаны с погодными условиями предыдущего вегетационного периода: длина – с температурой и осадками сентября, ширина – с температурой второй и третьей декады июля (табл. 4). Выявлена отрицательная корреляционная связь между размерами прицветников и температурой второй декады июня текущего вегетационного периода.

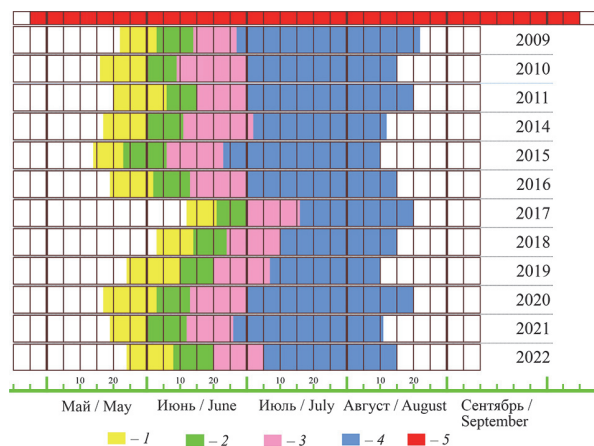


Рис. 1. Сезонное развитие *Cypripedium guttatum* на юге Республики Коми (Европейская Россия): 1 – вегетация, 2 – бутонизация II, 3 – цветение, 4 – образование плодов и распространение семян, 5 – средняя продолжительность вегетационного сезона в 2009 – 2022 гг.

Fig. 1. Seasonal development of *Cypripedium guttatum* in the south of the Komi Republic (European Russia): 1 – vegetation, 2 – budding II, 3 – flowering, 4 – fruiting and seed dissemination, 5 – average length of the thermal growing season for 2009–2022

Таблица 2. Морфометрические признаки генеративных побегов *Cypripedium guttatum* в 2009 – 2022 гг.

Table 2. Morphometric parameters of *Cypripedium guttatum* generative shoots in 2009–2022

Год / Year	Высота побега, см / Shoot height, cm	Нижний лист / First leaf		Второй лист / Second leaf		Брактя / Bract	
		Длина, см / Length, cm	Ширина, см / Width, cm	Длина, см / Length, cm	Ширина, см / Width, cm	Длина, см / Length, cm	Ширина, см / Width, cm
2009	26.41±1.89	8.73±0.86	4.48±0.36	9.95±0.67	4.57±0.57	2.74±0.47	1.07±0.23
2010	25.26±2.32*	9.45±0.86**	5.12±0.63**	10.14±0.98	5.11±0.64**	2.92±0.55	1.15±0.33*
2011	22.65±3.21*	8.62±0.69**	5.06±0.42	9.61±0.75*	5.33±0.52	3.36±0.44**	1.33±0.19
2014	25.75±2.82**	9.00±0.94	5.00±0.64	9.89±1.10	5.02±0.75	3.10±0.59	1.29±0.23
2015	24.78±2.30	9.05±1.04	4.92±0.58	9.98±1.08	4.93±0.54	2.87±0.44	1.23±0.20
2016	25.53±2.93	8.80±0.95	4.76±0.64	9.52±1.12	4.82±0.54	2.74±0.36	1.18±0.19
2017	24.57±2.13	8.45±1.01	5.03±0.59	9.33±1.12	5.21±0.66*	2.59±0.39	0.93±0.20**
2018	25.17±2.46	7.91±0.81*	5.05±0.55	8.99±0.87	5.22±0.50	2.72±0.43	1.23±0.17**
2019	24.84±1.66	8.61±0.80**	5.32±0.65	9.84±0.99**	5.57±0.78	3.00±0.59*	1.36±0.25
2020	24.08±2.05	8.10±0.81*	4.86±0.46**	9.23±0.86*	5.14±0.52*	2.90±0.51	1.22±0.19*
2021	22.82±3.05	7.65±0.97	5.13±0.55*	8.58±0.88**	5.56±0.55**	2.64±0.48*	1.07±0.21*
2022	25.04±3.06*	7.83±0.81	4.64±0.45**	8.67±0.91	4.78±0.48**	2.48±0.38	0.97±0.17

Примечание. Сравнение признаков проводили попарно в порядке строк, приведенных в таблице (* – $p < 0.05$; ** – $p < 0.01$).

Note. Comparison of features was carried out in pairs in the order of the rows given in the table (* – $p < 0.05$, ** – $p < 0.01$).

Таблица 3. Морфометрические признаки цветка *Cypripedium guttatum* в разные годы изучения

Table 3. Morphometric parameters of *Cypripedium guttatum* flower in several years of the study

Признак / Parameter	Год / Year			
	2009	2010	2011	2014
Длина губы, см / Lip length, cm	2.03±0.23	2.01±0.16	1.92±0.13**	1.94±0.15
Ширина губы, см / Lip width, cm	1.34±0.12	1.38±0.26	1.29±0.10*	1.26±0.08
Высота губы, см / Lip height, cm	1.50±0.15	1.49±0.19	1.52±0.09	1.42±0.07**
Длина верхнего лепестка, см / Upper petal length, cm	2.56±0.29	2.58±0.22	2.56±0.27	2.61±0.20*
Ширина верхнего лепестка, см / Upper petal width, cm	1.89±0.30	1.93±0.18	1.82±0.12**	1.87±0.11
Длина бокового лепестка, см / Side petal length, cm	1.94±0.20	1.91±0.19	2.01±0.11*	1.97±0.20
Ширина бокового лепестка, см / Side petal width, cm	0.71±0.07	0.74±0.12**	0.72±0.05	0.72±0.05
Длина нижнего лепестка, см / Bottom petal length, cm	1.66±0.19	1.85±0.22**	1.83±0.21	1.71±0.16*
Ширина нижнего лепестка, см / Bottom petal width, cm	0.65±0.09	0.71±0.08*	0.76±0.06*	0.78±0.05

Примечание. Сравнение признаков проводили попарно в порядке столбцов, приведенных в таблице (* – $p < 0.05$; ** – $p < 0.01$).

Note. Comparison of features was carried out in pairs in the order of the columns given in the table (* – $p < 0.05$; ** – $p < 0.01$).

Общая численность исследуемой популяции составила 25 тыс. побегов, занимаемая площадь – 2510 м². В ходе работ по пространственному картографированию выявлены два смежных участка произрастания растений в изучаемой популяции (рис. 2), которые приурочены к переходной зоне, расположенной на стыке массивов старовозрастного ельника разнотравно-зеленомошного и смешанного заболоченного сосново-березового разнотравного леса. Популяция полосой (шириной 30 – 45 м) проходит по этой зоне, что и предопределяет вытянутую форму конфигурации ее границ. Характер произрастания побегов по всей площади попу-

ляции – равномерно-рассеянный. Кроме того, выявлены несколько точечных куртин (площадью до 0.5 м²), объединяющих несколько побегов и отдаленных от основных участков на расстояние до 50 м.

Таблица 4. Связь между климатическими параметрами и различными показателями популяции *Cypripedium guttatum*

Table 4. Correlation between weather parameters and various parameters of the *Cypripedium guttatum* population studied

Признак / Feature	Климатические показатели / Weather parameters			
	Температура (в формате месяц_десять дней) / Air temperature ("month 10 days")		Осадки (в формате месяц_десять дней) / Precipitation amount ("month 10 days")	
	Предыдущий вегетационный период / Previous vegetative period	Текущий вегетационный период / Current vegetative period	Предыдущий вегетационный период / Previous vegetative period	Текущий вегетационный период / Current vegetative period
Длина нижнего листа / First leaf length	–	–	+09_III	–
Ширина нижнего листа / First leaf width	+07_II, +07_III	–	–	–
Длина второго снизу листа / Second leaf length	+09_II	–	–	–
Ширина второго снизу листа / Second leaf width	+07_II, +07_III	–	–	–
Длина прицветника / Bract length	+09_II	-06_II	–	-06_III
Ширина прицветника / Bract width	–	-06_II	–	-06_III
Длина губы цветка / Lip length	–	-05_III, -06_I	–	–
Объем семени / Seed volume	–	-07_II	–	–
Объем зародыша / Embryo volume	–	-06_III	–	+06_II
Число ювенильных растений / Number of juvenile plants	–	–	+08_III	–
Доля генеративных растений / Proportion of generative plants	-07_II	+CAT	–	–
Численность / Number of plants	+08_I	–	-CO	–
Реальная семенная продуктивность побега / Real seed productivity	–	–	–	+07_II
Урожай семян / Seed yield	–	–	–	+05_II, +07_II

Примечание. В таблице приведены периоды, с погодными условиями которых обнаружена достоверная корреляционная связь ($p < 0.05$).

Note. The table shows the periods with the weather conditions of which a significant correlation was found ($p < 0.05$).

В условном центре популяции заложена постоянная площадка, на которой расположены две мониторинговые трансекты. Численность побегов *C. guttatum* на трансектах варьировала за время исследований от 292 до 522 побегов (рис. 3), плотность от 16.2 до 29.0 побегов на 1 м². Выявлена отрицательная корреляционная связь между численностью побегов и суммой осадков предыдущего вегетационного периода и положительная – с температурой первой декады августа предыдущего вегетационного периода (см. табл. 4). Максимальная численность отмечена в 2011 г. после самого теплого начала августа 2010 г., когда температура состава

вила 24.9°C. После наиболее сырых вегетационных периодов 2014, 2016 и 2018 гг. (см. табл. 1), происходило снижение численности побегов (см. рис. 3).

Кроме того, на численность *C. guttatum* отрицательно влияют ранние осенние заморозки. В этот период почки с зачатками новых побегов уже сформированы и крайне уязвимы для неблагоприятных факторов среды, особенно промерзания почвы, которое может возникать при отсутствии снежного покрова, изолирующего почву от заморозков. Так, в 2015 г. после заморозков во второй половине октября 2014 г., когда средняя температура составляла -5°C и отсутствовал снежный покров, численность побегов резко сократилась (с 473 до 313 шт.).

Онтогенетические спектры популяции во все годы изучения были полночленными, правосторонними, с максимумом на взрослых вегетативных побегах (рис. 4). Средний онтогенетический спектр популяции *C. guttatum* за все время наблюдений составил 0.5:10.7:66.5:22.3 (*j:im:v:g*). Доля генеративных побегов варьировала от 8.9 до 35.6%, она оказалась отрицательно связанной с температурой второй декады июля предыдущего вегетационного периода (см. табл. 4). Доля ювенильных побегов составляла 0.2 – 0.9%. Выявлена положительная корреляционная связь между этим показателем и количеством осадков в третьей декаде августа предыдущего вегетационного периода (см. табл. 4).

Средняя завязываемость плодов в популяции составила 17.1%, она варьировала по годам от 3.3 до 55.6% (рис. 5). Максимальный показатель отмечен в 2011 г. Обнаружена отрицательная корреляционная связь между эффективностью опыления и темпе-



Рис. 2. Пространственное расположение популяции *Cypripedium guttatum*.

Fig. 2. Location of the *Cypripedium guttatum* population studied

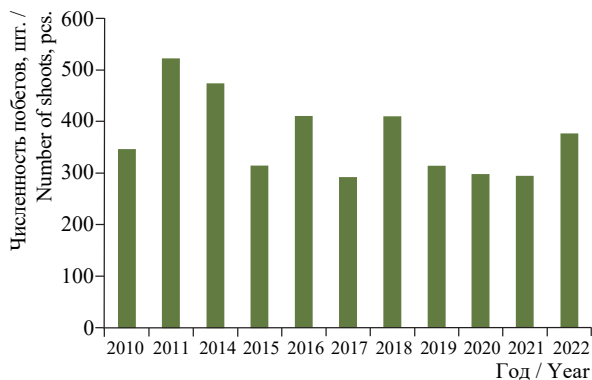


Рис. 3. Численность побегов *Cypripedium guttatum* на учетной площадке в 2010 – 2022 гг.

Fig. 3. Number of *Cypripedium guttatum* shoots in the study plot in 2010–2022

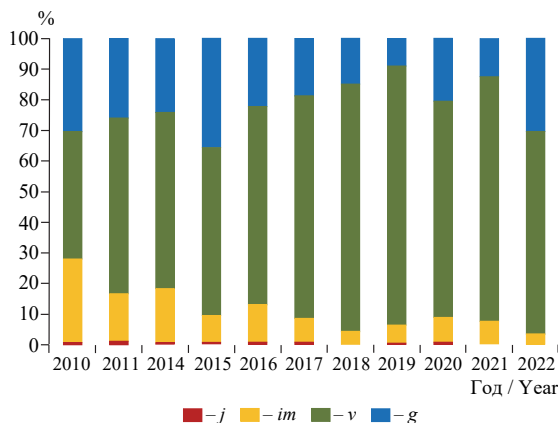


Рис. 4. Онтогенетические спектры популяции *Cypripedium guttatum* в 2010 – 2022 гг.

Fig. 4. Ontogenetic spectra of the *Cypripedium guttatum* population in 2010–2022

2014 г. Выявлена отрицательная корреляционная связь между объемом семян и температурой второй декады июля, а также между объемом зародыша и температурой третьей декады июня текущего вегетационного периода (см. табл. 4).

Среднее число семян в коробочке *C. guttatum* за все время изучения составило 4065 шт., этот показатель варьировал от 2270 (в 2014 г.) до 7374 шт. (в 2010 г.). Часть семян в коробочках оказалась неполноценной – не имела нормально разви-

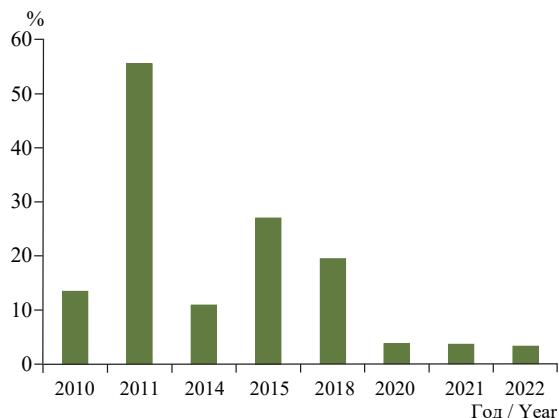


Рис. 5. Завязываемость плодов *Cypripedium guttatum* в разные годы изучения

Fig. 5. Fruit set of *Cypripedium guttatum* in several years of the study

ратурой второй декады июня текущего вегетационного периода (-0.65 , при $p < 0.10$).

Семена *C. guttatum* – темно-коричневого цвета, удлинённой веретеновидной формы (индекс семени 5.57). Средняя длина семян за все время изучения составила 1.10 ± 0.12 мм, ширина – 0.20 ± 0.03 мм. Около 89% объема семени занимает пустое воздушное пространство. Средняя длина зародыша – 0.20 ± 0.02 мм, ширина – 0.11 ± 0.01 мм. Морфометрическая характеристика семян и зародышей вида в разные годы изучения приведена в табл. 5. Наиболее крупные по объему семена и зародыши отмечены в

Доля таких семян составляла в разные годы от 0.7 до 12.4% (см. табл. 5). Реальная семенная продуктивность коробочки варьировала от 1989 до 7064 шт. (табл. 6). Реальная семенная продуктивность побега, которая складывается из таких показателей, как число полноценных семян в коробочке и завязываемость плодов, составляла от 217 до 2378 шт. в разные годы исследований (см. табл. 6). Выявлена положительная корреляционная связь между показателем реальной семенной продуктивности побега и осадками второй декады июля текущего вегетационного периода (см. табл. 4).

МОНИТОРИНГ ПОПУЛЯЦИИ *CYPRIPEDIUM GUTTATUM*

Таблица 5. Морфометрическая характеристика семян *Cypripedium guttatum* в разные годы исследований

Table 5. Morphometric characteristics of *Cypripedium guttatum* seeds in several years of the study

Признак / Characteristic	Год / Year					
	2010	2011	2014	2015	2017	2018
Длина семени, мм / Seed length, mm	1.20±0.10	1.18±0.06	1.05±0.09**	1.01±0.10*	1.06±0.11**	1.10±0.09
Ширина семени, мм / Seed width, mm	0.22±0.03	0.19±0.03**	0.23±0.03**	0.21±0.02**	0.18±0.02**	0.18±0.02
Индекс семени / Seed index	5.60±0.78	6.36±1.06**	4.64±0.77**	4.79±0.64**	5.87±0.87	6.15±0.73
Объем семени ×10 ⁻³ , мм ³ / Seed volume ×10 ⁻³ , mm ³	15.26	11.22**	14.95**	11.87**	9.40**	9.76
Длина зародыша, мм / Embryo length, mm	0.21±0.02	0.20±0.02**	0.20±0.01	0.18±0.02**	0.20±0.02**	0.19±0.01**
Ширина зародыша, мм / Embryo width, mm	0.11±0.01	0.10±0.01**	0.11±0.01**	0.10±0.01**	0.11±0.01*	0.10±0.01*
Индекс зародыша / Embryo index	1.91±0.29	2.00±0.21**	1.84±0.25**	1.74±0.28	1.85±0.21*	1.82±0.24
Объем зародыша ×10 ⁻³ , мм ³ / Embryo volume ×10 ⁻³ , mm ³	1.49	1.14**	1.38**	1.0**	1.27**	1.05**
Доля неполноценных семян, % / Proportion of seeds without embryo, %	4.2	0.9	12.4	8.6	0.7	6.7

Примечание. Сравнение признаков проводили попарно в порядке столбцов, приведенных в таблице (* – $p < 0.05$; ** – $p < 0.01$).

Note. Comparison of features was carried out in pairs in the order of the columns given in the table (* – $p < 0.05$; ** – $p < 0.01$).

Урожай семян определяли умножением показателя реальной семенной продуктивности побега на среднее число генеративных побегов на 1 м². Он составлял в изученной популяции в разные годы от 1972 до 18311 семян на 1 м². Выявлена положительная корреляционная связь между этим показателем и осадками во вторых декадах мая и июля текущего вегетационного периода (см. табл. 4).

Таблица 6. Семенная продуктивность *Cypripedium guttatum*

Table 6. Seed productivity of *Cypripedium guttatum*

Признак / Parameter	Год / Year			
	2010	2011	2014	2015
Среднее число семян в плоде, шт. / Seed number per fruit, pcs.	7374	4316	2270	2303
Реальная семенная продуктивность плода, шт. / Number of the seeds with embryo per fruit, pcs.	7064	4277	1989	2105
Реальная семенная продуктивность генеративного побега, шт. / Real seed production of shoot, pcs.	947	2378	217	568
Урожай семян, шт./м ² / Seed yield, pcs./m ²	5490	18311	1972	3523

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Наши исследования показали, что погодные факторы (температура и количество осадков) оказывают влияние на динамику и жизнеспособность популяции

Cypripedium guttatum на северной границе ее ареала. Выявлено их воздействие на сезонное развитие побегов и габитус растений. Так, на размеры листьев положительное воздействие оказывает температура июля предшествующего вегетационного периода, в этот период формируется почка возобновления, из которой развивается побег следующего года и произойдет закладка будущих органов побега.

Численность изученной популяции (25 тыс. побегов) – довольно высокая для этого вида. На Южном Урале популяции *C. guttatum* насчитывают несколько сотен побегов и имеют плотность 18 – 63 побега на 1 м² (Ишмуратова и др., 2003), на территории Башкирского заповедника численность популяций вида составляет от 11 до 577 побегов (Ишмуратова и др., 2010), в Якутии – 38 – 6600 шт. (Афанасьева и др., 2010; Хомутовский, Галкина, 2015). *C. guttatum* относится к видам длиннокорневищной жизненной формы (Татаренко, 1996) и для него характерны довольно большие по площади куртины, которые могут достигать десятков квадратных метров. Изученный нами массив пойменного заболоченного леса представляет собой благоприятные условия для произрастания *C. guttatum*, популяция которого занимает здесь площадь в 2510 м².

Колебания численности в изученной популяции носят флуктуационный характер, что характерно для видов рода *Cypripedium* (Блинова, 2009; Кириллова, Кириллов, 2021a; Kull, 1995; Brzosko, 2002). Выявлена положительная связь между численностью побегов и температурой первой декады августа предыдущего вегетационного периода. Подобная закономерность отмечена и для другого представителя сем. Орхидные в Республике Коми – *Dactylorhiza cruenta* (Кириллова, Кириллов, 2022). Кроме того, на численность побегов в изученной популяции отрицательно влияют сумма осадков предыдущего вегетационного периода и ранние осенние заморозки.

Во все годы изучения в популяции преобладали взрослые вегетативные побеги, доля которых составляла от 41.6 до 84.8%. Это характерно для вида и в других частях его ареала (Татаренко, 1996; Ишмуратова и др., 2003; Мартыненко и др., 2003; Афанасьева и др., 2010; Kharugin, Senchugova, 2023) и связано с активным вегетативным размножением, которое происходит с частичным омоложением потомства до имматурного и взрослого вегетативного состояний (Татаренко, 1996). Выявлено, что на долю генеративных побегов отрицательно влияют высокие положительные температуры июля предшествующего вегетационного периода. В этот период в почке возобновления начинают закладываться цветочные зачатки будущего года. Высокие температуры могут увеличить сухость почвы за счет увеличения испарения, что может быть губительным для цветочных зачатков.

Средняя завязываемость плодов в исследуемой популяции составила 17.1%. Низкая завязываемость плодов характерна для этого вида по всему ареалу. Так, на Южном Урале она составляет 5.0 – 8.5% (Ишмуратова и др., 2005), в Приморском крае – 26% (Татаренко, 1996), в Якутии – 16.7% (0 – 44%) (Афанасьева и др., 2013), в Прибайкалье – 1 – 7% (Быченко, 2009), в Пермском крае – 7.1 – 23.8% (Шибанова, 2016), в Тюменской области – 6.5% (Kharugin, Senchugova, 2023). Низкая эффективность опыления свойственна большинству безнектарных видов орхидных (Кириллова, Кириллов, 2021b; Neiland, Wilcock, 1998; Kindlmann,

Jersáková, 2006). Выявлено, что на эффективность опыления *C. guttatum* отрицательно влияет высокая температура во время цветения вида (вторая декада июня). Подобная закономерность отмечена и для другого представителя сем. Орхидные – *Dactylorhiza traunsteineri* в Республике Коми (Kirillova, Kirillov, 2020). Жаркая погода в конце июня – второй декаде июля отрицательно сказывается и на размерах семян и зародышей *C. guttatum*.

Отмечена изменчивость семенной продуктивности по годам, что характерно и для других видов орхидных (Кириллова, Кириллов, 2023; Neiland, Wilcock, 1995; Jersáková, Kindlmann, 2004). Выявлено, что реальная семенная продуктивность побега связана с осадками второй декады июля текущего вегетационного периода. Подобная закономерность (положительная корреляция реальной семенной продуктивности с осадками текущего вегетационного периода) отмечена и для некоторых других видов орхидных с территории Республики Коми – *Dactylorhiza traunsteineri* (Kirillova, Kirillov, 2020) и *D. cruenta* (Кириллова, Кириллов, 2022).

C. guttatum размножается в основном вегетативно, однако ежегодное присутствие ювенильных растений в исследованной популяции свидетельствует о наличии в ней и семенного возобновления. Выявлена положительная корреляционная связь между числом ювенильных растений и суммой осадков третьей декады августа предыдущего вегетационного периода. Это связано с тем, что для прорастания семян орхидных обычно требуется обильная влажность почвы (Rasmussen et al., 2015). Недостаток осадков негативно сказывался и на числе ювенильных побегов этого вида в Якутии (Афанасьева и др., 2013).

Высокая численность и площадь популяции, соответствие онтогенетических спектров базовому спектру вида свидетельствуют о благоприятных условиях для произрастания *C. guttatum* на изученной территории. Сочетание вегетативного и семенного размножения способствует устойчивому существованию вида в наблюдаемой популяции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мониторинг популяции *Cypripedium guttatum* на северной границе его ареала позволил выявить влияние погодных факторов (температуры воздуха и осадков) на разные аспекты демографии этого вида. На численность побегов положительно влияет температура первой декады августа предыдущего вегетационного периода и отрицательно – ранние осенние заморозки и сумма осадков предыдущего вегетационного периода. Число генеративных и ювенильных побегов связано с погодными условиями предшествующего вегетационного периода: на долю цветущих побегов отрицательно влияют высокие температуры в июле, а на число ювенильных растений положительное влияние оказывают осадки третьей декады августа. Завязываемость плодов связана с температурой воздуха во время цветения вида. Отмечена изменчивость семенной продуктивности *C. guttatum* по годам: в одной коробочке в разные годы исследований содержалось от 2270 до 7374 семян, реальная семенная продуктивность побега составляла 1989 – 7064 шт.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аверьянов Л. В. Род башмачок – *Cypripedium* (Orchidaceae) на территории России // Turczaninowia. 1999. Т. 2, № 2. С. 5 – 40.
- Афанасьева Е. А., Иванова Н. С., Данилова Н. С., Рожкова О. Ю. Состояние ценопопуляций *Cypripedium guttatum* (Orchidaceae) на охраняемых и неохраняемых территориях Якутии // Растительные ресурсы. 2010. Т. 46, вып. 1. С. 27 – 38.
- Афанасьева Е. А., Галкина М. А., Казанцева Е. С. Ценопопуляции *Cypripedium guttatum* Sw. в Центральной Якутии // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М. К. Аммосова. 2013. Т. 10, № 4. С. 11 – 18.
- Блинова И. В. Численность популяций орхидных и их динамика на северном пределе распространения в Европе // Ботанический журнал. 2009. Т. 94, № 2. С. 212 – 240.
- Быченко Т. М. Онтогенетическая структура и динамика ценопопуляций *Cypripedium guttatum* (Orchidaceae) в Прибайкалье // Растительные ресурсы. 2009. Т. 45, № 1. С. 22 – 35.
- Вахрамеева М. Г., Варлыгина Т. И., Татаренко И. В. Орхидные России (биология, экология и охрана). М. : Т-во науч. изд. КМК, 2014. 437 с.
- Злобин Ю. А., Скляр В. Г., Клименко А. А. Популяции редких видов растений: теоретические основы и методика изучения. Сумы: Университетская книга, 2013. 439 с.
- Ишмуратова М. М., Суюндуков И. В., Ишбирдин А. Р., Журнова Т. В., Набиуллин М. И. Состояние ценопопуляций некоторых видов сем. Orchidaceae на Южном Урале. Сообщение 2. Корневищные виды // Растительные ресурсы. 2003. Т. 39, вып. 2. С. 18 – 37.
- Ишмуратова М. М., Журнова Т. В., Ишбирдин А. Р., Суюндуков И. В., Магафуров А. М. Антэкология, фенология и консорты *Cypripedium calceolus* L. и *Cypripedium guttatum* Sw. на Южном Урале // Бюллетень МОИП. Отд. биологический. 2005. Т. 110, № 6. С. 40 – 46.
- Ишмуратова М. М., Набиуллин М. И., Суюндуков И. В., Ишбирдин А. Р. Орхидеи Башкирского заповедника и сопредельных территорий. Уфа: Гилем, 2010. 176 с.
- Кириллова И. А., Кириллов Д. В. Репродуктивная биология *Platanthera bifolia* (L.) Rich. (Orchidaceae) на северной границе ареала (Республика Коми) // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2017. № 38. С. 68 – 88. <https://doi.org/10.17223/19988591/38/4>
- 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. 2021a. Т. 28, № 5. С. 590 – 602. <https://doi.org/10.15372/SEJ20210508>
- Кириллова И. А., Кириллов Д. В. Репродуктивный успех орхидных на северном пределе их распространения (Северо-восток Европейской России) // Nature Conservation Research. Заповедная наука. 2021b. Т. 6, № 1. С. 17 – 27. <https://dx.doi.org/10.24189/ncr.2021.014>
- 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>
- Кириллова И. А., Кириллов Д. В. *Calypso bulbosa* (Orchidaceae) на северной границе ареала (Республика Коми, Россия): структура популяций и семенная продуктивность // Nature Conservation Research. Заповедная наука. 2023. Т. 8, № 2. С. 81 – 97. <https://dx.doi.org/10.24189/ncr.2023.017>
- Кириллова И. А., Пестов С. В., Кириллов Д. В. Репродуктивная биология *Cypripedium guttatum* Sw. (Orchidaceae, Monocotyledones) на северной границе ареала // Поволжский экологический журнал. 2017. № 2. С. 117–127.
- Красная книга Республики Коми. Сыктывкар: ООО «Коми республиканская типография», 2019. 768 с.

Мартыненко В. А., Полетаева И. И., Тетерюк Б. Ю., Тетерюк Л. В. Биология и экология редких растений Республики Коми. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 181 с.

Панченко С. М. Методы картирования при изучении экологии популяций редких видов растений // Украинский ботанический журнал. 2011. Т. 68, № 5. С. 672 – 685.

Татаренко И. В. Орхидные России: жизненные формы, биология, вопросы охраны. М.: Аргус, 1996. 207 с.

Хомутовский М. И., Галкина М. А. К репродуктивной биологии *Cypripedium guttatum* Sw. (Orchidaceae Juss.) в Якутии // Бюллетень Брянского отделения Российского ботанического общества. 2015. Т. 5, № 1. С. 3 – 7.

Шибанова Н. Л. Демографическая и экологическая характеристики орхидных Пермского края // Пермский аграрный вестник. 2016. № 2(14). С. 113 – 128.

Arditti J., Michaud J. D., Healey P. L. Morphometry of orchid seeds. I. Paphiopedilum and native California and related species of *Cypripedium* // American Journal of Botany. 1979. Vol. 66, iss. 10. P. 1128 – 1137. <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1979.tb06332.x>

Brzosko E. Dynamics of island populations of *Cypripedium calceolus* in the Biebrza river valley (North-East Poland) // Botanical Journal of Linnean Society. 2002. Vol. 139, iss. 1. P. 67 – 77. <https://doi.org/10.1046/j.1095-8339.2002.00049.x>

Healey P. L., Michaud J. D., Arditti J. Morphometry of Orchid Seeds. III. Native California and Related Species of Goodyera, Piperia, Platanthera and Spiranthes // American Journal of Botany. 1980. Vol. 67, iss. 4. P. 508 – 518. <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1980.tb07678.x>

Jersáková J., Kindlmann P. Reproductive success and sex variation in nectarless and rewarding orchids // International Journal of Plant Sciences. 2004. Vol. 165, №. 5. P. 779 – 785. <https://doi.org/10.1086/422044>

Khapugin A., Senchugova M. A. The age structure of a *Cypripedium guttatum* (Orchidaceae) population in the Tyumen region, Western Siberia // Journal of Wildlife and Biodiversity. 2023. Vol. 7, № 2. P. 35 – 44. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7178289>

Kindlmann P., Jersáková J. Effect of floral display on reproductive success in terrestrial orchids // Folia Geobotanica. 2006. Vol. 41, iss. 1. P. 47 – 60. <https://doi.org/10.1007/BF02805261>

Kirillova I. A., Kirillov D. V. Impact of weather conditions on seasonal development, population structure and reproductive success on *Dactylorhiza traunsteineri* (Orchidaceae) in the Komi Republic (Russia) // Nature Conservation Research. 2020. Vol. 5, suppl. 1. P. 77 – 89. <https://doi.org/10.24189/ncr.2020.016>

Kirillov D., Kirillova I. *Cypripedium guttatum* Sw. in the Komi Republic. 2022. Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Occurrence dataset. <https://doi.org/10.15468/pdjzui> accessed via GBIF.org on 2023-04-10

Kull T. Genet and ramet dynamics of *Cypripedium calceolus* in different habitats // Abstracta Botanica. 1995. Vol. 19. P. 95 – 104.

Neiland M. R. M., Wilcock C. C. Maximisation of reproductive success by European orchidaceae under conditions of infrequent pollination // Protoplasma. 1995. Vol. 187, iss. 1. P. 39 – 48. <https://doi.org/10.1007/BF01280231>

Neiland M. R. M., Wilcock C. C. Fruit set, nectar reward, and rarity in the Orchidaceae // American Journal of Botany. 1998. Vol. 85, iss. 12. P. 1657 – 1671. <https://doi.org/10.2307/2446499>

Rasmussen H. N., Dixon K. W., Jersáková J., Těšitelová T. Germination and seedling establishment in orchids: A complex of requirements // Annals of Botany. 2015. Vol. 116, iss. 3. P. 391 – 402. <https://doi.org/10.1093/aob/mcv087>

Shefferson R. P., Jacquemy H., Kull T., Hutchings M. J. The demography of terrestrial orchids: Life history, population dynamics and conservation // Botanical Journal of the Linnean Society. 2020. Vol. 192, iss. 2. P. 315 – 332. <https://doi.org/10.1093/botlinnean/boz084>

Monitoring of a *Cypripedium guttatum* (Orchidaceae, Liliopsida) population on the northern border of its distribution range (Komi Republic, European Russia)

I. A. Kirillova , D. V. Kirillov

*Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences
28 Kommunisticheskaya St., Syktyvkar 167982, Russia*

Received: April 13, 2023 / revised: May 15, 2023 / accepted: May 15, 2023 / published: December 12, 2023

Abstract. The results of our 12-year study of a population of the rare orchid *Cypripedium guttatum* Sw. on the northern border of its range, on the territory of the Komi Republic (north-east of European Russia) are presented. Our research has shown that weather factors (temperature and precipitation) have an impact on the seasonal development of shoots and plant size. The number of shoots is influenced by the weather conditions of the previous growing season, namely: the temperature of the first decade of August influences positively while early autumn frosts and the amount of precipitation of the entire period do negatively. A negative correlation was found between the number of flowering shoots and the temperature of the second decade of July of the previous growing season and a positive relationship between the number of juvenile plants and the precipitation of August of the previous growing season. Fruit set was quite low (17.1%), which is typical for this species. The pollination efficiency of *C. guttatum* was negatively affected by the high temperature during its flowering (the second decade of June). One box contained an average of 4065 seeds. The real seed productivity per shoot varied from 1989 to 7064 pcs., it is associated with precipitation in the second decade of July of the current growing season. The high number of the population studied (25 thousand shoots), the correspondence of the ontogenetic spectrum to the basic one of the species, the annual presence of juvenile plants of seed origin indicates its stable condition.

Keywords: orchids, monitoring, fruit set, seed productivity

Funding. The study was conducted in framework of the state assignment of the Institute of Biology of Komi Scientific Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (No. 122040600026-9).

Ethics approval and consent to participate: This work does not contain any studies involving human and animal subjects.

Competing interests: The authors have declared that no competing interests exist.

For citation: Kirillova I. A., Kirillov D. V. Monitoring of a *Cypripedium guttatum* (Orchidaceae, Liliopsida) population on the northern border of its distribution range (Komi Republic, European Russia). *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2023, no. 4, pp. 420–436. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2022-4-420-436>

 *Corresponding author.* Department of Flora and Vegetation of the North, Institute of Biology of Komi Scientific Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Russia.

ORCID and e-mail addresses: Irina A. Kirillova: <https://orcid.org/0000-0001-7774-7709>, kirillova_orchid@mail.ru; Dmitry V. Kirillov: <https://orcid.org/0000-0002-6577-693X>, kirdimka@mail.ru.

