

ПОВОЛЖСКИЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Povolzhskiy Journal of Ecology

Номер 1

2025

Number 1



Решением Президиума ВАК Министерства образования и науки РФ журнал включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых рекомендуется публикация основных результатов диссертационных исследований на соискание ученой степени доктора и кандидата наук

СОДЕРЖАНИЕ

Быков А. В., Колесников А. В. Филин (<i>Bubo bubo</i> L.) (Strigiformes, Aves) в глинистой полупустыне Заволжья	3
Кириллова И. А., Кириллов Д. В. Структура популяций и репродуктивный успех <i>Cypripedium calceolus</i> (Orchidaceae, Liliopsida) на карстовых ландшафтах Южного Тимана (Республика Коми): влияние экспозиции склона	18
Леонова Н. А., Картавов Н. А., Чернышова О. В., Волкова Е. К., Титов С. В. Трансформация растительности как лимитирующий фактор существования популяций грызунов открытых пространств (на примере <i>Spermophilus suslicus</i>)	31
Магеррамов Ш. В., Матросов А. Н., Бочарникова Т. А., Гражданов А. К., Марцоха К. С., Кузнецов А. А., Слудский А. А., Попов Н. В. Снижение численности популяции малого суслика – <i>Spermophilus pygmaeus</i> Pallas, 1779 (Rodentia, Sciuromorpha, Sciuridae) в Волго-Уральском степном природном очаге чумы	48
Рюмин М. Б., Стом Д. И., Балаян А. Э., Лопатовская О. Г., Жданова Г. О., Купчинский А. Б., Петрова Ю. Ю., Саксонов М. Н. Изменение капиллярной влагоемкости и фитотоксичности нефтезагрязненных почв под действием нефтеразрушающего биопрепарата «DOP-UNI» в краткосрочном эксперименте	64
Сырчина Н. В., Пилип Л. В., Ашихмина Т. Я. Микробиологическая безопасность технологии ускоренной переработки навоза	80

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Mabrouki Y., Gourari K., Taybi A. F. Atlantic blue crab <i>Callinectes sapidus</i> Rathbun, 1896 (Portunidae, Malacostraca) could lead to local extinction of few endemic freshwater species in the Eastern Morocco [Мабруки Ю., Гурари К., Тайби А. Ф. Атлантический голубой краб <i>Callinectes sapidus</i> Rathbun, 1896 (Portunidae, Malacostraca) может привести к локальному исчезновению эндемичных пресноводных видов в восточной части Марокко]	91
Matantseva M. V., Artemyev A. V., Khokhlova T. Yu., Simonov S. A. Attempts of the white stork (<i>Ciconia ciconia</i>) (Ciconiidae, Aves) to inhabit Karelia, Northwestern Russia [Матанцева М. В., Артемьев А. В., Хохлова Т. Ю., Симонов С. А. Попытки освоения белым аистом (<i>Ciconia ciconia</i>) (Ciconiidae, Aves) территории Карелии, Северо-Запад России]	100
Полынова Г. В., Полынова О. Е., Капралова Д. О. Особенности популяционной структуры поселения ушастой круглголовки, <i>Phrynocephalus mystaceus</i> (Pallas, 1776) (Lacertilia: Agamidae) на песчаном массиве Сарыкум	108

ЮБИЛЕИ

Феоктистова Н. Ю. Алексей Васильевич Суров (к семидесятилетию со дня рождения)	119
---	-----



CONTENTS

Bykov A. V., Kolesnikov A. V. Eagle owl (<i>Bubo bubo</i> L.) (Strigiformes, Aves) in the clay semi-desert of the Trans-Volga region	3
Kirillova I. A., Kirillov D. V. Population structure and reproductive success of <i>Cypripedium calceolus</i> (Orchidaceae, Liliopsida) on karst landscapes of Southern Timan (Komi Republic): Slope exposure influence	18
Leonova N. A., Kartavov N. A., Chernyshova O. V., Volkova E. K., Titov S. V. Vegetation transformation as a limiting factor in the existence of rodent populations in open area (using the example of <i>Spermophilus suslicus</i>)	31
Magerramov Sh. V., Matrosov A. N., Bocharnikova T. A., Grazhdanov A. K., Martsokha K. S., Kuznetsov A. A., Sludsky A. A., Popov N. V. Decrease in the population of the small ground squirrel – <i>Spermophilus pygmaeus</i> Pallas, 1779 (Rodentia, Sciuromorpha, Sciuridae) in the Volga–Ural steppe natural focus of plague	48
Ryumin M. B., Stom D. I., Balayan A. E., Lopatovskaya O. G., Zhdanova G. O., Kupchinsky A. B., Petrova Yu. Yu., Saksonov M. N. Change in the capillary moisture capacity and phytotoxicity of oil-contaminated soils under the influence of the oil-destructive biological product “DOP-UNI” in a short-term experiment	64
Syrchina N. V., Pilip L. V., Ashikhmina T. Ya. Microbiological safety of the accelerated manure processing technology	80

SHORT COMMUNICATIONS

Mabrouki Y., Gourari K., Taybi A. F. Atlantic blue crab <i>Callinectes sapidus</i> Rathbun, 1896 (Portunidae, Malacostraca) could lead to local extinction of few endemic freshwater species in the Eastern Morocco	91
Matantseva M. V., Artemyev A. V., Khokhlova T. Yu., Simonov S. A. Attempts of the white stork (<i>Ciconia ciconia</i>) (Ciconiidae, Aves) to inhabit Karelia, Northwestern Russia	100
Polynova G. V., Polynova O. E., Kapralova D. O. Peculiarities of the population structure in the settlement of secret toad-headed agama, <i>Phrynocephalus mystaceus</i> (Pallas, 1776) (Lacertilia: Agamidae) on the Sarykum sandy massif	108

JUBILEES

Feoktistova N. Yu. Alexey V. Surov (to his 70 th Anniversary)	119
---	-----

Оригинальная статья

УДК 598.2(470.45+574.1)

<https://doi.org/10.35885/1684-7318-2025-1-3-17>

ФИЛИН (*BUBO BUBO* L.) (STRIGIFORMES, AVES) В ГЛИНИСТОЙ ПОЛУПУСТЫНЕ ЗАВОЛЖЬЯ

А. В. Быков ✉, А. В. Колесников

Институт лесоведения РАН

Россия, 143030, Московская обл., с. Успенское, ул. Советская, д. 21

Поступила в редакцию 14.03.2024 г., после доработки 25.05.2024 г., принята 25.05.2024 г., опубликована 31.03.2025 г.

Аннотация. Исследованы особенности гнездования и экология филина (*Bubo bubo* L.) в северо-западной части Заволжской глинистой полупустыни в 1980 – 2024 гг. Здесь в гнездовой период филин связан с локальными местообитаниями озерных депрессий и речных долин, а его гнезда приурочены к крутым склонам. Основной материал собран в глубокой озерной депрессии оз. Эльтон (преимущественно на территории природного парка «Эльтонский»), где в 1980 – 2024 гг. отмечено 232 случая гнездования. Здесь выявлено 9 резидентных гнездовых участков, где филины гнездились много лет подряд. По мере развития фермерского скотоводства, поблизости от некоторых резидентных участков стали возникать дополнительные, образующие с резидентным единую гнездовую группу. На них селились пары, потревоженные на резидентных участках, а после их ухода – молодые птицы. К 2010-м гг. все гнездовые группы, представленные резидентными и дополнительными гнездовыми участками, уже не функционировали. Если в 1980 – 2017 гг. в Приэльтонье функционировало от 5 до 9 гнездовых участков, то в 2018 – 2023 гг. отмечено лишь 2 гнездовых участка, причем почти все гнезда этих пар уничтожены скотом. Популяционная группа филина, приуроченная к Эльтонской озерной депрессии, является ядром эльтонско-харинской популяции, так как в среднем и в верхнем течении р. Хара и впадающих в нее балках условия для гнездования филина плохие. За 45 лет в среднем здесь гнездились 5.2 пары в год и ежегодно в популяции присутствовало более 19 птиц, из которых около 14 половозрелых особей. Очевидно, что именно эльтонско-харинская популяция постоянно «подпитывает» группировки филина вокруг озер Боткуль, Булхута и Соркуль, что в значительной степени обеспечивает сохранение вида на всей территории северо-западного Заволжья.

Ключевые слова: филин, гнездование, глинистая полупустыня, Приэльтонье, Прикаспийская низменность

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. Быков А. В., Колесников А. В. Филин (*Bubo bubo* L.) (Strigiformes, Aves) в глинистой полупустыне Заволжья // Поволжский экологический журнал. 2025. № 1. С. 3 – 17. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2025-1-3-17>

✉ Для корреспонденции. Лаборатория лесной зоологии Института лесоведения РАН.

ORCID и e-mail адреса: Быков Александр Владимирович: <https://orcid.org/0000-0001-9891-5150>, a.v_bykov@mail.ru;
Колесников Александр Владимирович: <https://orcid.org/0000-0003-0814-1812>, wheelwrights@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Филин (*Bubo bubo* L.) обитает в различных природно-климатических зонах, но практически везде редок и нуждается в охране. Заволжская глинистая полупустыня – одно из немногих мест Европейской России, где в соответствующих местообитаниях эта птица, как на гнездовье, так и в период кочевок обычна (Dinesman, 1960; Khodashova, 1960; Bykov, 2005; Lindeman et al., 2005).

Филин – вид с явно выраженной резидентной стратегией и весьма чувствителен к фактору беспокойства. В последнее десятилетие влияние этого фактора значительно возросло, так как в регионе стало интенсивно развиваться фермерское скотоводство, а вокруг озер значительно увеличился поток туристов. Предлагаемый материал, собранный в 1980 – 2024 гг., позволяет достаточно полно оценить состояние Заволжской популяции филина и, в определенной степени, отражает современное состояние природных сообществ региона в целом.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проводились на базе Джаныбекского стационара Института лесоведения РАН (Волгоградская область, Палласовский район). Климат региона характеризуется резкой атмосферной засушливостью и безводностью (Dorskach, 1979). Со второй половины XVIII и до середины XX столетия климатические изменения в регионе сводились лишь к изменениям частоты наступления засушливых лет. С первой четверти XIX в. начинается длительный сухой период с холодными зимами, который с короткими перерывами тянулся до 1970 – 1980-х гг. (Dinesman, 1960). С последней четверти XX в. отмечается повышение среднегодовой температуры, увеличение количества осадков и их сезонное перераспределение. В целом, в последние десятилетия наметилась гумидизация климата всего региона (Sazhin, 1993; Oparin, 2007; Sapanov, Sizemskaya, 2015; Sapanov, 2021; Belik, 2024).

В северо-западной части Прикаспийской низменности бессточная глинистая равнина с почти полным отсутствием поверхностного и грунтового стока простирается на территории России и Казахстана. Для равнины характерна комплексность почвенного и растительного покровов и близкое залегание засоленных грунтовых вод (Rode, Pol'skii, 1961). Ее большая часть лежит на высоте 25 – 30 м над уровнем моря и занята растительными ассоциациями пустынного и степного типов, не пригодных для гнездования филина. Его гнездовые местообитания прежде всего связаны с замкнутыми котловинами соленых озер (Эльтон, Аралсор, Булухта и др.), расположенными на абсолютной высоте от +16 до -16 м. В озера открываются балки с постоянными или временными короткими водотоками, а в оз. Эльтон впадает шесть соленых рек, в которые в свою очередь открываются многочисленные балки. На востоке территории протекает слабосоленая речка Горькая (Аще-Узек), в своем нижнем течении исчезающая в песках.

В целом исследуемая территория безлесна. Естественная древесно-кустарниковая растительность приурочена к различным депрессиям. В балках и долинах рек отдельными островками сохраняются полидоминантные сообщества кустарникового типа. К пологим берегам озер и к первым речным террасам привязаны заросли тамарикса рыхлого (*Tamarix laxa* Willd.) (Dinesman, 1960). В

немногих падинах, разбросанных среди комплексной равнины, сохраняются спирейники (преимущественно с *Spiraea hypericifolia*).

Искусственные насаждения (если не считать старых садов и отдельных деревьев на заброшенных поселениях) в основном появились в 1950 – 1970-х гг. Это поλεзащитные лесные полосы, а также полосы вдоль железной и автомобильных дорог. К настоящему времени они в значительной степени усохли. На Джаныбекском стационаре, начиная с 1950-х гг., созданы многочисленные и разнообразные насаждения – лесные полосы на всех элементах рельефа и небольшие массивы из разных древесных пород в падинах.

Наши наблюдения за филином начаты в 1980 г. Материал собирался исключительно на пеших маршрутах. Неоднократно обследовались побережья озер Соркуль и Булухта, верховья р. Хара, а также спирейники в падинах к востоку от пос. Джаныбек. Озера Боткуль, Аралсор и берега речки Горькая посещались эпизодически. Основной массив данных собран в окрестностях оз. Эльтон – крупнейшего соленого озера Европы. На этой территории в 2001 г. основан природный парк «Эльтонский», в 2019 г. получивший статус биосферного резервата ЮНЕСКО.