REFERENCES

- Averyanov L. V. Genus *Cypripedium* (Orchidaceae) in the Russia. *Turczaninowia*, 1999, vol. 2, no. 2, pp. 5–40 (in Russian).
- Afanasieva E. A., Ivanova N. S., Danilova N. S., Rozhkova O. Yu. The state of *Cypripedium guttatum* (Orchidaceae) coenopopulations in protected and unprotected territories of Yakutia. *Rastitelnye Resursy*, 2010, vol. 46, iss. 1, pp. 27–38 (in Russian).
- Afanasieva E. A., Galkina M. A., Kazantseva E. S. Cenopopulation of *Cypripedium guttatum* in the Central Yakutia. *Vestnik of the M. K. Ammosov North-Eastern Federal University*, 2013, vol. 10, no. 4, pp. 11–18 (in Russian).
- Blinova I. V. The number of orchid populations and their dynamics at the northern limit of distribution in Europe. *Botanicheskii zhurnal*, 2009, vol. 94, no. 2, pp. 212–240 (in Russian).
- Bychenko O. M. Ontogenetic structure and dynamics of coenopopulations of *Cypripedium guttatum* (Orchidaceae) in Cisbaikalia. *Rastitelnye Resursy*, 2009, vol. 45, iss. 1, pp. 22–35 (in Russian).
- Vakhrameeva M. G., Varlygina T. I., Tatarenko I. V. *Orchids of Russia (Biology, Ecology and Protection)*. Moscow, KMK Scientific Press Ltd., 2014. 437 p. (in Russian).
- Zlobin Yu. A., Sklyar V. G., Klimenko A. A. *Populiatsii redkikh vidov rastenii: teoreticheskie osnovy i metodika izucheniya* [Populations of Rare Plant Species: Theoretical Bases and Methodology of Study]. Sumi, Universitetskaya kniga, 2013. 439 p. (in Russian).
- Ishmuratova M. M., Sujundukov I. V., Ishbirdin A. R., Zhirnova T. V., Nabiullin M. I. A state of coenopopulations of some species of the family Orchidaceae on the South Urals. Communication 2. Rhizome species. *Rastitelnye Resursy*, 2003, vol. 39, iss. 2, pp. 18–37 (in Russian).
- Ishmuratova M. M., Zhirnova T. V., Ishbirdin A. R., Sujundukov I. V., Magafurov A. M. Anthecology, phenology and consorts of *Cypripedium calceolus* L. and *Cypripedium guttatum* Sw. in Southern Ural. *Bulletin of Moscow Society of Naturalists, Biological Series*, 2005, vol. 110, no. 6, pp. 40–46 (in Russian).
- Ishmuratova M. M., Nabiullin M. I., Sujundukov I. V., Ishbirdin A. R. *Orhidei Bashkirskogo zapovednika i sopredel'nyh territorij* [Orchids of the Bashkir Nature Reserve and Adjacent Territories]. Ufa, Gilem, 2010. 176 p. (in Russian).
- Kirillova I. A., Kirillov D. V. Reproductive Biology of *Platanthera bifolia* (L.) Rich. (Orchidaceae) on its Northern Distribution Border (The Komi Republic). *Tomsk State University Journal of Biology*, 2017, no. 38, pp. 68–88 (in Russian). <https://doi.org/10.17223/19988591/38/4>
- 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*, 2021a, vol. 14, no. 5, pp. 472–482. <https://doi.org/10.1134/S1995425521050061>
- Kirillova I. A., Kirillov D. V. Reproductive success of orchids at the northern border of their distribution areas (North-East of European Russia). *Nature Conservation Research*, 2021b, vol. 6, no. 1, pp. 17–27 (in Russian). <https://dx.doi.org/10.24189/ncr.2021.014>
- 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. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2022-2-173-192>
- Kirillova I. A., Kirillov D. V. *Calypso bulbosa* (Orchidaceae) on the northern border of its distribution range (Komi Republic, Russia): population structure, fruit and seed set. *Nature Conservation Research*, 2023, vol. 8, no. 2, pp. 81–97 (in Russian). <https://dx.doi.org/10.24189/ncr.2023.017>
- Kirillova I. A., Pestov S. V., Kirillov D. V. Reproductive biology of *Cypripedium guttatum* Sw. (Orchidaceae, Monocotyledones) at the northern border of its habitat. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2017, no. 2, pp. 117–127 (in Russian).

- Krasnaya kniga Respubliki Komi* [The Red Data Book of the Komi Republic]. Syktyvkar, Komi respublikanskaia tipografiia Publ., 2019. 768 p. (in Russian).
- Martynenko V. A., Poletaeva I. I., Teteryuk B. J., Teteryuk L. V. *Biology and Ecology of Rare Plants of the Komi Republic*. Ekaterinburg, Ural Division RAS, 2003. 181 p. (in Russian).
- Panchenko S. M. Mapping methods for studying the ecology of populations of rare plant species. *Ukrainian Botanical Journal*, 2011, vol. 68, no. 5, pp. 672–685 (in Russian).
- Tatarenko I. V. *Orkhidnye Rossii: zhiznennye formy, biologiya, voprosy okhrany* [Orchids of Russia: Life Forms, Biology, Strategy of Preservation]. Moscow, Argus, 1996. 207 p. (in Russian).
- Khomutovskiy M. I., Galkina M. A. Reproductive biology of *Cypripedium guttatum* Sw. (Orchidaceae Juss.) in Yakutia. *Bulletin of the Bryansk Department of the Russian Botanical Society*, 2015, vol. 5, no. 1, pp. 3–7 (in Russian).
- Shibanova N. L. Demographic and ecological characteristics of orchidaceae in Permskii krai. *Perm Agrarian Journal*, 2016, no. 2(14), pp. 113–128 (in Russian).
- Arditti J., Michaud J. D., Healey P. L. Morphometry of orchid seeds. I. Paphiopedilum and native California and related species of *Cypripedium*. *American Journal of Botany*, 1979, vol. 66, iss. 10, pp. 1128–1137. <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1979.tb06332.x>
- Brzozko E. Dynamics of island populations of *Cypripedium calceolus* in the Biebrza river valley (North-East Poland). *Botanical Journal of Linnean Society*, 2002, vol. 139, iss. 1, pp. 67–77. <https://doi.org/10.1046/j.1095-8339.2002.00049.x>
- Healey P. L., Michaud J. D., Arditti J. Morphometry of Orchid Seeds. III. Native California and Related Species of Goodyera, Piperia, Platanthera and Spiranthes. *American Journal of Botany*, 1980, vol. 67, iss. 4, pp. 508–518. <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1980.tb07678.x>
- Jersáková J., Kindlmann P. Reproductive success and sex variation in nectarless and rewarding orchids. *International Journal of Plant Sciences*, 2004, vol. 165, no. 5, pp. 779–785. <https://doi.org/10.1086/422044>
- Khapugin A., Senchugova M. A. The age structure of a *Cypripedium guttatum* (Orchidaceae) population in the Tyumen region, Western Siberia. *Journal of Wildlife and Biodiversity*, 2023, vol. 7, no. 2, pp. 35–44. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7178289>
- Kindlmann P., Jersáková J. Effect of floral display on reproductive success in terrestrial orchids. *Folia Geobotanica*, 2006, vol. 41, iss. 1, p. 47–60. <https://doi.org/10.1007/BF02805261>
- Kirillova I. A., Kirillov D. V. Impact of weather conditions on seasonal development, population structure and reproductive success on *Dactylorhiza traunsteineri* (Orchidaceae) in the Komi Republic (Russia). *Nature Conservation Research*, 2020, vol. 5, suppl. 1, pp. 77–89. <https://doi.org/10.24189/ncr.2020.016>
- Kirillov D., Kirillova I. *Cypripedium guttatum* Sw. in the Komi Republic. 2022. Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Occurrence dataset. <https://doi.org/10.15468/pdjzui> accessed via GBIF.org on 2023-04-10
- Kull T. Genet and ramet dynamics of *Cypripedium calceolus* in different habitats. *Abstracta Botanica*, 1995, vol. 19, pp. 95–104.
- Neiland M. R. M., Wilcock C. C. Maximisation of reproductive success by European orchidaceae under conditions of infrequent pollination. *Protoplasma*, 1995, vol. 187, iss. 1, pp. 39–48. <https://doi.org/10.1007/BF01280231>
- Neiland M. R. M., Wilcock C. C. Fruit set, nectar reward, and rarity in the Orchidaceae. *American Journal of Botany*, 1998, vol. 85, iss. 12, pp. 1657–1671. <https://doi.org/10.2307/2446499>
- Rasmussen H. N., Dixon K. W., Jersáková J., Těšitelová T. Germination and seedling establishment in orchids: A complex of requirements. *Annals of Botany*, 2015, vol. 116, iss. 3, pp. 391–402. <https://doi.org/10.1093/aob/mcv087>
- Shefferson R. P., Jacquemy H., Kull T., Hutchings M. J. The demography of terrestrial orchids: Life history, population dynamics and conservation. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 2020, vol. 192, iss. 2, pp. 315–332. <https://doi.org/10.1093/botlinnean/boz084>

Оригинальная статья

УДК 639.1.053(470.44)

<https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-4-437-453>

ВОЗМОЖНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕОБХОДИМОЙ ПРОТЯЖЕННОСТИ УЧЕТНЫХ МАРШРУТОВ ЗМУ НА ОСНОВАНИИ ПЛОЩАДИ ОХОТНИЧЬИХ УГОДИЙ

И. А. Кондратенков

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

Поступила в редакцию 11.07.2023 г., после доработки 17.08.2023 г., принята 17.08.2023 г., опубликована 12.12.2023 г.

Аннотация. Статья 36 ФЗ Об охоте и о сохранении охотничьих ресурсов от 24.07.2009 г. № 209-ФЗ (в ред. Федерального закона от 22.12.2020 N 455-ФЗ) предусматривает, что учет охотничьих животных, в отношении которых в соответствии с указанным Федеральным законом устанавливаются лимит добычи и квота их добычи, осуществляется на основании научно обоснованных методик. В настоящее время рекомендованной уполномоченным федеральным органом исполнительной власти и размещенной в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» на официальном сайте уполномоченного федерального органа исполнительной власти является Методика учета численности охотничьих ресурсов методом зимнего маршрутного учета, утвержденная приказом ФГБУ «ФНИЦ Охота» от 14 ноября 2022 года № 74. Одним из основных отличий указанной методики учета является алгоритм определения минимально необходимой общей протяженности учетных маршрутов от общей площади охотничьих угодий, расположенных в границах соответствующих охотничьих хозяйств. Однако в открытой печати отсутствуют данные о проведенных научных исследованиях, обосновывающих такой подход к определению необходимой протяженности учетных маршрутов. Это послужило основанием для проведения настоящего исследования. На примере учета лося для некоторых охотничьих хозяйств Саратовской области была проверена возможность объективного определения минимально необходимой общей длины учетных маршрутов в зависимости от общей площади охотничьих угодий, расположенных в границах этих хозяйств. Результаты исследования показали, что такой подход в планировании объемов учетных работ принципиально ошибочен и не может считаться научно обоснованным, а так как он занимает центральное место в рассматриваемой Методике учета численности охотничьих ресурсов методом зимнего маршрутного учета, то и последняя является научно необоснованной. Следовательно, размещение ее в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» на официальном сайте уполномоченного федерального органа исполнительной власти противоречит действующему законодательству Российской Федерации в области охоты и сохранения охотничьих ресурсов.

Ключевые слова: методика учета, зимний маршрутный учет, нормативы учетных работ, протяженность учетных маршрутов, площадь охотничьих угодий

Соблюдение этических норм. Исследования были проведены без использования животных и без привлечения людей в качестве испытуемых.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

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

ORCID и e-mail адрес: Кондратенков Игорь Алексеевич: kondri60@mail.ru.

Для цитирования. Кондратенков И. А. Возможность определения необходимой протяженности учетных маршрутов ЗМУ на основании площади охотничьих угодий // Поволжский экологический журнал. 2023. № 4. С. 437 – 453. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-4-437-453>

ВВЕДЕНИЕ

Учет численности охотничьих животных на территории Российской Федерации является важной составной частью государственного мониторинга. Данные учетов применяются в целях выявления изменений состояния популяций охотничьих животных под воздействием природных и (или) антропогенных факторов, оценки и прогноза этих изменений, а также в целях организации их сохранения и рационального использования.

Статья 36 ФЗ Об охоте и о сохранении охотничьих ресурсов от 24.07.2009 г. № 209-ФЗ (в ред. Федерального закона от 22.12.2020 № 455-ФЗ) предусматривает, что учет охотничьих животных, в отношении которых в соответствии с указанным Федеральным законом устанавливаются лимит добычи и квота их добычи, осуществляется на основании научно обоснованных методик, не являющихся нормативными правовыми актами, рекомендованными уполномоченным федеральным органом исполнительной власти и размещенными в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» на официальном сайте уполномоченного федерального органа исполнительной власти.

Основным видом учета численности охотничьих животных на территории Российской Федерации является зимний маршрутный учет (ЗМУ), который массово применяется начиная с 70-х гг. XX в. и до настоящего времени. Сам метод зимнего маршрутного учета был разработан отечественными учеными, и первая инструкция на эту тему была издана в 1972 г. (Приклонский, 1972). В дальнейшем, по мере совершенствования метода последовательно издавались соответствующие методические указания в 1980 – 1990 гг. и методические рекомендации в 2009 г. (Приклонский, Кузякин, 1980; Кузякин и др., 1990а; Мирутенко и др., 2009).

Данные ЗМУ послужили основой множеству научных статей, посвященных динамике численности и размещению населения многих видов охотничьих животных (Назаров, 1983; Назаров, Мошева, 1983; Ломанов, 1988; Росоловский и др., 1988, Ломанов, 2007 и др.). В последнее время было показано, что, при определенных условиях, можно использовать данные указанного учета для определения репродуктивного потенциала популяций этих видов (Кондратенков и др., 2021) и оценки их экологических плотностей (Кондратенков и др., 2023).

Метод ЗМУ известен за рубежом и в некоторых случаях он применялся (Keeping, Pelletier, 2014), но в основном подсчет следов на маршрутах там используется как относительный показатель численности, указывающий на тенденции изменения популяций из года в год и в зависимости от различных сред обитания (Forsey, Baggs, 2001), а также в зависимости от деятельности человека (Razenkova et al., 2023).

Первоначально зимний маршрутный учет в нашей стране использовался для оценки численности охотничьих животных на больших территориях, субъектах Российской Федерации. В дальнейшем, начиная с 2012 г., начались попытки при-

ВОЗМОЖНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕОБХОДИМОЙ ПРОТЯЖЕННОСТИ

менять данный учет для оценки численности охотничьих животных на небольших территориях отдельных охотничьих хозяйств. Конечным результатом таких усилий стала Методика учета численности охотничьих ресурсов методом зимнего маршрутного учета, утвержденная приказом ФГБУ «ФНИЦ Охота» от 14 ноября 2022 года № 74 (далее – Методика ЗМУ), размещенная в настоящее время на официальном сайте Минприроды России.

Одним из основных отличий указанной методики учета от приведенных ранее является алгоритм определения минимально необходимой общей протяженности учетных маршрутов. Если ранее необходимые объемы учетных работ определялись на основании состояний популяций наиболее распространенных видов охотничьих животных, таких как лось (*Alces alces* L.), заяц-беляк (*Lepus timidus* L.), белка (*Sciurus vulgaris* L.), рысь (*Lynx lynx* L.), горностай (*Mustela erminea* L.) и лисица (*Vulpes vulpes* L.), отдельно для каждого субъекта Российской Федерации (Кузякин, 2017), то теперь они определяются в целом для всех охотничьих хозяйств в зависимости от общей площади охотничьих угодий, расположенных в границах этих хозяйств.

Такой подход сразу же вызвал нарекания со стороны многих специалистов (Кузякин, 2015; Кузякин, Челинцев, 2015 и др.), как уже отмечалось ранее, рекомендуемая методика учета должна быть научно обоснованной, соответственно должны быть научно обоснованными и основные положения методики, в частности алгоритм определения необходимых объемов учетных работ. Научное обоснование предусматривает проведение научного исследования (наблюдения, эксперимента), в ходе которого проводятся измерения каких-либо величин, в дальнейшем полученные результаты систематизируются, анализируются и формируются определенные выводы. При этом должна обеспечиваться возможность независимой проверки полученных результатов научного исследования, а сами результаты должны быть воспроизводимыми.

В доступной научной литературе нам не удалось найти упоминаний о проведенных исследованиях, доказывающих возможность определять минимально необходимую общую протяженность учетных маршрутов ЗМУ в зависимости от общей площади всех охотничьих угодий, расположенных в границах охотничьего хозяйства. Проверка такого утверждения является целью настоящей работы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Зимний маршрутный учет, как и большинство учетов вообще, является статистическим методом и его точность зависит от объема выборки. Выборкой в данном случае будет число пересечений учетными маршрутами групповых следов учитываемых животных и число вытропленных групповых суточных следов. Под групповым следом по аналогии с групповым наследом, термином введенным Н. Г. Челинцевым (2000), здесь будем понимать следы, оставленные единой группой зверей, включая и одиночных особей, и рассматриваемые как одна линия. Если характер распределения измеряемой в ходе учета случайной величины известен, или имеются данные предыдущих исследований, то можно определить объем учетных работ, необходимый для получения результата учета с заранее заданной

точностью (Зыков, Сапетин, 1965; Смирнов, 1969; Кузякин, 2017). Именно так были определены объемы учетных работ для субъектов Российской Федерации в Нормативах объемов работ и затрат на проведение зимнего маршрутного учета охотничьих животных в РСФСР (Кузякин и др., 1990б), где предполагалась точность оценки расчетов численности охотничьих животных с относительной статистической ошибкой не более 15% (Кузякин, 2017).

По аналогии с субъектами Российской Федерации следует проводить расчет объемов учетных работ и для отдельных охотничьих хозяйств, т. е. сначала необходимо выбрать некоторый приоритетный вид охотничьих животных, обычный для этого хозяйства, и в отношении его проводить все дальнейшие расчеты. Так как для различных хозяйств обычными могут быть разные виды, а плотность населения одного и того же вида на их территориях может быть различна, то и расчеты необходимо проводить отдельно для каждого из этих хозяйств, что безусловно достаточно сложно. Предложенный в Методике ЗМУ алгоритм расчета минимально необходимой протяженности учетных маршрутов намного проще, однако это возможно только в том случае, если предположить достаточно сильную связь между общей площадью охотничьих угодий, расположенных в границах охотничьего хозяйства (далее – исследуемой территорией), и плотностью населения учитываемых видов охотничьих животных.

Из любой научной теории методами формальной логики можно определить возможность или невозможность возникновения при некоторых начальных условиях некоторых событий или физических эффектов, которые могут быть проверены экспериментально любым исследователем. Если в ходе эксперимента возникают события, запрещенные проверяемой теорией, то эта теория или некоторые начальные посылы, на основе которых была определена эта теория, фальсифицируются или признаются ложными. Если в ходе эксперимента запрещенных событий не возникло, то теория считается эмпирически подтвержденной (Поппер, 1983).

В нашем случае критерием возможности определения минимально необходимой общей длины учетных маршрутов в зависимости от площади исследуемой территории будет совпадение хотя бы для большей части охотничьих хозяйств протяженности маршрутов, рассчитанной в соответствии с Методикой ЗМУ с аналогичными показателями, рассчитанными на основании статистического метода.

Для проведения указанных расчетов были использованы данные зимних маршрутных учетов лося (*Alces alces* L.) на территории Саратовской области за 2008 – 2012 и 2014 гг.

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

Выше уже говорилось о том, что ранее нормативы объемов учетных работ при проведении ЗМУ разрабатывались из необходимости получения оценки численности наиболее распространенных видов животных для каждого субъекта Россий-

ской Федерации с относительной статистической ошибкой, не превышающей 15%. В указанной Методике подобной цели не заявлено, поэтому рассмотрим сначала, а с какой вообще точностью может быть получена оценка численности указанных животных в отношении отдельного охотничьего хозяйства.

До недавнего времени методика зимнего маршрутного учета охотничьих животных состояла из двух частей – учета на маршрутах пересеченных следов учитываемого вида зверей, собственно маршрутной части учета, и тропления их суточных следов. По результатам первой части учета определялся показатель учета – среднее число пересечений следов учитываемого вида зверей на единицу длины всех пройденных на исследуемой территории маршрутов (далее – показатель учета следов), а по результатам второй части определялась средняя длина суточного хода данного вида.

Последний показатель использовался в дальнейшем для пересчета показателя учета следов в плотность населения вида, что, собственно, являлось причиной недопонимания многими специалистами сути ЗМУ. Создавалось ложное впечатление, что конечным результатом маршрутной части учета является определение показателя учета следов, это не так, конечным результатом здесь является определение показателя густоты следовых линий учитываемого вида зверей – суммарной длины всех следовых линий (суточных следов или их частей), оставляемых всеми особями учитываемого вида зверя за все время проведения учетных работ в среднем в течение суток и приходящаяся в среднем на единицу площади исследуемой территории (Челинцев, 2000; Кондратенков, 2018).

Показатель густоты следовых линий можно рассматривать как индекс плотности населения учитываемого вида зверей (Колли, 1979), именно так он и будет рассматриваться в настоящей статье. В качестве индекса плотности можно рассматривать и показатель учета следов, но он менее информативен, так как является линейным в отличие от показателя густоты следовых линий, который является площадным. По аналогии с дифференциальным исчислением можно сказать, что показатель учета следов является индексом плотности второй степени, а показатель густоты следовых линий – индексом плотности первой степени.

Учитывая, что обе рассмотренные части учета являются независимыми друг от друга, учет на маршрутах можно проводить без троплений, как это делается в настоящее время, а тропления можно проводить с целью определения суточной активности зверей, а не для определения их численности, учет на маршрутах пересекать следов и следует считать зимним маршрутным учетом в чистом виде. Правда, конечным результатом такого учета будет не оценка численности охотничьих животных, а оценка суммарной длины всех следовых линий, оставляемых всеми особями учитываемого вида зверей на исследуемой территории в течение всего времени проведения учетных работ, в среднем в течение суток.

Таким образом, относительная статистическая ошибка оценки численности учитываемого вида зверя будет определяться аналогичными ошибками показателя густоты следовых линий и оценки средней длины суточного хода данного вида (Кондратенков, 2018).

$$\varepsilon(N) = \sqrt{\varepsilon^2(\hat{P}) + \varepsilon^2(\bar{L})}, \quad (1)$$

где $\varepsilon(\hat{P})$ – относительная статистическая ошибка показателя густоты следовых линий, $\varepsilon(\bar{L})$ – относительная статистическая ошибка оценки средней длины суточного хода.

Здесь следует отметить, что среднюю длину суточного хода зверя можно оценить не только методом тропления, но и другими методами, просто метод троплений оказался наиболее удобным для больших территорий. Наоборот, для малых территорий, какими и являются отдельные охотничьи хозяйства, он оказался неприемлемым. Поэтому в рассматриваемой Методике ЗМУ для расчета численности охотничьих животных используются постоянные пересчетные коэффициенты, которые рассчитаны на основании средних многолетних оценок длин суточных ходов учитываемых видов зверей. Определим, какова же при этом будет погрешность в определении оценки средней длины суточного хода для отдельных хозяйств.

Всю совокупность всех вытروпленных суточных наследов учитываемого вида зверей за многолетний период времени можно рассматривать как общую выборку, а совокупности вытропленных суточных наследов в течение конкретных годов – как частные выборки. Нами (Кондратенков, 2017) было установлено, что при замене частной средней общей средней возникает систематическая ошибка, равная разности этих средних, а при замене общей средней всех частных средних эта ошибка будет в среднем равна вариации частных средних вокруг общей средней. При этом если объем выборки в каждой части общей совокупности будет составлять одну единицу, то указанная вариация частных средних станет равной выборочному коэффициенту вариации оцениваемой случайной величины, определенному на всей ее совокупности.

В каждом охотничьем хозяйстве в Саратовской области как раз и проводилось в среднем не более одного тропления в год, отсюда следует, что нельзя оценить среднюю длину суточного хода учитываемого вида зверей для отдельных хозяйств с относительной ошибкой меньшей, чем коэффициент вариации этого показателя.

По данным троплений суточных наследов лося, проведенных на территории Саратовской области в период с 2008 по 2012 гг., коэффициент вариации средней длины суточного хода этого вида оценивается в 70%. Следовательно, использование в каждом охотничьем хозяйстве в качестве оценки средней длины суточного хода значения средней многолетней этого показателя, определенного для области в целом, приводит к тому, что оценить численность лося для отдельных охотничьих хозяйств с относительной ошибкой меньшей, чем 70% не представляется возможным. Соответственно, нет никакой необходимости определять показатель густоты следовых линий с точностью намного большей, чем точность определения средней длины суточного хода.

С математической точки зрения оптимальным будет определение обоих показателей с одинаковой погрешностью, однако, в целях настоящей статьи, определять показатель густоты следовых линий будем с несколько большей точностью, с относительной статистической ошибкой равной 50%.

Теперь следует определиться с какой точностью необходимо будет определять показатель учета следов, для чего вернемся к рассмотрению научных основ ЗМУ, а именно к величине $\pi/2$, к тому, что она из себя представляет. Можно сказать, что еще одним камнем преткновения этого учета было отсутствие наглядной интерпретации данной величины (Челинцев, 2000). В свое время нами (Кондратенков, 2018, 2020) было показано, что данная величина является собственно пересчетным коэффициентом ЗМУ, она преобразует линейный показатель учета следов в площадной показатель густоты следовых линий. Эту величину можно интерпретировать следующим образом, она показывает во сколько раз суммарная протяженность всех следовых линий в пределах некоторой учетной ленты, проходящихся в среднем на одно пересечение центральной осью ленты (маршрутом) этих следовых линий, больше ширины учетной ленты. Из данного определения видно, что пересчетный коэффициент ЗМУ является такой тоже случайной величиной, как и показатель учета следов. Если же будет выполнено условие равной вероятности пересечений учетным маршрутом суточного наследа учитываемого вида зверей в любом его месте и в любом направлении в диапазоне от 0 до 2π , то математическое ожидание значения указанного пересчетного коэффициента будет равно $\pi/2$. При этом ширина учетной ленты может быть любой в пределах исследуемой территории.

Для обеспечения равной вероятности пересечений учетным маршрутом суточного наследа учитываемого вида зверей в любом его месте и в любом направлении в диапазоне от 0 до 2π необходимо и достаточно равномерно разместить на исследуемой территории большое число учетных маршрутов, ориентированных по различным направлениям. Кроме того, в этом случае нам будет заранее известно не только математическое ожидание пересчетного коэффициента ЗМУ, но и его распределение как случайной величины, которое в первом приближении можно считать показательным (Кондратенков, 2020). То есть относительная статистическая ошибка пересчетного коэффициента ЗМУ будет такой же, как и аналогичная ошибка показателя учета следов, если допустить случайный характер пересечения учетным маршрутом следов учитываемого вида зверей, что для небольших территорий вполне допустимо. Отсюда относительная статистическая ошибка показателя густоты следовых линий будет равна, соответственно, для случая одиночных и стадных (стайных) животных:

$$\varepsilon(\hat{P}) = \sqrt{\frac{2}{x}}, \quad (2a)$$

$$\varepsilon(\hat{P}) = \sqrt{\frac{1}{x^*}((2 + c^2(b))),} \quad (2б)$$

где x – число пересечений маршрутом следов учитываемых зверей, x^* – число пересечений маршрутом групповых следов учитываемых зверей (рассматриваемых как одна линия), $C(b)$ – коэффициент вариации числа особей в группах.

Здесь следует отметить, что коэффициент вариации числа особей в группах при расчете относительной статистической ошибки показателя густоты следовых линий должен учитываться только один раз, как это и указано в выражении (2б) в

настоящей статье, а не два раза, как это было ошибочно сделано нами первоначально.

Учитывая, что для лося вариация числа особей в группе существенно меньше, чем вариация двух других показателей, то в целях настоящей статьи и упрощения вычислений ею можно пренебречь. Поэтому при расчете минимально необходимой длины учетных маршрутов будем руководствоваться выражением (2б), но в отношении групповых следов. Согласно этому выражению для того, чтобы получить оценку показателя густоты групповых следовых линий с относительной статистической ошибкой не более 50%, показатель учета групповых следов необходимо определять в $\sqrt{2}$ раза точнее или с относительной ошибкой не более 35%, для чего следует получить не менее 9 пересечений групповых следов лося.

Минимально необходимая общая длина учетных маршрутов определяется на основании показателя учета групповых следов, полученных за предыдущий период времени.

$$M_{\min} = 10 \frac{X_{\min}^*}{A^*}, \quad (3)$$

где $X_{\min}^*$ – минимально необходимое число пересечений всеми маршрутами групповых следов учитываемого вида зверя на исследуемой территории, A^* – показатель учета групповых следов (в среднем на 10 км длины всех маршрутов), полученный для этой территории за предыдущий период времени.

В таблице представлены данные о 50 охотничьих хозяйствах Саратовской области, претендовавших на получение квот добычи лося в сезоне 2014 – 2015 гг., общая площадь охотничьих угодий у которых составляла от 2.6 до 46.0 тыс. га. Там же приведены результаты учета численности лося в 2014 г., которые были взяты за основу расчета минимально необходимой общей длины учетных маршрутов и результаты таких расчетов различными способами.

Так как практически для всех указанных хозяйств густота учетных маршрутов в лесных угодьях была выше, чем в полевых, то в целом для исследуемой территории рассчитывалось средневзвешенное по долям площадей этих угодий значение показателя учета следов. Показатель учета групповых следов рассчитывался исходя из оценки стадности лося в Саратовской области равной в среднем 1.45 особей в группе. Так как стадность охотничьих животных в ходе маршрутного учета не определяется, хотя такие данные в ходе учета фиксируются, но они не обрабатываются и не сохраняются, то указанный параметр был определен по результатам троплений суточных наследов лося за период с 2008 по 2012 гг.

Рассмотрим сначала зависимость показателя густоты групповых следовых линий от общей площади охотугодий (рис. 1). Имеет место небольшая $r = -0.41$, достоверная $p < 0.01$, отрицательная корреляционная зависимость. Это можно объяснить тем, что по мере увеличения общей площади всех охотничьих угодий в границах указанных охотничьих хозяйств увеличивалась доля полевых угодий, в то же время доля лесных угодий, наиболее предпочтительных для лося, сокращалась. Обращает также на себя внимание очень большая вариация значений показателя густоты групповых следовых линий относительно прямой регрессии, что подтверждает слабую связь этого показателя с размером площади охотничьих угодий.

ВОЗМОЖНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕОБХОДИМОЙ ПРОТЯЖЕННОСТИ

Результаты учета численности лося для некоторых охотничьих хозяйств Саратовской области в 2014 г. и расчет различными способами минимально необходимой общей длины учетных маршрутов ЗМУ

Table. Results of moose population counting for some hunting farms of the Saratov region in 2014 and calculation by different methods of the minimum required total length of survey routes (winter route counting)

№ п/п / No.	Наименование охотхозяйства / Name hunting farm	Общая площадь охотугодий, тыс. га / Total area of hunting lands, thousand ha	Частота пересечений групп следов на маршруте, групп. след / 10 км / Frequency of crossings of group tracks on the route, group tracks / 10 km	Густота групп следовых линий, м / км ² / Density of group trace lines, m/km ²	*Минимально необходимая общая длина учетных маршрутов, км / * Minimum required total length of survey routes, km	**Минимально необходимая общая длина учетных маршрутов, км / ** Minimum required total length of survey routes, km	***Минимально необходимая общая длина учетных маршрутов, км / *** Minimum required total length of survey routes, km
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Ястреб / Yastreb	2.16	9.4	1472	9.6	21.7	0.0
2	Корсаковское / Korsakovskoe	4.91	10.9	1716	8.3	24.3	0.0
3	Большемеликское / Bol'shemeliksloe	5.84	6.3	994	14.3	25.2	0.0
4	Орион / Orion	6.77	4.8	758	18.8	26.1	0.0
5	Алмазовское / Almazovskoe	6.79	8.8	1378	10.2	26.1	0.0
6	Духовое / Dukhovoe	6.98	17.8	2790	5.1	26.3	0.0
7	Заячьи Ушки / Zaiach'i Ushki	6.99	5.4	855	16.7	26.3	0.0
8	Вязовское / Viazovskoe	7.39	1.8	279	50	26.7	0.0
9	Ель / El'	8.48	4.2	667	21.4	27.8	80.0
10	Чадаевское / Chadaevskoe	8.50	11.1	1739	8.1	27.8	80.0
11	Булгаковское / Bulgakovskoe	9.32	3.2	495	28.1	28.6	80.0
12	Новоскатовское / Novoskatovskoe	9.58	8.1	1278	11.1	28.8	80.0
13	Ивановское / Ivanovskoe	9.73	2.6	402	34.6	29	80.0
14	Макаровское / Makarovskoe	9.85	7.0	1103	12.9	29.1	80.0
15	Чистые пруды / Chistye prudy	10.25	4.8	746	18.8	29.5	80.0
16	Салют / Saliut	10.70	8.6	1345	10.5	29.9	80.0
17	Алексеевские Дачи / Alekseevskie Dachi	11.11	2.4	372	37.5	30.3	80.0
18	Белое озеро / Beloe ozero	11.12	3.1	488	29	30.3	80.0
19	Хватовское / Khvatovskoe	11.12	0.8	119	112.5	30.3	80.0
20	Тепловское / Teplovskoe	11.72	7.4	1166	12.2	30.9	80.0
21	Садовское / Sadovskoe	11.89	1.4	213	64.3	31	80.0
22	Ягоднополянское / Yagodnopolianskoe	12.08	4.0	627	22.5	31.2	80.0
23	Чунаки / Chunaki	12.31	2.9	459	31	31.4	80.0
24	Приречное / Prirechnoe	12.58	8.8	1379	10.2	31.7	80.0
25	Возрождение / Vozrozhdenie	13.03	1.9	297	47.4	32.1	80.0
26	Еленовское / Elenovskoe	14.18	1.6	254	56.3	33.2	80.0
27	Николаевское / Nikolaevskoe	14.33	2.9	449	31	33.4	80.0
28	Скади / Skadi	15.05	6.2	971	14.5	34.1	80.0
29	Лесное / Lesnoe	15.11	13.1	2057	6.9	34.1	80.0
30	Спасское / Spasskoe	15.69	1.2	195	75	34.7	80.0
31	Наина / Naina	15.76	1.7	268	52.9	34.8	80.0
32	Белогорское / Belogorskoe	17.73	0.9	136	100	36.7	80.0
33	Куликовское / Kulikovskoe	17.73	6.1	953	14.8	36.7	80.0
34	Царевщинское / Tsarevshchinskoe	19.28	1.3	201	69.2	38.2	80.0
35	Артемиды / Artemida	19.88	3.0	475	30	38.7	80.0
36	Ягодное / Yagodnoe	20.60	2.7	429	33.3	39.4	80.0

Окончание таблицы
Table. Continuation

1	2	3	4	5	6	7	8
37	Черкасское / Cherkasskoe	20.81	3.4	527	26.5	39.6	80.0
38	Буркинское / Burkinskoe	21.18	3.9	615	23.1	40	80.0
39	Покурлейское / Pokurleiskoe	23.14	0.9	144	100	41.9	80.0
40	Сосновское / Sosnovskoe	23.77	5.3	836	17	42.5	80.0
41	Максимовское / Maksimovskoe	24.02	0.7	111	128.6	42.7	80.0
42	Райский Уголок / Raiskii Ugolok	25.89	7.9	1237	11.4	44.5	80.0
43	Белогорновское / Belogornovskoe	26.06	5.7	891	15.8	44.7	80.0
44	Алмаз-Продукт / Almaz-Produkt	26.41	1.9	296	47.4	45	80.0
45	Автоштамп / Avtoshtamp	29.49	4.4	692	20.5	48	80.0
46	Лоховская Дача / Lkhovskaia Dacha	36.83	1.7	268	52.9	55.1	100.0
47	Липовское / Lipovskoe	38.59	2.8	435	32.1	56.8	100.0
48	Саратовское землячество / Saratovskoe zemliachestvo	42.39	1.6	246	56.3	60.4	100.0
49	Сосновоборское / Sosnovoborskoe	42.47	2.4	380	37.5	60.5	100.0
50	Шиханское / Shikhanskoe	46.02	1.1	168	81.8	63.9	100.0

Примечание. * – рассчитанная для получения оценки показателя густоты групповых следовых линий с относительной статистической ошибкой не более 35%; ** – рассчитанная в соответствии с прямой регрессии $y = 19.58 + 0.964 \cdot x$; *** – рассчитанная по Методике ЗМУ.