В 1980 – 2004 гг., ежегодно, по несколько раз в гнездовой сезон, обследовались балки и речные долины северного Приэльтона в нижнем течении соленых рек Черная, Хара и Ланцуг. Для данного района характерны значительные перепады высот, развитая и глубоко врезанная речная и балочная системы, что создает идеальные условия для гнездования филина. Эта территория рассматривается нами как ключевая, так как материал, собранный здесь, позволяет экстраполировать данные, полученные при менее подробных обследованиях южного, восточного и западного Приэльтона (Bykov, 2005; Lindeman et al., 2005).

О присутствии филина и характере его пребывания можно судить по обнаруженным сидкам, дневкам и гнездам. С начала гнездового периода и около месяца после того, как молодые покинут гнездо, птицы держатся поблизости от гнездового участка. Наличие и состояние используемых сидок указывает на присутствие птиц. Количество и особенности дневок – на оседлый или временный характер их пребывания. Возраст, состояние и количество птенцов в гнезде позволяет прогнозировать численность птиц.

На ключевой территории поиск гнезд мы начинали во второй половине апреля. До 2004 г. значительная часть гнезд обследовалась 2–3 раза, что позволяло определить число яиц в кладке, установить сроки вылупления птенцов, оценить успех гнездования. Вне ключевой территории поиск и обследование гнезд филина мы осуществляли преимущественно в первой половине июня, когда птенцы готовы покинуть гнездо, и успех гнездования очевиден. В очень немногих случаях об успехе гнездования мы судили по встрече слетков, покинувших гнездо, но продолжавших держаться в пределах гнездового участка.

В период зимних кочевок распределение птиц изучалось на автомобильных и пеших маршрутах, а в населенных пунктах – опросным методом и собственными наблюдениями. Наиболее ценные сведения о характере гнездования и распределении филина в Приэльтоне в 1950 – 1970-х гг. мы получили от В. А. Лопушкова, местного краеведа, охотоведа, а в 1990-х гг. сотрудника Института лесоведения РАН.

Наблюдения за птицами проводились с использованием полевых биноклей КОМЗ БПЦ-2 (12×45) (Казанский оптико-механический завод, Россия), также были проанализированы фото- и видеоматериалы.

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

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По данным Л. Г. Динесмана (Dinesman, 1960) и К. С. Ходашовой (Khodashova, 1960), а также сообщений В. А. Лопушкова, до начала 1960-х гг. филин был обычен на гнездовье в озерных котловинах, в долинах речек и на развалинах хуторов среди комплексной равнины. К началу 1960-х гг. постройки, стены которых были сложены из самана или дерна, разрушились и филины ушли с пространств комплексной равнины, но продолжали использовать ее ресурс во время осенне-зимних кочевок. В настоящее время даже встреча филина на равнине летом, а тем более в гнездовой период, редкость. Нам известно лишь два случая. Так, по сообщениям местных жителей, в середине 1980-х гг. гнездо филина с взрослыми птенцами найдено в куче хвороста у лесной полосы в 8 км западнее пос. Джаныбек. Кроме того, начиная с 2003 г. филин в гнездовое время ежегодно отмечается в Государственных лесных полосах Джаныбекского стационара Института лесоведения РАН, а в 2007 г. здесь встречен нелетающий птенец из разошедшегося выводка. Гнезда обнаружить не удалось.

За 45 лет (с 1980 по 2024 г.) нами отмечено 249 случаев гнездования филина. В гнездовой период на невысоких берегах озер Булухта, Соркуль, в верховьях р. Хара и в нижнем течении р. Горькая птицы или следы их пребывания отмечаются не чаще чем на 10 – 12 км береговой линии. В указанных местообитаниях за все годы найдено только 7 гнезд, располагавшихся на пологих склонах и представлявших собой вытоптанную площадку под дерновиной или кустиком. Чаще гнезда (или следы их существования) обнаруживаются в местах выхода в озеро или речку балки или крупной ложбины стока.



Число гнезд филина в Приэльтонье в 1980 – 2024 гг.

Figure. Number of *Bubo bubo* nests in the Elton region in 1980–2024

На территории Приэльтонья (практически в границах природного парка) в 1980 – 2024 гг., нами обнаружены 232 гнезда филина (рисунок).

Они маркируются наличием хорошо выраженных сидок и дневок. Сидка – высокая точка на кромке обрыва или склона, где птицы отдыхают после охоты. На ней обычны пуховые перья филина, остатки добычи, погадки и кости из разложившихся погадок. Сидок чаще всего две-три; они расположены на расстоянии от 5 до 20 м друг от друга. Местоположение сидок, находящихся на гнездовом участке, не меняется по несколько лет. Филины охраняют приблизительно стометровый участок кромки обрыва с сидками и отгоняют от них других хищных птиц. Сидки не следует путать с обзорными точками на столбах, вышках и т.п. Птицы сидят здесь недолго, оглядываются, «поют». Днем эти же точки используют степные орлы. На закате мы несколько раз наблюдали, как филины и орлы по несколько раз сгоняли друг друга с геодезических реперов. Соперники ни разу не прикоснулись друг к другу, а только имитировали нападение. После захода солнца орлы улетали, а филин, занявший обзорную точку, покидал ее уже через 10 – 15 минут.

Дневка – дневное убежище одной птицы, располагается на середине затененного склона. Это неглубокая ниша, укрытая кустом или нависающей дерниной, с утоптаным днищем, 60 – 70 см в диаметре. Для нее характерно присутствие помета и перьев филина; погадок мало. В период гнездования дневки гнездящихся особей находятся поблизости от гнезда, и их редко бывает больше двух, но на длительно используемой гнездовой территории можно насчитать до десятка достаточного ярко выраженных прошлогодних дневок.

Гнездовые убежища сходны с дневками. В гнезде сильнее утоптанно ложе, больше помета, перьев филина и погадок, встречаются остатки пищи. Часто, в качестве гнездового убежища, используется прошлогодняя дневка. На яйцах и в гнезде, прикрывая неоперившихся птенцов, птица сидит очень плотно. Обычно это более крупная особь, очевидно самка. Когда наблюдатель, идущий по бровке склона, оказывается над ней, птица взлетает и садится в 100 – 150 м. Она не пытается увести наблюдателя от гнезда, как это описано в некоторых источниках (Shubenkin, 2016). Иногда рядом появляется вторая птица, вероятно, самец.

Максимальное количество яиц в кладке 4, обычно два – три, реже одно. За 45 лет наблюдений для 42 гнезд, для которых было известно количество яиц в кладке и зафиксирован выход птенцов, потерь не отмечено. Следовательно, случаев каннибализма не было. В двух гнездах, молодые которых покинули гнездо, найдено по два яйца-болтуна в каждом.

Первый птенец вылупляется в начале мая. Не потревоженный выводок покидает гнездо одновременно приблизительно в середине июня, но к этому времени старшие птенцы могут отходить от гнезда на два – три метра и сидеть отдельно. В конце июля – середине августа выводок распадается. Появляются сидки молодых птиц. Они маркируются немногочисленными пуховыми перьями, погадок на них нет или мало. Распределение таких сидок по балочно-долинной сети носит случайный характер.

С сентября часть птиц начинает откочевывать на комплексную равнину. Филины появляются в лесополосах, в спирейниках палин, у чабанских точек и в поселках. По сообщению В. А. Лопушкова, зимой 1950 – 1980-х гг. от двух до четырех птиц держалось в поселках Эльтон и Джаныбек, 1 – 3 птицы в пос. Венгеловка,

одна на хуторе Ченин. Здесь их иногда отстреливают. В эти же годы информатор отмечал филинов в крупных спирейниках к востоку от пос. Джаныбек; здесь же в 1980-е гг. мы встречали единичных филинов уже в начале сентября.

Создание искусственных древесных насаждений, разбросанных среди комплексной равнины, является важным для филина. В таких насаждениях осенью скапливаются пролетные и кочующие птицы; всю зиму держатся группы врановых, укрываются зайцы. В насаждениях Джаныбекского стационара 2 – 4 филина появляются уже в конце августа-сентябре. До сильных морозов они держатся в лесных полосах и на опушках массивных насаждений, где днем, в хорошую погоду, сидят на усохших вершинах высоких деревьев и наблюдают за окрестностями. В непогоду птицы перебираются на участки с густым древостоем.

Вокруг оз. Эльтон довольно много филинов остается на зиму. В это время в озерных депрессиях встречаются стаи серых куропаток, в незамерзающих полыньях соленых речек держатся утки (часто подранки). В низовьях этих же речек зимуют кряквы, иногда большими стаями (Lindeman et al., 2005). В середине ноября 1984 г. в низовьях речек Черная и Хара, на маршруте протяженностью около 15 км, отмечено 6 филинов. В 1986 г., когда уже лежал снег, на трехкилометровом маршруте вдоль р. Ланцуг поднято 4 птицы. В январе 1992 г. на этих же маршрутах отмечено 4 и 3 птицы. Создается впечатление, что зимой филинов значительно больше, чем летом. Однако это не так: дело в том, что зимой филины часто охотятся днем и хорошо заметны. Так в январе, в середине яркого солнечного дня, мы подняли филина с растерзанного им еще теплого зайца. В сильные морозы и на время метели птицы прячутся в зарослях тростника и в густых кустарниках.

Филин является видом с явно выраженной резидентной стратегией. Его гнездовые участки бывают двух типов (Lindeman et al., 2005). Резидентный гнездовой участок формируется в оптимальных для гнездования филина местообитаниях. Одна и та же пара птиц, с короткими перерывами, гнездится здесь до 20 лет подряд, а при отсутствии гнезда – держится на сидках и дневках. Поблизости от резидентного участка часто отмечается третья птица (очевидно молодая предыдущего года вылета). При исчезновении резидентной пары ее место быстро занимает новыми птицами. В резидентных группах успех гнездования высок. По данным за 1980 – 2004 гг., он составлял до 2.2 птенца в год на каждую пару (Lindeman et al., 2005). Резидентный гнездовой участок птицы покидают только в случае его физического нарушения (пожар, интенсивная эрозия склонов) или в результате возрастания антропогенного воздействия (частые посещения человеком, интенсивный выпас скота).

Дополнительный гнездовой участок формируется на расстоянии не более километра от резидентного. Здесь птицы гнездятся не чаще, чем 3 – 4 года подряд, а в некоторые годы не отмечается даже следов пребывания филина. Почти все дополнительные участки зафиксированы на ключевой территории северного Приэльтона, и их наличие отражает возрастание антропогенного давления на популяцию птицы. Дело в том, что с конца 1960-х гг. в северном Приэльтоне хозяйственная деятельность ограничивалась покосами и ограниченным выпасом крупного и мелкого рогатого скота; чабанских хозяйств не было. Поэтому на ключевой террито-

рии (долины рек Черная, Ланцуг и низовья Хара), к 1980-м гг., а вероятно и ранее, существовало пять резидентных гнездовых групп филина. Уже к концу 1980-х гг. выпас рогатого скота здесь возрос кратно. В 1990-х гг. на ключевой территории появилось три чабанских точки, стало развиваться коневодство и верблюдоводство. Потревоженные птицы начали покидать свои гнездовые участки.

Таким образом – и это видно по материалам, собранным на ключевой территории в 1980 – 2004 гг. – дополнительный гнездовой участок образует с резидентным единую динамичную систему (Lindeman et al., 2005). В половине случаев на нем гнездится взрослая пара, по тем или иным причинам покинувшая свой резидентный участок. Успех гнездования в таком случае относительно высок – до 1.8 птенца / год. Однако столь же часто на дополнительном участке гнездится молодая пара, успех гнездования которой составляет 1.1 птенца / год. В последнем случае возникает необычная ситуация – две пары филинов, одна на резидентном, а другая на дополнительном участке, одновременно гнездятся на расстоянии менее километра друг от друга. Такое положение не могло продолжаться долго и, так как антропогенная нагрузка на территорию только росла, уже к началу 2000-х гг. большая часть резидентных и дополнительных участков ключевой территории птицами не использовалась (Lindeman et al., 2005). Лишь два гнездовых участка, расположенные на почти отвесных склонах, функционировали до начала 2010-х гг. и погибли в результате обвалов, спровоцированных пасущимся наверху скотом (табл. 1).

Таблица 1. Гнездовые группы и участки филина, выявленные в Приэльтоне, и число случаев гнездования, зафиксированных в 1980 – 2024 гг.

Table 1. *Bubo bubo* nesting groups and sites identified in the Elton region and the number of nesting events recorded in 1980–2024

№ группы / Group No.	Долинно-балочная система; номера гнездовых участков / Valley-balley system; nest site numbers	Начало регулярных наблюдений / Commencement of regular observations	Окончание функционирования гнездового участка / End of nesting site functioning	Причина исчезновения гнездового участка / Cause of the nesting site disappearance	Число гнезд / Number of nests
1	2	3	4	5	6
I	р. Черная; 1 А – обрыв, 2 Б – ручей / Chernaya river; 1 A – cliff, 2 B – stream	1980	2011	Чрезмерный выпас / Overgrazing	32
II	р. Хара, Лисья балка; 3 А – балка, 4 Б – долина / Khara river, Lysya balka; 3 A – gully, 4 B – valley	1980	2007	Чабанская точка, выпас, пожар / Shepherd's point, grazing, fire	25
III	р. Хара, Чертов мост; 5 А – долина, 6 Б – долина / Khara river, Chertov bridge; 5 A – valley, 6 B – valley	1980	2005	Пожар / Fire	18
IV	р. Хара; 7 А – обрывы, 8 Б – долина / Khara river; 7 A – cliffs, 8 B – valley	1980	2001	Оползни, пожар / Landslides, fire	13

Окончание табл. 1
Table 1. Continuation

1	2	3	4	5	6
V	р. Ланцуг; 9 А – обрыв (левый берег), 10 Б – долина (правый берег) / Lantsug river; 9 A – cliff (left bank), 10 B – valley (right bank)	1980	2008	Оползни / Landslides	28
VI	р. Ланцуг, верховье; 11 А – обрывы, позже – над обрывом / Lantsug river, upper reaches; 11 A – cliffs, later – above the cliff	2002	Функционирует / Functioning		20
VII	Пресный ключ; 12 А – балка / Freshwater wrench; 12 A – beam	2011	2018	Чрезмерный выпас / Overgrazing	7
VIII	р. Солянка; 13 А – долина, 14 Б – обрывы / Solyanka river; 13 A – valley, 14 B – cliffs	1980	2016	Высокая посещаемость человеком, оползни / High human attendance, landslides	43
IX	Балка Карантинная; 15 А – балка / Quarantine beam; 15 A – beam	1980	Функционирует / Functioning		37
Всего случаев гнездования / Total cases of nesting					223

Примечание. А – резидентный гнездовой участок, Б – дополнительный.

Note. A – resident breeding site, B – additional breeding site.

Помимо вышеописанных, на исследуемой территории отмечаются «случайные» гнездовые участки. Они располагаются в «неудобьях» – на относительно пологих склонах второй озерной террасы, в неглубоких балочках, в воронках солевого карста. Присутствие таких гнезд трудно предсказать и, поэтому их можно найти только при подробнейшем обследовании склонов. За годы исследований обнаружено 9 таких гнезд, в одном из них был один птенец, в шести по два птенца, в двух по три. Успех гнездования, таким образом, низок – 0.7 птенца на гнездящуюся пару. Очевидно, что это гнезда молодых пар. Повторное гнездование филина на «случайных» гнездовых участках не отмечено.

В северном Приэльтоне (вне ключевой территории) в 2002 г. обнаружен еще один резидентный гнездовой участок, расположенный в среднем течении р. Ланцуг. Он находится у самой границы природного парка (данные об этом участке не вошли в публикацию 2005 г.). Здесь существует мощная и разветвленная балочная сеть, в значительной степени возникшая в результате попытки создать каскад искусственных прудов. Многие балки имеют крутые или обрывистые склоны. Филин гнезвился здесь с 2002 по 2023 г. (и наверняка раньше), несмотря на то, что в 2006 г. поблизости возникла чабанская точка и начался интенсивный выпас скота. Гнезда располагались на крутых склонах и обрывах. С 2018 г. характер гнездования филина принципиально изменился. Гнезда стали создаваться на ровной поверхности – над обрывом. Одно гнездо находилось даже в 5 м от обрыва. Такие гнезда

были не прикрыты сверху и доступны хищникам, скоту, человеку. Птица, поднятая с такого гнезда, сразу улетала далеко в сторону. Лишь в 2018 г. гнездование такого типа завершилось благополучно. В 2019 – 2020 гг. в таких гнездах погибли птенцы, а в 2021 – 2023 гг. кладки. В 2024 г. гнездо в этом урочище не найдено. Однако над обрывом, там, где обычно и строилось гнездо, отмечены многочисленные сидки филина и места его кормежки. В июне здесь найдены остатки курганника и степного орла (взрослых!), трех или четырех чаек, пеганки и серой куропатки. Остатки чаек и уток найдены и в других местах этой балочной системы. Степной орел, да и взрослый курганник, как жертвы филина обнаружены нами впервые. За 45 лет наблюдений нами известно лишь два случая добычи филином луны и три случая слетка курганника. Возможно, эта находка говорит о крайнем дефиците кормовой базы филина, что и определяет снижение его численности к началу 2020-х гг.

С 1980 г. обследовалась территория северо-западного побережья озера, включая балочные системы урочища Пресный ключ, р. Солянка, балки урочища Кордон. Любопытно, что гнездовой участок в балке Пресный ключ сформировался на наших глазах и, несмотря на краткость своего существования, фактически являлся резидентным. Здесь густые кустарниковые сообщества препятствовали гнездованию филина. После пожаров, уничтоживших кустарники, филин загнезвился здесь в 2012 г. Однако в балке зимой стали укрываться лошади, а летом коровы пробили тропу по всему тальвегу. В 2018 г. филин покинул это урочище.

Резидентный гнездовой участок филина в низовьях р. Солянка стал широко известен, и гнездо часто посещали люди. В результате птицы покинули участок в 2016 г. Дополнительный гнездовой участок филина на крутых обрывах выше по балке р. Солянка функционировал в 1994 – 2004 гг. и погиб в результате обрушения склона.

На относительно низких восточном и южном побережьях озера гнездовых участков филина выявлено немного. Балки здесь открываются непосредственно в озеро и большинство из них невелики. Вдоль восточного побережья проходит железная дорога и расположен пос. Эльтон. Гнезд здесь не встречено, а эпизодическое присутствие филина отмечалось лишь в Сорочьей балке. По сведениям В. А. Лопушкова, в 1960 – 1980-х гг. выводки филина несколько раз встречены в верховьях р. Большая Сморогда (восточнее пос. Эльтон). Нами гнезд филина здесь не найдено, но в 2005 г. встречен выводок плохо летающих слетков.

На южном побережье озера существует несколько длинных балок с довольно крутыми склонами. Нами регулярно обследовался гнездовой участок филина в Карантинной балке. Здесь в 1980 – 2017 гг. филин гнезвился в классических гнездовых нишах на крутых невысоких склонах. С 2018 г. и здесь появились аномальные гнезда. Они располагались на довольно пологих участках склона, не имели сколько-нибудь выраженной ниши и представляли собой слабо утоптанную площадку, не прикрытую сверху. Кладка и птенцы хорошо просматривались с противоположного склона балки. И здесь поднятые с гнезда птицы сразу скрывались с глаз наблюдателя. В 2022 и 2023 гг. кладки были покинуты птицами в середине срока насиживания. В 2024 г. филин в этой балке уже не гнезвился.

Всего за 45 лет наблюдений зафиксировано лишь 11 ситуаций, когда погибли кладки или птенцы не покинули гнездо. Конечно, число таких случаев больше,

поскольку некоторое количество гнезд погибает в начале периода гнездования и нами не фиксируется. Два гнезда погибло по вине человека в конце 1980-х гг.: взрослые птицы были отстрелены и ощипаны, а выводки увезены человеком. Известно, что у казахов перья и когти филина используются как обереги (Bayakhmetova, 2022). За годы работы мы несколько раз сталкивались с содержанием филина в неволе. На вопрос «Зачем?» хозяева отвечали однозначно: «Красиво поют». Такие птицы обычно перекармливались и жили не более 2–3 лет. Остальные 9 случаев гибели гнезд приходятся на последние годы и связаны с описанным выше атипичным гнездованием. Мы уже подчеркивали, что до конца 2010-х гг., даже в случае неоднократного посещения гнезда, птицы не покидали кладок с яйцами на любой стадии насиживания и тем более не оставляли птенцов. После 2017 г. на разных резидентных участках 5 кладок, обнаруженных нами в конце апреля, т.е. незадолго до конца насиживания, были немедленно покинуты. Впоследствии яйца лежали рядом с гнездом, причем их содержимое было изъято через аккуратные проклюнутые отверстия около 2 см в диаметре. Они явно не были украдены у хозяев, а неспешно потреблены врановыми птицами на месте. Два атипичных гнезда с пуховыми птенцами были разрушены лошадьми, а в двух случаях уже оперившиеся птенцы погибли по неизвестной причине, причем их мумифицированные тела были найдены в 3 – 6 м от гнезда.

В целом в Приэльтоне, на нынешней территории природного парка «Эльтонский», за 45 лет наблюдений нами выявлено 15 постоянных гнездовых участков филина (резидентных и дополнительных), которые образовывали девять пространственных гнездовых групп (см. табл. 1). 223 гнезда (96%) были отмечены именно на этих гнездовых участках. Из них в 212 случаях молодые благополучно покинули гнездо. В среднем в год гнездо покидают две молодых птицы (табл. 2).

Таблица 2. Средние многолетние характеристики результатов гнездования филина в Приэльтоне

Table 2. Long-term average characteristics of owl nesting results in the Elton region

Показатель / Indicator	Период наблюдений / Observation period		
	1980 – 2004	2005 – 2024	1980 – 2024
Всего гнезд, обнаруженных в Приэльтоне / Total nests found in the Elton region	148	84	232
«Случайные» гнезда молодых птиц / “Accidental” nests of young birds	9	0	9
Количество гнезд на резидентных и дополнительных участках / Number of nests on the resident and additional sites	139	84	223
Количество погибших или уничтоженных гнезд / Number of dead or destroyed nests	2	9	11
Количество гнезд, в которых гнездование завершилось благополучно / Number of nests where nesting was completed safely	137 (93%)	75 (89%)	212 (91%)
Среднее число гнезд в год / Average nest number per year	5.6	4.2	5.2
Среднее число яиц в кладке / Average number of eggs per clutch	2.4	2.2	2.1
Среднее число молодых, покидающих гнездо / Average number of young birds leaving their nest	1.7	2.0	2.0
Число успешных гнездований в год (212 гнезд на гнездовых участках) / Number of successful nests per year (212 nests at the nest sites)	5.5	3.8	4.7

Таким образом, среднее число успешно завершённых гнездований составляет 4,7, а ежегодный прирост – 9,4 птицы в год. Учитывая, что смертность молодых, рассчитанная для Центральной Европы (Rockenbach, 1978; цит. по: Voronetsky, 1994) составляет 0,44, а вероятность дожития молодой птицы до следующего года – 0,67, ежегодно в Приэльтоне появляется 5,3 сеголетка и 3,6 двухлетних филина. Так как за 45 лет в среднем здесь гнездились 5,2 пары в год (см. табл. 2), то ежегодно в популяции присутствует более 19 птиц, из которых около 14 половозрелых особей.

В реальности эти цифры варьируют. Так, с 1980 по 2017 г. на территории природного парка ежегодно гнездились от 3 до 9 пар филинов, причем максимальное число гнездящихся пар приходилось на 2003 – 2007 гг., т.е. на время, когда функционировало 12–13 гнездовых участков. После 2017 г. на обследуемой территории нами отмечено лишь два функционирующих гнездовых участка, причем кладки или птенцы на этих участках гибнут.

Характерно, что на ключевой территории северного Приэльтонья (междуречья низовий рек Черная – Ланцуг) с ее максимально расчлененным рельефом и обилием местообитаний, оптимальных для гнездования филина, к началу 1980-х гг. существовало 5 гнездовых групп этой птицы, причем каждая группа состояла из двух гнездовых участков – резидентного и дополнительного. За 25 лет наблюдений (1980 – 2004 гг.) на этой относительно небольшой территории было отмечено около 40% от общего числа гнезд филина, зафиксированных во всем Приэльтоне за 45 лет (Lindeman et al., 2005). Однако именно ключевая территория уже с начала 1990-х гг. стала подвергаться интенсивному антропогенному прессингу, что вначале привело к появлению дополнительных гнездовых участков, а к концу 2000 гг. – к исчезновению всех гнездовых групп. Стоит обратить внимание на то, что «случайные» (одноразовые) гнездовые участки, неожиданно появляющиеся в биотопах, малопригодных для гнездования филина, отмечались именно в эти годы.

Подчеркнем, что филины, отмеченные в Приэльтоне, в пределах озерной депрессии и прилегающих участках комплексной равнины (фактически в пределах территории природного парка «Эльтонский») образуют всего лишь локальную популяционную группу. Эта группа формируется в оптимальных для вида условиях максимально расчлененного рельефа и биотопического разнообразия. К этой группе непосредственно примыкают особи, гнездящиеся в долинах и балочных системах длинных соленых рек, впадающих в озеро, но начинающихся за пределами озерной депрессии. Из-за большой протяженности нами недостаточно обследованы верховья Б. Сморогды и Ланцуга, а главное – среднее течение почти 30-километровой р. Хара с впадающими в нее значительными балками. Грубо длину этих частей долин и крупных балок мы оцениваем в 50 км. Глубина врезки долин и балок здесь невелика, а участки с крутыми склонами немногочисленны. Гнезд мы здесь не находили, но выводки отмечали в верховьях рек Хара, Б. Сморогда и в низовьях балки Худушная. Таким образом, в среднем и в верхнем течении этих рек (прежде всего р. Хара) может гнездиться не более 5 пар птиц. Так как гнездование филина возможно и в крупных искусственных насаждениях, то эльтонско-харинскую популяцию филина, в 1980 – середине 2010-х гг., можно оценить приблизительно не более, чем в 20 – 25 взрослых птиц и в 40 однолетних и двухлетних

особей, причем в особо благоприятные периоды. Отметим, что соответствующие цифры приводят и другие авторы (Chernobay, 2005; Bukreev, Chernobay, 2006).