Note. * – calculated to obtain an estimate of the density index of group trace lines with relative statistical error not exceeding 35%; ** – calculated according to the direct regression $y = 19.58 + 0.964 \cdot x$; *** – calculated according to the WRC Methodology (winter route counting).

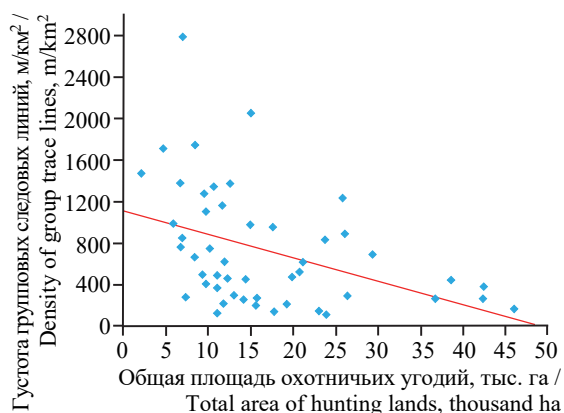


Рис. 1. Зависимость между показателем густоты следовых линий лося и общей площадью охотничьих угодий; прямая регрессии $y = 1110.0 - 22.6 \cdot x$, коэффициент детерминации $D = 0.17$

Fig. 1. Dependence between the indicator of moose trace-lines density and total area of hunting grounds; regression line $y = 1110.0 - 22.6 \cdot x$, coefficient of determination $D = 0.17$

Еще меньшая связь с размером площади охотничьих угодий наблюдается для минимально необходимой общей длины учетных маршрутов (рис. 2). Корреляционная связь в этом случае является положительной, более слабой, чем в рассмотренном выше первом случае, $r = 0.33$ и к тому же статистически не значимой $p = 0.17$. При этом, согласно соответствующему коэффициенту детерминации, изменением общей площади всех охотничьих угодий в границах указанных охотничьих хозяйств можно объяснить только 11% вариации длины учетных маршрутов, остальная часть изменчивости этого показателя определяется другими факторами.

ВОЗМОЖНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕОБХОДИМОЙ ПРОТЯЖЕННОСТИ

Рассчитанные для различных охотничьих хозяйств значения минимально необходимой общей длины учетных маршрутов по соответствующей формуле прямой регрессии (см. рис. 2), представлены в 7-й колонке таблицы. Как видно, рассчитанные таким образом длины будут соответствовать фактически необходимым им протяженностям лишь в отношении незначительного числа хозяйств, для большей части из них они будут или недостаточными или избыточными. В принципе все то же самое можно сказать в случае замены формулы указанной прямой регрессии некоторой постоянной величиной. Например, средним значением необходимой длины учетных маршрутов для всех указанных охотничьих хозяйств, равным 35.8 км.

Из всего вышеизложенного следует, что установить сколь-нибудь значимую зависимость между общей площадью охотничьих угодий в охотничьем хозяйстве и минимально необходимой общей длиной учетных маршрутов для практического применения при проведении ЗМУ не представляется возможным из-за очень слабой связи между этими показателями.

Что касается рассматриваемой Методики ЗМУ, то рассчитанная в соответствии с ней минимально необходимая общая длина учетных маршрутов не только не соответствует фактически необходимой их протяженности, но и является чрезмерно избыточной. Например, для всех 37 охотничьих хозяйств, площадью от 8 до 30 тыс. га, в соответствии с фактической густотой групповых следовых линий необходимо закладывать в среднем на каждое хозяйство не менее 37.8 км учетных маршрутов. Для этих же хозяйств согласно Методике ЗМУ необходимо закладывать не менее 80 км маршрутов, что примерно в два раза больше. В то же время хозяйства, площадью менее 8 тыс. га, необоснованно исключены из территорий, где возможно проведение ЗМУ.

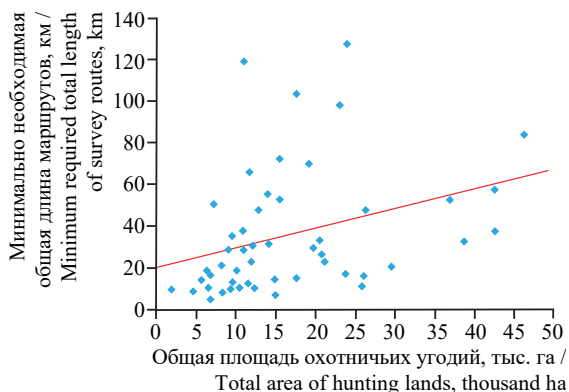


Рис. 2. Зависимость между минимально необходимой общей длиной учетных маршрутов ЗМУ и общей площадью охотничьих угодий; прямая регрессии $y = 19.58 + 0.964 \cdot x$, коэффициент детерминации $D = 0.11$

Fig. 2. Relationship between the minimum required total length of WRC (winter route count) and the total area of hunting grounds; regression line $y = 19.58 + 0.964 \cdot x$, coefficient of determination $D = 0.11$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, рассмотрев на примере некоторых охотничьих хозяйств Саратовской области возможность объективного определения минимально необходимой общей длины учетных маршрутов ЗМУ в зависимости от общей площади охотничьих угодий, расположенных в границах этих хозяйств, однозначно приходим к выводу

о принципиальной невозможности такого подхода в планировании объемов учетных работ. Так как связь между этими параметрами крайне слаба, в подавляющем числе случаев рассчитанная таким образом минимально необходимая общая длина учетных маршрутов не будет соответствовать фактически необходимой их протяженности, рассчитанной в соответствии с густотой групповых следовых линий учитываемых видов охотничьих животных. А густота следовых линий – это тот показатель, который очень сильно варьирует для различных охотничьих хозяйств, даже одинаковой площади.

Указанный подход в определении общей протяженности маршрутов в соответствии с общей площадью охотничьих угодий основан на неверных начальных предпосылках и должен быть признан ложным (Поппер, 1983). Соответственно, он является научно необоснованным, а так как он занимает центральное место в рассматриваемой Методике ЗМУ, то и последняя является научно необоснованной. Следовательно, размещение ее в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» на официальном сайте уполномоченного федерального органа исполнительной власти противоречит действующему законодательству Российской Федерации в области охоты и сохранения охотничьих ресурсов.

Кроме того, рассчитанные согласно Методике ЗМУ минимально необходимые длины учетных маршрутов для большинства хозяйств будут крайне избыточными. Следует помнить, что учеты охотничьих животных – это достаточно дорогостоящие мероприятия и здесь следует исходить из принципа минимальной достаточности. В противном случае у исполнителей может возникнуть соблазн представить недостоверные данные учета с целью снижения соответствующих организационных и финансовых издержек. Это может негативно сказаться как на качестве проведения учетных работ, так и на качестве государственного мониторинга популяций охотничьих животных в целом.

Поэтому необходима существенная переработка алгоритма расчета минимально необходимой общей длины учетных маршрутов в соответствии с научными основами ЗМУ и общими принципами математической статистики. Нельзя подходить ко всем охотничьим хозяйствам одинаково, необходим индивидуальный подход к каждому хозяйству, как это в свое время было сделано в отношении субъектов Российской Федерации.

Сначала следует выбрать для каждого охотничьего хозяйства приоритетный вид охотничьих животных, в отношении которого в дальнейшем и будут проводиться все расчеты. В качестве приоритетного может быть выбран любой обычный для данной территории вид зверя. Однако если охотпользователь претендует на использование видов животных, добыча которых осуществляется на основании выделяемых лимитов и квот, то в качестве приоритетного следует выбирать один из этих видов. Если на территории охотничьего хозяйства обитают несколько таких видов, то в качестве приоритетного следует выбирать наиболее многочисленного из них. Также можно предложить, чтобы минимально необходимая общая длина учетных маршрутов определялась на основании минимального, за последние три или пять лет на данной территории, значения показателя учета групповых следов для выбранного приоритетного вида.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Зыков К. Д., Сапетин Я. В. Статистический анализ материалов маршрутных учетов лосей по следам // Биология и промысел лося. М.: Россельхозиздат, 1965. С. 90 – 105.
- Колли Г. Анализ популяций позвоночных. М.: Мир, 1979. 362 с.
- Кондратенков И. А. Вопросы повышения точности учета охотничьих животных на небольших территориях // Поволжский экологический журнал. 2017. № 3. С. 275 – 283.
- Кондратенков И. А. Некоторые аспекты теории зимнего маршрутного учета охотничьих животных // Поволжский экологический журнал. 2018. № 1. С. 26 – 48.
- Кондратенков И. А. О распределении коэффициента пропорциональности зимнего маршрутного учета // Поволжский экологический журнал. 2020. № 4. С. 415 – 426. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2020-4-415-426>
- 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>
- 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>
- Кузякин В. А., Челинцев Н. Г., Ломанов И. К. Методические рекомендации по организации, проведению и обработке данных зимнего маршрутного учета охотничьих животных в РСФСР (с алгоритмами расчета численности) / ЦНИЛ Главохоты РСФСР. М., 1990а. 52 с.
- Кузякин В. А., Ломанов И. К., Челинцев Н. Г. Нормативы объемов работ и затрат на проведение зимнего маршрутного учета охотничьих животных в РСФСР / ЦНИЛ Главохоты РСФСР. М., 1990б. 11 с.
- Кузякин В. А., Челинцев Н. Г. Новую методику ЗМУ – отменить // Российская охотничья газета. 2015. № 16 (1080). С. 4 – 5.
- Кузякин В. А. Игры в ЗМУ продолжаются // Российская охотничья газета. 2015. № 44 (1108). С. 1 – 2.
- Кузякин В. А. Учет численности охотничьих животных. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2017. 320 с.
- Ломанов И. К. Анализ синхронности изменений численности лося в Европейской части РСФСР // Хронологические изменения численности охотничьих животных в РСФСР. М.: ЦНИЛ охотничьего хозяйства и заповедников, 1988. С. 101 – 106.
- Ломанов И. К. Научные основы охотничьего ресурсоведения (избранные работы) / под ред. Н. В. Ломановой. М.: Центрохотконтроль, 2007. 291 с.
- Мирутенко В. С., Ломанова Н. В., Берсенева А. Е., Моргунов Н. А., Володина О. А., Кузякин В. А., Челинцев Н. Г. Методические рекомендации по организации, проведению и обработке данных зимнего маршрутного учета охотничьих животных в России (с алгоритмами расчета численности). М.: Росинформагротех, 2009. 56 с.
- Назаров А. А. Опыт географического анализа результатов зимнего маршрутного учета белки и куниц в областях Европейской части РСФСР в 1980 г. // Зимний маршрутный учет охотничьих животных. М.: ЦНИЛ Главохоты РСФСР, 1983. С. 44 – 66.
- Назаров А. А., Мошова Т. С. Географический анализ результатов зимнего маршрутного учета лося в 1976 – 1982 гг. // Зимний маршрутный учет охотничьих животных. М.: ЦНИЛ Главохоты РСФСР, 1983. С. 67 – 89.
- Поппер К. Логика и рост научного знания: Избранные работы. М.: Прогресс, 1983. 604 с.
- Приклонский С. Г. Инструкция по зимнему маршрутному учету охотничьих животных. М.: Колос, 1972. 16 с.

Приклонский С. Г., Кузякин В. А. Методические указания по организации и проведению зимнего маршрутного учета охотничьих животных в РСФСР. М.: ЦНИЛ Гравохоты РСФСР, 1980. 28 с.

Росоловский С. В., Попова Т. В., Приклонский С. Г., Зыков К. Д., Пузаченко Ю. Г. Статистический анализ структуры и динамики популяции лося в Окском заповеднике // Популяционные исследования животных в заповедниках. М.: Наука, 1988. С. 63 – 79.

Смирнов В. С. Оценка достоверности учетных данных при учете численности животных на больших площадях // Учеты охотничьих животных на больших территориях: материалы к III Всесоюзному совещанию / Главное управление по охране природы, заповедникам и охотничьему хозяйству. Пушино-на-Оке, 1969. С. 3 – 9.

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

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)

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>

Razenkova E., Dubinin M., Pidgeon A. M., Hobi M. L., Zhu L., Bragina E. V., Allen A. M., Clayton M. K., Baskin L. M., Coops N. C., Radeloff V. C. Abundance patterns of mammals across Russia explained by remotely sensed vegetation productivity and snow indices // Journal of Biogeography. 2023. Vol. 50, iss. 5. P. 932 – 946. <https://doi.org/10.1111/jbi.14588>

Possibility to determine the necessary length of WRC survey routes based on the area of hunting grounds

I. A. Kondratenkov

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

Received: July 11, 2023 / revised: August 17, 2023 / accepted: August 17, 2023 / published: December 12, 2023

Abstract. Article 36 of the Federal Law on Hunting and Conservation of Hunting Resources of 24.07.2009 No. 209-FZ (in the edition of the Federal Law of 22.12.2020 No. 455-FZ) stipulates that the accounting of hunting animals, in respect of which, in accordance with the above Federal Law, the limit of extraction and the quota of their extraction are established, is carried out on the basis of scientifically substantiated methods. Currently recommended by the authorized federal executive body and posted on the information and telecommunication network “Internet” on the official website of the authorized federal executive body is the Methodology of accounting for the number of hunting resources by the method of winter route counting, approved by the order of FGBU “Federal Research Center for Hunting” from November 14, 2022 no. 74. One of the main differences of the mentioned methodology is the algorithm of determining the minimum necessary total length of counting routes from the total area of hunting grounds located within the boundaries of the relevant hunting farms. However, in the open press there are no data on the conducted scientific studies justifying such an approach to determining the necessary length of survey routes. This was the basis for the present study. On the example of moose counting for some hunting farms of Saratov region the possibility of objective determination of the minimum necessary total length of counting routes depending on the total area of hunting grounds located within the boundaries of these farms was checked. The results of the study showed that such an approach in planning the volume of survey work is fundamentally flawed and cannot be considered scientifically justified, and since it takes the central place in the considered Methodology of counting the number of hunting resources by the method of winter route counting, the latter is scientifically unjustified. Consequently, its placement in the information and telecommunication network “Internet” on the official website of the authorized federal executive body contradicts the current legislation of the Russian Federation in the field of hunting and conservation of hunting resources.

Keywords: counting methodology, winter route counting (WRC), norms of counting works, length of counting routes, area of hunting grounds

Ethics approval and consent to participate: This article does not contain any studies involving animals performed by the author.

Competing interests: The author declares that he has no conflicts of interest.

For citation: Kondratenkov I. A. Possibility to determine the necessary length of WRC survey routes based on the area of hunting grounds. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2023, no. 4, pp. 437–453 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-4-437-453>

✉ *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 address: Igor A. Kondratenkov: kondri60@mail.ru.

REFERENCES

- Zykov K. D., Sapetin Ya. V. Statistical analysis of materials of route surveys of moose by tracks. In: *Biologiya i promysel losya* [Biology and Fishing of Moose]. Moscow, Rosselkhozizdat, 1965, pp. 90–105 (in Russian).
- Caughey G. *Analysis of Vertebrate Populations*. Moscow, Mir, 1979. 362 p. (in Russian).
- Kondratenkov I. A. On Increasing the accuracy of hunting animal accounting in small areas. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2017, no. 3, pp. 275–283 (in Russian).
- Kondratenkov I. A. Some aspects of the theory of winter route accounting of hunting animals. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2018, no. 1, pp. 26–48 (in Russian).
- Kondratenkov I. A. Distribution of the proportionality coefficient of winter route accounting. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2020, no. 4, pp. 415–426 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2020-4-415-426>
- 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>
- 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>
- Kuzyakin V. A., Chelintsev N. G., Lomanov I. K. *Metodicheskie rekomendatsii po organizatsii, provedeniiu i obrabotke dannykh zimnego marshrutnogo ucheta okhotnich'ikh zhivotnykh v RSFSR (s algoritмами расчёта численности)* [Methodical Recommendations on the Organization, Conduct and Processing of Data of Winter Route Counting of Game Animals in the RSFSR (With Algorithms for Calculating the Number of Animals)]. Moscow, Central Scientific Research Institute of Glavohoty RSFSR, 1990a. 52 p. (in Russian).
- Kuzyakin V. A., Lomanov I. K., Chelintsev N. G. *Normativy obemov rabot i zatrat na provedenie zimnego marshrutnogo ucheta okhotnich'ikh zhivotnykh v RSFSR* [Norms of Volumes of Work and Costs for Winter Route Counting of Game Animals in the RSFSR]. Moscow, Central Scientific Research Institute of Glavohoty RSFSR, 1990b. 11 p. (in Russian).
- Kuzyakin V. A., Chelintsev N. G. New methodology of WRA – to cancel. *Rossiyskaya Okhotnichaya Gazeta*, 2015, no. 16 (1080), pp. 4–5 (in Russian).
- Kuzyakin V. A. Games in WRA continue. *Rossiyskaya Okhotnichaya Gazeta*, 2015, no. 44 (1108), pp. 1–2 (in Russian).
- Kuzyakin V. A. *Accounting of the Number of Hunting Animals*. Moscow, KMK Scientific Press, 2017. 320 p. (in Russian).
- Lomanov I. K. Analysis of synchronous changes in moose numbers in the European part of the RSFSR. In: *Khronologicheskie izmeneniia chislennosti okhotnich'ikh zhivotnykh v RSFSR* [Chronological changes in numbers of hunting animals in the RSFSR]. Moscow, Central Research Institute of Hunting Economy and Reserves, 1988, pp. 101–106 (in Russian).
- 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, Tsentr okhotkontrol', 2007. 291 p. (in Russian).
- Mirutenko V. S., Lomanova N. V., Bersenev A. E., Morgunov N. A., Volodina O. A., Kuzyakin V. A., Chelintsev N. G. *Metodicheskie rekomendatsii po organizatsii, provedeniiu i obrabotke dannykh zimnego marshrutnogo ucheta okhotnich'ikh zhivotnykh v Rossii (s algoritмами расчёта численности)* [Methodical Recommendations on Organization, Conducting and Processing of Winter Routine Counting of Game Animals in Russia (with Algorithms of Population Calculation)]. Moscow, Rosinformagroteh, 2009. 56 p. (in Russian).

ВОЗМОЖНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕОБХОДИМОЙ ПРОТЯЖЕННОСТИ

Nazarov A. A. Experience of geographical analysis of the results of winter route counting of squirrels and martens in the regions of the European part of the RSFSR in 1980. In: *Zimnii marshrutnyi uchet okhotnich'ikh zivotnykh* [Winter Route Counting of Game Animals]. Moscow, Central Research Institute of Gravohoty RSFSR, 1983, pp. 44–66 (in Russian).

Nazarov A. A., Mosheva T. S. Geographical analysis of the results of winter route counting of moose in 1976–1982. In: *Zimnii marshrutnyi uchet okhotnich'ikh zivotnykh* [Winter Route Counting of Game Animals]. Moscow, Central Research Institute of Gravohoty RSFSR, 1983, pp. 67–89 (in Russian).

Popper K. R. *The Logic of Scientific Discovery: Selected Works*. Moscow, Progress, 1983. 604 p. (in Russian).

Priklonsky S. G. *Instruktsiya po zimnemu marshrutnomu uchetu okhotnich'ikh zivotnykh* [Instruction on Winter Route Counting of Hunting Animals]. Moscow, Kolos, 1972. 16 p. (in Russian).

Priklonsky S. G., Kuzyakin V. A. *Metodicheskie ukazaniia po organizatsii i provedeniiu zimnego marshrutnogo ucheta okhotnich'ikh zivotnykh v RSFSR* [Methodical Instructions on the Organization and Conduct of Winter Route Counting of Game Animals in the RSFSR]. Moscow, Central Research Institute of Gravohoty RSFSR, 1980. 28 p. (in Russian).

Rosolovsky S. V., Popova T. V., Priklonsky S. G., Zykov K. D., Puzachenko Y. G. Statistical analysis of the structure and dynamics of the moose population in the Oka Reserve. In: *Populatsionnye issledovaniia zivotnykh v zapovednikakh* [Population Studies of Animals in Nature Reserves]. Moscow, Nauka, 1988, pp. 63–79 (in Russian).

Smirnov V. S. Assessment of the reliability of the accounting data when accounting the number of animals in large areas. *Uchety okhotnich'ikh zivotnykh na bol'shikh territoriakh: materialy k III Vsesoiuznomu soveshchaniu* [Accounting of Game Animals in Large Areas: Materials for the III All-Union Meeting]. Pushchino-na-Oke, Main Department for Nature Conservation, Reserves and Hunting, 1969, pp. 3–9 (in Russian).

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

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)

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>

Razenkova E., Dubinin M., Pidgeon A. M., Hobi M. L., Zhu L., Bragina E. V., Allen A. M., Clayton M. K., Baskin L. M., Coops N. C., Radeloff V. C. Abundance patterns of mammals across Russia explained by remotely sensed vegetation productivity and snow indices. *Journal of Biogeography*, 2023, vol. 50, iss. 5, pp. 932–946. <https://doi.org/10.1111/jbi.14588>

Оригинальная статья

УДК 639.1.053(470.44)

<https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-4-454-465>

ЧИСЛЕННОСТЬ И ДЕМОГРАФИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ПОПУЛЯЦИИ ДРОФЫ (*OTIS TARDA*) (OTIDIDAE, AVES) НА ТОКОВЫХ УЧАСТКАХ В САРАТОВСКОМ И ВОЛГОГРАДСКОМ ЗАВОЛЖЬЕ

О. С. Опарина [✉], М. Л. Опарин ¹, А. Б. Мамаев ¹, А. М. Опарина ²

¹ Саратовский филиал Института проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН
Россия, 410028, г. Саратов, ул. Рабочая, д. 24

² Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А.
Россия, 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, д. 77

Поступила в редакцию 18.09.2023 г., после доработки 16.10.2023 г., принята 16.10.2023 г., опубликована 12.12.2023 г.

Аннотация. Представлены результаты исследований популяции дрофы в саратовском и волгоградском Заволжье. Впервые на этой территории были проведены учеты численности дроф на токовых участках весной в течение трех лет. Это позволило получить более достоверные данные о количестве особей этого вида, а также о демографической структуре на модельной территории и сравнить с данными, полученными во время осенних учетов численности. По нашему мнению, в результате интенсификации сельского хозяйства произошло резкое сокращение гнездовых местообитаний дрофы, вызванное изменениями структуры посевных площадей и массированным применением пестицидов. При отсутствии необходимых мер охраны это привело к сокращению количества птиц в саратовском Заволжье за 20 лет почти в 10 раз. Такая тенденция наблюдается практически по всему ареалу дрофы, где отсутствуют многолетние эффективные меры, направленные на сохранение природных местообитаний вида. В Заволжье количество токовых участков сократилось примерно в два раза и на оставшихся токах уменьшилась численность особей вида. Демографическая структура популяции дрофы при исследовании на токовых участках показывает существенное преобладание самцов над самками, что противоречит устойчивости популяции. Из-за сокращения количества пригодных для гнездования дроф местообитаний значительно уменьшилась успешность их размножения. Весенняя обработка посевных площадей пестицидами наземным и авиационным способами совпадает с периодом гнездования дроф, что является мощным фактором беспокойства и приводит к потере птицами кладок. У самок, кладки которых сохранились, после вылупления птенцов возникает проблема острой нехватки кормов, что также приводит к элиминации части выводков.

Ключевые слова: *Otis tarda*, численность, демографическая структура, учет на токовых участках, Заволжье

✉ 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: Опарина Ольга Сергеевна: <https://orcid.org/0000-0001-5581-4122>, otis07@mail.ru; Опарин Михаил Львович: <https://orcid.org/0000-0002-9629-7579>, oparinml@mail.ru; Мамаев Асхат Борисович: <https://orcid.org/0000-0002-3810-6324>, asxat_86@mail.ru; Опарина Анна Михайловна: <https://orcid.org/0000-0002-2043-1866>, annaoparina93@gmail.com.

ЧИСЛЕННОСТЬ И ДЕМОГРАФИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ПОПУЛЯЦИИ ДРОФЫ

Соблюдение этических норм. Исследования проводили без использования животных и без привлечения людей в качестве испытуемых.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Опарина О. С., Опарин М. Л., Мамаев А. Б., Опарина А. М. Численность и демографическая структура популяции дрофы (*Otis tarda*) (Otidae, Aves) на токовых участках в саратовском и волгоградском Заволжье // Поволжский экологический журнал. 2023. № 4. С. 454 – 465. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-4-454-465>

ВВЕДЕНИЕ

Мировая популяция дрофы (*Otis tarda* Linnaeus, 1758) за последние два десятилетия ежегодно сокращается на 3.2%. Общее количество птиц этого вида в мире оценивается в 31000 – 36000 особей, что на 34% (диапазон 30 – 38%) меньше, чем 16 лет назад (Alonso, Palacín, 2022). В разных частях ареала происходит снижение численности дрофы в результате антропогенного воздействия (Karakaya et al., 2017; Wang et al., 2018; Spakovszky, Raab, 2020; Özgencil et al., 2022). Снижение наблюдалось в девяти из 17 стран с размножающимися популяциями, с самыми высокими значениями в Китае (-90%) (Wang et al., 2018; Zhuo et al., 2021) и европейской части России (-70%) (Oparin et al., 2013; Oparina et al., 2014, 2016). Заметное снижение отмечено также на Пиренейском полуострове, который до сих пор является оплотом вида с 70 – 75% мировой популяции. В Иберии снижение вызывает особую тревогу в Португалии (-50%), однако, еще более тревожно в Испании, где -28% уменьшение подразумевает потерю более 8000 особей (Alonso, Palacín, 2022). Изолированные популяции Марокко и Ирана находятся на грани исчезновения (Abdulkarimi, 2022).

Увеличение зафиксировано только в Германии, Австрии и в меньшем масштабе Венгрии (соответственно 202, 91 и 5%), благодаря постоянным и интенсивным действиям по сохранению, а также разведению небольших групп в Румынии (Lóránt, 2014; Vadasz, Lóránt, 2014; Raab et al., 2015). По последним данным (Shakula et al., 2022), в Казахстане численность дроф также имеет тенденцию к увеличению. Имеются данные по количеству дроф на зимовке в Узбекистане (Kashkarov et al., 2022, 2023), хотя длительное время в этом регионе не было мониторинга популяции.

В России самая крупная популяция дрофы западного подвида (*Otis tarda tarda*) обитает на территории Заволжья Саратовской и северной части Волгоградской областей. На протяжении 25 лет мы проводим мониторинг численности этой популяции. До 2020 г. учетные работы велись в осенний период, когда птицы собирались в стаи перед миграцией на зимовку. Часто дрофы в это время рассредоточены на большой территории, и их сложно было обнаружить. Это требовало больших материальных затрат и наличия опытных учетчиков, так как необходимо тщательно обследовать большие территории. Маршрутные учеты с дальнейшей экстраполяцией для оценки численности редких видов не подходят. В Европе, где популяции этого вида являются оседлыми, учет численности дроф проводят весной на токовых участках (Lane et al., 2001; Alonso et al., 2003a). Токовые участки большой дрофы находятся на одних и тех же местах на протяжении многих лет.

На места гнездования в Саратовскую область птицы прилетают с зимовки в марте-апреле, первыми самцы, а через 2 – 3 недели самки. До откладки яиц самцы и самки держатся на токовых участках вместе. Благодаря таким особенностям поведения птиц этого вида, проведение учета численности дрофы весной на токах является наиболее предпочтительным и дает более точные результаты, нежели осенью. Чем больше выявлено токовых участков, тем точнее будет оценка численности вида на исследованной территории.

Большое значение в проведении весенних учетных работ имеют погодные условия. Обычно непроходимые грунтовые дороги, особенно вдоль лесополос, овраги, заполненные талыми водами, не позволяют добраться до токовых участков дроф, где они собираются после прилета с зимовки. Осенью же птицы рассредоточены по большой территории, причем самки с птенцами ведут скрытный образ жизни, кормятся и отдыхают чаще всего в залежах, затаиваются при приближении транспорта и обнаружить их сложнее, чем самцов. В то же время самцы собираются вместе в стаи перед отлетом на зимовку, и, пропустив такую стаю на большой территории, можно также получить недостоверные результаты.

За 20 лет лишь один раз, в 2008 г., когда отмечались сильные ночные заморозки, которые позволяли ранним утром проехать на ток, нам удалось провести наблюдения на одном токовом участке и проследить динамику прилета птиц с зимовки. Было установлено, что максимальное количество птиц на току наблюдалось в середине апреля. С 3-й декады апреля самки начинают откладку яиц и уходят с тока (Опарина и др., 2008). В обычные годы полевые работы можно проводить только с конца апреля, когда самки уже сидят на гнездах, а самцы, не вступившие в размножение, разлетаются по территории и держатся на кормовых участках.

Однако в 2020, 2021 и в 2023 гг. впервые за 25 лет сложились уникальные условия для проведения учета численности дрофы на токовых участках на всей территории Заволжья. В 2020 г. уже в марте дороги были сухие, средняя температура месяца была +3.7°, в апреле +6.7°, высота снежного покрова 3 см и 1 см соответственно, в то время как в 2018, 2019 и 2022 гг. этот показатель в среднем составлял 60.5 см в марте и 24.8 см в апреле. Важный показатель, общий запас воды в снежном покрове (в мм), в марте 2020 г. был равен 0, в 2021 – 97.6. В 2023 г. также сложились благоприятные условия для проведения учетных работ. Для сравнения в 2018, 2019, 2022 гг. этот показатель в среднем составил 150 мм*, почва долго была насыщена влагой, поэтому проезд на токовые участки был затруднен. Полевые исследования в этот период позволили нам выявить некоторые новые тока, местоположение которых мы могли только предполагать, основываясь на осенних находениях дрофиных стай, и оценить численность дроф на обследованной территории. В связи с этим представленные материалы достаточно оригинальны и представляют научную ценность.

Цель статьи – определение количества дроф на токовых участках саратовского Заволжья после прилета с зимовки на места гнездования.

* Данные показатели взяты с официального сайта Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мировой центр данных (ВНИИГМИ-МЦД) (<http://meteo.ru/>). Использовались суточные показатели по метеостанции Ершов (индекс станции – 34186).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Учеты численности дрофы были проведены на 10 токовых участках саратовского и волгоградского Заволжья в марте – апреле в 2020, 2021 и 2023 гг. Один токовый участок обследовали несколько раз и фиксировали максимальное количество птиц. В зависимости от погодных условий это может быть 1-я или 2-я декада апреля. В этот период птицы активны в течение всего светового дня, но в утренние и вечерние часы количество дроф на току максимальное. В связи с этим учетные работы проводили с рассвета. Период их проведения ограничивается сроками начала откладки яиц самками, как правило, это 3-я декада апреля. Тогда самки и часть самцов уходят на поля (Опарина и др., 2008). На токовом участке считали общее количество птиц с помощью биноклей Nikon Action10-22×50 (Nikon, Китай), определяли пол и возраст птиц с использованием телескопической трубы Carl Zeiss Optics 30×25 (Carl Zeiss, Германия). Весной особенно четко выражен половой диморфизм дроф: самцы намного крупнее самок, имеют усы из перьев, ярко окрашены, шея ярко-рыжего цвета. Местонахождения всех групп заносили на цифровую карту с помощью GPS-навигатора Garmin MAP62S (Garmin, Тайвань). Кроме непосредственно токовых участков были обследованы сельскохозяйственные угодья вокруг них на предмет пригодности для гнездования, от 200 до 400 км² вокруг каждого тока. Определена площадь посевов и их структура, данные занесены на карту. Общая площадь обследованной территории составила 12000 км². Это модельная территория, на которой мы проводили и осенние учеты численности.

Для сравнения встречаемости особей на разных участках использовали *U*-критерий Вилкоксона – Манна – Уитни (Гублер, 1978). При визуализации динамики численности птиц использовали построение линии тренда, представленного полиномом второй степени.

Статистическая и графическая обработка данных выполнена с применением программ MS Excel 2000 (Microsoft Corp., USA) и Statistica 10 (Statsoft Inc., USA).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Мониторинг численности дрофы на территории саратовского и волгоградского Заволжья проводится нами с 1996 г. За этот период нами были выявлены токовые участки этого вида, которые, как правило, находятся на одном и том же месте из года в год. Для них характерно наличие целины или старой залежи на возвышенных местах и водоема. Самцы прилетают с зимовки в 1-2-й декаде марта, а самки в начале апреля, когда отсутствует фактор беспокойства, так как из-за распутицы на полях ещё нет техники и людей. Участки целины имеют небольшую площадь, расположены по склонам оврагов и не используются птицами для гнездования. В то же время весной в таких местах они легко могут передвигаться, так как на полях земля ещё мокрая. Места для токования дрофы выбирают вдали от транспортных магистралей, но могут находиться достаточно близко к населенным пунктам, если остальные условия являются подходящими для них. Под токовым участком мы понимаем не только то место, где ранней весной наблюдается скопление птиц (ток), но и ту территорию, где самки этой группы откладывают яйца, а

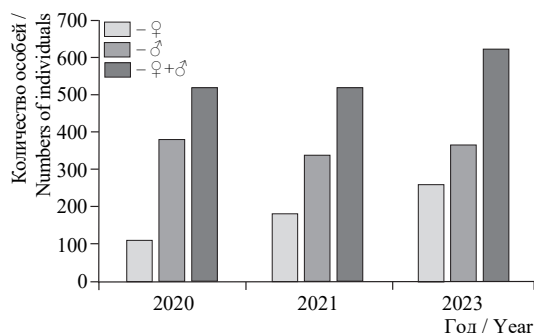


Рис. 1. Количество дроф на 10 токовых участках Заволжья весной 2020, 2021, 2023 гг.