С начала 2010-х гг. усиление антропогенного прессинга на всей территории Приэльтона привело к снижению численности филина (Gugueva et al., 2015). Катастрофических размеров это снижение достигло к началу 2020-х гг., когда все известные нам гнездовые участки были покинуты птицами.

Разумеется, это не значит, что филин исчез на территории природного парка. В апреле и начале июня 2024 г. при обследовании долин рек, балок северо-западного, северо-восточного и южного побережья озера авторы статьи не подняли ни одной птицы. Тем не менее, практически везде были отмечены единичные перья и погадки. В середине июля в одной из балок найдена свежая дневка со следами присутствия минимум двух слетков и взрослой птицы. В другой балке были подняты два еще плохо летающих молодых филина из разошедшегося выводка (скорее всего разогнанного человеком или скотом). В обоих случаях ни гнездовых ниш, ни сколько-нибудь четких сидок птиц поблизости нет. Очевидно, что к 2020-м гг. филины стали покидать свои обычные гнездовые участки.

Снижение численности филина до некоторой степени можно объяснить тем, что малый суслик, ранее составлявший значительную часть кормовой базы филина, уже в начале XXI в. покинул пространства озерных депрессий, но все еще присутствует на комплексной равнине. Тем не менее, многочисленные случаи атипичного гнездования, приводящие к гибели кладок и птенцов, зафиксированные после 2017 г., вынуждают нас рассмотреть и другие возможные причины. Первая из них – это резкое усиление негативных антропогенных воздействий на популяцию филина. Такое воздействие может привести к серьезным нарушениям всего гнездового поведения, начиная с выбора места для гнезда и кончая особенностями насиживания и защиты кладки и птенцов.

Мы можем предложить и другое объяснение появления атипичных гнезд. За последние десятилетия в полупустынное Заволжье активно проникают (или возвращаются) многие виды хищных птиц (Lindeman et al., 2005). Возможно, что в Приэльтоне происходит смена подвида филина. В Волжско-Уральском междуречье, по данным В. И. Воронцовского (Voronetsky, 1994), граничат два подвида: *Bubo bubo ruthenus* Zhitkov et Buturlin и *B. b. turcomanus* Eversmann. Первый из них относится к европейской группе палеарктических видов, а второй – к азиатской. В 1972 г. В. С. Залетаев, рассматривая уже оперившихся птенцов в гнезде, найденном на оз. Эльтон, подчеркивал, что детали их окраски такие же, как у птиц прибрежной зоны Северного и Восточного Каспия. Не вступая в дискуссию о том, какой именно подвид обитает в Приэльтоне, можно констатировать, что для него был свойственен азиатский тип раскраски. Возможно, что в настоящее время на территорию стал проникать европейский подвид, который еще не успел адаптироваться к местным условиям, что и приводит к появлению атипичных гнезд.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на то что филин – эвритопный вид, обитающий в различных природно-климатических зонах, он практически повсеместно редок и распространение

его локально. В условиях рассматриваемого региона одной из причин этого является дефицит мест, пригодных для гнездования. Популяционная группа филина, приуроченная к Эльтонской озерной депрессии, находится в максимально благоприятных условиях обитания. Здесь количество мест, оптимальных для гнездования этой птицы, максимально. Эта группа является ядром эльтонско-харинской популяции филина, так как в среднем и в верхнем течении р. Хара и впадающих в нее балках условия гнездования существенно хуже. Относительно неблагоприятные условия для гнездования филина – низкие и пологие берега, неразвитость балочной системы и отсутствие речных долин характерны и для соседних мест обитания филина: озер Боткуль, Булукта, Соркуль. Очевидно, что именно филины Приэльтонья постоянно «подпитывают» группировки филина вокруг этих озер. Поэтому популяционная группа филинов Приэльтонья в значительной степени обеспечивает сохранение этого вида на всей территории северо-западного Заволжья.

Филин крайне чувствителен к фактору беспокойства и наименее адаптирован к антропогенным воздействиям (Chernobay, 2005; Amosov, 2012; Ilyukh, 2017; Fedosov, 2021). В последние десятилетия, несмотря на то что филины обитают на территории природного парка, они особенно страдают от последствий хозяйственной деятельности и прямого воздействия человека. С начала мая парк посещают многочисленные туристы, которые вольно или невольно тревожат птиц, спугивают их с гнезд, что приводит к тому, что птицы покидают гнездовую территорию. Интенсивный выпас скота, создание чабанских точек, пожары, частый проезд автотранспорта также беспокоит птиц.

Охранный статус филина предусматривает мониторинг состояния его популяций. Будучи крупным хищником, филин является индикатором, который характеризует устойчивость трофических связей в экосистеме в целом. Современное состояние приэльтонской популяции филина наглядно демонстрирует не только эти связи, но и практически все экологические, природоохранные и хозяйственные проблемы, возникающие на особо охраняемых природных территориях в современных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

Amosov P. N. The eagle owl *Bubo bubo* near Lake Baskunchak. *The Russian Journal of Ornithology*, 2012, vol. 21, express-iss. 825, pp. 3144–3147 (in Russian).

Bayakhmetova E. E. Amulets of the Kazakh people (symbols, signs, philosophy). *Vestnik nauki*, 2022, vol. 2, no. 1 (46), pp. 4–10 (in Russian).

Belik V. P. Current expansion of the Barn Owl (*Tyto alba*) (Tytonidae, Aves) in Northern Eurasia. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2024, no. 2, pp. 129–151 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2024-2-129-151>

Bukreev S. A., Chernobay V. F. Birds of Prieltonya. In: *Bioraznoobrazie i problemy prirodopol'zovaniya v Priehl'ton'e. Pod red. V. F. Chernobaya* [Chernobay V. F., ed. Biodiversity and problems of nature management in Prieltonya]. Volgograd, PrinTerra, 2006, pp. 59–74 (in Russian).

Bykov A. V. *Bubo bubo* (L.) in the Trans-Volga loamy semidesert. In: D. S. Pavlov, ed. *Bioresources and Biodiversity of Volga Ecosystems: Their Past, Present, Future: Proceedings of the International Meeting*. Saratov, Saratov State University Publ., 2005, pp. 150–151 (in Russian).

Chernobay V. F. Distribution, ecology and numbers of owls in Volgograd Region. In: *Owls of the Northern Eurasia*. Moscow, Russian Bird Conservation Union Publ., 2005, pp. 260–263 (in Russian).

Dinesman L.G. *Izmenenie prirody severo-zapada Prikaspiiskoi nizmennosti* [Environmental Change in Northwestern Caspian Depression]. Moscow, Izdatel'stvo AN SSSR, 1960. 160 p. (in Russian).

Doskach A.G. *Prirodnoe raionirovanie Prikaspiiskoi polupustyni* [Natural Zoning of Caspian Semi-desert]. Moscow, Nauka, 1979. 142 p. (in Russian).

Fedosov V. N. The eagle owl *Bubo bubo* in the Stavropol Krai. *The Russian Journal of Ornithology*, 2021, vol. 30, express-iss. 2048, pp. 1338–1346 (in Russian).

Gugueva E. V., Sokhina E. N., Kolyakina N. N., Chernobay V. F. The role of natural parks in the conservation of rare and endangered species of birds on the territory of Volgograd region. In: *Sustainable Development of Specially Protected Natural Areas: Collection of Articles of the II All-Russian Scientific and Practical Conference*. Sochi, Donizdat, 2015, vol. 2, pp. 89–96 (in Russian).

Ilyukh M. P. The eagle owl *Bubo bubo* in the Stavropol Krai. *The Russian Journal of Ornithology*, 2017, vol. 26, express-iss. 1397, pp. 299–323 (in Russian).

Khodashova K. S. *Prirodnaya sreda i zhivotnyi mir glinistykh polupustyn' Zavolzh'ia* [Natural Environment and Fauna of Clay Semideserts of the Trans-Volga Region]. Moscow, Izdatel'stvo AN SSSR, 1960. 140 p. (in Russian).

Lindeman G. V., Abaturov B. D., Bykov A. V., Lopushkov V. A. *Dinamika naseleniya pozvonochnykh zhivotnykh Zavolzhskoi polupustyni* [Dynamics of the Vertebrate Animal Population in Semidesert of the East of the Volga River]. Moscow, Nauka, 2005. 252 p. (in Russian).

Oparin M. L. *Anthropogenic Transformation and Natural Restoration of Biota of Agricultural Landscapes of the Lower Volga Region and Transcaucasia*. Diss. Dr. Sci. (Biol.). Moscow, 2007. 340 p. (in Russian).

Rode A. A., Pol'skii M. N. Soils of Dzhnybek station: Morphology, structure, grain size and chemical composition). *Proceedings of V. V. Dokuchaev Soil Science Institute*, 1961, vol. 56, pp. 3–214 (in Russian).

Sapanov M. K. Peculiarities and ecological consequences of climate warming in the Northern Caspian semi-desert. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2021, no. 1, pp. 64–78. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2021-1-64-78>

Sapanov M. K., Sizemskaya M. L. Climate changes and the virgin vegetation dynamics in the Northern Caspian Lowland. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2015, no. 3, pp. 307–320 (in Russian).

Sazhin A. N. *Prirodno-klimaticheskii potentsial Volgogradskoi oblasti. Nauchnoe issledovanie prirodno-klimaticheskikh resursov oblasti za 100-letnii period* [Natural-climatic Potential of Volgograd Region. Scientific Research of Natural-Climatic Resources of the Region for 100-year Period]. Volgograd, Volgograd Agricultural Institute Publ., 1993. 28 p. (in Russian).

Shubenkin V. P. To breeding biology of the eagle owl *Bubo bubo* in the South-East Ustyurt (Turkmenistan). *The Russian Journal of Ornithology*, 2016, vol. 25, express-iss. 1288, pp. 1841–1842 (in Russian).

Voronetsky V. I. Status of populations of different subspecies of the Eagle Owl in anthropogenic landscapes. In: *Eagle Owl in Russia, Belorussia, and Ukraine*. Moscow, Moscow University Press, 1994, pp. 139–197 (in Russian).

**Eagle owl (*Bubo bubo* L.) (Strigiformes, Aves)
in the clay semi-desert of the Trans-Volga region**

A. V. Bykov , A. V. Kolesnikov

*Institute of Forest Science, Russian Academy of Sciences
21 Sovetskaya St., Uspenskoe village, Moscow region 143030, Russia*

Received: March 14, 2024 / revised: May 25, 2024 / accepted: May 25, 2024 / published: March 31, 2025

Abstract. Nesting features and the ecology of the eagle owl (*Bubo bubo* L.) in the northwestern part of the Trans-Volga clay semi-desert were studied in 1980–2024. Here, during the breeding season, the eagle owl is associated with local habitats of lake depressions and river valleys, and its nests are confined to steep slopes. Our main material was collected in a deep depression of the lake Elton (mainly on the territory of the Elton Nature Park), where 232 nesting cases were recorded in 1980–2024. 9 resident breeding sites have been identified there, where eagle owls have been nesting for many years in succession. With the development of farm cattle breeding, additional ones began to arise in the vicinity of some resident sites, forming a united nesting group with the resident. They were inhabited by couples disturbed in the residential areas, and, after their departure, young birds. All the nesting groups represented by resident and additional nesting sites were no longer functioning by the 2010s. When there were 5 to 9 breeding sites in the Elton region in 1980–2017 and 3 to 9 pairs nested annually, then only 2 breeding sites were noted in 2018–2023, almost all the nests of these pairs having been destroyed by cattle. The eagle owl population group, confined to the Elton Lake depression, is the core of the Elton–Khara population, since the conditions for eagle owl nesting are poor in the middle and upper reaches of the Khara River and the gullies flowing therein. For 45 years, an average of 5.2 pairs per year nested there and more than 19 birds (about 14 mature individuals) were present in the population annually. It is obvious that it is the Elton–Khara population that constantly “feeds” the eagle owl groups around the lakes Botkul, Bulukhta and Sorkul, which largely ensures the preservation of the species throughout the northwestern Trans-Volga region.

Keywords: eagle owl, nesting, clay semi-desert, Elton region, Caspian lowland

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: Bykov A. V., Kolesnikov A. V. Eagle owl (*Bubo bubo* L.) (Strigiformes, Aves) in the clay semi-desert of the Trans-Volga region. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2025, no. 1, pp. 3–17 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2025-1-3-17>

 *Corresponding author.* Laboratory of Forest Zoology of the Institute of Forestry Science, Russian Academy of Sciences, Russia.

ORCID and e-mail addresses: Alexandr V. Bykov: <https://orcid.org/0000-0001-9891-5150>, a.v_bykov@mail.ru; Alexandr V. Kolesnikov: <https://orcid.org/0000-0003-0814-1812>, wheelwrights@mail.ru.

Оригинальная статья

УДК 582.594.2

<https://doi.org/10.35885/1684-7318-2025-1-18-30>

СТРУКТУРА ПОПУЛЯЦИЙ И РЕПРОДУКТИВНЫЙ УСПЕХ *CYPRIPEDIUM CALCEOLUS* (ORCHIDACEAE, LILIOPSIDA) НА КАРСТОВЫХ ЛАНДШАФТАХ ЮЖНОГО ТИМАНА (РЕСПУБЛИКА КОМИ): ВЛИЯНИЕ ЭКСПОЗИЦИИ СКЛОНА

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 04.03.2024 г., после доработки 15.05.2024 г., принята 15.05.2024 г., опубликована 31.03.2025 г.

Аннотация. Изучено влияние экспозиции склона на структуру популяций, морфометрические особенности и репродуктивные характеристики редкой орхидеи *Cypripedium calceolus* L. на карстовых ландшафтах Южного Тимана на территории природного заказника «Параськины озера» (северо-восток европейской части России). В 2023 г. обследовано шесть популяций вида на карстовых формах рельефа: пять – на склонах разной экспозиции, одна – на равнинном участке. Выявлено, что наиболее крупные популяции вид образует на склонах западной и северо-западной экспозиции. Во всех популяциях отмечены поврежденные заморозками генеративные побеги, на западных склонах их доля составляет более 50%. Экспозиция склона влияет на морфометрические показатели побегов и семян. Завязываемость плодов связана как с погодными условиями, так и с экспозицией: на холодных северо-западных склонах отмечена наименьшая эффективность опыления, на южных – самая высокая. Выявлено уменьшение реальной семенной продуктивности плода по мере изменения ориентации склонов с севера в сторону юга (от 9861 до 3761 шт.), что связано с недоразвитием части семян. Средняя реальная семенная продуктивность генеративного побега на карстовых выходах Южного Тимана составила 1292 шт. (от 985 до 1769 шт. в разных популяциях). Наравне с вегетативным возобновлением, характерным для данного вида, в изученных популяциях отмечено и семенное, о чем свидетельствует наличие в них ювенильных особей, доля которых варьирует от 1 до 13.5%.

Ключевые слова: орхидные, карстовые выходы, завязываемость плодов, семенная продуктивность.

Финансирование. Работа выполнена в рамках госзадания Института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН (№ 12125021902460-2).

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

✉ 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.

Для цитирования. Кириллова И. А., Кириллов Д. В. Структура популяций и репродуктивный успех *Cypripedium calceolus* (Orchidaceae, Liliopsida) на карстовых ландшафтах Южного Тимана (Республика Коми): влияние экспозиции склона // Поволжский экологический журнал. 2025. № 1. С. 18 – 30. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2025-1-18-30>

ВВЕДЕНИЕ

Семейство Орхидные – одно из наиболее интересных семейств покрытосеменных растений, представители которого отличаются своеобразной биологией и необычайной декоративностью. Орхидные являются своеобразными «индикаторами» состояния экосистем (Gale et al., 2018), они особенно чувствительны к изменениям среды обитания и первыми выпадают из состава фитоценозов при любых антропогенных нагрузках (Swarts, Dixon, 2009; Fay et al., 2015). Редкость и уязвимость орхидей связана с особенностями их биологии, такими как уникальные репродуктивные стратегии, специфические взаимодействия с микоризными грибами и опылителями, специализированные требования к условиям среды обитания. Для эффективных природоохранных мероприятий необходимы сведения о биологии и экологии этих видов, где, несмотря на пристальное внимание к этой группе, до сих пор остается много белых пятен.

Cypripedium calceolus L. – один из наиболее угрожаемых видов орхидей в Европе, численность которого значительно снизилась за последние два десятилетия (Terschuren, 1999; Jakubska-Busse et al., 2021). Во многом это связано с внешними факторами, вызывающими нарушения условий среды обитания (Nicolè et al., 2005), а также высокой декоративностью. Исследования последствий изменения климата на *C. calceolus* обнаружили, что к 2070 г. его ареал сократится примерно на 30 – 63% (Kolanowska, Jakubska-Busse, 2020). Для того чтобы предотвратить дальнейшее сокращение популяций этого вида необходимы сведения о его биологии и экологии.

Целью данной работы стало изучение особенностей биологии *C. calceolus* на карстовых ландшафтах Южного Тимана (в пределах государственного природного заказника федерального значения «Параськины озера»), где до этого подобных исследований не проводилось, а также выявление влияния экспозиции склонов на структуру популяций, морфометрические особенности побегов и репродуктивный успех этого вида.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Cypripedium calceolus – евразийский бореальный вид, относящийся к короткостебельной жизненной форме. Несмотря на широкое распространение, вид редок по всему ареалу, включен в списки охраняемых растений России (The Red Data Book..., 2008) и стран Европы (Kull et al., 2016; Jakubska-Busse et al., 2021). В Республике Коми (северо-восток европейской части России) находится на северной границе своего распространения (Kirillov, Kirillova, 2019). Наряду с вегетативным размножением, характерным для данного вида (Kull, 1999; Brzosko, 2002), в регионе отмечено активное семенное возобновление (Kirillova et al., 2012). Цветки

этого вида относятся к типу гомогамных полуловушек с обманной аттракцией, а аттрактантом считается сладкий запах губы цветка. Основными опылителями вида в регионе являются *Lasioglossum fulvicorne* (Kirby), *L. calceatum* (Scop.) и *Andrena lapponica* Ztt. (Kirillova et al., 2012).

Исследования проводили в 2023 г. на территории федерального заказника «Параськины озера», расположенного в Ухтинском административном районе Республики Коми. Заказник находится на отрогах древней низкогорной системы – Тиманского кряжа (на юго-западном склоне Южного Тимана), характеризующейся специфическим рельефом, геологическим строением и развитием карста. Климат в районе исследований континентальный умеренно холодный с продолжительной и довольно суровой зимой и коротким, но сравнительно теплым летом. Среднегодовая температура составляет -2°C . Продолжительность безморозного периода – 80 – 90 дней. Период с устойчивыми низкими температурами (ниже -5°C) держится около 150 дней, заморозки возможны и в летнее время. Вегетационный период (выше 5°C) продолжается 132 дня, выше 10°C – 90 дней. Район Тиманского кряжа отличается повышенным годовым количеством осадков, в среднем за год выпадает – 600 – 700 мм осадков (Biological Diversity..., 2024).

Обследовано шесть популяций вида в местах распространения карстовых форм рельефа: четыре – на склонах карстовых воронок разной экспозиции, по одной – на известняковом склоне на берегу реки Ухта и на облесенном равнинном участке в зоне формирования карстовых воронок (табл. 1).

Таблица 1. Местонахождения изученных популяций (ЦП) *Cypripedium calceolus* на Южном Тимане

Table 1. Locations of the *Cypripedium calceolus* populations (CP) studied in the Southern Timan

ЦП / CP	Координаты / Coordinates	Местообитание / Habitat	Экспозиция / Slope exposure
1	63.433° N 52.972° E	Разнотравно-зеленомошный склон на правом берегу р. Ухты / Herbaceous-green-mossy slope on the right bank of the Ukhta river	Северо-западная / Northwestern
2	63.343° N 52.888° E	Облесенный кустарничково-разнотравно-зеленомошный склон карстовой воронки / Deforested shrubby-brushy-grassy-green-mossy slope of a karst sinkhole	Западная / Western
3	63.345° N 52.893° E	Облесенный разнотравно-зеленомошный склон карстовой воронки / Deforested herbaceous-green-mossy slope of the karst sinkhole	Западная / Western
4	63.331° N 52.914° E	Разнотравно-зеленомошный склон карстовой воронки / Herbaceous-green-mossy slope of the karst sinkhole	Юго-западная / Southwestern
5	63.341° N 52.888° E	Облесенный кустарничково-разнотравный лишайниково-зеленомошный склон карстовой воронки / Wooded shrubby-different herbaceous lichen-green-mossy slope of karst sinkhole	Южная / Southern
6	63.330° N 52.905° E	Облесенная разнотравно-зеленомошная терраса в зоне формирования карстовой воронки / Deforested grass-green-moss terrace in the area of karst sinkhole formation	–

При их изучении использовали общепринятые в популяционной биологии методики с учетом специфики изучения редких видов (Zlobin et al., 2013). Счетной единицей в популяционных исследованиях был принят парциальный побег. На ранних этапах онтогенеза, до начала ветвления корневища, побег соответствует

особи. Выделяли следующие онтогенетические состояния: ювенильное (*j*) – побеги с одним листом, имматурное (*im*) – побеги с 2 листьями, взрослое вегетативное (*v*) – с 3 и более листьями, генеративное (*g*) – цветущие растения. При изучении морфометрических особенностей растений в каждой популяции измерено по 30 генеративных побегов, учитывали следующие признаки: высоту, число и размеры листьев, число цветков и размеры брактеей.

Во время фазы плодоношения в каждой популяции подсчитывали число завязавшихся плодов, определяли завязываемость плодов (как отношение числа плодов к числу цветков) и собирали коробочки со зрелыми семенами до начала их раскрытия. Семена анализировали с помощью светового микроскопа МСП-2 (увеличение $\times 4.5$) с цифровой видеокамерой ТС-500 (ЛОМО, Россия). Измерения проводили на цифровых фотоснимках в программе TourView (TourTek, Китай). Оценивали среднюю длину и ширину семени и зародыша, а также их объем (Arditti et al., 1979; Healey et al., 1980) у 40 – 50 семян из каждой популяции. Для определения качества семян брали смесь семян из коробочек, отобранных с разных растений в пределах популяции (не менее 600 семян), 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 1.53 (Kirillova, Kirillov, 2015).

Экспозицию склонов определяли с помощью магнитного компаса-буссоли Suunto KB-20 (Suunto, Финляндия). Выделяли восемь секторов экспозиции (по 45 градусов каждый), соответствующих основным и четырем промежуточным румбам горизонта (сторонам света).

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

Подготовительную обработку и анализ данных проводили в приложении Microsoft Office Excel 2010. Статистические расчеты выполнены с помощью среды R (вер.3.6.3) (R Core Team, 2020).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Наши исследования показали, что на территории комплексного заказника «Параськины озера» *C. calceolus* встречается на облесенных склонах карстовых воронок южной, юго-западной, западной и северо-западной экспозиций, одна популяция расположена на равнинном участке. Вид образует здесь небольшие популяции, численностью от 83 до 280 побегов (табл. 2). Характер произрастания побегов – групповой, они расположены плотными куртинами площадью от 1 до 12 м², насчитывающими от 9 до 92 побегов. Самая малочисленная популяция расположена на склоне южной экспозиции (ЦП 5), наиболее крупные – на склонах западной и северо-западной экспозиции (см. табл. 2).

Таблица 2. Онтогенетические спектры популяций (ЦП) *Cypripedium calceolus* на Южном Тимане**Table 2.** Ontogenetic spectra of *Cypripedium calceolus* populations (CP) in the Southern Timan

ЦП / CP	Численность / Population size	Доля побегов разных онтогенетических состояний, % / Proportion of shoots of different ontogenetic states, %				Доля поврежденных генеративных побегов, % / Proportion of damaged generative shoots, %
		<i>j</i>	<i>im</i>	<i>v</i>	<i>g</i>	
1	200	1.0	12.7	44.1	42.2	11.6
2	111	3.6	9.9	33.3	53.2	64.4
3	280	4.6	10.0	53.1	32.3	59.5
4	177	9.1	10.9	39.1	40.9	11.0
5	83	4.3	8.7	47.8	39.1	38.9
6	120	13.5	16.7	29.2	40.6	7.7

Все изученные популяции *C. calceolus* – нормальные полночленные, с преобладанием взрослых вегетативных или генеративных растений (см. табл. 2). На долю генеративных побегов приходится от 32.3 до 53.2%. Часть из них повреждена. На склоны западной экспозиции приходится наибольший процент таких растений – 59.5 – 64.4%. В ЦП 6, находящейся на равнинном участке, доля поврежденных генеративных побегов минимальна – 7.7%. Ювенильные особи присутствовали во всех изученных популяциях вида, их доля составляла от 1% в ЦП 1 (на склоне северо-западной экспозиции) до 13.5% – в ЦП 6 (на равнине).

В результате проведенных исследований выявлено, что средняя высота генеративных побегов *C. calceolus* на Южном Тимане составляет 24.0 ± 5.2 см, на каждое растение приходится (2) 3 – 4 листа, нижний 9.9 ± 1.9 см длиной и 5.7 ± 1.2 см шириной, второй – 11.3 см длиной и 6.3 см шириной и один (реже два) цветка. Морфометрические параметры побегов в изученных популяциях представлены в табл. 3. Наименьших размеров они достигали в ЦП 1, а максимальных – в ЦП 6. Высота побегов *C. calceolus* на склонах северо-западной экспозиции составляет 19 см, западной – 21.6 – 23.4 см, южной – 23.3 – 25.3 см и на равнине – 29.6 см. По мере изменения ориентации склонов в направлении от севера к югу и на равнине происходит увеличение размеров растений. Число листьев и цветков значимо не меняется. Доля побегов с двумя цветами оказалась наиболее высокой в ЦП 1 и 5 – 20% и 17% соответственно, в ЦП 3 они отсутствовали, в остальных популяциях их доля составляла от 3.3 до 10%.