Fig. 1. Numbers of bustards at 10 lek areas in the Trans-Volga region in the spring of 2020, 2021 and 2023

На крупных токах максимальное количество птиц составляло более 200 особей (Зелёный Дол, Чёрная Падина, Алексашино, Песчаное). На других токах собиралось 100 – 120 самцов и самок. Эти данные были получены при проведении учетов в конце апреля – начале мая. Поэтому реальное количество птиц на току было значительно больше, так как по данным, полученным позднее, нами установлено, что в этот период часть самок уже сидят на гнездах и их трудно обнаружить. К настоящему времени исчезла половина названных токов (Песчаное, Лепехинка, Комсомольское, Журавлёвка, Новореченское, Зелёный Дол, Алексашино, Питерка, Гмелинка, Чёрная Падина).

На рис. 1 показано общее количество дроф и соотношение самок и самцов на 10 токах в разные годы. В 2020 г. было обнаружено 510 дроф, соотношение самок и самцов 1:3; в 2021 г. – 518 дроф, соотношение самок и самцов 1:2; в 2023 г. – 623 дрофы, соотношение самок и самцов 1:1.4. Количество дроф практически держится на одном уровне. Сравнение численности дроф на десяти токовых участках

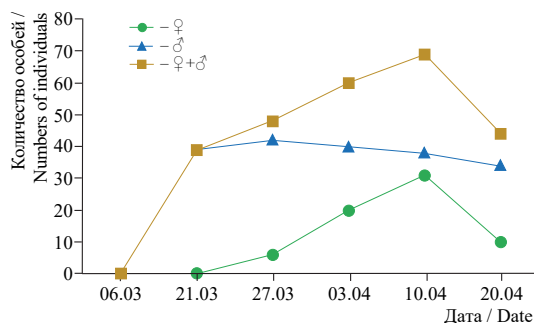


Рис. 2. Динамика количества дроф на токовом участке Таловка весной 2008 г.

Fig. 2. Dynamics of the numbers of bustards in the Talovka lek area in the spring of 2008

самцы в течение 2 месяцев токуют и на целине, и на полях. Площадь одного токового участка составляет 100 – 200 км².

На некоторых из них проводились стационарные наблюдения, на других – периодические. Названия токов даны по ближайшему населенному пункту или балке. В конце 1990-х гг. были обследованы следующие 12 токовых участков дроф: Песчаное, Интернациональное, Таловка, Лепехинка, Комсомольское, Журавлёвка, Новореченское, Зелёный Дол, Алексашино, Питерка, Гмелинка, Чёрная Падина.

по трем годам (2020, 2021, 2023) с использованием критерия разности средних (Плохинский, 1967), не выявило достоверных отличий ($p \geq 0.05$). Использование U -критерия Вилкоксона – Манна – Уитни (Гублер, 1978) для уровней статистической значимости $0.01 \leq p \leq \leq 0.05$ при парных сравнениях выборок количества дроф на 10 токовых участках 2020 – 2021 гг., 2020 – 2023 гг. и 2021 – 2023 гг. показало наличие достоверных отличий в количестве этих птиц на названных токовых участках во всех ва-

ЧИСЛЕННОСТЬ И ДЕМОГРАФИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ПОПУЛЯЦИИ ДРОФЫ

риантах сравнений. Более высокие показатели в 2023 г. мы объясняем тем, что учеты были проведены в сроки, когда максимальное количество самцов и самок одновременно было на токовых участках, в то время как в 2020 г. учеты проведены в конце марта – начале апреля. Об этом говорит и показатель соотношения самок и самцов.

На рис. 2 представлена динамика количества дроф на токовом участке Таловка в 2008 г. В 1-й декаде марта птиц на току не было, 21 марта были только самцы в количестве 39 особей, первые самки появились 27 марта. В дальнейшем количество самцов практически не менялось, а количество самок постепенно увеличивалось, достигнув максимума во второй декаде апреля. Соответственно в этот же период общее количество птиц на току было максимальное. Соотношение самок и самцов составляло 1:1.2. Первая кладка была отмечена 19 апреля, в то время как в годы с более поздней весной первые кладки фиксировали в конце апреля – начале мая.

На рис. 3 показано количество дроф и соотношение самок и самцов на каждом из 10 токовых участков. Установлено всего 2 крупных тока: Питерка (6) и Зеленый Дол (4). Количество дроф на первом из них от 142 экз. в 2020 г. до 188 экз. в 2021 г.; на втором – от 87 экз. в 2021 г. до 234 экз. в 2023 г. На остальных токах количество птиц меньше 100 экз., причем минимальное количество – 2 дрофы. Можно сказать, что такие тока, как Комсомольское, Зака-

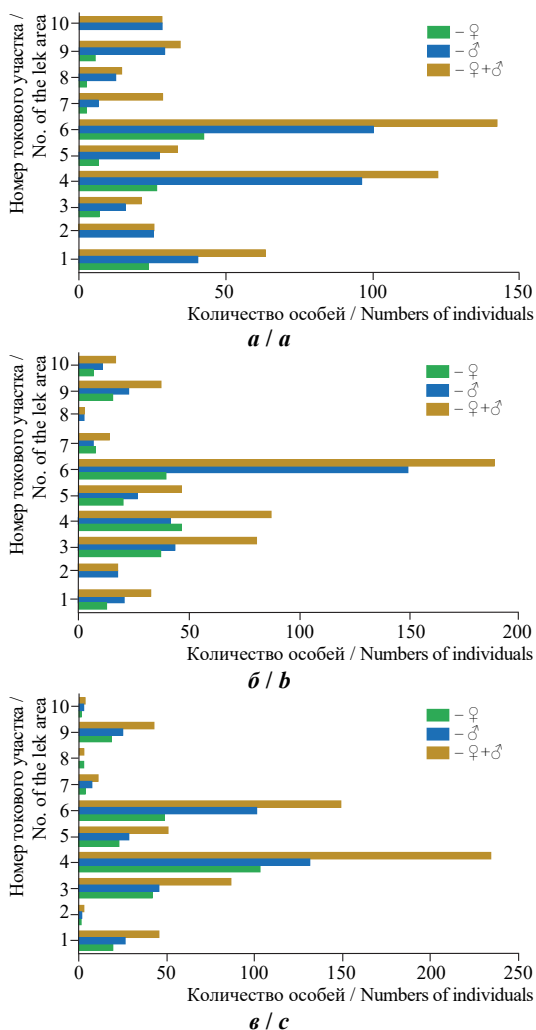


Рис. 3. Количество дроф на токовых участках в 2020 (а), 2021 (б) и 2023 (в) гг.; № токового участка: 1 – Таловка, 2 – Комсомольское, 3 – Новореченское, 4 – Зеленый Дол, 5 – Куриловка, 6 – Питерка, 7 – Запрудное, 8 – Заказник, 9 – Гмелинка, 10 – Интернациональное

Fig. 3. Numbers of bustards at the lek areas in 2020 (a), 2021 (b) and 2023 (c); no. of lek areas: 1 – Talovka, 2 – Komsomol'skoye, 3 – Novorechenskoye, 4 – Zelyonyi Dol, 5 – Kurilovka, 6 – Piterka, 7 – Zaprudnoye, 8 – Zakaznik, 9 – Gmelinka, 10 – Internatsional'noye

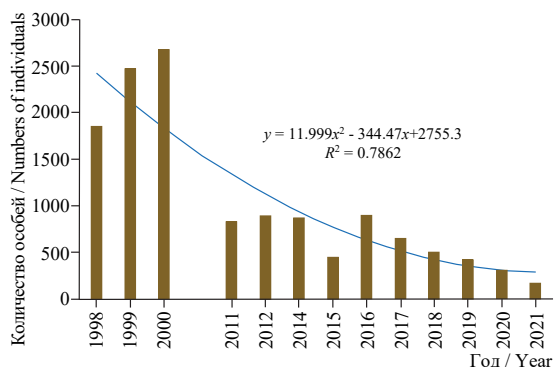


Рис. 4. Динамика численности дроф на площади 12000 км² по результатам осенних учетов в саратовском Заволжье; линия тренда, представлена полиномом второй степени

Fig. 4. Bustard population dynamics on the area of 12,000 km² based on the results of our fall surveys in the Saratov Trans-Volga region; trend line, represented by a second-degree polynomial

гоном сокращается. В 2008 г. было зафиксировано 70 особей, в настоящее время меньше 50. Небольшой, в пределах 40 птиц, но стабильный по численности дроф ток Гмелинка (9) в Волгоградской области на территории заказника Дрофиный. На территории заказника благоприятные для этого вида местообитания. В структуре посевных площадей отсутствует подсолнечник и есть яровые зерновые культуры. В районе токового участка Питерка большое количество залежей, а посевы подсолнечника занимают незначительную площадь, что благоприятно для гнездования дроф.

Половое соотношение дроф на токах, отличающихся по размеру, можно охарактеризовать следующим образом. На двух крупных токах, с количеством птиц более 100 особей, соотношение самцов и самок различно. На токовом участке Питерка во все годы преобладали самцы, их было больше, чем самок, в 2 раза. На токовом участке Зеленый Дол соотношение самок и самцов составляло от 1:0.9 до 1:1.3 в разные годы. На токах с количеством птиц от 50 до 100 особей самок и самцов примерно одинаково. На токах, где птиц меньше 50 особей, самцы преобладают над самками в 1.3, в 1.5 раза.

Динамика численности дроф на описываемой территории по результатам многолетних осенних учетов представлена на рис. 4. Причины снижения численности вида в Заволжье и факторы их обуславливающие представлены в ранее опубликованных работах (Опарина, Опарин, 2016; Опарина и др., 2022; Oparin et al., 2013; Oparina et al., 2016).

Отсутствие необходимых охранных мер, которые могли бы приостановить этот процесс, привело к сокращению количества птиц в саратовском Заволжье за

ник, Интернациональное и Запрудное практически исчезли. Известно, что мелкие тока могут исчезать и объединяться с более крупными токами (Alonso et al., 2003b). По всей видимости, птицы с токового участка Интернациональное переместились на участок Зеленый Дол, где количество птиц резко возросло в 2023 г. Можно предположить, что это произошло из-за потери пригодных местообитаний: все целинные участки в Интернациональном были распаханы и засеяны подсолнечником, посевы которого абсолютно не подходят для дроф.

На токовом участке Таловка (1) количество птиц с каждым

20 лет почти в 10 раз. Выполненные нами весенние учеты численности вида являются подтверждением этого результата.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Резкое сокращение количества птиц началось в период интенсификации сельскохозяйственной деятельности, в конце первого десятилетия XX в. Распашка залежных и целинных земель, изменение структуры посевных площадей, применение на всей территории пестицидов – всё это привело к тому, что в настоящее время агроценозы в Заволжье не являются благоприятной средой обитания дроф. К этому времени на описываемой территории сложилась трехпольная структура севооборота: озимые, пропашные культуры (в основном подсолнечник) и пары. В результате этих преобразований после 2010 г. произошли качественные изменения в структуре местообитаний вида, и численность дроф стала резко снижаться, достигнув критических величин. Результаты весенних учетов на токовых участках, полученные впервые на изученной территории, подтверждают критическое сокращение численности дроф в саратовском и волгоградском Заволжье.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гублер Е. В. Вычислительные методы анализа и распознавания патологических процессов. М.: Медицина, 1978. 294 с.
- Опарина О. С., Опарин М. Л. Обилие членистоногих на участках гнездования дрофы в саратовском Заволжье // Поволжский экологический журнал. 2016. № 3. С. 292 – 301.
- Опарина О. С., Опарин М. Л., Хрустов А. В. Современные тенденции изменения численности дроф на токовых участках Заволжья // Поволжский экологический журнал. 2008. № 4. С. 317 – 324.
- Опарина О. С., Опарин М. Л., Кудрявцев А. Ю., Опарина А. М. Характеристика местообитаний дрофы (*Otis tarda*) (Otidae, Aves) в Заволжье по доступности кормовой базы в период выкармливания птенцов // Поволжский экологический журнал. 2022. № 1. С. 34 – 54. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2022-1-34-54>
- Плохинский Н. А. Алгоритмы биометрии. М.: Изд-во МГУ, 1967. 80 с.
- Abdulkarimi R. The great bustard *Otis tarda tarda* is faced with extinction in Iran // Sandgrouse. 2022. Vol. 44, iss. 1. P. 14 – 18.
- Alonso J. C., Palacín C. Alarming decline of the Great bustard *Otis tarda* world population over the last two decades // Bird Conservation International. 2022. Vol. 32, iss. 4. P. 523 – 530. <https://doi.org/10.1017/S095927092200003X>
- Alonso J. C., Martin C. A., Palacin C., Magaña M., Martin B. Distribution, size and recent trends of the great bustard (*Otis tarda*) population in Madrid region, Spain // Ardeola. 2003a. Vol. 50, № 1. P. 21 – 29.
- Alonso J. C., Palacin C., Martin C. A. Status and recent trends of the great bustard (*Otis tarda*) population in the Iberian Peninsula // Biological Conservation. 2003b. Vol. 110, iss. 2. P. 185 – 195. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(02\)00188-X](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(02)00188-X)
- Karakaya M., Karataş M., Özelmaz Ü. Agricultural pesticides used in Eskişehir and Kütahya population areas of great bustard (*Otis tarda* Linnaeus, 1758) // Commagene Journal Biology. 2017. Vol. 1, iss. 1. P. 25 – 30. <https://doi.org/10.31594/commagene.392116>
- Kashkarov R. D., Mitropolskaya Yu. O., Ten A. G. The historical and current status of the great bustard *Otis tarda tarda* in Uzbekistan, a key winter refuge // Sandgrouse. 2022. Vol. 44, iss. 1. P. 26 – 34.

Kashkarov R. D., Ten A., Mitropolskaya Yu. O., Soldatov V. Changes in the modern range of the great bustard *Otis tarda* in Uzbekistan under the influence of agricultural transformation of landscapes and climate // Geography, Environment, Sustainability. 2023. Vol. 16, № 1. P. 140 – 149. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2022-091>

Lane S. J., Alonso J. C., Martin C. A. Habitat preferences of great bustard *Otis tarda* flocks in the arable steppes of central Spain: Are potentially suitable areas unoccupied? // Journal Applied Ecology. 2001. Vol. 38, iss. 1. P. 193 – 203. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2001.00577.x>

Lóránt M. Management of great bustard (*Otis tarda*) habitats in Hungary: The aspects of agri-environmental schemes // Aquila. 2014. Vol. 121. P. 87 – 93.

Oparin M. L., Oparina O. S., Kondratenkov I. A., Mamaev A. B., Piskunov V. V. Factors causing long-term dynamics in the abundance of the Trans-Volga great bustard (*Otis tarda* L.) population // Biology Bulletin. 2013. Vol. 40, iss. 10. P. 843 – 853. <https://doi.org/10.1134/S1062359013100063>

Oparina O. S., Oparin M. L., Surov A. V. The current land use and its impact on the great bustard (*Otis tarda*) population in the Saratov province of Russia // Aquila. 2014. Vol. 121. P. 107 – 113.

Oparina O. S., Kondratenkov I. A., Oparin M. L., Mamaev A. B., Trofimova L. S. Abundance dynamics of the Trans-Volga great bustard (Otididae, Aves) population // Biology Bulletin. 2016. Vol. 43, iss. 10. P. 1428 – 1433. <https://doi.org/10.1134/S1062359016100125>

Özgencil I. K., Akarsu F., Karatas M. M., Gursay-Ergen A., Saygili-Yigit F., Karakaya M., Soylier M. Current status of great bustard *Otis tarda* in Turkey: Population size, distribution, movements, and threats // Bird Conservation International. 2022. Vol. 32, iss. 4. P. 531 – 543. <https://doi.org/10.1017/S0959270921000289>

Raab R., Schütz C., Spakovszky P., Julius E., Schulze C. Optimising the attractiveness of winter oilseed rape fields as foraging habitat for the West Pannonian great bustard *Otis tarda* population during winter // Bird Conservation International. 2015. Vol. 25, iss. 3. P. 366 – 376. <https://doi.org/10.1017/S0959270914000355>

Shakula G., Shakula F., Baskakova S., Kessler M. A comprehensive review of records shows eastern Kazakhstan has multiple opportunities to conserve the great bustard *Otis tarda* year-round // Sandgrouse. 2022. Vol. 44, iss. 1. P. 59 – 75.

Spakovszky P., Raab R. Impact of agriculture irrigation on the habitat structure and use by great bustard (*Otis tarda*) in a Natura 2000 site // Ornithologia Hungarica. 2020. Vol. 28, iss. 2. P. 74 – 84. <https://doi.org/10.2478/orhu-2020-0018>

Vadasz C., Lóránt M. Mennyiben járultak hozzá a 2009–2014 között lezajlott agrárkörnyezetgazdálkodási program tűzokvédelmi zónális célprogramjainak előírásai a tűzok (*Otis tarda*) költési sikerét a fészkelési időszakban veszélyeztető tényezők mérsékléséhez? // Aquila. 2014. Vol. 121. P. 23 – 33.

Wang M., González M. A., Yang W., Neuhaus P., Blanco-Fontao B., Ruckstuhl K. E. The probable strong decline of the great bustard *Otis tarda* population in north-western China // Ardeola. 2018. Vol. 65. P. 291 – 297. <https://doi.org/10.13157/arla.65.2.2018.sc2>

Zhuo Y., Kessler M., Muyang W., Xu W., Xu F., Yang W. Habitat suitability assessment for the great bustard *Otis tarda* in Tacheng Basin, Western China // Global Ecology and Conservation. 2021. Vol. 32. Article number e01926. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01926>

**Abundance and demographic structure
of the great bustard (*Otis tarda*) (Otidae, Aves) population at lek areas
in the Saratov and Volgograd Trans-Volga region**

O. S. Oparina ^{1✉}, M. L. Oparin ¹, A. B. Mamaev ¹, A. M. Oparina ²

¹ *Saratov Branch of A. N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences*

24 Rabochaya St., Saratov 410028, Russia

² *Yuri Gagarin State Technical University of Saratov*

77 Politekhnikeskaya St., Saratov 410054, Russia

Received: September 18, 2023 / revised: October 16, 2023 / accepted: October 16, 2023 / published: December 12, 2023

Abstract. The results of our studies of the great bustard population in the Saratov and Volgograd Trans-Volga region are presented. For the first time in this territory, censuses of the numbers of bustards were carried out in their lek areas in the spring for 3 years. This made it possible to obtain more reliable data on the numbers of individuals of this species, as well as on the demographic structure in the model area and compare them with those obtained during autumn population counts. In our opinion, as a result of agriculture intensification, the nesting habitats of the bustard have been sharply reduced, which was caused by changes in the structure of crop areas and the massive use of pesticides. In the absence of necessary protection measures, this has led to a reduction in the numbers of birds in the Saratov Trans-Volga region by almost 10 times over 20 years. This trend is observed throughout almost the entire world range of the great bustard, where there are no long-term effective measures aimed at preserving the natural habitats of the species. In the Trans-Volga region, the number of lek areas has decreased by approx. half and the numbers of individuals of the species in the remaining leks have decreased. The demographic structure of the bustard population when studied in lek areas shows a significant predominance of males over females, which contradicts the stability of the population. Due to the reduction in the number of habitats suitable for bustards to nest, the success of their reproduction has significantly decreased. Spring treatment of crop areas with pesticides by ground and aerial methods coincides with the nesting period of birds, which is a powerful factor of disturbance and leads to the loss of clutches. Females whose clutches have been preserved, have the problem of acute food shortage after their chicks hatched, which also leads to elimination of some part of the broods.

Keywords: bustard, numbers, demographic structure, counting in lek areas, Trans-Volga region

Ethics approval and consent to participate. This paper does not contain any studies involving human participants or animals performed by any of the authors.

Conflict of interest: The authors have declared that no competing interests exist.

For citation: Oparina O. S., Oparin M. L., Mamaev A. B., Oparina A. M. Abundance and demographic structure of the great bustard (*Otis tarda*) (Otidae, Aves) population at lek areas in the Saratov and Volgograd Trans-Volga region. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2023, no. 4, pp. 454–465 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-4-454-465>

✉ *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: Olga S. Oparina: <https://orcid.org/0000-0001-5581-4122>, otis07@mail.ru; Mikhail L. Oparin: <https://orcid.org/0000-0002-9629-7579>, oparinml@mail.ru; Askhat B. Mamaev: <https://orcid.org/0000-0002-3810-6324>; acxat_86@mail.ru; Anna M. Oparina: <https://orcid.org/0000-0002-2043-1866>, annaoparina93@gmail.com.

REFERENCES

- Gubler E. V. *Vychislitel'nye metody analiza i raspoznavaniia patologicheskikh protsessov* [Computational Methods of Analysis and Recognition of Pathological Processes]. Moscow, Meditsina, 1978. 294 p. (in Russian).
- Oparina O. S., Oparin M. L. Arthropod abundance on bustard nesting sites in the Saratov Trans-Volga region. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2016, no. 3, pp. 292–301 (in Russian).
- Oparina O. S., Oparin M. L., Khrustov A. V. Recent trends in the number change of great bustard on its display sites (leks) in the Trans-Volga region. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2008, no. 4, pp. 317–324 (in Russian).
- Oparina O. S., Oparin M. L., Kudryavtsev A. Yu., Oparina A. M. Characteristics of the great bustard (*Otis tarda*) (Otididae, Aves) habitats in the Trans-Volga region according to food availability during the chick rearing period. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2022, no. 1, pp. 34–54 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2022-1-34-54>
- Plokhinsky N. A. *Algoritmy biometrii* [Algorithms of Biometrics]. Moscow, Moscow University Press, 1967. 80 p. (in Russian).
- Abdulkarimi R. The great bustard *Otis tarda tarda* is faced with extinction in Iran. *Sandgrouse*, 2022, vol. 44, iss. 1, pp. 14–18.
- Alonso J. C., Palacín C. Alarming decline of the great bustard *Otis tarda* world population over the last two decades. *Bird Conservation International*, 2022, vol. 32, iss. 4, pp. 523–530. <https://doi.org/10.1017/S095927092200003X>
- Alonso J. C., Martín C. A., Palacín C., Magaña M., Martín B. Distribution, size and recent trends of the great bustard (*Otis tarda*) population in Madrid region, Spain. *Ardeola*, 2003a, vol. 50, no. 1, pp. 21–29.
- Alonso J. C., Palacín C., Martín C. A. Status and recent trends of the great bustard (*Otis tarda*) population in the Iberian Peninsula. *Biological Conservation*, 2003b, vol. 110, iss. 2, pp. 185–195. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(02\)00188-X](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(02)00188-X)
- Karakaya M., Karataş M., Özlemas Ü. Agricultural pesticides used in Eskişehir and Kütahya population areas of great bustard (*Otis tarda* Linnaeus, 1758). *Commagene Journal Biology*, 2017, vol. 1, iss. 1, pp. 25–30. <https://doi.org/10.31594/commagene.392116>
- Kashkarov R. D., Mitropolskaya Yu. O., Ten A. G. The historical and current status of the great bustard *Otis tarda tarda* in Uzbekistan, a key winter refuge. *Sandgrouse*, 2022, vol. 44, iss. 1, pp. 26–34.
- Kashkarov R. D., Ten A., Mitropolskaya Yu. O., Soldatov V. Changes in the modern range of the great bustard *Otis tarda* in Uzbekistan under the influence of agricultural transformation of landscapes and climate. *Geography, Environment, Sustainability*, 2023, vol. 16, no. 1, pp. 140–149. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2022-091>
- Lane S. J., Alonso J. C., Martín C. A. Habitat preferences of great bustard *Otis tarda* flocks in the arable steppes of central Spain: Are potentially suitable areas unoccupied? *Journal Applied Ecology*, 2001, vol. 38, iss. 1, pp. 193–203. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2001.00577.x>
- Lóránt M. Management of great bustard (*Otis tarda*) habitats in Hungary: The aspects of agri-environmental schemes. *Aquila*, 2014, vol. 121, pp. 87–93.
- Oparin M. L., Oparina O. S., Kondratenkov I. A., Mamaev A. B., Piskunov V. V. Factors causing long-term dynamics in the abundance of the Trans-Volga great bustard (*Otis tarda* L.) population. *Biology Bulletin*, 2013, vol. 40, iss. 10, pp. 843–853. <https://doi.org/10.1134/S1062359013100063>
- Oparina O. S., Oparin M. L., Surov A. V. The current land use and its impact on the great bustard (*Otis tarda*) population in the Saratov province of Russia. *Aquila*, 2014, vol. 121, pp. 107–113.
- Oparina O. S., Kondratenkov I. A., Oparin M. L., Mamaev A. B., Trofimova L. S. Abundance dynamics of the Trans-Volga great bustard (Otididae, Aves) population. *Biology Bulletin*, 2016, vol. 43, iss. 10, pp. 1428–1433. <https://doi.org/10.1134/S1062359016100125>

ЧИСЛЕННОСТЬ И ДЕМОГРАФИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ПОПУЛЯЦИИ ДРОФЫ

Özgencil I. K., Akarsu F., Karatas M. M., Gursay-Ergen A., Saygili-Yigit F., Karakaya M., Soylier M. Current status of great bustard *Otis tarda* in Turkey: Population size, distribution, movements, and threats. *Bird Conservation International*, 2022, vol. 32, iss. 4, pp. 531–543. <https://doi.org/10.1017/S0959270921000289>

Raab R., Schütz C., Spakovszky P., Julius E., Schulze C. Optimising the attractiveness of winter oilseed rape fields as foraging habitat for the West Pannonian great bustard *Otis tarda* population during winter. *Bird Conservation International*, 2015, vol. 25, iss. 3, pp. 366–376. <https://doi.org/10.1017/S0959270914000355>

Shakula G., Shakula F., Baskakova S., Kessler M. A comprehensive review of records shows eastern Kazakhstan has multiple opportunities to conserve the great bustard *Otis tarda tarda* year-round. *Sandgrouse*, 2022, vol. 44, iss. 1, pp. 59–75.

Spakovszky P., Raab R. Impact of agriculture irrigation on the habitat structure and use by great bustard (*Otis tarda*) in a Natura 2000 site. *Ornis Hungarica*, 2020, vol. 28, iss. 2, pp. 74–84. <https://doi.org/10.2478/orhu-2020-0018>

Vadasz C., Lóránt M. Mennyiben járultak hozzá a 2009–2014 között lezajlott agrárkörnyezetgazdálkodási program tűzokvédelmi zónális célprogramjainak előírásai a tűzok (*Otis tarda*) költési sikerét a fészkelési időszakban veszélyeztető tényezők mérsékléséhez? *Aquila*, 2014, vol. 121, pp. 23–33.

Wang M., González M. A., Yang W., Neuhaus P., Blanco-Fontao B., Ruckstuhl K. E. The probable strong decline of the great bustard *Otis tarda tarda* population in north-western China. *Ardeola*, 2018, vol. 65, pp. 291–297. <https://doi.org/10.13157/arla.65.2.2018.sc2>

Zhuo Y., Kessler M., Muyang W., Xu W., Xu F., Yang W. Habitat suitability assessment for the great bustard *Otis tarda tarda* in Tacheng Basin, Western China. *Global Ecology and Conservation*, 2021, vol. 32, article number e01926. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01926>

Оригинальная статья

УДК 579.6.504.06

<https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-4-466-480>

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ ОБРАБОТКИ НА ЧИСЛЕННОСТЬ БАКТЕРИЙ РОДА *CLOSTRIDIUM* (CLOSTRIDIA, BACTERIA) В ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТАХ ЖИВОТНОВОДСТВА

Н. В. Сырчина ^{1✉}, Л. В. Пилип ², Е. П. Колеватых ³, Т. Я. Ашихмина ^{1,4}

¹ Вятский государственный университет

Россия, 610000, г. Киров, ул. Московская, д. 36

² Вятский государственный агротехнологический университет

Россия, 610017, г. Киров, Октябрьский просп., д. 133

³ Кировский государственный медицинский университет

Россия, 610998, г. Киров, ул. К. Маркса, д. 112

⁴ Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН

Россия, 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28

Поступила в редакцию 26.06.2023 г., после доработки 23.07.2023 г., принята 23.07.2023 г., опубликована 12.12.2023 г.

Аннотация. Клостридии являются одним из самых крупных родов зубактерий, обитающих в воде, почве, кишечнике человека и животных. Род *Clostridium* включает как патогенные, так и непатогенные виды. Представители этого рода занимают лидирующее положение среди всех типов бактерий по продуцированию разнообразных токсинов. Благодаря способности к образованию спор эти микроорганизмы способны выживать в самых неблагоприятных условиях. Особую экологическую опасность представляют устойчивые к антибиотикам клостридии, переносимые в окружающую среду в составе навоза сельскохозяйственных животных. В настоящей работе изучено влияние различных способов обработки (аэрация, подкисление, внесение сурфактантов) жидкой фракции (ЖФ) свиных навозных стоков (НС) на видовой состав и численность клостридий. Установлено, что в НС навозонакопительных ванн доминирующее положение занимают *Cl. septicum* и *Cl. perfringens*. Оба вида принимают активное участие в аммонификации органических соединений, выделяя в окружающую среду широкий спектр летучих веществ с неприятным запахом. Наиболее высокая доля клостридий выявлена в биопленках, формирующихся на поверхности НС в анаэробных условиях. Такие условия складываются при хранении ЖФ в крытых лагунах, что повышает экологические риски переноса нежелательных микроорганизмов в окружающую среду. Круглосуточная аэрация и подкисление НС до pH 5.5 способствовали снижению количества клостридий. Соответствующие условия привели к формированию консорциумов микроорганизмов, в которых доминирующее положение занимали грибы. В биопленках подкисленных НС доминировали *Cl. difficile* (32.52%), *Cl. putrificum* (31.62%) и *Cl. septicum* (30.72%), в

✉ 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; Пилип Лариса Валентиновна: <https://orcid.org/0000-0001-8049-6760>, pilip_larisa@mail.ru; Колеватых Екатерина Петровна: <https://orcid.org/0000-0001-6147-3555>, hibica@mail.ru; Ашихмина Тамара Яковлевна: <https://orcid.org/0000-0003-4919-0047>, ecolab2@gmail.com.

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ ОБРАБОТКИ НА ЧИСЛЕННОСТЬ БАКТЕРИЙ

вариантах с добавкой ПАВ – *Cl. difficile* (69.98 – 95.26%). Наибольшая относительная численность патогенных *Cl. difficile* (95.26%) наблюдалась в варианте с добавкой катионактивного ПАВ (бензалкония хлорида).

Ключевые слова: *Clostridium*, поверхностно-активные вещества, серная кислота, навозные стоки, микробиота навозных стоков

Соблюдение этических норм. В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Сырчина Н. В., Пилип Л. В., Колеватых Е. П., Ашихмина Т. Я. Влияние различных способов обработки на численность бактерий рода *Clostridium* (Clostridia, Bacteria) в побочных продуктах животноводства // Поволжский экологический журнал. 2023. № 4. С. 466 – 480. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-4-466-480>

ВВЕДЕНИЕ

Предотвращение рисков биологического загрязнения окружающей среды несвойственными природным экосистемам микроорганизмами (МО) входит в число важнейших задач современного сельского хозяйства. Основными источниками переноса в природные среды широкого спектра опасных биологических объектов (патогенных МО, гельминтов, яиц гельминтов) являются побочные продукты животноводства (ППЖ) – навоз и навозные стоки (НС), используемые в качестве органических удобрений. Перед внесением в почву ППЖ подвергают специальной обработке – обезвреживанию, направленному на обеспечение биологической безопасности соответствующего материала. Большинство патогенных МО в процессе обезвреживания погибает, однако наиболее устойчивые сохраняют свою жизнеспособность как в ППЖ, так и в природных средах (Пилип, Сырчина, 2022; Пилип и др., 2023; Сырчина и др., 2023). Высокую резистентность к различным способам обработки проявляют бактерии рода *Clostridium*. Экспериментальные исследования показывают, что споры клостридий выживают при переработке навоза в биореакторных и биогазовых установках, выдерживании в условиях низких температур, обработке бактерицидными препаратами (Гарайс, 2011; Leggett, 2012; Neuhaus et al., 2015).

Клостридии представляют собой один из самых крупных родов эубактерий, характерными особенностями которого являются облигатно-анаэробный энергетический метаболизм, неспособность к осуществлению диссимиляционного восстановления сульфата и образование эндоспор при попадании МО в неблагоприятные для жизнедеятельности условия. Споры могут сохраняться в почве на протяжении многих лет и прорасти в вегетативные клетки при изменении условий в благоприятном направлении.

К роду клостридий относятся как непатогенные, так и патогенные виды. Патогенные спорообразующие клостридии представляют большую опасность для животных и человека. Известно, что представители этого рода занимают лидирующее положение среди всех типов бактерий по продуцированию разнообразных токсинов (Hailegebreal, 2017). Такие виды, как *C. botulinum*, *C. septicum*, *C. chau-*

voei, *C. haemolyticum*, *C. sordellii*, *C. perfringens*, *C. tetani* могут вызывать заболевания у сельскохозяйственных животных: эмфизематозный карбункул у крупного рогатого скота, браздот у овец, клостридиальный некротический энтерит у птиц, анаэробную энтеротоксемию, злокачественный отек, столбняк, хронический кормовой клостридиоз, а также у человека: ботулизм, столбняк, газовая гангрена (Джавадов и др., 2020; Bagge et al., 2010).

Серьезные экологические проблемы вызывают не только патогенные, но и непатогенные виды клостридий, обитающие в кишечнике сельскохозяйственных животных. Попадая во внешнюю среду, соответствующие МО продолжают активно метаболизировать содержащиеся в ППЖ органические компоненты, выделяя при этом различные вещества, имеющие характерный неприятный запах. Так *C. scatologenes* является продуцентом скатола (Whitehead et al., 2008), *C. tyrobutyricum* – масляной и уксусной кислот (Liu et al., 2006), *C. saccharoperbutylacetonicum* – индола (Keis et al., 2001). Запаховое загрязнение воздуха, обусловленное микробиологическими процессами деструкции биогенных соединений на животноводческих предприятиях и прилегающих территориях, становится все более актуальной и злободневной проблемой (Сырчина и др., 2022; Пилип, Сырчина, 2023).

Для клостридий, попадающих в навоз из кишечника сельскохозяйственных животных, характерна повышенная резистентность к антибиотикам. Контаминация почвы такими штаммами МО приводит к переносу генов антибиотикорезистентности в агроценозы и другие экосистемы, что существенно затрудняет борьбу с бактериальными инфекциями человека и животных (Пилип и др., 2022; Scott et al., 2018; Blau, 2019).

Широкий спектр экологических, ветеринарных и санитарно-гигиенических проблем, обусловленных переносом клостридий из навоза сельскохозяйственных животных в природные биоценозы, свидетельствует о высокой актуальности исследований, направленных на выявление условий, способствующих снижению количества этих МО в ППЖ.

Цель настоящей работы – оценить влияние различных методов обработки побочных продуктов животноводства на численность бактерий рода *Clostridium*.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для проведения исследований использовали жидкую фракцию (ЖФ) НС, полученную методом сепарирования. Время нахождения НС в подпольных навозо-накопительных ваннах производственных помещений – 10 суток. Образцы ЖФ отбирали в стерильные емкости сразу после сепарирования и транспортировали в химическую лабораторию. Влажность исследуемых образцов ЖФ – 99.4%; pH 6.7; зольность – 19.0% от массы сухого вещества.

В качестве приемов обработки использовали разные режимы аэрации ЖФ атмосферным воздухом и добавку реагентов (различных типов поверхностно-активных веществ (ПАВ) и раствора H_2SO_4). Оба приема находят применение в производственных условиях для снижения эмиссии запахообразующих веществ и улучшения микробиологических характеристик ППЖ (Колеватых и др., 2022). Следует отметить, что если влияние аэрации и подкисления на активность микро-

организмов-аммонификаторов достаточно хорошо исследованы и описаны (Миров, Хмыров, 2002; Пилип и др., 2020), то сведения о характере воздействия различных типов ПАВ на микробиоту НС до настоящего времени весьма противоречивы и неоднозначны, что затрудняет оценку эффективности применения ПАВ для обработки НС.

Образцы ЖФ (объем 4.0 л каждый) помещали в пластиковые пятилитровые емкости, вносили добавки реагентов согласно вариантам эксперимента, перемешивали и на протяжении всего эксперимента (14 суток) выдерживали при температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$ в условиях слабого освещения (в помещении с закрытыми шторами окнами). Началом эксперимента считали момент внесения добавок и включения аэратора. Для аэрации ЖФ применяли регулируемый воздушный компрессор с керамическими распылителями. Объем подаваемого воздуха устанавливали на уровне 150 мл в минуту на 1 л ЖФ.

Варианты эксперимента: контроль (нативная ЖФ без добавок и аэрации в емкости с открытой крышкой); 1) круглосуточная аэрация; 2) аэрация 2 часа в сутки; 3) анаэробные условия хранения (в емкости с герметично закрытой на протяжении всего эксперимента крышкой); 4) добавка раствора H_2SO_4 до pH 5.5 ± 0.1 ; 5) добавка катионоактивного ПАВ (бензалкония хлорида); 6) добавка неионогенного ПАВ (оксида лаурилдиметиламина); 7) добавка анионоактивного ПАВ (лауретсульфата натрия). Все ПАВ вносили в дозировке 10.0 мл на 1 м^3 ЖФ (в расчете на безводную форму ПАВ).

Микробиологические исследования контрольных и экспериментальных вариантов ЖФ осуществляли в специализированной микробиологической лаборатории. Для исследований отбирали пробы биопленок (с поверхности ЖФ) и пробы бактериопланктона (с глубины 12 – 15 см от поверхности). Образцы отбирали через 14 суток после начала эксперимента и сразу доставляли в лабораторию. Из исследуемого материала готовили ряд серийных разведений с применением стерильного физиологического раствора. Посев осуществляли в питательную среду Анаэроагар (Himedia, Индия), инкубировали при 37°C в анаэробных условиях с использованием газогенерирующих пакетов «АНАЭРОГАЗ» (НПО «ИНКО», Россия). Изучали характерные для клостридий колонии, а также морфологические особенности клеток при микроскопии фиксированных препаратов, окрашенных методами Грама и Ожешко. МО идентифицировали в биохимическом тесте АНАЭРОтест23 (Pliva – Lachema, Хорватия) (ГОСТ 31744-2012; Шельгин и др., 2018; ГОСТ Р 70152-2022).

Дополнительно были исследованы ЖФ сразу после сепарирования (ЖФ-1) и свежий свиной навоз (СН), отбор проб которого осуществляли стерильным инструментом в стерильную тару при соблюдении правил асептики непосредственно после дефекации животных. Влажность исследуемых образцов навоза – 87.0%; pH 7.2; зольность – 28.5% от массы сухого вещества.

Все исследования проводили в трехкратной 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 микробиологических исследований ССН и ЖФ-1 было выявлено 6 видов клостридий, принимающих активное участие в процессах аммонификации (табл. 1).

Таблица 1. Видовое разнообразие бактерий рода *Clostridium* в свином навозе и жидкой фракции (ЖФ-1)

Table 1. Bacterial species of the genus *Clostridium* in pig manure and the liquid fraction of manure effluents (LF-1)

Вид бактерий рода <i>Clostridium</i> / Species of the genus <i>Clostridium</i>	Навоз свиной нативный / Pig manure native		Жидкая фракция свиных навозных стоков (ЖФ-1) / Liquid fraction of manure effluents (LF-1)	
	Абс-ное значение, КОЕ/мл / Absolute value, CFU/ml	Отн-ное значение, % / Relative value, %	Абс-ное значение, КОЕ/мл / Absolute value, CFU/ml	Отн-ное значение, % / Relative value, %
<i>Cl. sporogenes</i>	$(9.6 \pm 0.6) \times 10^3$	0.14	$(8.7 \pm 0.3) \times 10^2$	0.14
<i>Cl. bifermentans</i>	$(7.0 \pm 1.5) \times 10^5$	10.00	$(1.2 \pm 0.4) \times 10^4$	1.97
<i>Cl. putrificum</i>	$(3.2 \pm 1.3) \times 10^6$	45.70	$(1.7 \pm 0.3) \times 10^4$	2.79
<i>Cl. septicum</i>	$(9.0 \pm 1.4) \times 10^4$	1.29	$(3.5 \pm 0.4) \times 10^5$	57.52
<i>Cl. perfringens</i>	$(3.0 \pm 0.6) \times 10^6$	42.86	$(2.2 \pm 0.3) \times 10^5$	36.16
<i>Cl. (Clostridioides) difficile</i>	$(3.7 \pm 0.3) \times 10^2$	0.01	$(8.6 \pm 0.3) \times 10^3$	1.41
Общее число бактерий рода <i>Clostridium</i> / Total numbers of bacteria of the genus <i>Clos-</i> <i>tridium</i>	$(7.0 \pm 0.5) \times 10^6$	100	$(6.1 \pm 0.3) \times 10^5$	100

Общее количество бактерий рода *Clostridium* в ЖФ-1 оказалось на порядок меньше количества этих МО в ССН. Доминирующее положение в ССН занимали *Cl. putrificum* и *Cl. perfringens*, в ЖФ-1 – *Cl. septicum* и *Cl. perfringens*, относящиеся к возбудителям газовой гангрены (анаэробной раневой инфекции). Выявленные в ЖФ-1 и ССН *Cl. putrificum* принимают активное участие в процессах аммонификации и формировании неприятного запаха. Для *Cl. septicum* характерны выраженная протеолитическая активность, способность образовывать споры с высокой термостойкостью, способность адаптироваться и прорасти в подкисленном до pH 5.0 субстрате (Brunt et al., 2020; Valero et al., 2020), что существенно увеличивает возможность выживания бактерий во внешней среде.

В ССН выявлено более высокое, чем в ЖФ-1 количество *Cl. bifermentans*. Для этого вида характерен широкий спектр метаболитов, включая вещества с выраженным запахом (масляная, уксусная и муравьиная кислоты, этанол, бутанол, ацетон) (Leja et al., 2013), формирующих специфический неприятный запах навоза.

Особого внимания заслуживает наличие в НС-1 и ССН такого вида, как *Clostridioides difficile*. Указанный вид является возбудителем псевдомембранозного колита (*C. difficile* – ассоциированных болезней) у человека. Данный вид вегетирует в кишечнике поросят раннего возраста. В 2011 г. *C. difficile* послужил причиной заболевания порядка 500000 человек в США и смерти около 29000 человек (Sandhu et al., 2018). Вид *Clostridium difficile* был перенесен во вновь созданный

род *Clostridioides* семейства *Peptostreptococcaceae* и ему присвоено наименование *Clostridioides difficile*.

Количество клостридий в ЖФ на начало эксперимента составляло $(6.1 \pm 0.3) \times 10^5$ КОЕ/мл, что не превышало 0.11% от общего микробного числа (ОМЧ) ЖФ-1. Однако к 14-м суткам в контрольных образцах этот показатель увеличился до $(8.0 \pm 0.6) \times 10^7$ КОЕ/мл (31.19% от ОМЧ). Согласно результатам исследований, на количество клостридий существенное влияние оказали способы обработки ЖФ. На рис. 1 приведены данные, характеризующие влияние условий аэрации на относительную численность клостридий (%) в биопленке и бактериопланктоне ЖФ по отношению к ОМЧ через 14 суток после начала эксперимента, а также относительная численность клостридий на начало эксперимента (0.11%).

Приведенные на рис. 1 данные показывают, что относительная численность клостридий в ЖФ с течением времени существенно возрастает. Максимальное количество этих МО выявлено в биопленке четвертого варианта эксперимента (анаэробные условия). Такие условия складываются при обезвреживании ЖФ в крытых лагунах. Высокая относительная численность клостридий выявлена и в варианте 3 (периодическая аэрация). Наименьшая численность клостридий была в биопленках, формирующихся при непрерывной подаче атмосферного воздуха. В соответствующих биопленках доминирующее положение занимали грибы (85.48%), а облигатные анаэробы, к которым относятся бактерии рода *Clostridium*, составляли 14.30%. Тем не менее, клостридии сохраняли жизнеспособность и в условиях аэрации, по всей видимости, за счет образования спор.

Условия эксперимента оказали влияние не только на численность, но и на видовое разнообразие бактерий рода *Clostridium* (табл. 2).

На 14-е сутки в бактеориопланктоне ЖФ контрольных образцов по-прежнему доминировали *Cl. septicum* (61.25%) и *Cl. perfringens* (35.00%), однако в сформировавшихся биопленках изменилось соотношение видов клостридий: стали преобладать *Cl. difficile* (68.30%). Причем данная тенденция отмечалась в биопленках всех вариантов эксперимента, доля *Cl. difficile* составила от 67.31 до 79.71%.

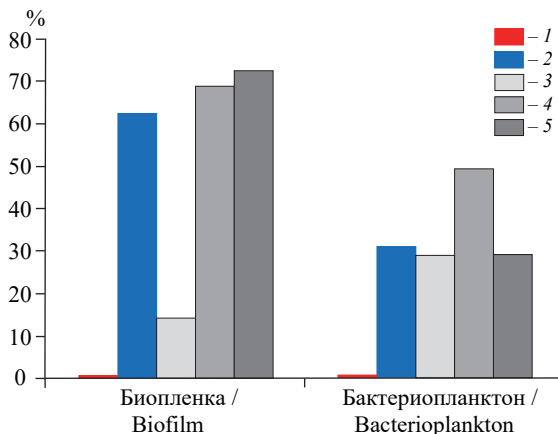


Рис. 1. Доля бактерий рода *Clostridium* в ОМЧ биопленок и бактериопланктона через 14 суток после начала и в начале эксперимента (ЖФ-1): 1 – начало эксперимента, 2 – контроль, 3 – вариант 1, 4 – вариант 2, 5 – вариант 3

Fig. 1. Proportion of *Clostridium* bacteria in the TMN (Total Microbial Number) of biofilms and bacterioplankton 14 days after the start and at the beginning of the experiment (LF-1): 1 – beginning of the experiment, 2 – control, 3 – option 1, 4 – option 2, 5 – option 3

Таблица 2. Видовое разнообразие бактерий рода *Clostridium* в зависимости от различных условий хранения НС (14-е сутки эксперимента)
Table 2. Species diversity of bacteria of the genus *Clostridium* depending on NC storage conditions (14th day of the experiment)

Вид бактерий рода <i>Clostridium</i> / Species of the genus <i>Clostridium</i>	Вариант эксперимента / Option of the experiment					
	Контроль / Control		Вариант 1 / Option 1		Вариант 2 / Option 2	
	Абсолютное значение, КОЕ/мл / Absolute value, CFU/ml	Относительное значение, % / Relative value, %	Абсолютное значение, КОЕ/мл / Absolute value, CFU/ml	Относительное значение, % / Relative value, %	Абсолютное значение, КОЕ/мл / Absolute value, CFU/ml	Относительное значение, % / Relative value, %
Биопленка / Biofilm						
<i>Cl. sporogenes</i>	(8.9±1.3)×10 ³	1.03	(4.3±0.8)×10 ³	0.61	(7.9±1.1)×10 ⁴	9.01
<i>Cl. bifidum</i>	(7.5±0.4)×10 ⁴	8.68	(3.9±0.9)×10²	0.06	(5.8±0.9)×10 ⁴	6.62
<i>Cl. putrefactum</i>	(8.4±0.3)×10 ⁴	9.72	(5.8±1.1)×10 ⁴	8.25	(7.2±1.2)×10 ⁴	8.21
<i>Cl. septicum</i>	(4.8±0.3)×10 ⁴	5.56	(6.9±1.3)×10³	0.98	(6.7±1.1)×10³	0.76
<i>Cl. perfringens</i>	(5.8±0.3)×10 ⁴	6.71	(7.3±1.1)×10 ⁴	10.39	(7.1±0.9)×10 ⁴	8.09
<i>Cl. (Clostridioides) difficile</i>	(5.9±0.4)×10 ⁵	68.30	(5.6±0.3)×10 ⁵	79.71	(5.9±1.1)×10 ⁵	67.31
Общее число бактерий рода <i>Clostridium</i> / Total numbers of bacteria of the genus <i>Clostridium</i>	(8.6±0.4)×10 ⁵	100	(7.0±0.8)×10 ⁵	100	(8.8±0.6)×10 ⁵	100
Бактериопланктон / Bacterioplankton						
<i>Cl. sporogenes</i>	(8.9±1.3)×10 ⁴	0.11	(6.4±0.5)×10⁵	1.08	(8.9±0.8)×10 ⁴	0.11
<i>Cl. bifidum</i>	(1.5±0.4)×10 ⁶	1.88	(6.5±0.7)×10 ⁶	10.92	(7.0±0.4)×10 ⁶	8.48
<i>Cl. putrefactum</i>	(1.4±0.3)×10 ⁶	1.75	(3.8±0.6)×10⁷	63.87	(8.4±0.3)×10 ⁶	10.18
<i>Cl. septicum</i>	(4.9±0.4)×10 ⁷	61.25	(6.9±1.5)×10⁶	12.44	(4.0±0.5)×10 ⁷	72.67
<i>Cl. perfringens</i>	(2.8±0.3)×10 ⁷	35.00	(6.4±0.6)×10⁶	12.44	(7.0±0.3)×10⁶	8.48
<i>Cl. (Clostridioides) difficile</i>	(9.8±0.3)×10 ⁵	0.01	(6.0±0.5)×10⁴	0.10	(6.8±0.3)×10⁴	0.08
Общее число бактерий рода <i>Clostridium</i> / Total numbers of bacteria of the genus <i>Clostridium</i>	(8.0±0.6)×10 ⁷	100	(5.9±0.9)×10 ⁷	100	(6.3±0.7)×10 ⁷	100

Примечание. Жирным шрифтом выделены варианты эксперимента, достоверно ($P > 0.95$) отличающиеся от контроля.
Note. Bold font shows options of the experiment, reliably ($P > 0.95$) different from the control.

Постоянная аэрация ЖФ снизила относительное количество *Cl. septicum* и *Cl. perfringens* в бakteорнопланктоне до 12.44%, при этом количество *Cl. putrificum* увеличилось до 63.87%. В условиях периодической аэрации весьма устойчивым оказался вид *Cl. septicum* (72.67%). В анаэробных условиях доминировали *Cl. sporogenes* (77.72%).

На численность клостридий определенное влияние оказал приём подкисления и добавки ПАВ. На рис. 2 представлены результаты, характеризующие влияние серной кислоты и различных типов ПАВ на долю клостридий в ОМЧ биопленок и бактериопланктона.

Наиболее значительное снижение абсолютной и относительной численности клостридий было установлено в варианте 5 (добавка H_2SO_4 до pH 5.5 ± 0.1). Обработка ЖФ растворами ПАВ оказала менее выраженное воздействие на эти бактерии. Даже катионактивный хлорид бензалкония, широко используемый в качестве надежного антисептического средства, не привел к существенному снижению МО этого рода. Статистически значимых различий в воздействии различных типов ПАВ на долю клостридий в ОМЧ выявить не удалось. Незначительный эффект воздействия ПАВ на жизнедеятельность клостридий был установлен и в работах других исследователей (Reddy et al., 1999). Кроме того, в ряде публикаций отмечено, что катионактивные ПАВ могут стимулировать прорастание спор этих МО в питательной среде (Paredes-Sabja et al., 2009).

В табл. 3 приведены данные о влиянии подкисления и добавок ПАВ на видовое разнообразие бактерий рода *Clostridium*.

Использование приема подкисления привело к доминированию в биопленках НС *Cl. difficile* (32.52%), *Cl. putrificum* (31.62%) и *Cl. septicum* (30.72%). В вариантах с добавкой ПАВ в биопленках доминировали *Cl. difficile* (69.98 – 95.26%). Наибольшая относительная численность патогенных *Cl. difficile* (95.26%) наблюдалась в варианте с добавкой катионактивного ПАВ.

В бakteорнопланктоне НС при подкислении и добавке неионногенного ПАВ преобладали *Cl. perfringens* (88.82 и 88.01% соответственно), *Cl. septicum* доминировали при применении катионактивного и неионактивного ПАВ (77.36 и 89.23% соответственно).

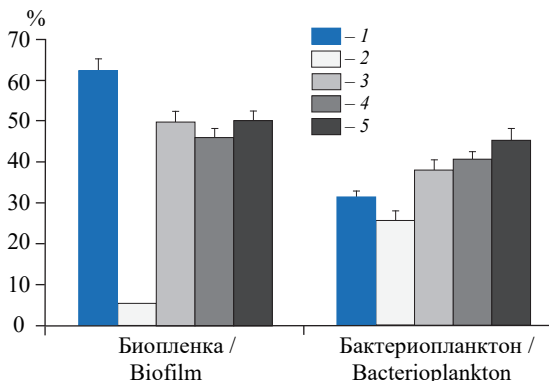


Рис. 2. Влияние добавок H_2SO_4 и ПАВ на долю бактерий рода *Clostridium* в биопленке и бактериопланктоне ЖФ: 1 – контроль, 2 – вариант 4, 3 – вариант 5, 4 – вариант 6, 5 – вариант 7

Fig. 2. Effect of H_2SO_4 and surfactant additives on the proportion of *Clostridium* bacteria in biofilms and bacterioplankton of the liquid fraction: 1 – control, 2 – option 4, 3 – option 5, 4 – option 6, 5 – option 7

Таблица 3. Влияние добавок H_2SO_4 и ПАВ на видовое разнообразие бактерий рода *Clostridium*
Table 3. Effect of H_2SO_4 and surfactant additives on the bacterial species diversity of the genus *Clostridium*

Вид бактерий рода <i>Clostridium</i> / Species of the genus <i>Clostridium</i>	Вариант 4 / Option 4		Вариант 5 / Option 5		Вариант 6 / Option 6		Вариант 7 / Option 7	
	Абсолютное значение, КОЕ/мл / Absolute value, CFU/ml	Относительное значение, % / Relative value, %	Абсолютное значение, КОЕ/мл / Absolute value, CFU/ml	Относительное значение, % / Relative value, %	Абсолютное значение, КОЕ/мл / Absolute value, CFU/ml	Относительное значение, % / Relative value, %	Абсолютное значение, КОЕ/мл / Absolute value, CFU/ml	Относительное значение, % / Relative value, %
Биопленка / Biofilm	<i>Cl. sporogenes</i>	0.26	$(6.3 \pm 0.9) \times 10^3$	0.87	$(5.4 \pm 0.8) \times 10^3$	0.66	$(6.4 \pm 0.3) \times 10^3$	0.96
	<i>Cl. bifementians</i>	2.76	$(6.9 \pm 1.1) \times 10^3$	0.95	$(7.1 \pm 1.2) \times 10^3$	0.87	$(8.2 \pm 1.1) \times 10^3$	1.23
	<i>Cl. putrificans</i>	31.62	$(7.4 \pm 1.1) \times 10^3$	1.02	$(7.2 \pm 0.9) \times 10^4$	8.84	$(7.2 \pm 0.9) \times 10^4$	10.84
	<i>Cl. septicum</i>	30.72	$(7.9 \pm 1.2) \times 10^3$	1.09	$(8.1 \pm 1.0) \times 10^4$	9.95	$(6.1 \pm 0.5) \times 10^4$	9.18
	<i>Cl. perfringens</i>	2.12	$(5.8 \pm 0.9) \times 10^3$	0.81	$(7.9 \pm 1.1) \times 10^4$	9.70	$(6.9 \pm 0.6) \times 10^3$	1.04
Бактериопланктон / Bacterioplankton	<i>Cl. (Clostridioides) difficile</i>	32.52	$(6.9 \pm 1.1) \times 10^5$	95.26	$(5.7 \pm 1.1) \times 10^5$	69.98	$(5.1 \pm 0.8) \times 10^5$	76.75
	Общее число бактерий рода <i>Clostridium</i> / Total numbers of bacteria of the genus <i>Clostridium</i>	100	$(7.2 \pm 0.6) \times 10^5$	100	$(8.2 \pm 0.3) \times 10^5$	100	$(6.7 \pm 0.3) \times 10^5$	100
	<i>Cl. sporogenes</i>	0.01	$(7.2 \pm 1.1) \times 10^4$	0.10	$(5.7 \pm 0.8) \times 10^4$	0.07	$(6.2 \pm 0.4) \times 10^4$	0.07
	<i>Cl. bifementians</i>	1.03	$(5.1 \pm 1.2) \times 10^6$	6.80	$(6.6 \pm 1.1) \times 10^5$	0.82	$(7.2 \pm 0.8) \times 10^5$	0.81
	<i>Cl. putrificans</i>	0.86	$(5.9 \pm 0.8) \times 10^6$	7.87	$(8.5 \pm 0.8) \times 10^5$	1.05	$(6.5 \pm 0.8) \times 10^5$	0.73
Биопленка / Biofilm	<i>Cl. septicum</i>	9.27	$(5.8 \pm 1.1) \times 10^7$	77.36	$(8.1 \pm 0.9) \times 10^6$	10.04	$(7.9 \pm 0.4) \times 10^7$	89.23
	<i>Cl. perfringens</i>	88.82	$(5.9 \pm 1.0) \times 10^6$	7.87	$(7.1 \pm 1.1) \times 10^7$	88.01	$(8.1 \pm 0.8) \times 10^6$	9.15
	<i>Cl. (Clostridioides) difficile</i>	0.01	$(4.8 \pm 0.7) \times 10^3$	0.01	$(7.8 \pm 1.2) \times 10^3$	0.01	$(6.6 \pm 0.6) \times 10^3$	0.01
	Общее число бактерий рода <i>Clostridium</i> / Total numbers of bacteria of the genus <i>Clostridium</i>	100	$(7.5 \pm 0.6) \times 10^7$	100	$(8.1 \pm 0.3) \times 10^7$	100	$(8.9 \pm 0.3) \times 10^7$	100

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Регулирование переноса бактерии рода *Clostridium* из навоза животных в окружающую среду представляет серьезную технологическую проблему. Благодаря способности к спорообразованию эти бактерии проявляют высокую устойчивость к воздействию таких методов обработки ППЖ, как аэрирование, подкисление, воздействие различных типов ПАВ, включая катионактивные. Соответствующие методы приводят к подавлению численности большинства МО, попадающих в ППЖ из кишечника животных, но относительное количество клостридий при этом существенно возрастает.

В навозных стоках навозонакопительных ванн, расположенных в подпольном пространстве свинарников, доминирующее положение занимают такие виды, как *Cl. septicum* и *Cl. perfringens*. Оба вида принимают активное участие в аммонификации органических соединений, выделяя в окружающую среду широкий спектр летучих веществ с неприятным запахом.

Наиболее высокая доля клостридий выявлена в биопленках, формирующихся на поверхности НС в анаэробных условиях. Такие условия складываются при хранении ЖФ в крытых лагунах, что повышает экологические риски переноса нежелательных МО в окружающую среду.

Самое низкое количество клостридий наблюдали в поверхностных биопленках ЖФ, формирующихся в условиях круглосуточной аэрации, а также в условиях подкисления до pH 5.5. Как аэрация, так и подкисление способствовали формированию консорциумов МО, в которых доминировали грибы.

Результаты работы могут найти применение при разработке технологий снижения рисков микробиологического загрязнения окружающей среды отходами животноводства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Гагайц М. Устойчивые к холоду бактерии *Clostridium estertheticum* и порча говядины в вакуумных упаковках // Все о мясе. 2011. № 6. С. 7 – 9.

ГОСТ 31744-2012. Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Метод подсчета колоний *Clostridium perfringens*. М.: Стандартинформ, 2014. 16 с.

ГОСТ Р 70152-2022. Качество воды. Методы внутреннего лабораторного контроля качества проведения микробиологических и паразитологических исследований. М.: Российский институт стандартизации, 2022. 58 с.

Джавадов Э. Д., Новикова О. Б., Женихова Н. И., Безбородова Н. А. Клостридиозы // БИО. 2020. № 6. С. 25 – 31.

Колеватых Е. П., Пилип Л. В., Сырчина Н. В., Козвонин В. А. Трансформация микробиоты отходов животноводства под влиянием химических реагентов для устранения запаха // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 4. С. 159 – 165. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-4-159-165>

Миронов В. В., Хмыров В. Д. Влияние активной аэрации на интенсивность протекания биотермических процессов в компостируемой смеси // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2002. Т. 8, № 4. С. 668 – 672.

Пилип Л. В., Сырчина Н. В. Оценка эффективности различных препаратов для снижения запахового загрязнения окружающей среды отходами свиноводства // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. 2022. № 25-2. С. 206 – 215.

Пилип Л. В., Сырчина Н. В. Роль аммонификаторов в эмиссии аммиака из свиных навозных стоков // Известия КГТУ. 2023. № 68. С. 46 – 54. <https://doi.org/10.46845/1997-3071-2023-68-46-54>

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>

Пилип Л. В., Сырчина Н. В., Козвонин В. А., Колеватых Е. П., Ашихмина Т. Я., Саза-нов А. В. Биологическое загрязнение пахотных земель отходами свиноводства // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 3. С. 199 – 205. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-3-199-205>

Пилип Л. В., Сырчина Н. В., Колеватых Е. П. Оценка безопасности восстановленной подстилки, полученной на фильтрационно-сушильной установке // Российский журнал прикладной экологии. 2023. № 1(33). С. 45 – 51. <https://doi.org/10.24852/2411-7374.2023.1.45.51>

Сырчина Н. В., Пилип Л. В., Ашихмина Т. Я. Контроль запахового загрязнения атмосферного воздуха (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 2. С. 26 – 34. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-2-026-034>

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>

Шельгин Ю. А., Алёшкин В. А., Сухина М. А., Миронов А. Ю., Брико Н. И., Козлов Р. С., Зверев В. В., Ачкасов С. И., Ковалишина О. В., Селькова Е. П., Сафин А. Л., Гренкова Т. А., Халиф И. Л., Фролов С. А., Кашиников В. Н., Сушков О. И. Клинические рекомендации национальной ассоциации специалистов по контролю инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи, и общероссийской общественной некоммерческой организации «Ассоциация колопроктологов России» по диагностике, лечению и профилактике *Clostridium difficile* – ассоциированной диареи (CDI) // Колопроктология. 2018. № 3. С. 7 – 23. <https://doi.org/10.33878/2073-7556-2018-0-3-7-23>

Bagge E., Persson M., Johansson K. E. Diversity of spore-forming bacteria in cattle manure, slaughterhouse waste and samples from biogas plants // Journal of Applied Microbiology. 2010. Vol. 109, № 5. P. 1549 – 1565. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2010.04790.x>

Blau K. Manure and doxycycline affect the bacterial community and its resistome in lettuce rhizosphere and bulk soil // Frontiers in Microbiology. 2019. Vol. 10. Article number 725. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00725>

Brunt J., van Vliet A. H., Carter A. T., Stringer S. C., Amar C., Grant K. A., Godbole G., Peck M. W. Diversity of the genomes and neurotoxins of strains of *Clostridium botulinum* group I and *Clostridium sporogenes* associated with foodborne, infant and wound botulism // Toxins. 2020. Vol. 12, iss. 9. Article number 586. <https://doi.org/10.3390/toxins12090586>

Hailegebreal G. A review on *Clostridium perfringens* food poisoning // Global Research Journal of Public Health and Epidemiology. 2017. Vol. 4, № 3. P. 104 – 109.

Keis S., Shaheen R., Jones D. T. Emended descriptions of *Clostridium acetobutylicum* and *Clostridium beijerinckii*, and descriptions of *Clostridium saccharoperbutylacetonicum* sp. nov. and *Clostridium saccharobutylicum* sp. nov. // International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. 2001. Vol. 51, iss. 6. P. 2095 – 2103. <https://doi.org/10.1099/00207713-51-6-2095>

Leggett M. J. Bacterial spore structures and their protective role in biocide resistance // Journal of Applied Microbiology. 2012. Vol. 113, iss. 3. P. 485 – 498. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2012.05336.x>

Leja K., Myszka K., Czaczyk K. The ability of *Clostridium bifermentans* strains to lactic acid biosynthesis in various environmental conditions // SpringerPlus. 2013. Vol. 2. Article number 44. <https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-44>

Liu X., Zhu Y., Yang S. T. Butyric acid and hydrogen production by *Clostridium tyrobutyricum* ATCC 25755 and mutants // Enzyme and Microbial Technology. 2006. Vol. 38, iss. 3–4. P. 521 – 528. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2005.07.008>

Neuhaeus J., Schrödl W., Shehata A. A., Krüger M. Detection of *Clostridium botulinum* in liquid manure and biogas plant wastes // Folia Microbiologica. 2015. Vol. 60, iss. 5. P. 451 – 456. <https://doi.org/10.1007/s12223-015-0381-3>

Paredes-Sabja D., Setlow P., Sarker M. R. Role of GerKB in germination and outgrowth of *Clostridium perfringens* spores // Applied and Environmental Microbiology. 2009. Vol. 75, iss. 11. P. 3813 – 3817.

Reddy R. M., Reddy P. G., Seenayya G. Enhanced production of thermostable β -amylase and pullulanase in the presence of surfactants by *Clostridium thermosulfurogenes* SV2 // Process Biochemistry. 1999. Vol. 34, iss. 1. P. 87 – 92. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(98\)00073-9](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(98)00073-9)

Sandhu B. K., McBride S. M. Clostridioides difficile // Trends in Microbiology. 2018. Vol. 26, iss. 12. P. 1049 – 1050. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2018.09.004>

Scott A., Tien Y. C., Drury C. F., Reynolds W. D., Topp E. Enrichment of antibiotic resistance genes in soil receiving composts derived from swine manure, yard wastes, or food wastes, and evidence for multiyear persistence of swine *Clostridium* spp. // Canadian Journal of Microbiology. 2018. Vol. 64, iss. 3. P. 201 – 208. <https://doi.org/10.1139/cjm-2017-0642>

Valero A., Olague E., Medina-Pradas E., Garrido-Fernández A., Romero-Gil V., Cantalejo M. J., García-Gimeno R. M., Pérez-Rodríguez F., Posada-Izquierdo G. D., Arroyo-López F. N. Influence of acid adaptation on the probability of germination of *Clostridium sporogenes* spores against pH, NaCl and time // Foods. 2020. Vol. 9, iss. 2. Article number 127. <https://doi.org/10.3390/foods9020127>

Whitehead T. R., Price N. P., Drake H. L., Cotta M. A. Catabolic pathway for the production of skatole and indoleacetic acid by the acetogen *Clostridium drakei*, *Clostridium scatologenes*, and swine manure // Applied and Environmental Microbiology. 2008. Vol. 74, iss. 6. P. 1950 – 1953. <https://doi.org/10.1128/AEM.02458-07>

Effect of various processing methods on the numbers of *Clostridium* (Clostridia, Bacteria) in animal by-products

N. V. Syrchina ^{1✉}, L. V. Pilip ², E. P. Kolevatykh ³, T. Ya. Ashikhmina ^{1,4}

¹ Vyatka State University

36 Moskovskaya St., Kirov 610000, Russia

² Vyatka State Agrotechnological University

133 Oktyabrsky Pros., Kirov 610017, Russia

³ Kirov State Medical University

112 K. Marx St., Kirov 610998, Russia

⁴ Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of RAS

28 Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, Republic of Komi 167982, Russia

Received: June 26, 2023 / revised: July 23, 2023 / accepted: July 23, 2023 / published: December 12, 2023

Abstract. *Clostridia* are one of the largest genera of eubacteria living in water, soil, the intestines of humans and animals. The genus *Clostridium* includes both pathogenic and non-pathogenic species. Representatives of this genus occupy a leading position among all types of bacteria in producing a variety of toxins. Due to their ability to form spores, these microorganisms can survive in the most unfavorable conditions. Antibiotic-resistant *Clostridia*, which are released to the environment as part of farm animal manure, are of particular environmental danger. We have studied the influence of various treatment methods (aeration, acidification, and surfactant application) of the liquid fraction of pig manure effluents (ME) on the species composition and the numbers of *Clostridia*. *Cl. septicum* and *Cl. perfringens* were found to occupy a dominant position in the ME of manure storage baths. Both species are actively involved in the ammonification of organic compounds, releasing a wide range of volatile substances with an unpleasant odor into the environment. Most of the *Clostridia* were detected in biofilms formed on the surface of ME under anaerobic conditions. Such conditions are formed during storage of the liquid fraction in closed lagoons, which increases the environmental risks of the release of undesirable microorganisms into the environment. Round-the-clock aeration and acidification of ME to pH 5.5 reduce the numbers of *Clostridia*. Such conditions contribute to the formation of microorganism consortia with fungi to occupy a dominant position. *Cl. difficile* (32.52%), *Cl. putrificum* (31.62%) and *Cl. septicum* (30.72%) predominated in biofilms of acidified ME, whilst only *Cl. difficile* (69.98–95.26%) did in options with surfactants added. The largest relative numbers of pathogenic *Cl. difficile* (95.26%) were observed in the option with the addition of a cationic surfactant (benzalkonium chloride).

Keywords: *Clostridium*, surfactants, sulfuric acid, manure effluents, microbiota of manure effluents

Ethics approval and consent to participate: This work does not contain any studies involving human and animal subjects.

Competing interests: The authors have declared that no competing interests exist.