Таблица 3. Морфометрическая характеристика генеративных побегов и семян *Cypripedium calceolus* на Южном Тимане**Table 3.** Morphometric parameters of *Cypripedium calceolus* generative shoots and seeds in the Southern Timan

Признак / Parameter	Популяция (ЦП) / Populations (CP)					
	ЦП 1 / CP 1	ЦП 2 / CP 2	ЦП 3 / CP 3	ЦП 4 / CP 4	ЦП 5 / CP 5	ЦП 6 / CP 6
1	2	3	4	5	6	7
ВП / SH	18.98 ± 3.83	21.65 ± 4.04	23.43 ± 4.20	25.30 ± 3.09	23.33 ± 4.56	29.63 ± 3.60
ЧЛ / NL	3.10 ± 0.54	3.35 ± 0.48	3.45 ± 0.52	3.27 ± 0.45	3.42 ± 0.51	3.20 ± 0.41
Д1Л / L1L	8.42 ± 1.14	9.23 ± 1.85	10.75 ± 1.94	10.38 ± 1.88	9.20 ± 1.24	11.13 ± 1.57
Ш1Л / W1L	4.74 ± 0.89	6.03 ± 1.14	5.72 ± 0.92	6.24 ± 1.03	5.44 ± 0.88	6.12 ± 1.13

Окончание табл. 3
Table 3. Continuation

1	2	3	4	5	6	7
Д2Л / L2L	9.62±1.14	<i>10.52±1.41</i>	12.05±1.33	12.0±1.88	<i>10.90±1.24</i>	12.51±1.87
Ш2Л / W2L	5.28±0.86	6.60±1.01	6.40±0.74	6.83±0.69	<i>6.35±0.65</i>	6.71±1.18
ДБр / LBr	5.69±1.38	5.87±0.99	6.47±1.37	6.64±1.36	6.37±1.51	<i>7.70±1.93*</i>
ШБр / WBr	2.50±0.89	<i>3.02±0.81</i>	2.76±0.72	3.05±0.90	3.03±0.86	3.21±1.01
ЧЦ / NF	1.20±0.41	1.10±0.31	1.0	1.03±0.18	1.17±0.39	1.13±0.34
ДС / LS	0.92±0.12	0.98±0.08	0.91±0.12	0.93±0.13	0.83±0.07	0.92±0.10
ШС / WS	0.20±0.03	0.17±0.02	0.17±0.02	0.19±0.03	0.16±0.02	<i>0.17±0.03</i>
ДЗ / LE	0.18±0.02	0.19±0.03	0.19±0.02	0.18±0.02	<i>0.18±0.02</i>	0.18±0.02
ШЗ / WE	0.11±0.02	0.12±0.01	0.12±0.01	0.11±0.01	<i>0.11±0.01</i>	0.10±0.01
VS	9.49	7.48	6.88	9.02	5.86	7.53
VE	1.26	1.36	1.35	1.28	1.10	1.03
AS	84.9	80.8	78.4	84.4	80.6	85.1

Примечание. ВП – высота побега, см; ЧЛ – число листьев; Д1Л – длина первого (нижнего) листа, см; Ш1Л – ширина нижнего листа, см; Д2Л – длина второго листа, см; Ш2Л – ширина второго листа, см; ДБр – длина брактей, см; ШБр – ширина брактей, см; ЧЦ – число цветков, шт.; ДС – длина семени, мм; ШС – ширина семени, мм; ДЗ – длина зародыша, мм; ШЗ – ширина зародыша, мм; VS – объем семени, $\times 10^{-3}$ мм³; VE – объем зародыша, $\times 10^{-3}$ мм³; AS – доля пустого пространства в семени, %; жирным шрифтом – $p < 0.01$; курсивом – $p < 0.05$.

Note. SH – shoot height, cm; NL – number of leaves; L1L – first leaf length, cm; W1L – first leaf width, cm; L2L – second leaf length, cm; W2L – second leaf width, cm; LBr – bract length, cm; WBr – bract width, cm; NF – number of flowers, pcs; LS – seed length, mm; WS – seed width, mm; LE – embryo length, mm; WE – embryo width, mm; VS – seed volume, $\times 10^{-3}$ mm³; VE – embryo volume, $\times 10^{-3}$ mm³; AS – proportion of seeds without embryo, %; $p < 0.01$ in bold; $p < 0.05$ in italics.

Завязываемость плодов в изученных популяциях в 2023 г. варьировала от 11 до 35.7% (рис. 1), составляя в среднем 20.7%. В 2020 г. значения этого показателя были выше, в среднем 67.1% (от 15.4 до 93.7%). Наименьшая эффективность опыления в оба года исследований отмечена на склоне северо-западной экспозиции (ЦП 1), наибольшая – на склоне южной экспозиции (ЦП 5).

Морфометрические параметры семян из разных популяций вида представлены в табл. 3. Самые крупные семена отмечены в ЦП 1, находящейся на склоне северо-западной экспозиции, мелкие – в ЦП 5, на склоне южной экспозиции, наиболее мелкие зародыши – в ЦП 5 и 6. Доля пусто-

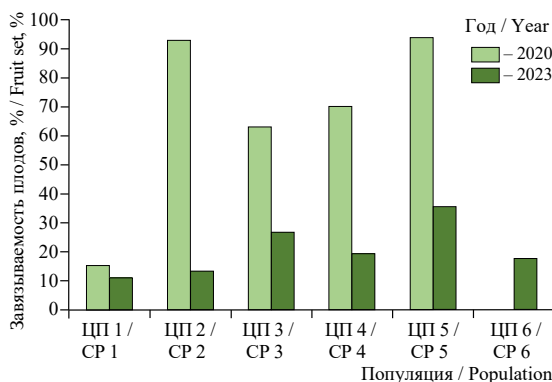


Рис. 1. Завязываемость плодов в популяциях *Cypripedium calceolus* на Южном Тимане

Fig. 1. Fruit set in *Cypripedium calceolus* populations in the Southern Timan

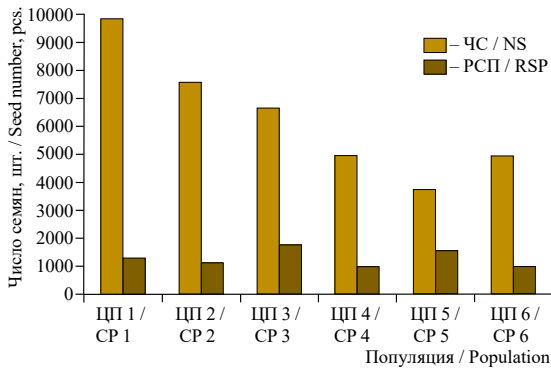


Рис. 2. Семенная продуктивность *Cypripedium calceolus* на Южном Тимане, шт.: ЧС – число семян в коробочке, РСП – реальная семенная продуктивность побега

Fig. 2. Seed productivity of *Cypripedium calceolus* in the Southern Timan, pcs.: NS – number of seeds in per fruit, RSP – actual seed productivity per shoot

lus мы отмечали абортированные (недоразвитые, очень мелкие, беловатые) семена, которые составляли до 90% от всех семян в отдельных коробочках. Их размер был в несколько раз меньше размера обычных семян, сопоставим с размером зародыша. При подсчете семян в коробочках мы их не учитывали. Неполноценными считали семена обычного размера, в которых отсутствовал нормально сформированный зародыш. Таких семян в коробочках было немного – от 0.2 до 0.7%.

Средний показатель реальной семенной продуктивности побега *C. calceolus* на исследуемой территории составил 1292 шт. Он варьировал среди изученных популяций от 985 до 1769 семян (см. рис. 2).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Карстовые ландшафты занимают около 20% поверхности суши Земли (White et al., 1995). Их сложный рельеф обеспечивает наличие различных экологических ниш для произрастания растений в природе, играя большую роль в поддержании биологического разнообразия (Culver, 2000; Clements et al., 2008; Bátori et al., 2019). Растительность на карстовых воронках часто отличается от окружающей из-за крутизны склона и разной экспозиции. Ориентация склона, прежде всего, влияет на температурный режим местообитаний, являющийся одним из важнейших климатических элементов и зависящий от интенсивности притока солнечной радиации. Инсоляция максимальна на склонах южной экспозиции и минимальна – на северных склонах (Elsakov, Teteryuk, 2012; Bárány-Kevei, 1999; Bátori et al., 2019).

Конусовидные склоны карстовых воронок оказались основным местом произрастания *Cypripedium calceolus* на юго-западном макросклоне Южного Тимана в границах государственного природного заказника федерального значения «Параськины озера». Наши исследования выявили приуроченность местообитаний

го воздушного пространства в семени варьирует на уровне 78.4 – 85%, максимальный показатель отмечен в ЦП 6.

Коробочка *C. calceolus* на обследованной территории в 2023 г. содержала в среднем 6030 семян. Наибольшее их количество образовалось в ЦП 1 (9861 шт.), затем, по мере изменения ориентации склонов к югу их число снижалось (рис. 2), достигая минимума (3761 шт.) в ЦП 5, в ЦП 6 составило 4971 шт. Изначально в коробочке закладывается большее количество семян, но часть из них не растет и не развивается. В большинстве изученных популяций *C. calceolus*

вида к склонам южной, юго-западной, западной и северо-западной экспозиции, и отсутствие его на склонах восточных румбов. При этом наиболее многочисленные популяции отмечены на склонах западной и северо-западной экспозиции. R. Fekete с соавторами (Fekete et al., 2023) изучив орхидеи, произрастающие на склоновых местообитаниях в 18 странах Европы, пришли к заключению, что большинство из них также были приурочены к склонам северной и западной экспозиции, а на склонах южной экспозиции вероятность появления орхидей была ниже. Они связывают это с тем, что орхидеи в основном являются представителями экологической группы «специалистов» и в более жарких и сухих условиях (на южных склонах) не могут конкурировать с универсалами и сорняками. К аналогичным выводам пришли B. Déak с соавторами (Déak et al., 2021). Их исследования показали, что склоны курганов, обращенные к югу и востоку, были в большей степени покрыты сорняками и универсалами, в то время как специализированные виды произрастали в основном на склонах, обращенных к северу и западу, с более мягкими климатическими условиями.

Для *C. calceolus* как вида, относящегося к короткокорневищной жизненной форме (Tatarenko, 1996), характерно групповое (куртинное) размещение особей. На облесенных склонах Южного Тимана вид занимает более освещенные участки с «окнами» в древесном пологе. Побеги расположены здесь плотными куртинами на небольших по площади участках. В изученных популяциях *C. calceolus* преобладают взрослые вегетативные или генеративные побеги, что характерно для этого вида (Vakhrameeva et al., 2014) и свидетельствует об устойчивом состоянии его популяций. Часть генеративных побегов во всех популяциях оказалась повреждена. Для Республики Коми характерны возвратные весенние заморозки, которые в зависимости от фазы развития растений приводят либо к массовому недоразвитию бутонов на генеративных побегах, либо к гибели уже распустившихся цветков (Kirillova et al., 2012). Максимальное число таких побегов (более 50%) отмечено на склонах западной экспозиции. Повреждение заморозками генеративных побегов *C. calceolus* выделено в отдельную угрозу для этого вида (Jakubská-Busse et al., 2021) и особенно актуально на северной границе его ареала (Blinova, 2008).

Морфометрические показатели генеративных побегов *C. calceolus*, произрастающих на склонах разной экспозиции, оказались различны, что связано с разным количеством тепла, поступающим на них в дневные часы. Наиболее мелкие растения отмечены на склоне северо-западной экспозиции, самые крупные – на равнинном участке. На такой показатель, как доля генеративных побегов с двумя цветками экспозиция склона влияния не оказывает. Этот признак больше связан с доступностью света (Kirillova, Kirillov, 2021).

Наиболее низкая завязываемость плодов за два года исследований отмечена в ЦП 1 на склоне северо-западной экспозиции, что, вероятно, связано с недостатком опылителей. Наши предыдущие исследования (Kirillova et al., 2012) выявили, что основным опылителем *C. calceolus* на Южном Тимане является *Andrena lapponica*. Большинство представителей семейства Andrenidae строят гнезда на открытых хорошо прогреваемых солнцем местах. На южном склоне отмечена наиболее высокая эффективность опыления. Большое отличие в величине средней завязываемости

мости плодов между разными годами исследований – 20.7% (в 2023 г.) и 67.1% (в 2020 г.) указывает на значительное влияние погодного фактора на этот показатель.

Средний размер семян *C. calceolus* на территории Южного Тимана в Республике Коми составил 0.91×0.18 мм, зародыша – 0.18×0.11 мм. На юге региона (на Вычегодско-Мезенской равнине) семена этого вида крупнее – 1.10×0.21 мм, но с таким же по размеру зародышем (Kirillova, Kirillov, 2018), то есть в них больше объем пустого воздушного пространства – свыше 90% (вместо 78 – 85% – на Южном Тимане). Надо отметить, что *C. calceolus* в южной части Республики Коми встречается на болотах и в заболоченных лесах, а севернее его местонахождения связаны с выходами кальцийсодержащих пород на Тиманском кряже. Видимо, из-за разных условий произрастания у вида сложились различные приспособления к распространению семян. На равнинных участках Вычегодско-Мезенской равнины, где поток ветра в приземном слое слабее, чем на более открытых склонах Тимана, семена этого вида характеризуются наибольшим объемом пустого воздушного пространства, которое отвечает за повышение летучести семян. Такие семена дольше находятся в воздухе, что увеличит вероятность их перенесения ветром. Среди изученных популяций семена с наибольшей долей пустого воздушного пространства также отмечены на облесенном равнинном участке (ЦП 6).