✉ *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; Larisa V. Pilip: <https://orcid.org/0000-0001-8049-6760>, pilip_larisa@mail.ru; Ekaterina P. Kolevatykh: <https://orcid.org/0000-0001-6147-3555>, hibica@mail.ru; Tamara Ya. Ashikhmina: <https://orcid.org/0000-0003-4919-0047>, ecolab2@gmail.com.

For citation: Syrchina N. V., Pilip L. V., Kolevatykh E. P., Ashikhmina T. Ya. Effect of various processing methods on the numbers of *Clostridium* (Clostridia, Bacteria) in animal by-products. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2023, no. 4, pp. 466–480 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-4-466-480>

REFERENCES

- Garays M. Cold-tolerant bacteria *Clostridium estertheticum* and spoilage of beef in vacuum packaging. *Vsyo o myase*, 2011, no.6, pp. 7–9 (in Russian).
- GOST 31744-2012. *Microbiology of Food and Animal Feeding Stuffs. Clostridium perfringens Colony-count Technique*. Moscow, Standardinform, 2014. 16 p. (in Russian).
- GOST R 70152-2022. *Water Quality. Methods of Internal Laboratory Quality Control for Conducting Microbiological and Parasitological Studies*. Moscow, Russian Institute of Standardization, 2022. 58 p. (in Russian).
- Dzhavadov E. D., Novikova O. B., Zhenikhova N. I., Bezborodova N. A. Clostridium. *Bio*, 2020, no. 6, pp. 25–31 (in Russian).
- Kolevatykh E. P., Pilip L. V., Syrchina N. V., Kozvonin V. A. Transformation of the microbiota of animal husbandry waste under the influence of chemical reagents to eliminate odor. *Theoretical and Applied Ecology*, 2022, no. 4, pp. 159–165 (in Russian). <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-4-159-165>
- Mironov V. V., Khmyrov V. D. Influence of active aeration on the intensity of biothermal processes in the composted mixture. *Bulletin of the Tambov State Technical University*, 2002, no. 4, pp. 668–672 (in Russian).
- Pilip L.V., Syrchina N. V. Evaluation of the effectiveness of various drugs to reduce odor pollution of the environment with pig waste. *Actual Problems of Intensive Development of Animal Husbandry*, 2022. no. 25-2, pp. 206–215 (in Russian).
- Pilip L. V., Syrchina N. V. The importance of microorganisms-ammonifiers of manure effluents in the emission of ammonia. *KSTU News*, 2023, no. 68, pp. 46–54 (in Russian). <https://doi.org/10.46845/1997-3071-2023-68-46-54>
- Pilip L. V., Kozvonin V. A., Syrchina N. V., Kolevatykh E. P., Ashikhmina T. Ya. Effects of acidifying manure effluent on its 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>
- Pilip L. V., Syrchina N. V., Kozvonin V. A., Kolevatykh E. P., Ashikhmina T. Ya., Sazanov A. V. Biological contamination of arable land with pig waste. *Theoretical and Applied Ecology*, 2022, no. 3, pp. 199–205 (in Russian). <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-3-199-205>
- Pilip L. V., Syrchina N. V., Kolevatykh E. P. Safety assessment of regenerated litter obtained at the filtration and drying plant. *Russian Journal of Applied Ecology*, 2023, no. 1(33), pp. 45–51 (in Russian). <https://doi.org/10.24852/2411-7374.2023.1.45.51>
- Syrchina N. V., Pilip L. V., Kolevatykh E. P., Ashikhmina T. Ya. Control of odor pollution of atmospheric air (review). *Theoretical and Applied Ecology*, 2022, no. 2, pp. 22–34 (in Russian). <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-2-026-034>
- 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>
- Shelygin Yu. A., Aleshkin V. A., Sukhina M. A., Mironov A. Yu., Briko N. I., Kozlov R. S., Zverev V. V., Achkasov S. I., Kovalishena O. V., Selkova E. P., Safin A. L., Grenkova T. A., Khalif I. L., Frolov S. A., Kashnikov V. N., Sushkov O. I. Clinical recommendations of the National association of specialists for the healthcare-related infections control and the Russian association of coloproctology on diagnosis, treatment and prophylaxis of clostridium difficile – associated diarrhea (CDI). *Koloproktologia*, 2018, no. 3, pp. 7–23 (in Russian). <https://doi.org/10.33878/2073-7556-2018-0-3-7-23>

Bagge E., Persson M., Johansson K. E. Diversity of spore-forming bacteria in cattle manure, slaughterhouse waste and samples from biogas plants. *Journal of Applied Microbiology*, 2010, vol. 109, no. 5, pp. 1549–1565. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2010.04790.x>

Blau K. Manure and doxycycline affect the bacterial community and its resistome in lettuce rhizosphere and bulk soil. *Frontiers in Microbiology*, 2019, vol. 10, article number 725. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00725>

Brunt J., van Vliet A. H., Carter A. T., Stringer S. C., Amar C., Grant K. A., Godbole G., Peck M. W. Diversity of the genomes and neurotoxins of strains of *Clostridium botulinum* group I and *Clostridium sporogenes* associated with foodborne, infant and wound botulism. *Toxins*, 2020, vol. 12, iss. 9, article number 586. <https://doi.org/10.3390/toxins12090586>

Hailegebreal G. A review on *Clostridium perfringens* food poisoning. *Global Research Journal of Public Health and Epidemiology*, 2017, vol. 4, no. 3, pp. 104–109.

Keis S., Shaheen R., Jones D. T. Emended descriptions of *Clostridium acetobutylicum* and *Clostridium beijerinckii*, and descriptions of *Clostridium saccharoperbutylacetonicum* sp. nov. and *Clostridium saccharobutylicum* sp. nov. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 2001, vol. 51, iss. 6, pp. 2095–2103. <https://doi.org/10.1099/00207713-51-6-2095>

Leggett M. J. Bacterial spore structures and their protective role in biocide resistance. *Journal of Applied Microbiology*, 2012, vol. 113, iss. 3, pp. 485–498. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2012.05336.x>

Leja K., Myszka K., Czaczyk K. The ability of *Clostridium bifermentans* strains to lactic acid biosynthesis in various environmental conditions. *SpringerPlus*, 2013, vol. 2, article number 44. <https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-44>

Liu X., Zhu Y., Yang S. T. Butyric acid and hydrogen production by *Clostridium tyrobutyricum* ATCC 25755 and mutants. *Enzyme and Microbial Technology*, 2006, vol. 38, iss. 3–4, pp. 521–528. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2005.07.008>

Neuhaus J., Schrödl W., Shehata A. A., Krüger M. Detection of *Clostridium botulinum* in liquid manure and biogas plant wastes. *Folia Microbiologica*, 2015, vol. 60, iss. 5, pp. 451–456. <https://doi.org/10.1007/s12223-015-0381-3>

Paredes-Sabja D., Setlow P., Sarker M. R. Role of GerKB in germination and outgrowth of *Clostridium perfringens* spores. *Applied and Environmental Microbiology*, 2009, vol. 75, iss. 11, pp. 3813–3817.

Reddy R. M., Reddy P. G., Seenayya G. Enhanced production of thermostable β -amylase and pullulanase in the presence of surfactants by *Clostridium thermosulfurogenes* SV2. *Process Biochemistry*, 1999, vol. 34, iss. 1, pp. 87–92. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(98\)00073-9](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(98)00073-9)

Sandhu B. K., McBride S. M. *Clostridioides difficile*. *Trends in Microbiology*, 2018, vol. 26, iss. 12, pp. 1049–1050. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2018.09.004>

Scott A., Tien Y. C., Drury C. F., Reynolds W. D., Topp E. Enrichment of antibiotic resistance genes in soil receiving composts derived from swine manure, yard wastes, or food wastes, and evidence for multiyear persistence of swine *Clostridium* spp. *Canadian Journal of Microbiology*, 2018, vol. 64, iss. 3, pp. 201–208. <https://doi.org/10.1139/cjm-2017-0642>

Valero A., Olague E., Medina-Pradas E., Garrido-Fernández A., Romero-Gil V., Cantalejo M. J., García-Gimeno R. M., Pérez-Rodríguez F., Posada-Izquierdo G. D., Arroyo-López F. N. Influence of acid adaptation on the probability of germination of *Clostridium sporogenes* spores against pH, NaCl and time. *Foods*, 2020, vol. 9, iss. 2, article number 127. <https://doi.org/10.3390/foods9020127>

Whitehead T. R., Price N. P., Drake H. L., Cotta M. A. Catabolic pathway for the production of skatole and indoleacetic acid by the acetogen *Clostridium drakei*, *Clostridium scatologenes*, and swine manure. *Applied and Environmental Microbiology*, 2008, vol. 74, iss. 6, pp. 1950–1953. <https://doi.org/10.1128/AEM.02458-07>

Оригинальная статья

УДК 599.323.5:591

<https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-4-481-497>

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ВНУТРИ ДВУХ КРУПНЫХ ФИЛОГРУПП ОБЫКНОВЕННОГО ХОМЯКА (*CRICETUS CRICETUS*) (*CRICETIDAE*, *RODENTIA*), ГРАНИЦА МЕЖДУ НИМИ И ЧИСЛЕННОСТЬ ПОПУЛЯЦИЙ

Н. Ю. Феоктистова ^{1✉}, И. Г. Мещерский ¹, Е. А. Кацман ¹,
С. И. Мещерский ¹, А. В. Гуреева ¹, В. П. Куприянов ¹, П. Л. Богомоллов ¹,
М. В. Кропоткина ¹, И. Д. Давыдов ¹, А. Г. Леонов ², А. В. Суров ¹

¹ Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН
Россия, 119071, г. Москва, Ленинский проспект, д. 33

² Национальный парк «Бузулукский бор»
Россия, 461000, Оренбургская обл., Бузулукский р-н,
пос. Колтубановский, ул. Почтовая, д. 3

Поступила в редакцию 18.09.2023 г., после доработки 16.10.2023 г., принята 16.10.2023 г., опубликована 12.12.2023 г.

Аннотация. В 2022 г. нами была описана митохондриальная линия «Алтай» («А») – последняя из известных филогрупп обыкновенного хомяка с территории России и Казахстана. Однако границы её современного распространения и численность популяций требовали уточнения. В ходе специально организованной экспедиции осуществлён сбор образцов тканей обыкновенного хомяка в 12 субъектах РФ, в том числе в зоне потенциальной границы ареалов филогрупп «А» и «Е» («Европа»). Анализ нуклеотидных последовательностей гена цитохром *b* отловленных животных показал, что граница между этими филогруппами проходит между Туринском и Екатеринбург, далее между Челябинском и Курганом, между Омском и Татарском и поворачивает к югу, оставляя на западе с. Тургай и г. Темиртау, а на востоке – с. Баянаул. Проанализирована структура территориальных генетических клад, входящих в филогруппы «А» и «Е», и история их формирования. Большая часть обнаруженных клад сформировалась в период позднего плейстоцена и голоцена. Показано снижение численности обыкновенных хомяков в восьми из двенадцати обследованных регионов.

Ключевые слова: обыкновенный хомяк, филогеография, границы филогрупп, мтДНК, цитохром *b*

✉ Для корреспонденции. Лаборатория сравнительной этологии и биокommunikации Института проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН.

ORCID и e-mail адреса: Феоктистова Наталья Юрьевна: <https://orcid.org/0000-0003-4010-2880>; feoktistovanyu@gmail.com; Мещерский Илья Григорьевич: <https://orcid.org/0000-0003-4739-3342>; meschersky@rambler.ru; Кацман Елена Александровна: <https://orcid.org/0000-0003-2899-2454>; elenkz05@gmail.com; Мещерский Сергей Ильич: <https://orcid.org/0000-0001-5301-9846>; sergeymeshcherskiy@gmail.com; Гуреева Анна Владимировна: <https://orcid.org/0000-0002-4723-1127>; annagureeva@gmail.com; Куприянов Владимир Павлович: <https://orcid.org/0000-0002-0436-4034>; meahn@mail.ru; Богомоллов Павел Леонидович: <https://orcid.org/0000-0002-3781-3369>; bogomolov.pl@gmail.com; Кропоткина Мария Владиславовна: <https://orcid.org/0000-0002-3781-3369>; kropotkinamv@gmail.com; Давыдов Иван Дмитриевич: <https://orcid.org/0000-0003-2030-8910>; ivandavydov9201@gmail.com; Леонов Алексей Геннадьевич: <https://orcid.org/0000-0003-2030-8910>; lehaleon@mail.ru; Суров Алексей Васильевич: <https://orcid.org/0000-0003-2030-8910>; Allocricetulus@gmail.com.

© Феоктистова Н. Ю., Мещерский И. Г., Кацман Е. А., Мещерский С. И., Гуреева А. В., Куприянов В. П., Богомоллов П. Л., Кропоткина М. В., Давыдов И. Д., Леонов А. Г., Суров А. В., 2023

Финансирование. Работа выполнена в рамках Государственных заданий Института проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН (№ FFER-2021-0004) и Национального парка «Бузулукский бор» (№ 051-00069-23-02).

Соблюдение этических норм. Протоколы с использованием животных были одобрены Комиссией по биоэтике Института проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН (протокол № 45 от 08.04.2021 г.).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Феоктистова Н. Ю., Мещерский И. Г., Кацман Е. А., Мещерский С. И., Гуреева А. В., Куприянов В. П., Богомолов П. Л., Кропоткина М. В., Давыдов И. Д., Леонов А. Г., Суков А. В. Генетическая дифференциация внутри двух крупных филогрупп обыкновенного хомяка (*Cricetus cricetus*) (Cricetidae, Rodentia), граница между ними и численность популяций // Поволжский экологический журнал. 2023. № 4. С. 481 – 497. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-4-481-497>

ВВЕДЕНИЕ

Обыкновенный хомяк (*Cricetus cricetus* Linnaeus, 1758) – широкораспространённый в Евразии вид. По нашим уточнённым данным в настоящее время его ареал простирается с запада на восток от 6°30' в.д. (Германия) до 93°30' в.д. (Красноярский край) и от 59°39' с.ш. (к югу от Соликамска, Пермский край) до 42°58' с.ш. (Республика Северная Осетия, с. Тарское) – с севера на юг (Суков, Феоктистова, 2023). Однако в настоящее время происходит резкое сокращение численности и фрагментация ареала вида, кроме территории Румынии, Венгрии и нескольких регионов России (Богомолов и др., 2021; Suков et al., 2016). Так, в западной части площадь ареала сократилась на 75%, в связи с чем сохранение вида стало особенно актуальным в странах Западной и Центральной Европы. В 2020 г. природоохранный статус *Cricetus cricetus* в Красном списке МСОП (Международный союз охраны природы) был изменен – он был поднят сразу на 4 ступени – от вызывающего наименьшее опасение (LC) до находящегося на грани полного исчезновения (CR). Хотя причины резкого сокращения численности вида до конца не ясны, предполагается, что они могут быть связаны с утратой и загрязнением среды обитания, а также с изменением климата (Banaszek et al., 2020).

Для сохранения и/или восстановления вида необходимо учитывать генетическую структуру и принадлежность особей к конкретной филогруппе, с присущими ей биологическими характеристиками. В нашем недавно опубликованном исследовании (Feoktistova et al., 2023) с учетом собственных сборов на территории России и Казахстана и имеющихся литературных данных (Neumann et al., 2005; Melosik et al., 2017) была проанализирована филогеографическая структура обыкновенного хомяка на всём ареале. Было показано, что она включает пять основных филогрупп: «Паннония» (P), «Север» (N), «Европа» («Е»), «Кавказ» («С») и впервые описанную авторами филогруппу «Алтай» (А). Четыре филогруппы «N», «Е», «С» и «А» объединяются в единую хорошо поддерживаемую суперкладу Европа-Сибирь («ES»). Указанные выше филогруппы более близки между собой, чем с филогруппой «Паннония», которая отделилась от общего предкового ствола одно-

временно с суперкладой «ES». Было также показано большее генетическое сходство филогрупп «C» и «N» (Feoktistova et al., 2017, 2023).

Распространение всех обнаруженных филогрупп является строго региональным – каждая занимает обособленный ареал, границы которого четко определены. Согласно оценке времени дивергенции, основанной на молекулярно-генетических данных, разделение филогруппы «P» и «ES» произошло около 100 тыс. лет назад, а дальнейшее обособление четырех ветвей, соответствующих современным филогруппам «N», «C», «A» и «E», произошло 70 – 45 тыс. лет назад. Таким образом, формирование основы современной филогенетической структуры вида завершилось к окончанию первой половины позднего плейстоцена.

Моделирование распространения вида по палеосреде показало, что максимальное расширение ареала *Cricetus cricetus* приходилось на межледниковья: миккулинское (эмское) и Атлантический оптимум голоцена. На протяжении всего холодного времени позднего плейстоцена происходило сокращение и разделение ареала на изолированные рефугиумы вследствие уменьшения и фрагментации подходящих для обитания вида территорий (Feoktistova et al., 2023).

Показано, что филогруппа «A» занимает самую восточную часть ареала от Зауралья на западе – до Красноярского края на востоке, охватывая площадь около 1.7 млн км². Однако, где протекает граница между филогруппой «A» и самой крупной филогруппой – «E», неизвестно. Аналогичная проблема до сих пор существует для филогрупп «P» и «E», ареалы которых, в частности, на территории Польши расположены очень близко друг от друга (около 20 км) (Banaszek et al., 2010).

Ранее мы уже осуществили 8 экспедиций в разные уголки России и Казахстана в целях оценки состояния и численности обыкновенных хомяков. Однако территории, где может протекать граница между филогруппами – «A» и «E», была не полностью обследована.

Задачи настоящего исследования состояли в оценке численности и выявлении характера распространения обыкновенного хомяка по опросам местного населения и собственным учётam с уточнением границы между филогруппами «A» и «E» на территории России и Казахстана. Кроме того, одной из задач был анализ времени формирования мелких территориальных клад, обнаруженных в составе указанных филогрупп.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для выполнения поставленных задач с 10 июля по 10 августа 2022 г. проведена экспедиция, которая включала маршрутные съёмки в Оренбургской, Челябинской, Курганской, Омской, Новосибирской, Тюменской областях, в республиках Башкортостан и Татарстан, в Алтайском крае Российской Федерации, а также на севере Казахстана в Костанайской, Акмолинской и Павлодарской областях (рис. 1).

На протяжении всего маршрута проводили отлов обыкновенных хомяков специально сконструированными сетчатыми живоловушками размером 40×12×12 см, которые экспонировали около жилых нор в вечернее время и проверяли утром. В качестве приманки использовали свежие корнеплоды (морковь, свеклу), смоченные нерафинированным подсолнечным маслом. Ловушку накрывали листовым

опадом и травой. Кроме этого, проводили опрос населения с целью оценки численности обыкновенного хомяка и предпочитаемых им мест обитания.

Всего за время экспедиции отработано 380 ловушко-ночей и отловлено 25 особей обыкновенного хомяка. Кроме того, в анализ вошли еще 2 особи, предоставленные нам А. А. Приходько, сотрудницей ЦГиЭ Красноярского края (табл. 1).

Таблица 1. Локалитеты поймок обыкновенного хомяка и сведения об образцах тканей, использованные в настоящей статье

Table 1. Common hamster capture localities and information on the tissue samples used in this paper

№ / No.	Локалитет / Locality	Координаты / Coordinates	Филогруппа / Phylogroup	Количество пойманных особей, количество гаплотипов и № в Генбанке / Numbers of captured individuals, the number of haplotypes and No. in GenBank
1	2	3	4	5
1	РФ, Ульяновск, северо-западная окраина / Russia, Ulyanovsk city NW vicinities	54°22'N, 48°18'E	E	1 (Feoktistova et al., 2023)
2	Казахстан, Астана, Президентский парк / Kazakhstan, Astana city, Presidential Park	51°07'N, 71°28'E	E	8 (1 гаплотип / haplotype) (Feoktistova et al., 2023)
3	РФ, Алтайский край, г. Бийск / Russia, Altai Krai, Biysk city	52°33'N, 85°09'E	A	1 OR805351
4	РФ, Новосибирская область, г. Тараск, у южной окраины города / Russia, Novosibirsk province, Tatarsk city southern vicinities	55°11'N, 75°59'E	A	2 (1 гаплотип / haplotype) OR714252
5	РФ, Омск / Russia, Omsk city	55°00'N, 73°22'E	E	1 OR714247
6	РФ, Курган / Russia, Kurgan city	55°25'N, 65°15'E	A	3 (1 гаплотип / haplotype) OR714251
7	РФ, Татарстан, г. Набережные Челны, к северу от города / Russia, Republic of Tatarstan, Naberezhnye Chelny city northern vicinities	55°49'N, 52°36'E	E	1 OR714248
8	РФ, Челябинск / Russia, Chelyabinsk city	55°17'N, 61°24'E	E	4 (1 гаплотип / haplotype) OR714249
9	РФ, Башкортостан, г. Уфа, к югу от города / Russia, Republic of Bashkortostan, Ufa city southern vicinities	54°34'N, 56°04'E	E	3 (1 гаплотип / haplotype) (Feoktistova et al., 2023)
10	РФ, Башкортостан, Стерлитамакский район, дер. Новониколаевский / Russia, Republic of Bashkortostan, Sterlitamak district Novonikolaevski village	53°29'N, 55°51'E	E	1 OR714250
11	РФ, Красноярский край, г. Шарыпово, окрестности к северу / Russia, Krasnoyarsk Krai, Sharypovo city northern vicinities	55°38'N, 89°12'E	A	1 OR714253

Окончание табл. 1
Table 1. Continuation

1	2	3	4	5
12	РФ, Красноярский край, г. Шарыпово / Russia, Krasnoyarsk Krai, Sharypovo city	55°32'N, 89°11'E	A	1 OR714253
13	РФ, Кировская область, пос. Нема / Russia, Kirov province, Nema town	57°30'N, 50°30'E	E	(Feoktistova et al., 2023)
14	РФ, г. Рязань / Russia, Ryazan city	54°35'N, 39°42'E	E	OR805351
15	РФ, Тамбовская область, Тамбовский район, памятник природы «Осиновый овраг» / Russia, Tambov province, Tambov district, natural monument "Osinovy Ovrage"	52°33'N, 41°12'E	E	OR805352

На рис. 1 отмечены места стоянок и успешных отловов *Cricetus cricetus*, координаты приведены в табл. 1.

Отловленных животных анестезировали ветеринарным препаратом (Zoletil) и отбирали небольшой фрагмент ушной раковины, который помещали в 96% этиловый спирт для проведения в дальнейшем молекулярно-генетического анализа.

Выделение ДНК было проведено с использованием реактивов ООО «Лаборатория Изоген» (Россия) на процессоре магнитных частиц King Fisher Flex (Thermo Fisher Scientific, США) либо набора Diatom DNA Prep того же производителя по методикам производителя. Выделенную ДНК хранили при -18°C до момента постановки ПЦР.

В качестве генетического маркера выбран ген цитохрома *b*, использованный в наших предыдущих работах. Последовательности праймеров, условия ПЦР и терминирующей реакции, параметры секвенирования по Сенгеру были аналогичны описанным ранее (Feoktistova et al., 2023).

Для филогенетического анализа был использован набор гаплотипов, приведенный в работе (Feoktistova et al., 2023) с включением вновь обнаруженных вариантов. В качестве внешней группы взяты нуклеотидные последовательности хомячка Эверсмэнна (*Allocricetulus evermanni*) и серого хомячка (*Cricetus migratorius*) (AJ 973387). Анализ проводили в программе BEAST v2.4.5 (Bouckaert et al., 2014). По использованной ранее схеме: для 1-2 позиций триплета взята модель HKY+I+G, для третьей позиции – GTR+G. В качестве единой для обеих партий модели молеку-

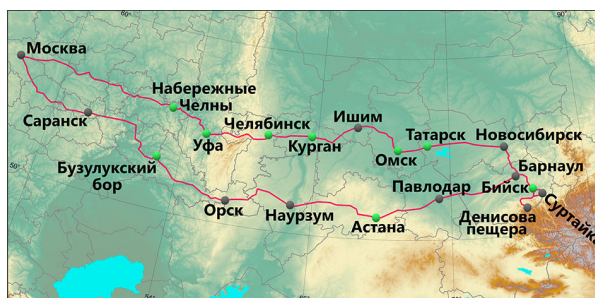


Рис. 1. Маршрут экспедиции 2022 г. с указанием мест стоянок: ● – места успешных поймок обыкновенного хомяка

Fig. 1. Route of our 2022 expedition, with trapping sites indicated: ● – successful captures

лярных часов использована Strict Clock с установленным значением 0.107 (Poplavskaya et al., 2019). Деревья для обеих партиций были объединены. Остальные параметры были аналогичны описанным ранее (Feoktistova et al., 2023). Для визуализации использовали программу FigTree, version 1.4.3.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В табл. 2 приведена оценка состояния численности обыкновенного хомяка в обследованных нами 12 регионах РФ в сравнении с данными до 1970 г.

Таблица 2. Оценка численности обыкновенного хомяка в обследованных нами 12 регионах (до 1970 г. и в настоящее время)

Table 2. Estimation of the common hamster abundance in the 12 surveyed provinces (before 1970 and at present)

Регион / Region	Численность по отловам до 1970 г. / Abundance before 1970	Численность по данным опросов и отловам в 2022 г. / Abundance according to surveys and captures in 2022	Тренд численности / Abundance trend
1	2	3	4
Казахстан, Акмолинская область (сейчас включает территории Целиноградской и Кокчетавской областей Казахстана) / Kazakhstan, Akmola province (includes former Tselinograd and Kokshetau provinces)	Многочислен (Целиноградская и Кокчетавская) (Слудский и др., 1977) / Abundant (Tselinograd and Kokshetau provinces) (Sludskiy et al., 1977)	Редок (за исключением центра г. Астаны) (наши данные, 2018, 2022) / Rare (except of Astana city) (our data, 2018, 2022)	Резко снизилась / Sharp declined
Россия, Алтайский край / Russia, Altai Krai	Многочислен (Карасёва, 1962; Кулик, 1962; Неронов, 1965) / Abundant (Karaseva, 1962; Kulik, 1962; Neronov, 1965)	Обычен (Прокопов, 2008) / Common (Proscopov, 2008)	Снизилась / Declined
Россия, Республика Башкортостан / Russia, Republic of Bashkortostan	Обычен (Кириков, 1952; Карасёва, 1962; Неронов, 1965) / Common (Kirikov, 1952; Karaseva, 1962; Neronov, 1965)	Обычен (Животный мир Башкортостана, 1995; наши данные, 2018, 2022) / Common (Zhivotny mir Bashkortostana, 1995; our data, 2018, 2022)	Не изменилась или выросла / No changes or increased
Казахстан, Костанайская область / Kazakhstan, Kostanay province	Многочислен (Слудский и др., 1977) / Abundant (Sludskiy et al., 1977)	Редок (наши данные, 2016–2022) / Rare (our data 2016–2022)	Резко снизилась / Sharp decline
Россия, Курганская область / Russia, Kurgan province	Многочислен (Неронов, 1965; Стариков, 1989) / Abundant (Neronov, 1965; Starikov, 1989)	Обычен (Berdyugin, Bolshakov, 1998; наши данные, 2022) / Common (Berdyugin, Bolshakov, 1998; our data, 2022)	Снизилась / Declined
Россия, Новосибирская область / Russia, Novosibirsk province	Многочислен (Лаптев, 1958; Глотов, 1969) / Abundant (Laptev, 1958; Glotov, 1969)	Обычен (Сидоров и др., 2011; наши данные, 2022) / Common (Sidorov et al., 2011; our data, 2022)	Снизилась / Declined
Россия, Омская область / Russia, Omsk province	Многочислен (Неронов, 1965) / Abundant (Neronov, 1965)	Обычен (Сидоров и др., 2011; наши данные, 2022) / Common (Sidorov et al., 2011; our data, 2022)	Снизилась / Declined
Россия, Оренбургская область / Russia, Orenburg province	Многочислен (Неронов, 1965) / Abundant (Neronov, 1965)	Обычен (Симаков, 1990; Berdyugin, Bolshakov, 1998; наши данные, 2022) / Common (Simakov, 1990; Berdyugin, Bolshakov, 1998; our data, 2022)	Снизилась / Declined

Окончание табл. 2
Table 2. Continuation

1	2	3	4
Казахстан, Павлодарская область / Kazakhstan, Pavlodar province	Обычен (Слудский и др., 1977) / Common (Sludskiy et al., 1977)	Редок (наши данные, 2022) / Rare (our data, 2022)	Снизилась / Declined
Россия, Республика Татарстан / Russia, Republic of Tatarstan	Обычен (Попов, 1960; Неронов, 1965) / Common (Popov, 1960; Neronov, 1965)	Обычен (Berdyugin, Bolshakov, 1998; наши данные, 2018, 2022) / Common (Berdyugin, Bolshakov, 1998; our data, 2018, 2022)	Не изменилась / No changed
Россия, Тюменская область / Russia, Tyumen province	Многочислен (Неронов, 1965) / Abundant (Neronov, 1965)	Обычен (Сазонова, 2004), многочислен (Gashev, личное сообщение) / Common (Sazonova, 2004), abundant (Gashev, personal communication)	Не изменилась / No changed
Россия, Челябинская область / Russia, Chelyabinsk province	Обычен (Неронов, 1965) / Common (Neronov, 1965)	Обычен (наши данные, 2020, 2022) / Common (our data, 2020, 2022)	Не изменилась / No changed

Опросы населения и отловы животных были начаты с территории Оренбургской области, где в 1950 – 1960-е гг. обыкновенный хомяк был весьма многочисленным и заселял практически все пригодные биотопы (Неронов, 1965). Имеются достоверные свидетельства о встречах этого вида в последние годы, в ряде мест он ещё обычен (Симак, 1990; Berdyugin, Bolshakov, 1998), но на большей части территории области стал редок. Об этом свидетельствуют проведённые нами опросы населения. Так, в музейной экспозиции Национального парка «Бузулукский бор» хранится шкурка обыкновенного хомяка, датированная 1960 г., но в последнее время ни нами, ни сотрудниками Национального парка этот вид зафиксирован не был.

Следующей точкой маршрута был Наурзумский государственный природный заповедник (Костанайская область, Казахстан). До 1970 г в Костанайской области обыкновенный хомяк был многочислен (Слудский и др., 1977). По данным Е. А. и Т. А. Брагиных в настоящее время этот вид в заповеднике редок и распространён спорадически. Он обитает в Наурзумском и Терсекском борах, в Сыпсыне, на облесённых и луговых склонах Восточно-Тургайского плато, в поймах р. Карасу и у озёр (в Тургайской ложбине). Наиболее благоприятные условия хомяк находит на опушках колков, в зарослях степного бобовника и дикой вишни (Брагин, Брагина, 2017). Однако наши попытки поймать его на территории заповедника не увенчались успехом. По информации, полученной от сотрудника заповедника Р. Р. Батрякова, этот вид был однажды встречен несколько лет назад в пойме реки Карасу.

Далее маршрут пролегал по Северному Казахстану к г. Астане (Акмолинская область, вошедшая в себя Целиноградскую и Кокчетавскую области). В целом по области до 1970-х гг. обыкновенный хомяк был многочислен (Слудский и др., 1977), но к настоящему времени стал встречаться реже. Исключение составляет столица Казахстана – Астана, где обыкновенный хомяк заселил центр города (Феоктистова и др., 2020). На территории Президентского парка в районе пирамиды «Дворца мира и согласия» в июле 2022 г. на площади около 4 га мы закартографировали более 150 жилых нор обыкновенного хомяка. Однако на той же территории в 2018 г. нами было обнаружено только 73 норы (Феоктистова и др., 2020).

Следующей точкой маршрута стал г. Павлодар (Павлодарская область), где обыкновенный хомяк до 1970-х гг. был обычен, а в настоящее время по свидетельству местных жителей и данным зоологов Павлодарского государственного педагогического университета – стал редок.

Далее экспедиция двинулась в Алтайский край РФ и конкретно в дер. Суртайка, где в 1957 – 1959 гг. работала зоологическая экспедиция. В те годы *Cricetus cricetus* в Алтайском крае был многочислен, и многие исследователи занимались его изучением (Карасёва, 1962; Кулик, 1962). В 1957 – 1959 гг. Е. В. Карасёва и её сотрудники в течение трёх лет проводили наблюдения на постоянном участке площадью 62 га, большая часть которого представляла собой облесенный и луговой склоны надпойменной террасы р. Иши. Рядом располагалось поле, которое засеивалось овсом (1957 г.), пшеницей (1958 г.) или оставалось под паром (1959 г.). В процессе работы картографировали все норы обыкновенного хомяка и регулярно вели наблюдения за их использованием путем обловов. На протяжении трёх летних сезонов было отловлено 486 хомяков (Карасёва, 1962). Мы обследовали эту местность спустя 63 года после Е. В. Карасёвой и убедились, что сколько-нибудь значимых ландшафтных изменений на данной территории, также как культуры земледелия не произошло. За неделю отловов на том же участке, представлявшем собой окраины овсяного и пшеничного поля и склон надпойменной террасы с луговой растительностью, ни одного обыкновенного хомяка поймать не удалось. Опросы местного населения показали, что хомяки на данной территории хотя и сохранились, но в основном встречаются на приусадебных территориях частного сектора, в огородах и садах.

В окрестностях широко известной Денисовой пещеры нам также не удалось добыть ни одной особи. Тем не менее, в самой пещере были обнаружены палеонтологические остатки обыкновенного хомяка, относящиеся к позднему плейстоцену (Jacobs et al., 2019). В Алтайском крае в черте города Бийска на территории СНТ в заброшенном вишнёвом саду мы всё же добыли один экземпляр этого вида.

Далее маршрут пролегал через Новосибирскую область, где ранее обыкновенный хомяк был также многочислен (Лаптев, 1958; Глотов, 1969), а сейчас характеризуется как обычный (Сидоров и др., 2011), что подтверждается как опросами населения, так и нашими данными, собранными в предыдущие годы. Далее, в западной части области, у южной окраины г. Татарска, на краю поля пшеницы был добыт один экземпляр.

В Омской области до 1960-х гг. вид был многочислен (Неронов, 1965), опросы и отловы показали, что сейчас он обычен, а, кроме того, встречается непосредственно в черте г. Омска и в его окрестностях на территориях СНТ.

В Ишиме (Тюменская область) добыть обыкновенного хомяка не удалось. В Кургане (Курганская область), где ранее хомяк был многочислен (Неронов, 1965; Стариков и др., 1989), в Челябинской области, в Башкирии (район г. Уфы) и в Набережных Челнах (Татарстан), где вид был в прошлом обычен (Неронов, 1965), сохранилась достаточно высокая численность. В перечисленных регионах, главным образом на территориях СНТ, нам удалось собрать хорошую выборку образцов для ДНК-анализа (см. табл. 1).