Максимальное число нормальных зрелых семян в коробочке отмечено на склоне северо-западной экспозиции, затем по мере изменения ориентации склонов в направлении южного румба оно уменьшается. Изначально в коробочках у растений со всех изученных популяций закладывалось большее число семян, и если на склонах северо-западной экспозиции они все вызревали и достигали нормальных размеров, то на других склонах часть семян не развивалась (оставалось много абортированных семян). На склоне южной экспозиции всего 33% от общего числа заложившихся в коробочке семян достигли нормального размера.

Реальная семенная продуктивность побега, которая складывается из таких параметров, как реальная семенная продуктивность коробочки, число цветков и завязываемость плодов, показала довольно сглаженный уровень значений, не зависящих от экспозиции склона (от 985 до 1769 шт.). Образование большого числа семян на склоне северо-западной экспозиции нивелировалось низкой завязываемостью плодов.

Итогом репродукции является новое поколение растений, и в этом отношении главным и конечным индикатором репродуктивного успеха популяций считается численность молодых особей (Zlobin et al., 2013). Ювенильные растения семенного происхождения присутствовали во всех изученных нами популяциях *C. calceolus*, на склонах их доля составляла от 1 до 9.1%, на равнинном участке – 13.5%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наши исследования показали, что местонахождения *C. calceolus* на юго-западном склоне Южного Тимана приурочены исключительно к карстовым формам рельефа. Вид образует здесь полночленные правосторонние популяции, наиболее крупные из них приурочены к склонам западной и северо-западной экспозиции. Во всех популяциях зарегистрированы поврежденные заморозками генеративные

побеги, на западные склоны приходится максимальное их количество (более 50%). Экспозиция склона влияет на морфометрические показатели побегов и семян: на северо-западном склоне отмечены самые мелкие растения и наиболее крупные семена, максимальный размер генеративных побегов зарегистрирован на равнинном участке, а минимальные размеры семян – на склоне южной экспозиции. Выявлено, что эффективность опыления связана в основном с погодными условиями, однако и экспозиция склонов оказывает свое влияние: на холодных северо-западных склонах отмечена наименьшая завязываемость плодов. Семенная продуктивность коробочки также меняется в зависимости от экспозиции склона. Выявлено уменьшение реальной семенной продуктивности плода по мере изменения ориентации склонов с севера в сторону юга (от 9861 до 3761 шт.), что связано с недоразвитием (абортированием) части семян. Размножение *C. calceolus* на Южном Тимане осуществляется как вегетативным, так и семенным способом, о чем свидетельствует присутствие во всех изученных популяциях молодых ювенильных растений семенного происхождения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- 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>
- Bárányi-Kevei I. Microclimate of karstic dolines. *Acta Climatologica*, 1999, vol. 32, no. 33, pp. 19–27.
- Bátori Z., Vojtkó A., Maák I., Lőrinczi G., Farkas T., Kántor N., Tanács E., Kiss P., Juhász O., Módra G., Tölgyesi C., Erdős L., Aguilon D., Keppel G. Karst dolines provide diverse microhabitats for different functional groups in multiple phyla. *Scientific Reports*, 2019, vol. 9, article no. 7176. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-43603-x>
- Biological Diversity of the Specially Protected Nature Conservation Areas of the Komi Republic. Iss. 9. Federal Reserve “Paraskiny Lakes”*. Syktyvkar, FRC Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences Publ., 2024. 442 p. (in Russian).
- Blinova I. V. Populations of orchids at the northern limit of their distribution (Murmansk Oblast): Effect of climate. *Russian Journal of Ecology*, 2008, vol. 39, iss. 1, pp. 26–33. <https://doi.org/10.1134/S1067413608010050>
- 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, pp. 67–77. <https://doi.org/10.1046/j.1095-8339.2002.00049.x>
- Clements R., Ng P. K., Lu X. X., Ambu S., Schilthuizen M., Bradshaw C. J. Using biogeographical patterns of endemic land snails to improve conservation planning for limestone karsts. *Biological Conservation*, 2008, vol. 141, iss. 11, pp. 2751–2764.
- Culver D. C. Hotspots of subterranean biodiversity in caves and wells. *Journal of Cave and Karst Studies*, 2000, vol. 62, no. 1, pp. 11–17.
- Deák B., Rádai Z., Kelemen A., Kiss R., Lukács K., Báthori F., Valkó O., Kovács B., Apostolova I., Palpurina S., Sopotlieva D. Linking environmental heterogeneity and plant diversity: The ecological role of small natural features in homogeneous landscapes. *Science of the Total Environment*, 2021, vol. 763, article no. 144199. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144199>
- Elsakov V. V., Teteryuk L. V. Satellite images for investigation of topography effect on floristic biodiversity of karst landscapes phytocenosis in the North East Part of European Russia. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 2012, no. 3, pp. 78–93 (in Russian).

- Fay M. F., Pailler T., Dixon K. W. Orchid conservation: Making the links. *Annals of Botany*, 2015, vol. 116, iss. 3, pp. 377–379. <https://doi.org/10.1093/aob/mcv142>
- Fekete R., Vincze O., Nagy J., Löki V., Süveges K., Bódis J., Malkócs T., Lovas-kiss A., Molnár A. North-facing roadside slopes: Anthropogenic climate microrefugia for orchids. *Global Ecology and Conservation*, 2023, vol. 47, article no. e02642. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2023.e02642>
- Gale S. W., Fischer G. A., Cribb P. J., Fay M. F. Orchid conservation: Bridging the gap between science and practice. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 2018, vol. 186, iss. 4, pp. 425–434. <https://doi.org/10.1093/botlinnean/boy003>
- 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>
- Jakubska-Busse A., Tsiftsis S., Śliwiński M., Křenová Z., Djordjević V., Steiu C., Kolanowska M., Efimov P., Hennigs S., Lustyk P., Kreutz K. C. How to protect natural habitats of rare terrestrial orchids effectively: A comparative case study of *Cypripedium calceolus* in different geographical regions of Europe. *Plants*, 2021, vol. 10, no. 2, article no. 404. <https://doi.org/10.3390/plants10020404>
- Kirillov D., Kirillova I. *Cypripedium calceolus* in the Komi Republic. Version 1.2. Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. *Occurrence dataset*, 2019. <https://doi.org/10.15468/2tvr0w> (accessed via GBIF.org on 2024-02-20)
- Kirillova I. A., Kirillov D. V. Reproduction biology of *Gymnadenia conopsea* (L.) R. Br. (Orchidaceae) on its northern distribution border. *Contemporary Problems of Ecology*, 2015, vol. 8, no. 4, pp. 512–522. <https://doi.org/10.1134/S1995425515040095>
- Kirillova I. A., Kirillov D. V. Effect of lighting conditions on the reproductive success of *Cypripedium calceolus* L. (Orchidaceae, Liliopsida). *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2018, no. 3, pp. 259–273.
- Kirillova I. A., Kirillov D. V. Population dynamics, reproductive success, and seasonal development of *Cypripedium calceolus* under different growing conditions as a response to weather factors. *Contemporary Problems of Ecology*, 2021, vol. 14, no. 5, pp. 472–482. <https://doi.org/10.1134/S1995425521050061>
- Kirillova I. A., Teteryuk L. V., Pestov S. V., Kirillov D. V. Reproduction biology of *Cypripedium calceolus* (Orchidaceae) in the European North-East of Russia. *Botanicheskiy zhurnal*, 2012, vol. 97, no. 12, pp. 1516–1532 (in Russian).
- Kolanowska M., Jakubska-Busse A. Is the lady's-slipper orchid (*Cypripedium calceolus*) likely to shortly become extinct in Europe? Insights based on ecological niche modeling. *PLoS One*, 2020, vol. 15, no. 1, article no. e0228420. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0228420>
- Kull T. *Cypripedium calceolus* L. *Journal of Ecology*, 1999, vol. 87, iss. 5, pp. 913–924. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.1999.00407.x>
- Kull T., Selgis U., Peciña M. V., Metsare M., Ilves A., Tali K., Shefferson R. P. Factors influencing IUCN threat levels to orchids across Europe on the basis of national red lists. *Ecology and Evolution*, 2016, vol. 6, iss. 17, pp. 6245–6265. <https://doi.org/10.1002/ece3.2363>
- Nicolè F., Brzosko E., Till-Bottraud I. Population viability analysis of *Cypripedium calceolus* in a protected area: Longevity, stability and persistence. *Journal of Ecology*, 2005, vol. 93, iss. 4, pp. 716–726. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2005.01010.x>
- R Core Team. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria, 2020. Available at: <http://www.R-project.org> (accessed December 17, 2023).
- Swarts N. D., Dixon K. W. Terrestrial orchid conservation in the age of extinction. *Annals of Botany*, 2009, vol. 104, iss. 3, pp. 543–556. <https://doi.org/10.1093/aob/mcp025>
- 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).

СТРУКТУРА ПОПУЛЯЦИЙ И РЕПРОДУКТИВНЫЙ УСПЕХ *CYPRIPEDIUM CALCEOLUS*

Terschuren J. *Action Plan for Cypripedium calceolus in Europe*. Strasbourg, Council of Europe Publications, 1999. 58 p.

The Red Data Book of the Russian Federation (Plants and Fungi). Moscow, KMK Scientific Press Ltd., 2008. 855 p. (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).

White W. B., Culver D. C., Herman J. S., Kane T. C., Mylroie J. E. Karst Lands. The dissolution of carbonate rock produces unique landscapes and poses significant hydrological and environmental concerns. *American Scientist*, 1995, vol. 83, no. 5, pp. 450–459.

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).

**Population structure and reproductive success
of *Cypripedium calceolus* (Orchidaceae, Liliopsida)
on karst landscapes of Southern Timan (Komi Republic):
Slope exposure influence**

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: March 4, 2024 / revised: May 15, 2024 / accepted: May 15, 2024 / published: March 31, 2025

Abstract. The influence of slope exposure on the population structure, morphometric features and reproductive characteristics of the rare orchid *Cypripedium calceolus* L. on karst landscapes of the Southern Timan in the territory of the Paraskiny Lakes Nature Reserve (northeast of the European Russia) was studied. In 2023, six populations of the species were surveyed on karst landforms, namely: five ones on slopes with different exposures, and one on a flat area. It has been revealed that the species forms its largest populations on the slopes of the western and northwestern exposures. Generative shoots damaged by light frosts were noted in all populations, and their share was more than 50% on the western slopes. The slope exposure affects the morphometric parameters of shoots and seeds. Fruit set is associated with both weather conditions and exposure, namely: the lowest fruit set was noted on the cold northwestern slopes, while the highest was on the southern ones. A decrease in the actual seed productivity of the fruit was revealed as the orientation of the slopes changed from north to south (from 9861 down to 3761 pcs), which is associated with the underdevelopment of some seeds. The average actual seed productivity of the generative shoot at the karst outlets of the Southern Timan was 1292 pcs (from 985 up to 1769 seeds in different populations). Along with the vegetative renewal characteristic of this species, seed renewal was also noted in the studied populations, as evidenced by the presence of juvenile individuals therein, whose proportion varied from 1 to 13.5%.

Keywords: orchid, karst outlets, 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. 12125021902460-2).

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. Population structure and reproductive success of *Cypripedium calceolus* (Orchidaceae, Liliopsida) on karst landscapes of Southern Timan (Komi Republic): Slope exposure influence. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2025, no. 1, pp. 18–30 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2025-1-18-30>

 *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.

Оригинальная статья

УДК 591.524+574.42

<https://doi.org/10.35885/1684-7318-2025-1-31-47>

ТРАНСФОРМАЦИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ КАК ЛИМИТИРУЮЩИЙ ФАКТОР СУЩЕСТВОВАНИЯ ПОПУЛЯЦИЙ ГРЫЗУНОВ ОТКРЫТЫХ ПРОСТРАНСТВ (НА ПРИМЕРЕ *Spermophilus suslicus*)

Н. А. Леонова , Н. А. Картавов, О. В. Чернышова,
Е. К. Волкова, С. В. Титов

Пензенский государственный университет
Россия, 440026, г. Пенза, ул. Красная, д. 40

Поступила в редакцию 15.10.2024 г., после доработки 15.11.2024 г., принята 16.11.2024 г., опубликована 31.03.2025 г.