Таким образом, в результате экспедиции нами обследовано 9 регионов РФ и 3 – Казахстана. В восьми субъектах Федерации обыкновенный хомяк снизил свою численность, а в четырёх численность сохранилась на прежнем уровне или даже несколько выросла. В ряде регионов изменения были весьма значительными, вид стал редким (см. табл. 2).

Генетический анализ образцов из мест близ потенциальной географической границы между филогруппами «Е» и «А» показал, что гаплотипы животных, отловленных в Бийске, Татарске, Кургане – относятся к филогруппе «А» (как и животные, отловленные на юге Красноярского края), а собранные в Оренбургской области, Уфе, Омске, Челябинске, Набережных Челнах – к филогруппе «Е».

Таким образом, по полученным данным границу между двумя самыми крупными филогруппами «А» и «Е» следует провести от северного края ареала вида в Свердловской области на юг между Туринском и Екатеринбургом, далее между Челябинском и Курганом, после чего граница поворачивает на восток, проходя между Омском и Татарском, затем идёт на юг, оставляя с запада с. Тургай (Акмолинская область) и г. Темиртау (Карагандинская область), а с востока с. Баянаул (Павлодарская область). Дальнейший ход границы требует новых исследований, и мы предварительно ведём её на юг до границы ареала вида (рис. 2).

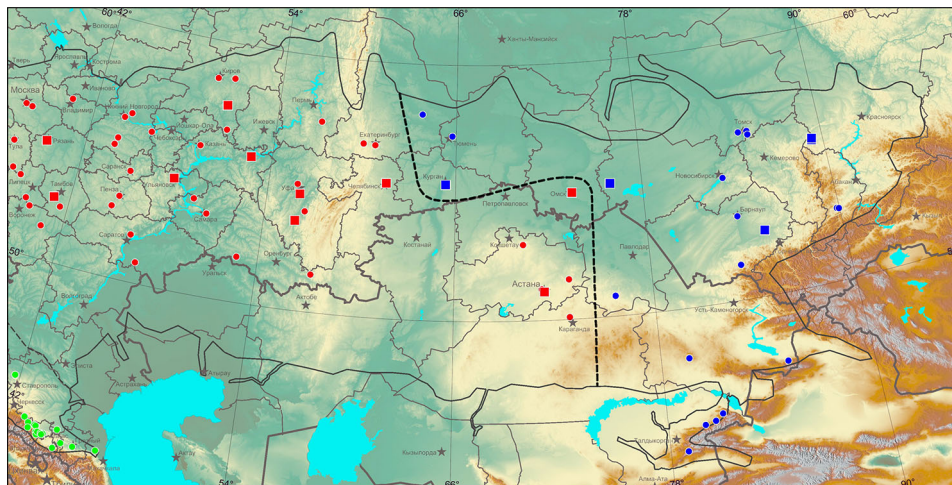
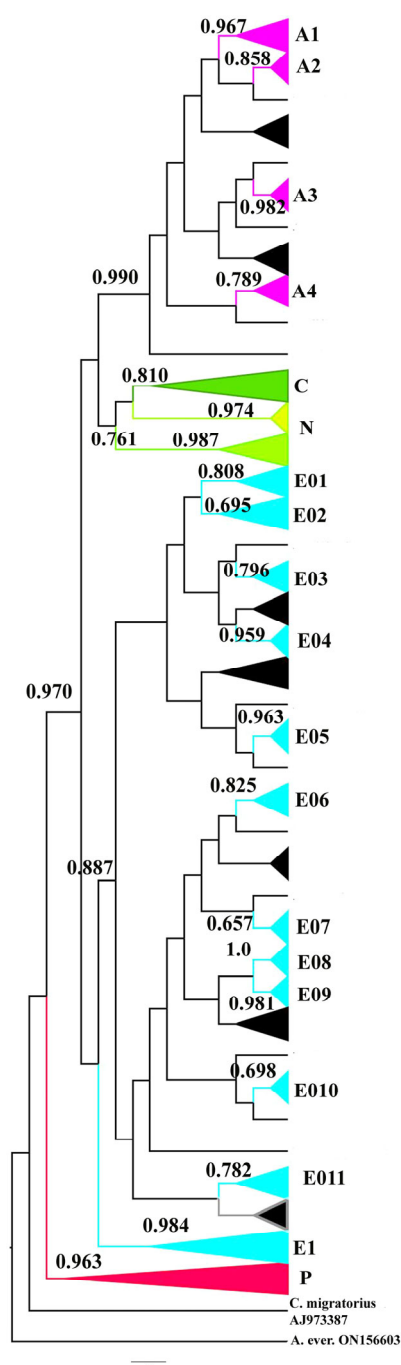


Рис. 2. Локалитеты поимок генотипированных нами особей обыкновенного хомяка: ● – по Feoktistova et al., 2023 и ■ – публикуемые впервые. Красным выделена филогруппа «Е»; синим – филогруппа «А»; зелёным – филогруппа «С». Сплошной чёрной линией показана граница исторического ареала вида на середину XX в., пунктиром – предполагаемая нами граница между филогруппами

Fig. 2. Genotyped common hamster capture localities: ● – according to Feoktistova et al., 2023 and ■ – published for the first time. Phylogroup “E” is highlighted in red; phylogroup “A” – in blue; phylogroup “C” – in green, respectively. The solid black line shows the boundary of the historical range of the species in the middle of the 20th century, the dotted line does the phylogroup boundary assumed by us



Характерно, что в восточной части своего ареала филогруппа «А» занимает все природные зоны, которые может населять вид – от пустынь до средней тайги. Но в западной части происходит биотопическое разделение: ареал филогруппы «Е» приурочен скорее к более сухим природным зонам (степи, сухие степи, полупустыни и пустыни), а филогруппы «А» – к более гумидным (лесостепи, подтаёжные и южно-таёжные леса).

Филогенетический анализ обыкновенного хомяка на основе вновь описанных и ранее известных гаплотипов подтвердил существование трёх разных хорошо поддерживаемых клад на территории России, соответствующих филогруппам «С», «Е» и «А». А также двух клад на территории Европы – «Р» и «N» (рис. 3). Топология филогрупп и времена дивергенции крупных клад совпадают с таковыми, рассчитанными нами ранее (Feoktistova et al., 2023). Новые последовательности, которые были получены, для образцов, собранных в экспедиции, показали их принадлежность к филогруппам «А» (4 гаплотипа) и «Е» (6 гаплотипов) (см. табл. 1).

Рис. 3. Филограмма последовательностей фрагмента *cytb* (904 п.н.); поддержка узлов показана для значений < 0.60. Красным цветом обозначена филогруппа «Р», светло-зелёным – филогруппа «N», тёмно-зелёным – филогруппа «С», голубым – филогруппа «Е», фиолетовым – филогруппа «А»

Fig. 3. Condensed tree from Bayesian phylogenetic analysis of 904 bp *cytb* gene fragment haplotypes. Supports are shown for values < 0.60. Red color – phylogroup “P”, light green – phylogroup “N”, dark green – phylogroup “C”, blue – phylogroup “E”, and violet – phylogroup “A”, respectively

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ВНУТРИ ДВУХ КРУПНЫХ ФИЛОГРУПП

Интересна информация о хорошо поддерживаемых часто небольших кладах, обнаруживаемых в составе крупных филогрупп. Так, в филогруппе «А» выделяется 4, а в филогруппе «Е» – 12 таких территориальных клад с достоверной поддержкой (табл. 3, см. рис. 3). Расчеты MRCA показали, что эти клады сформировались в основном 18.0 – 6.0 тыс. лет назад, и распространение их носит локальный характер (см. табл. 3, см. рис. 3). Предковые гаплотипы этих небольших клад обособились ранее – медианное время (originate) соответствует периоду наибольшего похолодания 31.5 – 16.4 тыс. лет назад. Такая картина соответствует предположению о продолжавшемся сокращении ареала и его дальнейшей фрагментации в период до окончания LGM и предполагаемому очень быстрому расширению ареала в последующее время. После LGM было сформировано 14 из 16 статистически поддерживанных клад. И 7 из них сформировалось в период Атлантического оптимума голоцена (см. табл. 3, рис. 3). Исключением является история двух гаплогрупп с локальным распространением – E02, объединяющей 10 гаплотипов с территории Украины, Молдавии и Румынии, и E1, объединяющей 27 гаплотипов с территорий на западе России, в Украине, Молдавии и Румынии. TMRCA этих групп оценивается: для первой 27 тыс. лет, а для второй – 39 тыс. лет. Соответственно, время их формирования приходится на период до LGM.

Таблица 3. Локальные группировки, выделенные в филогруппах «Е» и «А», и TMRCA по гену цитохрома *b*

Table 3. Subclades identified in phylogroups «Е» and «А», and TMRCA by cytochrome *b* gene

Подклады и количество гаплотипов / Subclades and number of haplotypes	Локалитеты / Localities	Поддержка / Support	TMRCA (median) 95% HPD (тыс. лет) / TMRCA (median) 95% HPD (kyr)
1	2	3	4
A1 (4)	РФ: Барнаул, Алтай; Казахстан: Баянаул / Russia: Barnaul, Altai; Kazakhstan: Bayanaul	0.967	9.0 (2.0–17.0)
A2 (2)	РФ: Новосибирск, Томск, Хакасия / Russia: Novosibirsk, Tomsk, Khakassia	0.858	6.0 (0–16.0)
A3 (2)	РФ: Томск / Russia: Tomsk	0.982	6.0 (0–16.0)
A4 (3)	РФ: Курган, Туринск, Курган / Russia: Kurgan, Turinsk, Kurgan	0.789	18.0 (8.0–31.0)
E01 (4)	Крым / Crimea	0.808	15.0 (5.0–30.0)
E02 (10)	Украина, Молдавия, Румыния / Ukraine, Moldova, Romania	0.695	27.0 (15.0–41.0)
E03 (3)	РФ: Курск, Липецк / Russia: Kursk, Lipetsk	0.796	15.0 (8.0–34.0)
E04 (2)	РФ: Курск / Russia: Kursk, Украина: Яготин / Ukraine: Yahotyn	0.959	7.0 (0–19.0)
E05 (2)	РФ: Тамбов / Russia: Tambov	0.963	10.0 (1.0–21.0)
E06 (3)	Центральная Россия / The center of the European part of Russia	0.825	12.0 (3.0–24.0)
E07 (2)	РФ: Оренбург / Russia: Orenburg Казахстан: Тургай / Kazakhstan: Turgai	0.657	6.0 (0–16.0)
E08 (2)	РФ: Пенза / Russia: Penza	1.0	6.0 (0–16.0)
E09 (2)	Казахстан: Темиртау, Щучинск / Kazakhstan: Temirtau, Shchuchinsk	0.981	6.0 (0–16.0)

Окончание табл. 3
Table 3. Continuation

1	2	3	4
E010 (2)	РФ: Оренбург / Russia: Orenburg, Казахстан: Астана / Kazakhstan: Astana	0.698	6.0 (0–16.0)
E011 (5)	РФ: Екатеринбург, Пермь / Russia: Yekaterinburg, Perm	0.782	17.0 (11.0–31.0)
E1 (27)	Россия, Польша, Украина, Румыния / Russia, Poland, Ukraine, Romania	0.984	39.0 (17.0–54.0)

Интересно, что в обеих рассматриваемых филогруппах наиболее старые территориальные клады (за исключением уже рассмотренных выше E02 и E1) сформировались в северной приуральской части ареала вида это – A4 и E011 (см. табл. 3). В южной части ареала все территориальные клады являются молодыми и приходятся на Атлантический оптимум голоцена.

ВЫВОДЫ

Таким образом, в результате проведённой комплексной работы можно сделать следующие выводы:

1) на обследованной территории численность вида за последние 50 лет не изменилась в четырёх и снизилась в восьми регионах;

2) граница между наиболее крупными филогруппами обыкновенного хомяка «Е» и «А» проходит между Туринском и Екатеринбургом, далее между Челябинском и Курганом, между Омском и Татарском и поворачивает к югу, оставляя на западе с. Тургай и г. Темиртау, а на востоке – с. Баянаул;

3) в составе двух исследованных филогрупп, на основе анализа гена цитохрома *b* выделяется 16 клад, распространение которых носит локальный характер. После LGM было сформировано 14 из 16 статистически поддержанных клад, и 7 из них сформировалось в период Атлантического оптимума голоцена. При этом наиболее старые территориальные клад в обеих филогруппах отмечаются на севере приуральской части ареала вида.

Благодарности. Авторы выражают благодарность дирекции «Национального парка «Бузулукский бор», дирекции Наурзумского государственного заповедника и лично научному сотруднику Р. Р. Батрякову за помощь в организации работ на территориях ООПТ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Богомолов П. Л., Феоктистова Н. Ю., Кропоткина М. В., Суров А. В. Использование интернет-ресурсов для оценки численности видов, контактирующих с человеком (на примере обыкновенного хомяка (*Cricetus cricetus*) (Cricetidae, Rodentia)) // Поволжский экологический журнал. 2021. № 4. С. 458 – 467. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2021-4-458-467>

Брагин Е. А., Брагина Т. М. Позвоночные животные Наурзумского заповедника. Костанай: Костанайполиграфия, 2017. 160 с.

Глотов И. Н. Распространение и численность мышевидных грызунов // Биологическое районирование Новосибирской области (в связи с проблемой природноочаговых инфекций). Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1969. С. 33 – 58.

Животный мир Башкортостана / под ред. М. Г. Баянова, Е. В. Кучерова. Уфа: Китап, 1995. 312 с.

Карасёва Е. В. Изучение с помощью мечения особенностей использования территории обыкновенным хомяком в Алтайском крае // Зоологический журнал. 1962. Т. 41, № 2. С. 275 – 285.

Кириков С. В. Птицы и млекопитающие в условиях ландшафтов южной оконечности Урала. М.: Издательство АН СССР, 1952. 412 с.

Кулик И. Л. Материалы к экологии обыкновенного хомяка на Алтае // Бюллетень МОИП. Отдел Биологический. 1962. Т. 67, № 4. С. 16 – 25.

Лаптев И. П. Млекопитающие таежной зоны Западной Сибири. Томск: Издательство Томского университета, 1958. 285 с.

Неронов В. М. Исследование обыкновенного хомяка и водяной крысы на территории СССР: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 1965. 32 с.

Попов В. А. Млекопитающие Волжско-Камского края. Казань: Казанский филиал АН СССР, 1960. 468 с.

Прокопов К. П. Биотопическое распределение и численность фауны млекопитающих Южного Алтая // Биоразнообразие, проблемы экологии Горного Алтая и сопредельных регионов: настоящее, прошлое, будущее. По материалам Международной конференции. Горно-Алтайск: ГАГУ, 2008. 327 с.

Сазонова Н. А. Фауна и экология мелких млекопитающих залежных сельскохозяйственных земель юга Тюменской области: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Тюмень, 2004. 23 с.

Сидоров Г. Н., Кассал Б. Ю., Гончарова О. В., Вахрушев А. В., Фролов К. В. Териофауна Омской области (промысловые грызуны). Омск: Амфора, 2011. 542 с.

Симак С. В. Фауна позвоночных урочища «Грызлы» (Таловская степь) // Животный мир Южного Урала. Оренбург, 1990. С. 92 – 93.

Слудский А. А., Бекенов А., Борисенко В. А., Грачев Ю. А., Исмагилов М. И., Капитонов В. И., Страутман Е. И., Федосеенко А. К., Шубин И. Г. Млекопитающие Казахстана. Алма-Ата: Наука КазССР, 1977. Т. 1, ч. 2. 536 с.

Стариков В. П., Блинова Т. К., Кочуров В. Н., Сатин В. А., Хахалев В. И. Животный мир Курганской области (В помощь учителям и учащимся). Курган: КГПИ, 1989. 32 с.

Суров А. В., Феоктистова Н. Ю. Обыкновенный хомяк *Cricetus cricetus* (Linnaeus 1758). М.: РАН, 2023. 312 с.

Феоктистова Н. Ю., Мецкерский И. Г., Богомолов П. Л., Мецкерский С. И., Кацман Е. А., Пельгунова Л. А., Потапникова Е. В., Суров А. В. Непреднамеренно поставленный эксперимент – заселение вновь созданного городского парка видом-синурбистом обыкновенным хомяком *Cricetus cricetus* L., 1758 // Известия Академии наук. Серия биологическая. 2020. № 2. С. 224 – 232.

Banaszek A., Jadwiszczak K. A., Ratkiewicz M., Ziomek J., Neumann K. Population structure, colonization processes and barriers for dispersal in Polish Common hamsters (*Cricetus cricetus*) // Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research. 2010. Vol. 48, iss. 2. P. 151 – 158.

Banaszek A., Bogomolov P., Feoktistova N., La Haye M., Monecke S., Reiner T. E., Rusin M., Surov A., Weinhold U., Ziomek J. *Cricetus cricetus* // The IUCN Red List of Threatened Species 2020. 2020. Article number e.T5529A111875852. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-2.RLTS.T5529A111875852.en>

Berdyugin K. I., Bolshakov V. N. The common hamster (*Cricetus cricetus* L.) in the eastern part of the area // Ökologie und Schtz des Feldhamsters / M. Stubbe, A. Stubbe, eds. Halle-Wittenberg: Martin-Luther-University, 1998. P. 43 – 79.

Bouckaert R., Heled J., Kühnert D., Vaughan T., Wu C.-H., Xie D., Suchard M. A., Rambaut A., Drummond A. J. BEAST 2: A software platform for Bayesian evolutionary analysis // PLoS Com-

putational Biology. 2014. Vol. 10, no. 4. Article number e1003537. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1003537>

Feoktistova N. Yu., Meschersky I. G., Bogomolov P. L., Sayan A. S., Poplavskaya N. S., Surov A. V. Phylogeographic structure of the Common hamster (*Cricetus cricetus* L.): Late Pleistocene connections between Caucasus and Western European populations // PLoS ONE. 2017. Vol. 12, no. 11. Article number e0187527. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187527>

Feoktistova N. Yu., Meschersky I. G., Shenbrot G. I., Puzachenko A. Y., Meschersky S. I., Bogomolov P. L., Surov A. V. Phylogeography of the common hamster (*Cricetus cricetus*): Paleoclimatic reconstructions of Late Pleistocene colonization // Integrative Zoology. 2023. Vol. 18, iss. 3. P. 581 – 599. <https://doi.org/10.1111/1749-4877.12687>

Jacobs Z., Li B., Shunkov M. V., Kozlikin M. B., Bolikhovskaya N. S., Agadjanian A. K., Uliyanov V. A., Vasiliev S. K., O’Gorman K., Derevianko A. P. Timing of archaic hominin occupation of Denisova Cave in southern Siberia // Nature. 2019. Vol. 565, № 7741. P. 594 – 599. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0843-2>

Melosik I., Ziomek J., Winnicka K., Reiners T. E., Banaszek A., Mammen K., Mammen U., Marciszak A. The genetic characterization of an isolated remnant population of an endangered rodent (*Cricetus cricetus* L.) using comparative data: Implications for conservation // Conservation Genetics. 2017. Vol. 18, iss. 4. P. 759 – 775. <https://doi.org/10.1007/s10592-017-0925-y>

Neumann K., Michaux J. R., Maak S., Jansman H. A., Kayser A., Mundt G., Gattermann R. Genetic spatial structure of European Common hamsters (*Cricetus cricetus*) – a result of repeated range expansion and demographic bottlenecks // Molecular Ecology. 2005. Vol. 14, iss. 5. P. 1473 – 1483.

Poplavskaya N., Bannikova A., Neumann K., Pavlenko M., Kartavtseva I., Bazhenov Y., Bogomolov P., Abramov A., Surov A., Lebedev V. Phylogeographic structure in the chromosomally polymorphic rodent *Cricetulus barabensis* sensu lato (Mammalia, Cricetidae) // Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research. 2019. Vol. 57, iss. 3. P. 679 – 694. <https://doi.org/10.1111/jzs.12251>

Surov A., Banaszek A., Bogomolov P., Feoktistova N., Monecke S. Dramatic global decrease in the range and reproduction rate of the European hamster *Cricetus cricetus* // Endangered Species Research. 2016. Vol. 31. P. 119 – 145. <https://doi.org/10.3354/esr00749>

**Genetic differentiation within two large phylogroups
of the common hamster (*Cricetus cricetus*) (Cricetidae, Rodentia),
the boundary between them, and the population abundance**

N. Yu. Feoktistova ^{1✉}, I. G. Meschersky ¹, E. A. Katsman ¹,
S. I. Meschersky ¹, A. V. Gureeva ¹, V. P. Kupriyanov ¹, P. L. Bogomolov ¹,
M. V. Kropotkina ¹, I. D. Davydov ¹, A. G. Leonov ², A. V. Surov ¹

¹ A. N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences
33 Leninsky Pros., Moscow 119071, Russia

² Buzulukskiy Bor National Park
3 Pochtovaya St., Koltubanovsky, Orenburg region 461000, Russia

Received: September 18, 2023 / revised: October 16, 2023 / accepted: October 16, 2023 / published: December 12, 2023

Abstract. In 2022, we described the lineage “Altai” (“A”), the last of the three phylogroups of the common hamster inhabiting Russia and Kazakhstan. However, the boundaries of its current distribution and abundance required clarification. In the course of our specially organized expedition, tissue samples of the common hamster were collected in 12 regions of Russia and Kazakhstan, including areas at the potential border of the ranges of phylogroups “A” and “E” (“Europe”). Analysis of the nucleotide sequences of the *cytb* gene of the captured animals has shown that the boundary between these phylogroups runs between Turinsk and Yekaterinburg, further between Chelyabinsk and Kurgan, between Omsk and Tatarsk, and turns to the south, leaving the village of Turgai and the town of Temirtau in the west and the village of Bayanaul in the east. The structure of territorial genetic clades belonging to phylogroups “A” and “E” and the history of their formation were also analyzed. Most of the detected territorial clades were formed during the Late Pleistocene and Holocene. The population dynamics of phylogroups “A” and “E” was analyzed and its decline was shown in 8 of the 12 surveyed regions.

Keywords: common hamster, phylogeography, mtDNA, phylogroup boundaries, *cytb*

Funding. The study was carried out with partial financial support in the framework of the state task of the Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences (No. FFER-2021-0004) and Buzulukskiy Bor National Park (No. 051-00069-23-02).

Ethics approval and consent to participate. Animal protocols were approved by the Bioethics Commission of the A. N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences (protocol No. 45 dated April 4, 2021).

Conflict of interest: The authors have declared that no competing interests exist.

✉ *Corresponding author.* Laboratory of Comparative Ethology and Biocommunication, A. N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences, Russia.

ORCID and e-mail addresses: Natalia Yu. Feoktistova: <https://orcid.org/0000-0003-4010-2880>; feoktistovanyu@gmail.com; Ilya G. Meschersky: <https://orcid.org/0000-0003-4739-3342>; meschersky@rambler.ru; Elena A. Katsman: <https://orcid.org/0000-0003-2899-2454>, elenkz05@gmail.com; Sergey I. Meschersky: <https://orcid.org/0000-0001-5301-9846>, sergeymeshcherskiy@gmail.com; Anna V. Gureeva: <https://orcid.org/0000-0002-4723-1127>, annngureeva@gmail.com; Vladimir P. Kupriyanov: <https://orcid.org/0000-0002-0436-4034>, meahn@mail.ru; Pavel L. Bogomolov: bogomolov.pl@gmail.com; Mariya V. Kropotkina: <https://orcid.org/0000-0002-3781-3369>, kropotkinamv@gmail.com; Ivan D. Davydov, ivandavydov9201@gmail.com; Alexey G. Leonov: lehaleon@mail.ru; Alexey V. Surov: <https://orcid.org/0000-0003-2030-8910>, Alloccricetulus@gmail.com.

For citation: Feoktistova N. Yu., Meschersky I. G., Katsman E. A., Meschersky S. I., Gureeva A. V., Kupriyanov V. P., Bogomolov P. L., Kropotkina M. V., Davydov I. D., Leonov A. G., Surov A. V. Genetic differentiation within two large phylogroups of the common hamster (*Cricetus cricetus*) (Cricetidae, Rodentia), the boundary between them, and the population abundance. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2023, no. 4, pp. 481–497 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-4-481-497>

REFERENCES

- Bogomolov P. L., Feoktistova N. Yu., Kropotkina M. V., Surov A. V. Use of Internet resources to estimate the abundance of species contacting with humans (with an example of the common hamster (*Cricetus cricetus* L., 1758) (Cricetidae, Rodentia)). *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2021, no. 4, pp. 458–467 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2021-4-458-467>
- Bragin E. A., Bragina T. M. *Pozvonochnye zhivotnye Naurzumskogo zapovednika* [Vertebrate Animals of the Naurzum Reserve]. Kostanai, Kostanaipolygraphy, 2017. 160 p. (in Russian).
- Glotov I. N. Distribution and abundance of rodents. In: *Biologicheskoe raionirovaniye Novosibirskoi oblasti (v svyazi s problemoi prirodnoochagovykh infektsii)* [Biological Zoning of the Novosibirsk Region (In Connection With the Problem of Natural Focal Infections)]. Novosibirsk, Nauka, 1969, pp. 33–58 (in Russian).
- Zhivotnyi mir Bashkortostana. Pod red. M. G. Baianova, E. V. Kucherova* [Bayanov M. G., Kucherov E. V., eds. Animal World of Bashkortostan]. Ufa, Kitap, 1995. 312 p. (in Russian).
- Karaseva E. V. The study of the peculiarities of territory use by the hamster in Altay province carried out by capture-recapture method. *Zoologicheskii zhurnal*, 1962, vol. 41, no. 2, pp. 275–285 (in Russian)
- Kirikov S. V. *Ptitsy i mlekopitaiushchie v usloviakh landshaftov iuzhnoi okonechnosti Urala* [Birds and Mammals in the Environment of the Southern Extremity of the Urals]. Moscow, Academy of Sciences of the USSR, 1952. 412 p. (in Russian).
- Kulik I. L. Materials for the ecology of the Common hamster in Altai. *Bulletin of Moscow Society of Naturalists, Biological Series*, 1962, vol. 67, no. 4, pp. 16–25 (in Russian).
- Laptev I. P. *Mlekopitaiushchie tsezhnoi zony Zapadnoi Sibiri* [Mammals of the Taiga Zone of Western Siberia]. Tomsk, Tomsk University Publ., 1958. 285 p. (in Russian).
- Neronov V. M. *Study of the Range Structure of Common hamster and European water vole in the USSR*. Thesis Diss. Cand. Sci. (Geogr.). Moscow, 1965. 32 p. (in Russian).
- Popov V. A. *Mlekopitaiushchie Volzhsko-Kamskogo kraya* [Mammals of the Volga-Kama Region]. Kazan, Kazan Branch of the USSR Academy of Sciences Publ., 1960. 468 p. (in Russian).
- Prokopov K. P. Biotopic distribution and abundance of mammal fauna of the Southern Altai Mountains. In: *Biodiversity, Ecological Issues of Gorny Altai and Its Neighbouring Regions: Present, Past, and Future. Materials of International Conference*. Gorno-Altai, Gorno-Altai State University Publ., 2008, 327 p. (in Russian).
- Sazonova N. A. *Fauna and Ecology of Small Mammals of Fallow Agricultural Lands in the South of the Tyumen Region*. Thesis Diss. Cand. Sci. (Biol.). Tyumen, 2004. 23 p. (in Russian).
- Sidorov G. N., Kassal B. Yu., Goncharova O. V., Vakhrushev A. V., Frolov K. V. *Teriofauna Omskoi oblasti (promyslovye gryzuny)* [Theriofauna of the Omsk Region (Commercial Rodents)]. Omsk, Amfora, 2011. 542 p. (in Russian).
- Simak S. V. Vertebrate fauna of the tract “Gryzly” (Talovskaya steppe). In: *Animals of the Southern Ural*. Orenburg, 1990, pp. 92–93 (in Russian).
- Sludskiy A. A., Bekenov A., Borisenko V. A., Grachev Yu. A., Ismagilov M. I., Kapitonov V. I., Strautman E. I., Fedosenko A. K., Schublin I. G. *Mammals of Kazakhstan*. Alma-Ata, “Nauka” KazSSR, 1977, vol. 1, part 2. 536 p. (in Russian).
- Starikov V. P., Blinova T. K., Kochurov V. N., Satin V. A., Khakhalev V. I. *Zhivotnyi mir Kurganskoi oblasti (V pomoshch' uchiteliam i uchashchimsia)* [Animal World of the Kurgan Re-

gion (In Assistance to Teachers and Students)]. Kurgan, Kurgan State Pedagogical Institute Publ., 1989. 32 p. (in Russian).

Surov A. V., Feoktistova N. Yu. *Obyknovennyi khomiyak Cricetus cricetus (Linnaeus 1758)* [Common Hamster *Cricetus cricetus* (Linnaeus 1758)]. Moscow, Russian Academy of Sciences Publ., 2023. 312 p. (in Russian).

Feoktistova N. Yu., Meschersky I. G., Bogomolov P. L., Meschersky S. I., Katzman E. A., Pelgunova L. A., Potashnikova E. V., Surov A. V. An unintentional experiment: Settlement of a sinurbic species, the Common hamster (*Cricetus cricetus* L., 1758), in a newly established city park. *Biology Bulletin*, 2020, vol. 47, no. 2, pp. 216–223.

Banaszek A., Jadwiszczak K. A., Ratkiewicz M., Ziomek J., Neumann K. Population structure, colonization processes and barriers for dispersal in Polish Common hamsters (*Cricetus cricetus*). *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*, 2010, vol. 48, iss. 2, pp. 151–158.

Banaszek A., Bogomolov P., Feoktistova N., La Haye M., Monecke S., Reiner T. E., Rusin M., Surov A., Weinhold U., Ziomek J. *Cricetus cricetus*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2020, 2020, article number e.T5529A111875852. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-2.RLTS.T5529A111875852.en>

Berdyugin K. I., Bolshakov V. N. The common hamster (*Cricetus cricetus* L.) in the eastern part of the area. In: Stubbe M., Stubbe A., eds. *Ökologie und Schtz des Feldhamsters*. Halle-Wittenberg, Martin-Luther-University, 1998, pp. 43–79.

Bouckaert R., Heled J., Kühnert D., Vaughan T., Wu C.-H., Xie D., Suchard M. A., Rambaut A., Drummond A. J. BEAST 2: A software platform for Bayesian evolutionary analysis. *PLoS Computational Biology*, 2014, vol. 10, no. 4, article number e1003537. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1003537>

Feoktistova N. Yu., Meschersky I. G., Bogomolov P. L., Sayan A. S., Poplavskaya N. S., Surov A. V. Phylogeographic structure of the Common hamster (*Cricetus cricetus* L.): Late Pleistocene connections between Caucasus and Western European populations. *PLoS ONE*, 2017, vol. 12, no. 11, article number e0187527. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187527>

Feoktistova N. Yu., Meschersky I. G., Shenbrot G. I., Puzachenko A. Y., Meschersky S. I., Bogomolov P. L., Surov A. V. Phylogeography of the common hamster (*Cricetus cricetus*): Paleoclimatic reconstructions of Late Pleistocene colonization. *Integrative Zoology*, 2023, vol. 18, iss. 3, pp. 581–599. <https://doi.org/10.1111/1749-4877.12687>

Jacobs Z., Li B., Shunkov M. V., Kozlikin M. B., Bolikhovskaya N. S., Agadjanian A. K., Uliyanov V. A., Vasiliev S. K., O’Gorman K., Derevianko A. P. Timing of archaic hominin occupation of Denisova Cave in southern Siberia. *Nature*, 2019, vol. 565, no. 7741, pp. 594–599. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0843-2>

Melosik I., Ziomek J., Winnicka K., Reinert T. E., Banaszek A., Mammen K., Mammen U., Marciszak A. The genetic characterization of an isolated remnant population of an endangered rodent (*Cricetus cricetus* L.) using comparative data: Implications for conservation. *Conservation Genetics*, 2017, vol. 18, iss. 4, pp. 759–775. <https://doi.org/10.1007/s10592-017-0925-y>

Neumann K., Michaux J. R., Maak S., Jansman H. A., Kayser A., Mundt G., Gattermann R. Genetic spatial structure of European Common hamsters (*Cricetus cricetus*) – a result of repeated range expansion and demographic bottlenecks. *Molecular Ecology*, 2005, vol. 14, iss. 5, pp. 1473–1483.

Poplavskaya N., Bannikova A., Neumann K., Pavlenko M., Kartavtseva I., Bazhenov Y., Bogomolov P., Abramov A., Surov A., Lebedev V. Phylogeographic structure in the chromosomally polymorphic rodent *Cricetulus barabensis* sensu lato (Mammalia, Cricetidae). *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*, 2019, vol. 57, iss. 3, pp. 679–694. <https://doi.org/10.1111/jzs.12251>

Surov A., Banaszek A., Bogomolov P., Feoktistova N., Monecke S. Dramatic global decrease in the range and reproduction rate of the European hamster *Cricetus cricetus*. *Endangered Species Research*, 2016, vol. 31, pp. 119–145. <https://doi.org/10.3354/esr00749>

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Краткое сообщение

УДК 574.38(470.44)

<https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-4-498-508>

СОСТОЯНИЕ ЦЕНОПОПУЛЯЦИЙ РЕДКИХ РАСТЕНИЙ УРОЧИЩА «БОЛЬШИЕ МОЧАЖИНЫ» В БАЛАШОВСКОМ РАЙОНЕ САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Г. С. Арушанян ¹, В. В. Шелоп ¹, Е. Б. Смирнова ^{2✉}

¹ Саратовский национальный исследовательский государственный университет
имени Н. Г. Чернышевского

Россия, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83

² Балашовский институт (филиал) Саратовского национального исследовательского
государственного университета имени Н. Г. Чернышевского
Россия, 412300, г. Балашов, ул. Карла Маркса, д. 29

Поступила в редакцию 07.08.2023 г., после доработки 15.09.2023 г., принята 17.09.2023 г., опубликована 12.12.2023 г.

Аннотация. В урочище «Большие мочажины» встречены ценопопуляции трех редких и охраняемых растений Саратовской области – *Gladiolus tenuis*, *Iris halophila*, *Dactylorhiza incarnata*. Данные виды охраняются и в сопредельных областях – Тамбовской, Воронежской, Пензенской и др. Виды имеют высокодекоративное значение, что является еще одним, помимо узкой экологической амплитуды растений, фактором. *G. tenuis*, *I. halophila*, *D. incarnata* требовательны к увлажнению и почвенному плодородию, имеют высокую численность, создают аспекты. В ценопопуляциях исследуемых растений идет процесс самовозобновления, который не затруднен антропогенными факторами, так как урочище находится вдали от населенных пунктов и местами заболочено. Морфометрические показатели редких видов соответствуют их биологии. Онтогенетические состояния ценопопуляций видов характеризуются одновершинным спектром с высокой долей особей генеративных фракций – 49.4% у *G. tenuis*, 40.0% у *D. incarnata* и 62.2% у *I. halophila*. Ценопопуляции изученных видов по классификации Т. А. Работнова являются нормальными неполноценными. По классификации «дельта – омега» Л. А. Животовского ценопопуляции *G. tenuis* и *D. incarnata* – старые; ценопопуляция *I. halophila* – стареющая. Изученные ценопопуляции редких растений устойчивы во времени и пространстве. Необходимо объявить урочище «Большие мочажины» памятником природы регионального значения.

Ключевые слова: биоморфологические характеристики, сопутствующие виды, онтогенетический спектр, тип ценопопуляции

✉ Для корреспонденции. Балашовский институт (филиал) Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского.

ORCID и e-mail адреса: Арушанян Генрих Спартакovich: arushanyan_777@mail.ru; Шелоп Вячеслав Вячеславovich: vvshelop@yandex.ru; Смирнова Елена Борисовна: <https://orcid.org/0000-0001-5015-2166>, elenaprentam@mail.ru.

СОСТОЯНИЕ ЦЕНОПОПУЛЯЦИЙ РЕДКИХ РАСТЕНИЙ

Соблюдение этических норм. В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Арушанян Г. С., Шелоп В. В., Смирнова Е. Б. Состояние ценопопуляций редких растений урочища «Большие мочажины» в Балашовском районе Саратовской области // Поволжский экологический журнал. 2023. № 4. С. 498 – 508. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-4-498-508>

Введение. В последние годы в планетарном масштабе угрожающими темпами уменьшается видовое богатство растительного мира. Мировым сообществом признана острота проблемы и востребованы исследования популяций редких и исчезающих видов. Совершенно недостаточно сохранить вид как таковой, необходимо сохранять популяции, не потерявшие способности к устойчивому воспроизводству. Необходимо сохранять природные сообщества как местообитания видов, сформированных в специфическом взаимодействии между организмами и средой обитания. Уменьшение биоразнообразия влияет на стабильность экосистем, так как его высокий уровень увеличивает их продуктивность, снижает влияние насекомых-вредителей, увеличивает устойчивость к инвазии сорных видов в фитоценозах (Занина и др., 2022).

Большинство источников посвящены изучению фитоценотической приуроченности редких видов Саратовской области, которые будут рассмотрены в данной статье и их новым местонахождениям на территории региона – *Gladiolus tenuis* M. Bieb., *Iris halophila* Pall., *Dactylorhiza incarnata* (L.) Soó (Шилова и др., 2013; Березуцкий, Харитонов, 2016; Невзоров, Смирнова, 2016; Покручина, Володченко, 2021; Nevzorov et al., 2019). Некоторые публикации посвящены изучению рода *Gladiolus* в культуре, дается оценка их генетических параметров и урожайности (Kutlunina et al., 2017; Azimi et al., 2020). Характеристику онтогенетической структуры ценопопуляций *G. tenuis* на заливных лугах Сумского геоботанического округа приводит С. С. Белан (2014). Изучено существование ценопопуляций двух видов пальчатокоренника в условиях антропогенной нагрузки в условиях Среднего Урала и в пределах южной (Кировская область) и средней (Республика Коми) подзон тайги (Верещагина, Шибанова, 2012; Гудовских и др., 2021; Кириллова, Кириллов, 2022). Дается обоснование создания особо охраняемой природной территории (ООПТ) для сохранения видов растений, занесенных в Красные книги областей Приволжского Федерального округа (Смирнова и др., 2017; Kharugin et al., 2020). Назрела необходимость создания селекционно-семеноводческого центра редких растений (Belyaev et al., 2020).

Цель работы – оценить условия и статус существования популяций редких растений в урочище «Большие мочажины».

Материал и методы. Район исследований находится на востоке Окско-Донской равнины в зоне богато-разнотравно-типчаково-ковыльной степи Понтической провинции (Nevzorov et al., 2019). Урочище «Большие мочажины» расположено в 2 км юго-западнее станции Красная Заря Балашовского района Саратовской области (рис. 1). Местность имеет выположенный рельеф с перепадами вы-

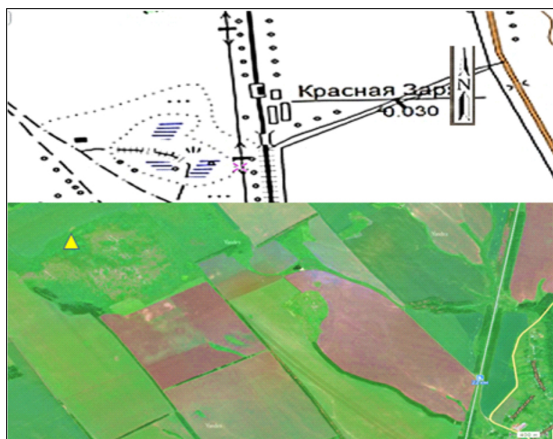


Рис. 1. Карта-схема расположения ценопопуляций редких видов в урочище «Большие мочажины»

Fig. 1. Map-diagram of the location of the cenopopulations of rare species in the "Bolshiye Mochazhiny" tract

сот, не превышающими 2-3 м. В понижениях слабо выражены лощины. Гидрографическая сеть представлена пересыхающими притоками р. Карай – Таволжанка и Малая Грязнуха, разливающимися в весеннее половодье (бассейн р. Хопёр). Растительность представлена остепненными, луговыми, околотовдными и галофитными сообществами в сложном сочетании друг с другом (Покручина, Володченко, 2021). Географические координаты «Большой мочажины» расположены в пределах 51°64'36" с. ш., 43°10'44" в. д. и 51°63'60 с. ш., 43°10'45" в. д.

Объектами изучения были ценопопуляции редких растений и видовой состав фитоценозов с их участием. Комплексные геоботанические и экологические полевые исследования были проведены по общепринятым методикам (Тарасов, Гребенюк, 1981).

В фазу массового цветения проводили измерения морфометрических показателей у 100 генеративных особей всех видов редких растений. При анализе видов определяли их видовую принадлежность по Черепанову (1995), Маевскому (2006).

Для изучения онтогенетических состояний на каждой стометровой пробной площадке случайным образом выделяли по 10 квадратов ($S = 1 \text{ м}^2$). Онтогенетические состояния определяли по диагнозам и ключам у *G. tenuis* по Белан (2014); *I. halophila* по Родионенко (1961); *D. incarnata* по Вахрамеевой (2000); Верещагиной, Шибановой (2012). Для характеристики состояния изученных ценопопуляций использовали оценку онтогенетических индексов и критериев, разработанных в исследованиях Работнова (1974), Заугольной и др. (1988), Животовского (2001).

Подготовительную 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 обсуждение. Во флористическом комплексе урочища «Большие мочажины» *G. tenuis*, семейства Ирисовые (Iridaceae) занимает большую площадь (около 0.1 га) и имеет довольно значительную плотность экземпляров и численность, среди которых преобладают генеративные особи. Морфологические признаки растений в ценопопуляции: многолетнее клубнелуковичное травянистое растение. Эфемероид. Клубни яйцевидные, с сетчато-волокулистыми влагалищами. Листья линейно-мечевидные. Цветки зигоморфные, сидячие, фиолетово-розовые (пурпурные), собраны в однобокий колос. Энтомофил. Сциогелиофит (табл. 1, рис. 2). Морфометрические показатели приведены в табл. 2. В ней показано, что все пара-

СОСТОЯНИЕ ЦЕНОПОПУЛЯЦИЙ РЕДКИХ РАСТЕНИЙ

метры соответствуют биологии вида. Семена грушевидные, бескрылые. Цветение – май – июнь (в условиях Балашовского района Саратовской области 2020 – 2022 гг.). Плод – многосемянная коробочка. Восточноевропейско-югозападно-азиатский вид. Ресурсное значение – декоративное.

Таблица 1. Экологические характеристики и численность редких видов в популяциях
Table 1. Ecological characteristics and abundance of rare species in populations

Вид / Species	Отношение к влаге / Attitude to hydration	Отношение к питанию и субстрату / Attitude to soil nutrients and substrate	Обилие видов / Abundance of species (Braun–Blanquet)	Число особ. / м ² / Number of individuals per m ²
<i>G. tenuis</i>	Мезогигрофит / Mesohygrophite	Мезотроф / Mesotroph	3	14.8±3.1
<i>D. incarnata</i>	Гигрофит / Hygrophite	Мезотроф, кальцефил, микоризообразователь / Mesotroph, calciphile, mycorrhizofomer	2	13.2±2.4
<i>I. halophila</i>	Мезогигрофит / Mesohygrophite	Мезотроф, эвтроф, галофит / Mesotrof, eutrophes, halophyte	2	12.6±2.2

Категория и статус охраны в Саратовской области *G. tenuis* – 2а – вид, сокращающийся в численности. На сопредельных территориях охраняется в Воронежской (Красная книга..., 2018), Пензенской (Красная книга..., 2013), Самарской (Красная книга..., 2017), Тамбовской (Красная книга..., 2019) областях.

К семейству Ирисовые относится *I. halophila*, в данном урочище встречается единичными кольцевыми группами – по 2-3, в каждой из которых по 8 – 15 клонов соответственно. Травянистый корневищный поликарпик. Стебли прямостоячие. Прикорневые листья ланцетно-линейные, превышают стебель, стеблевые листья – короче. Цветки соломенно-желтые, состоят из трубки и шести лопастей венчика (см. табл. 2).

На конце лопастей наружных лепестков прерываются перетяжкой. Плоды – коробочки ребристо-шерстистые. Цветение – май – июнь, не каждый год. Гелиофит. Восточно-европейско-казахстанский вид, галофильно-луговой. Ресурсное значение – декоративное, пищевое (в листьях содержится аскорбиновая кислота), фитомелиоративное (корневая система снижает засоленность



Рис. 2. Фото редких растений в урочище «Большие мо-
чажины»: а – *D. incarnate*, б – *G. tenuis*, в – *I. halophile*
Fig. 2. Photos of rare plants in the “Bolshiye Mochazhiny”
tract: а – *D. incarnate*, б – *G. tenuis*, с – *I. halophile*

почвы). Категория и статус охраны в Саратовской области *I. halophila*: 2a – вид, сокращающийся в численности (Красная книга, 2021). Также охраняется и на сопредельных территориях.

К семейству Орхидные (Orchidaceae) относится *D. incarnate* – многолетнее травянистое корнеклубневое растение. Клубни немного приплюснутые в количестве 2 – 4. Листья от 4 до 6 расположены по всей длине стебля, направлены вверх, ланцетные, сужаются к верху, зелёные, без пятен. Цветки собраны в густой колос, лилово-розовые (см. табл. 2). Губа ромбовидная, зубчатая, с тёмными точками. Продолжением губы служит вырост (шпорец), заполненный нектаром. Размножается семенами. Мельчайшие семена *D. incarnate* прорастают в присутствии гриба-микоризообразователя определенного вида (*Rhizoctonia repens* и базидиального гриба *Tulasnella* sp.). Морфометрические показатели в ценопопуляции представлены в табл. 2. Евразийский бореальный вид. Гелиофит. Ресурсное значение – лекарственное, декоративное. Категория и статус: 1 – вид, находящийся под угрозой исчезновения. Охраняется в Воронежской, Пензенской, Самарской, Тамбовской областях. Редкие виды, обитающие в урочище «Большие мочажины», требовательны к увлажнению почвы и питательным веществам.

Таблица 2. Биоморфологические характеристики редких видов в ценопопуляциях
Table 2. Biomorphological characteristics of rare species in the coenopopulations

Признак / Sign	Показатель / Indicator			
	$M \pm m^* t_{st005}$	Cv, %	lim	
			min	max
<i>G. tenuis</i>				
Высота растения, см / Plant height, cm	62.9±8.6	71.3	52.2	73.4
Длина листа, см / Sheet length, cm	23.8±5.9	34.1	15.8	31.9
Ширина листа, мм / Sheet width, mm	14.8±4.4	41.9	10.3	19.2
Число цветков, шт. / Number of inflorescences, pcs	7.0±1.4	72.9	4.8	9.2
Длина колоса, см / Spike length, cm	14.3±3.8	40.8	10.2	18.4
Длина цветка, см / Flower length, cm	3.1±0.64	45.2	2.4	3.8
<i>D. incarnate</i>				
Высота растения, см / Plant height, cm	43.1±13.6	81.3	25.4	60.8
Длина листа, см / Sheet length, cm	19.8±6.5	24.7	12.9	26.7
Ширина листа, см / Sheet width, cm	3.3±0.9	81.9	2.6	4.1
Число цветков в колосе, шт. / Number of flowers per ear, pcs.	29.1±12.3	41.8	32.2	46.1
Длина соцветия, см / Inflorescence length, cm	11.6±3.1	54.2	8.7	14.6
<i>I. halophile</i>				
Высота растения, см / Plant height, cm	85.5±10.4	70.3	72.4	98.7
Длина прикорневого листа, см / Root leaf length, cm	87.0±16.8	44.4	74.1	100.0
Ширина листа, см / Sheet width, cm	1.71±0.33	61.9	1.22	2.20
Число цветков, шт. / Number of flowers, pcs	3.5±0.36	46.6	3.0	4.0
Длина лепестков, см / Petal length, cm	9.7±2.8	64.8	7.3	12.2
Ширина лепестков, см / Petal width, cm	0.86±0.12	41.3	0.62	1.11

Во флористическом окружении редких видов встречаются древесные растения – *Salix alba* L., *S. triandra* L., *Populus alba* L., *Malus sylvestris* Mill. Из травянистых растений – *Corydalis solida* (L.) Clairv., *Viola ambigua* Waldst. & Kit., *Tulipa biebersteiniana* Schult. & Schult. f., *Ranunculus acris* L., *Veronica anagallis-aquatica*

L., *Rorippa amphibia* (L.) Besser., *Cirsium arvense* (L.) Scop., *Cichorium intybus* L., *Atriplex tatarica* L., *Centaurea jacea* L., *Equisetum arvense* L., *E. palustre* L. *Cirsium arvense* (L.) Scop., *Geranium palustre* L., *Caltha palustris* и др.

Проведенные исследования позволили оценить возрастные особенности популяций ЦП 1 – *G. tenuis*, ЦП 2 – *D. incarnata*, ЦП 3 – *I. halophila* (рис. 3). В возрастном спектре ценопопуляции всех изученных видов преобладают генеративные растения – 49,4% у *G. tenuis*, 40,0% у *D. incarnata* и 62,2% у *I. halophila* от общего числа проанализированных особей. Ценопопуляции по классификации Т. А. Работнова являются нормальными неполноценными. По классификации «дельта – омега» Л. А. Животовского ценопопуляции *G. tenuis* и *D. incarnata* – старые; ценопопуляция *I. halophila* – стареющая.

Заключение. Изученные ценопопуляции редких растений *G. tenuis*, *D. incarnata*, *I. halophila* в урочище «Большие мочажины» устойчивые во времени и пространстве. В популяциях отмечается высокая численность особей и значительная занимаемая площадь. В ценопопуляциях исследуемых растений идет процесс самовозобновления, который не затруднен антропогенными факторами (на данной территории не ведется выпас скота и сенокошение, она удалена от населенных пунктов). Ценопопуляции *G. tenuis* и *D. incarnata* создают лиловый аспект из-за высокой численности, их онтогенетический спектр характеризуется одновершинным спектром с высокой долей особей генеративной фракции. В возрастном спектре ценопопуляции *I. halophila* также преобладают генеративные растения.

Для сохранения и восстановления редких видов необходимы их инвентаризация, ежегодный мониторинг численности популяций, изучение биологии, экологии и особенностей размножения редких видов, разработка мер по охране, экологическое просвещение населения (пропаганда недопустимости сбора растений на букеты). Необходимо урочищу «Большие мочажины» придать статус ООПТ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Белан С. С. Онтогенетична структура популяцій рідкісного виду *Gladiolus tenuis* на градієнті фенісциальної дигресії заплавної луки (Сумський геоботанічний округ) // Вісник Сумського національного аграрного університету. Сер. Агрономія і біологія. 2014. Вип. 3 (27). С. 20 – 24.

Березуцкий М. А., Харитонов А. Н. К вопросу о произрастании представителей рода пальчатокоренник на территории Левобережья Саратовской области // Бюллетень Ботанического сада Саратовского государственного университета, 2016. Т. 14, № 2. С. 14 – 18.

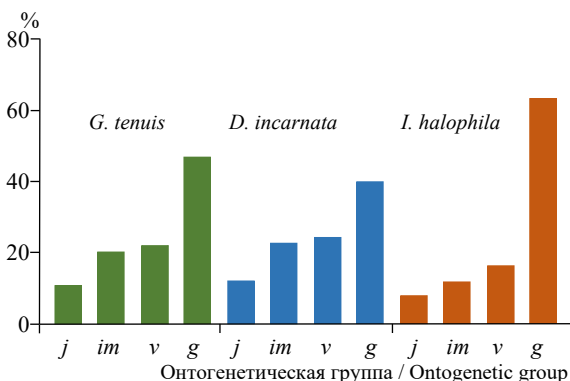


Рис. 3. Онтогенетические спектры ценопопуляций *G. tenuis*, *D. incarnata* и *I. halophila*

Fig. 3. Ontogenetic spectra of *G. tenuis*, *D. incarnata* and *I. halophila* cenopopulations

Вахрамеева М. Г. Род Пальчатокоренник // Биологическая флора Московской области. М.: Изд-во «Гриф и К°», 2000. Вып. 14. С. 55 – 86.

Верещagina В. А., Шибанова Н. Л. Ценопопуляции двух видов пальчатокоренника (*Dactylorhiza* Nevski, Orchidaceae) в условиях антропогенной нагрузки // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 2. С. 349.

Гудовских Ю. В., Егошина Т. Л., Кислицына А. В., Лугинина Е. А., Соро Т. С. Эколого-ценотическая характеристика *Dactylorhiza fuchsii* (Druce) Soo в пределах южной подзоны тайги Кировской области // Экология родного края: проблемы и пути их решения: материалы XVI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Киров: Вятский государственный университет, 2021. Кн. 2. С. 108 – 112.

Животовский Л. А. Онтогенетические состояния, эффективная плотность и классификация популяций растений // Экология. 2001. № 1. С. 3 – 7.

Занина М. А., Смирнова Е. Б., Семенова Н. Ю., Володченко А. Н., Меркулова Е. К. Редкие растения флористических комплексов реки Ветлянка // Поволжский экологический журнал. 2022. № 2. С. 242 – 252. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2022-2-242-252>

Заугольнова Л. Б., Жукова Л. А., Комаров А. С., Смирнова О. В. Ценопопуляции растений (очерки популяционной биологии). М.: Наука, 1988. 181 с.

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>

Красная книга Волгоградской области. Т. 2. Растения и другие организмы / под ред. О. Г. Барановой, В. А. Сагалаева. Воронеж: Издат-Принт, 2017. 268 с.

Красная книга Воронежской области: в 2 т. Т. 1: Растения. Лишайники. Грибы. Воронеж: Центр духовного возрождения Черноземного края, 2018. 416 с.

Красная книга Пензенской области. Т. 1. Грибы, лишайники, мхи, сосудистые растения. 2-е изд. Пенза: ИПК «Пензенская правда», 2013. 300 с.

Красная книга Самарской области. Т. 1. Редкие виды растений и грибов / под ред. С. А. Сенатора, С. В. Саксонова. Самара: Изд-во Самарской государственной областной академии (Наяновой), 2017. 284 с.

Красная книга Саратовской области: Грибы. Лишайники. Растения. Животные. Саратов: Папирус, 2021. 496 с.

Красная книга Тамбовской области: Мхи, сосудистые растения, грибы, лишайники. 2-е изд. Тамбов: ТПС, 2019. 480 с.

Маевский П. Ф. Флора средней полосы европейской части России. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2006. 600 с.

Невзоров А. В., Смирнова Е. Б. К вопросу о местонахождении и состоянии популяции шпажника тонкого на территории Балашовского района Саратовской области // Вавиловские чтения – 2016: сборник статей международной научно-практической конференции, посвященной 129-й годовщине со дня рождения академика Н. И. Вавилова. Саратов: Саратовский государственный аграрный университет, 2016. С. 318 – 320.

Покручина О. А., Володченко А. Н. Новые находки шпажника тонкого (*Gladiolus tenuis* Vieb.) на северо-западе Нижнего Поволжья // Природа симбирского Поволжья. Ульяновск: Корпорация технологий продвижения, 2021. Вып. 22. С. 61 – 65.

Работнов Т. А. Определение возрастных состояний популяций видов в сообществе // Полевая геоботаника. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1974. Т. 3. С. 132 – 208.

Родионенко Г. И. Род Ирис – *Iris* L. (Вопросы морфологии, биологии, эволюции и систематики). М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1961. 216 с.

СОСТОЯНИЕ ЦЕНОПОПУЛЯЦИЙ РЕДКИХ РАСТЕНИЙ

Смирнова Е. Б., Невзоров А. В., Шатаханов Б. Д. Биоразнообразие редких растений на особо охраняемых природных территориях Правобережья Саратовской области // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2017. Т. 22, вып. 5-1. С. 998 – 1001. <https://doi.org/10.20310/1810-0198-2017-22-5-998-1001>

Тарасов А. О., Гребенюк С. И. Методы изучения растительности: полевая практика по экологической ботанике. Саратов: Изд-во Саратовского университета, 1981. С. 65 – 85.

Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб.: Мир и семья-95, 1995. 992 с.

Шилова И. В., Кашин А. С., Петрова Н. А., Серова Л. А. О новых местонахождениях шпажника тонкого (*Gladiolus tenuis* Bieb.) в Саратовской области // Систематические и флористические исследования Северной Евразии: труды международной конференции, к 85-летию со дня рождения проф. А. Г. Еленевского / под общ. ред. В. П. Викторова. М.: МПГУ, 2013. С. 233 – 235.

Azimi M. H., Edrisi B., Khalaj M. A. Evaluation of genetic parameters and cormlet yield in gladiolus off-spring // Journal of Ornamental Plants. 2020. Vol. 10, № 1. P. 37 – 47.

Belyaev A. I., Repnikov B. V., Semenyutina A. V., Solonkin A. V., Khuzhakhmetova A. Sh. Scientific substantiation of formation of a selection-seed-breeding center for wood and agricultural plants // World Ecology Journal. 2020. Vol. 10, № 2. P. 3 – 17. <https://doi.org/10.25726/worldjournals.pro/WEJ.2020.2.1>

Khapugin A. A., Gafurova M. M., Suleymanova G. F., Bogdanov G. A., Chap T. F., Zenkova N. A., Belkovskaya T. P. The role of Russian federal protected areas in conservation of plant species included in the Red Data Book of Russian Federation (Volga Federal District) // Wulfenia. 2020. Vol. 27. P. 114 – 126.

Kutlunina N. A., Permyakova M. V., Belyaev A. Yu. Genetic diversity and reproductive traits in triploid and tetraploid populations of *Gladiolus tenuis* (Iridaceae) // Plant Systematics and Evolution. 2017. Vol. 303, iss. 1. P. 1 – 10. <https://doi.org/10.1007/s00606-016-1347-x>

Nevzorov A. V., Smirnova E. B., Sergeeva I. V., Ponomareva A. L., Shevchenko E. N. Ontogenetic structure of cenopolulations of *Orchis militaris* L. and *Dactylorhiza incarnata* (L.) Soo (Orchidaceae, Liliopsida) in Romanovskii district of Saratov region // Biology Bulletin. 2019. Vol. 46, iss. 10. P. 1426 – 1430. <https://doi.org/10.1134/S1062359019100224>

Status of rare plant cenopopulations of the tract “Bolshiye Mochazhiny” in Balashov district, Saratov region

H. S. Arushanyan ¹, V. V. Shelop ¹, E. B. Smirnova ^{2✉}

¹ Saratov State University

83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia

² Balashov Institute (Branch) of Saratov State University

29 Carl Marx St., Balashov 412300, Russia

Received: August 7, 2023 / revised: September 15, 2023 / accepted: September 17, 2023 / published: December 12, 2023

Abstract. Cenopopulations of three rare and protected plants of the Saratov region (*Gladiolus tenuis*, *Iris halophila*, and *Dactylorhiza incarnata*) were found in the tract “Bolshiye Mochazhiny”. These species are protected in neighboring regions as well – the Tambov, Voronezh, Penza regions and others. The species are of high ornamental value, which is another factor besides the narrow ecological amplitude of the plants. *G. tenuis*, *I. halophila*, and *D. incarnata* are demanding to moisture and soil fertility, have high numbers, and create aspects. In the cenopopulations of the studied plants a process of self-renewal proceeds, which is not hampered by anthropogenic factors, as the tract is far from settlements and is swampy in some places. The morphometric indices of the rare species correspond to their biology. The ontogenetic status of the species cenopopulations is characterized by a single-vertex spectrum with a high proportion of individuals of generative fractions: 49.4% for *G. tenuis*, 40.0% for *D. incarnata*, and 62.2% for *I. halophila*, respectively. According to T. A. Rabotnov’s classification, the cenopopulations of the studied species are normal incomplete-membered. According to L. A. Zhivotovsky’s delta–omega classification, the cenopopulations of *G. tenuis* and *D. incarnata* are old; while that of *I. halophila* is aging. The studied cenopopulations of rare plants are stable in time and space. It is necessary to declare the tract “Bolshiye Mochazhiny” a natural monument of regional importance.

Keywords: biomorphological characteristics, associated species, ontogenetic spectrum, cenopopulation type

Ethics approval and consent to participate: This work does not contain any studies involving human and animal subjects.

Competing interests: The authors have declared that no competing interests exist.

For citation: Arushanyan H. S., Shelop V. V., Smirnova E. B. Status of rare plant cenopopulations of the tract “Bolshiye Mochazhiny” in Balashov district, Saratov region. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2023, no. 4, pp. 498–508 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-4-498-508>

REFERENCES

Belan S. S. The ontogenetic structure of *Gladiolus tenuis* rare species populations on the gradient of floodplain meadow digression (Sumy geobotanic district). *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The series: Agronomy and Biology*, 2014, iss. 3 (27), pp. 20–24 (in Ukrainian).

✉ *Corresponding author.* Balashov Institute (Branch) of Saratov State University, Russia.

ORCID and e-mail addresses: Henry S. Arushanyan: arushanyan.777@mail.ru; Vyacheslav V. Shelop: vvshelop@yandex.ru; Elena B. Smirnova: <https://orcid.org/0000-0001-5015-2166>, elenaprentam@mail.ru.

Berezutsky M. A., Kharitonov A. N. The study of *Dactylorhiza* populations on the left-bank side of the Volga region (the case of Saratov oblast). *Bulletin of Botanic Garden of Saratov State University*, 2016, vol. 14, no. 2, pp. 14–18 (in Russian).

Vakhrameeva M. G. Genus *Dactylorhiza*. *Biological Flora of the Moscow Region*. Moscow, Grif & K°, 2000, part 14, pp. 55–86 (in Russian).

Vereshchagina V. A., Shibanova N. L. Populations two species *Dactylorhiza* Nevski, Orchidaceae in the conditions of the anthropogenous loadings. *Modern Problems of Science and Education. Surgery*, 2012, no. 2, pp. 349 (in Russian).

Gudovskikh Yu. V., Egoshina T. L., Kislitsyna A. V., Luginina E. A., Soro T. S. Ecological and cenotic characteristics of *Dactylorhiza fuchsii* (Druce) Soo within the southern taiga subzone of the Kirov region. *Ecology of the Native Land: Problems and Ways of Their Solution: Proceedings of the XVI All-Russian Scientific-Practical Conference With International Participation*. Kirov, Vyatka State University Publ., 2021, book 2, pp. 108–112 (in Russian).

Zhivotovsky L. A. Ontogenetic states, effective density, and classification of plant populations. *Russian Journal of Ecology*, 2001, vol. 32, no. 1, pp. 1–5.

Zanina M. A., Smirnova E. B., Semenova N. Yu., Volodchenko A. N., Merkulova E. K. Rare plants of the floral complexes of the Vetlyanka river. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2022, no. 2, pp. 242–252 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2022-2-242-252>

Zaugolnova L. B., Zhukova L. A., Komarov A. S., Smirnova O. V. *Tsenopopulyatsii rasteniy (oчерki populyatsionnoy biologii)* [Cenopopulation of Plants (Essays of Population Biology)]. Moscow, Nauka, 1988. 181 p. (in Russian).

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>

Krasnaya kniga Volgogradskoi oblasti. T. 2. Rasteniya i drugie organizmy. Pod red. O. G. Baranovoi, V. A. Sagalaeva [O. G. Baranova, V. A. Sagalaev, eds. The Red Book of Volgograd Region. Vol. 2. Plants and Other Organisms]. Voronezh, Izdat-Print, 2017. 268 p. (in Russian).

Krasnaia kniga Voronezhskoi oblasti: v 2 t. T. 1: Rasteniia. Lishainiki. Griby [Red Data Book of the Voronezh Region: in 2 vol. Vol. 1: Plants. Lichens. Fungi. Voronezh, Center of Spiritual Revival of the Black Earth Region, 2018. 416 p. (in Russian).

Krasnaya kniga Penzenskoi oblasti. T. 1. Griby, lishainiki, mkhi, sosudistye rasteniya. 2-e izd. [The Red Book of the Penza Region. Vol. 1. Fungi, Lichens, Mosses, Vascular Plants. 2nd ed.] Penza, IPK “Penzenskaya Pravda”, 2013. 300 p. (in Russian).

Krasnaia kniga Samarskoi oblasti. T. 1. Redkie vidy rastenii i gribov. Pod red. S. A. Senatora, S. V. Saksonova [S. A. Senator, S. V. Saxonov, eds. The Red Book of the Samara Region. Vol. 1. Rare Species of Plants and Fungi]. Samara, Samara State Regional Academy (Nayanova) Publ., 2017. 284 p. (in Russian).

Krasnaya kniga Saratovskoi oblasti: Griby. Lishainiki. Rasteniia. Zhivotnye [The Red Book of the Saratov Region: Mushrooms. Lichens. Plants. Animals]. Saratov, Papirus, 2021. 496 p. (in Russian).

Krasnaia kniga Tambovskoi oblasti: Mkhi, sosudistye rasteniia, griby, lishainiki. 2-e izd. [The Red Book of the Tambov Region: Mosses, Vascular Plants, Fungi, Lichens. 2nd ed.]. Tambov, Tambov Polygraphic Union, 2019. 480 p. (in Russian).

Mayevsky P. F. *Flora of the Middle Zone of the European Part of Russia*. Moscow, KMK Scientific Press Ltd., 2006. 600 p. (in Russian).

Nevzorov A. V., Smirnova E. B. To the question of the location and state of the population of the thin spurgeons on the territory of Balashovsky district, Saratov oblast. Vavilov Readings–2016: Collection of Articles of the International Scientific-Practical Conference Dedicated to the 129th

Anniversary of the Birth of Academician N. I. Vavilov. Saratov, Saratov State Agrarian University Publ., 2016, pp. 318–320 (in Russian).

Pokruchina O. A., Volodchenko A. N. New finds of the *Gladiolus tenuis* Bieb. in the north-west of the Lower Volga region. *Priroda simbirskogo Povolzh'ya* [Nature of the Simbirsk Volga Region]. Ulyanovsk, Corporation of Promotion Technologies, 2021, iss. 22, pp. 61–65 (in Russian).

Rabotnov T. A. Definition of age structure of populations of types in community. *Polevaya geobotanika* [Field Geobotany]. Leningrad, Nauka, 1974, vol. 3, pp. 132–208 (in Russian).

Rodionenko G. I. *Genus Iris – Iris L. (Questions of Morphology, Biology, Evolution and Systematics)*. Moscow, Leningrad, Academy of Sciences of the USSR, 1961. 216 p. (in Russian).

Smirnova E. B., Nevzorov A. V., Shatakhonov B. D. Biodiversity of rare plants in specially protected natural territories of the Right Bank of Saratov province. *Tambov University Reports, Ser. Natural and Technical Science*, 2017, vol. 22, iss. 5-1, pp. 998–1001 (in Russian). <https://doi.org/10.20310/1810-0198-2017-22-5-998-1001>

Tarasov A. O., Grebenyuk S. I. *Metody izucheniya rastitel'nosti: polevaya praktika po ekologicheskoy botanike* [Methods of Studying Vegetation: Field Practice in Ecological Botany]. Saratov, Saratov State University Publ., 1981, pp. 65–85 (in Russian).

Cherepanov S. K. *Vascular Plants of Russia and Neighboring States (within the Former USSR)*. Saint Petersburg, Mir i semya, 1995. 992 p. (in Russian).

Shilova I. V., Kashin A. S., Petrova N. A., Serova L. A. About new localities of *Gladiolus tenuis* Bieb. in the Saratov region. In: V. P. Viktorov, ed. *Systematic and Floristic Studies of Northern Eurasia: Proceedings of the International Conference devoted to the 85th Anniversary of the birth of Professor A. G. Elenevsky*. Moscow, Moscow Pedagogical State University Publ., 2013, pp. 23–235 (in Russian).

Azimi M. H., Edrisi B., Khalaj M. A. Evaluation of genetic parameters and cormlet yield in gladiolus off-spring. *Journal of Ornamental Plants*, 2020, vol. 10, no. 1, pp. 37–47.

Belyaev A. I., Repnikov B. V., Semenyutina A. V., Solonkin A. V., Khuzhakhmetova A. Sh. Scientific substantiation of formation of a selection-seed-breeding center for wood and agricultural plants. *World Ecology Journal*, 2020, vol. 10, no. 2, pp. 3–17. <https://doi.org/10.25726/worldjournals.pro/WEJ.2020.2.1>

Khapugin A. A., Gafurova M. M., Suleymanova G. F., Bogdanov G. A., Chap T. F., Zenkova N. A., Belkovskaya T. P. The role of Russian federal protected areas in conservation of plant species included in the Red Data Book of Russian Federation (Volga Federal District). *Wulfenia*, 2020, vol. 27, pp. 114–126.

Kutlunina N. A., Permyakova M. V., Belyaev A. Yu. Genetic diversity and reproductive traits in triploid and tetraploid populations of *Gladiolus tenuis* (Iridaceae). *Plant Systematics and Evolution*, 2017, vol. 303, iss. 1, pp. 1–10. <https://doi.org/10.1007/s00606-016-1347-x>

Nevzorov A. V., Smirnova E. B., Sergeeva I. V., Ponomareva A. L., Shevchenko E. N. Ontogenetic structure of cenopopulations of *Orchis militaris* L. and *Dactylorhiza incarnata* (L.) Soo (Orchidaceae, Liliopsida) in Romanovskii district of Saratov region. *Biology Bulletin*, 2019, vol. 46, iss. 10, pp. 1426–1430. <https://doi.org/10.1134/S1062359019100224>

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

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 08.12.2023. Подписано в свет 12.12.2023.
Формат 70х100/16. Объём 7,825 печ.л. Бум. мелов. Тираж 40 экз. Цена свободная

ISSN 1684-7318



9 771684 731009 >

ISSN 1684-7318 ПОВОЛЖСКИЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ 2023 №4



ТОВАРИЩЕСТВО
НАУЧНЫХ
ИЗДАНИЙ КМК