Аннотация. Приводится сравнительный анализ состава и структуры растительных сообществ в двух местах бывшего обитания крапчатого суслика (*Spermophilus suslicus*) в Николаевском районе Ульяновской области. Анализ современного состояния популяций *S. suslicus* в Поволжье показал, что на протяжении последних пятидесяти лет наблюдается критическое снижение численности вида, а в ряде регионов – его полное исчезновение. Рядом исследователей отмечается, что определенное влияние на эти процессы оказывают динамические изменения растительности. Поэтому целью нашей работы являлось сравнительное изучение растительности биотопов на момент высокой численности зверьков на фоне интенсивного выпаса и при отсутствии поселений суслика более 15 – 20 лет при отсутствии выпаса. Наши исследования показали, что происходит увеличение видового богатства и структурного разнообразия сообществ за счет внедрения в их состав видов боровой, неморальной и бореальной эколого-ценотических групп. Фитоценозы остепненных лугов с высоким участием *Festuca valesiaca*, *Poa pratensis*, *Helictotrichon pubescens*, *Elytrigia repens* после прекращения выпаса сменяются ценозами луговых степей с доминированием *Bromopsis riparia*, *Poa angustifolia*, *Calamagrostis epigeios*. Происходит увеличение общего проективного покрытия травостоя (с 40 до 60 – 70%). Кормовые виды, являющиеся фоновыми на момент высокой численности зверьков, резко сокращают свое участие в травостое. Характерны изменения экологических условий биотопов: современные сообщества формируются в более засушливых, менее богатых азотом и «кислых» местообитаниях. Сохранение и возможное восстановление поселений крапчатого суслика в Поволжье возможно при соблюдении научно обоснованного антропогенного воздействия, реализуемого в форме сенокоса и выпаса.

Ключевые слова: *Spermophilus suslicus*, растительность, видовое богатство, структура сообществ, трансформация растительности, Поволжье

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 22-24-20099, <https://rscf.ru/project/24-24-20099>).

 Для корреспонденции. Кафедра зоологии и экологии факультета физико-математических и естественных наук Пензенского государственного университета.

ORCID и e-mail адреса: Леонова Наталья Алексеевна: <https://orcid.org/0000-0001-9508-5008>, na_leonova@mail.ru; Картавов Никита Александрович: <https://orcid.org/0000-0001-9480-7523>, nikitakartavov@yandex.ru; Чернышова Ольга Валерьевна: <https://orcid.org/0009-0007-8287-9221>, oliarabbit@yandex.ru; Волкова Елена Константиновна: <https://orcid.org/0009-0004-4106-7188>, e1ena.dad30@gmail.com; Титов Сергей Витальевич: <https://orcid.org/0000-0001-9634-1157>, svtitov@yandex.ru.

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. Леонова Н. А., Картавов Н. А., Чернышова О. В., Волкова Е. К., Титов С. В. Трансформация растительности как лимитирующий фактор существования популяций грызунов открытых пространств (на примере *Spermophilus suslicus*) // Поволжский экологический журнал. 2025. № 1. С. 31 – 47. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2025-1-31-47>

ВВЕДЕНИЕ

Анализ современного состояния популяций крапчатого суслика (*Spermophilus suslicus* Güldenstaedt, 1770) в Поволжье показал, что на протяжении последних пятидесяти лет наблюдается критическое снижение численности вида (Bogdanov, 1871; Fedorovich, 1915; Tikhvinsky, 1931; Popov, 1960; Artemyev, 1966; Stoyko et al., 1980; Abrakhina, 1987; Titov et al., 2015). Масштаб депрессии численности настолько велик, что в ряде регионов Поволжья отмечается полное исчезновение *S. suslicus*. Основными причинами такого «вымирания» крапчатого суслика в Поволжском регионе являются увеличение площади сельскохозяйственных угодий в результате распашки луговых степей, а также усиливающаяся в последние десятилетия по причине резкого сокращения выпаса сylvатизация травяных сообществ.

В настоящее время (Titov et al., 2024) поселения крапчатого суслика с большой долей уверенности исчезли в Пензенской и Тамбовской областях, Республиках Мордовия и Татарстан, Чувашской Республике. Критическая ситуация складывается в Саратовской области. Наиболее благоприятная ситуация наблюдается в Ульяновской области, где на фоне проходящего сокращения численности поселений еще сохраняются популяции крапчатого суслика, характеризующиеся средней (до 10 особ./га) численностью.

Крапчатый суслик – грызун открытых пространств, обитающий в степной и лесостепной зоне России. Норы сусликов обеспечивают существование живых организмов различных таксонов (Okulova, 2003).

В настоящее время при отсутствии диких копытных и сокращении или отсутствии выпаса крапчатый суслик вместе со степным сурком (*Marmota bobak* Müll.) являются, по сути, «ключевыми» видами лесостепных комплексов Русской равнины. Поэтому изучение биотопических предпочтений крапчатого суслика в сохранившихся местообитаниях вида, а также выявление мест для возможного успешного существования и восстановление популяций вида в Поволжье являются одной из важнейших задач сохранения вида в регионе и этапом восстановления водораздельных луговых степей.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования биотопических предпочтений *S. suslicus* проводили в местах бывшего обитания крапчатого суслика в Николаевском районе Ульяновской области (у подножия Чихан-Горы на левом берегу р. Ардоватъ (53.112° с.ш., 47.351° в.д.) и на территории ООПТ «Варваровская степь» (53.134° с.ш., 47.477° в.д.)). В 1994 –

1996 г. здесь проводили исследования популяций крапчатого суслика с высокой численностью особей (Titov, 2000). Биотопы поселений сусликов долгое время подвергались интенсивному выпасу, а после его прекращения на перечисленных выше местах бывшего обитания *S. suslicus* с начала 2000-х и с 2012 г. (включение в состав особо охраняемых природных территорий (ООПТ)), соответственно, и до настоящего времени происходит спонтанная демутиация растительного покрова. В течение первых 2–3 лет после прекращения выпаса наблюдалось постепенное сокращение численности грызунов, а затем (3 – 5 лет) – полное исчезновение крапчатого суслика в этих поселениях. Поэтому в работе анализируются полные геоботанические описания растительного покрова, проведенные в пунктах исследования дважды: в 1994 – 1996 гг. (на момент высокой численности зверьков) (Titov, 2000) и в 2024 г. (при отсутствии поселений суслика более 20 и 15 лет соответственно). Изучение состава и структуры растительности осуществляли на пробных площадях (ПП) размером 10×10 м (100 м²). Геоботанические описания проводили с указанием в процентах общего проективного покрытия растений (ОПП). Полученные геоботанические описания послужили материалом для анализа фиторазнообразия. Определяли: видовую насыщенность на ПП; видовое богатство – общее число зарегистрированных видов растений в сообществах; коэффициент видового сходства Жаккара; структурное разнообразие фитоценозов. Составляли списки доминантных и константных видов растительных сообществ. В качестве доминантных рассматривали виды, у которых значение показателя покрытия-обилия было не ниже 40% хотя бы на одной ПП, входящей в группу описаний. Константность (класс постоянства) видов определяли по схеме: 1-й класс – вид присутствовал не более чем на 20% площадок в группе описаний, 2-й класс – от 20 до 40% площадок, 3-й класс – от 40 до 60%, 4-й класс – от 60 до 80%, 5-й класс – более 80%. Также были рассчитаны индикаторные значения видов по методу IndVal (Dufrene, Legendre, 1997).

Статистическую значимость полученных индикаторных значений проверяли процедурой Монте-Карло. По сумме индикаторных значений оценивали качество классификации. Принималось, что чем больше сумма индикаторных значений, тем лучше проведена классификация (McCune, Grace, 2002).

Важным фактором влияния на численность сусликов является обеспеченность кормами, а именно злаками, а также участие в составе травостоя бобовых и разнотравья (Krylova, Deistfeldt, 1987; Tkachenko, 1987; Titov, 1999). Поэтому в работе выделяли фоновые виды растений, имеющие для *S. suslicus* кормовое значение (*Festuca valesiaca*, *Artemisia austriaca*, *Achillea millefolium*), а также биологические группы видов (злаки, бобовые и разнотравье). Их состав и участие в сложении покрова анализировали в процентах (АПП, %).

Сходство описаний устанавливали с использованием многомерных статистических методов: кластерного анализа (Ward's method) и ординации (методом непрямого градиентного анализа, DCA) (Hill, Gauch, 1980; McCune, Grace, 2002) с использованием пакета PC-ORD 5 (McCune, Mefford, 1999). Качество ординации оценивали путем расчета коэффициентов детерминации между матрицами расстояний (McCune, Mefford, 1999).

Оценка экологических режимов биотопов и интерпретация осей непрямой ординации проведена с использованием диапазонных экологических шкал Д. Н. Цы-

ганова (Tsyganov, 1983) по методу средневзвешенной середины интервала. Для интерпретации осей ординации проверяли корреляцию трех первых осей ординации с балльными экологическими характеристиками геоботанических площадок по методике Перссона с использованием рангового коэффициента корреляции Спирмена, r_s (Persson, 1981). На диаграмме пространства ординации для иллюстрации корреляции осей с экологическими характеристиками по основным факторам среды отображали достоверно значимые векторы экологических факторов, длина и направление которых отражают силу и знак корреляции факторов с осями (McCune, Mefford, 1999). Для оценки экологических режимов местообитаний использовали факторы среды: увлажнение (Hd), кислотность (Rc), трофность, обобщенный солевой режим (Tr), богатство азотом (Nt), переменность увлажнения почв (fH) и освещенность (Lc).

Структурное разнообразие сообществ оценивали по соотношению в составе растительного покрова эколого-ценотических групп (ЭЦГ) видов – видов экологически близких в своем генезисе, связанных с разными типами сообществ. В работе использовали классификацию ЭЦГ, предложенную Смирновой и Заугольной (Assessment and Conservation..., 2000; Smirnova, 2004) и уточненную методами многомерной статистики В. Э. Смирновым с соавторами (Smirnov et al., 2006) на основе экологических групп А. А. Ниценко (Nitsenko, 1969) и с учетом исторических свит Г. М. Зозулина (Zozulin, 1955, 1973). Все виды сосудистых растений, отмеченные в геоботанических описаниях, были разделены на следующие 6 ЭЦГ: неморальная (Nm), бореальная (Br), нитрофильная (Nt), боровая (Pn), луговая (лугово-опушечная) (Md), степная (St).

Для всех статистических тестов был установлен уровень значимости $p < 0.05$. Статистическая обработка данных проведена в программе STATISTICA 13.3 (StatSoft Russia).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ флоры и растительности пунктов исследования показал, что за прошедший 30-летний период наблюдаются сходные тенденции в динамике состава и структуры растительных сообществ. При этом наибольшие изменения характерны для сообществ с более длительным периодом спонтанной демутиации.

Так, анализ видового состава мест бывшего обитания сусликов показал, что независимо от времени, характера и интенсивности антропогенного воздействия во флоре преобладают двудольные цветковые растения (табл. 1). При этом наблюдается увеличение как общего числа видов, так и участия в травостое однодольных цветковых растений.

В составе сообществ у подножия Чихан-Горы за период наблюдений отмечено 56 видов растений, при этом только 12 – встречаются в описаниях разного времени: *Festuca valesiaca*, *Helictotrichon pubescens*, *Amoria repens*, *Achillea millefolium*, *Artemisia austriaca*, *Equisetum arvense*, *Euphorbia esula*, *Falcaria vulgaris*, *Nonea lutea*, *Potentilla argentea*, *Taraxacum officinale*, *Trommsdorffia maculata*. За период наблюдений (> 20 лет) более чем в 2 раза увеличилось общее число видов (см. табл. 1). При этом участие злаков увеличилось как по числу видов (с 3 до 9),

ТРАНСФОРМАЦИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ КАК ЛИМИТИРУЮЩИЙ ФАКТОР

Таблица 1. Таксономическая структура растительности в местах обитания крапчатых сусликов в Ульяновской области

Table 1. Taxonomic vegetation structure in the habitats of speckled ground squirrels in the Ulyanovsk region

Признак / Feature	Места обитания / Habitats			
	Чихан-Гора, 1994 г. / Chikhan-Gora mountain, 1994	Варваровская степь, 1996 г. / Varvarovskaya steppe, 1996	Чихан-Гора, 2024 г. / Chikhan-Gora mountain, 2024	Варваровская степь, 2024 г. / Varvarovskaya steppe, 2024
Общее число видов / Total number of species	20	14	48	29
Общее число родов / Total number of genera	20	13	41	29
Общее число семейств / Total number of families	11	7	17	16
Доля цветковых, % / Share of flowering plants, %	95	92.9	97.9	93.1
Доля однодольных цветковых, % / Share of monocotyledonous flowering plants, %	15.8	46.2	21.3	25.9
Доля двудольных среди цветковых, % / Share of dicotyledons flowering plants, %	84.2	53.8	78.7	74.1

так и по их обилию в травостое (табл. 2). Возросло число видов разнотравья (с 14 до 31) при небольшом снижении их обилия. Отмечено резкое снижение участия всех трех фоновых видов растений. Кроме того, в описаниях 2024 г. в сообществах выявлено участие особей 3 видов степных кустарников: *Chamaecytisus ruthenicus*, *Cerasus fruticosa* и *Spiraea crenata*.

Таблица 2. Участие фоновых видов растений и их групп в сообществах в местах обитания крапчатых сусликов в Ульяновской области

Table 2. Participation of background plant species and their groups in communities in the habitats of speckled ground squirrels in the Ulyanovsk region

Фоновые виды или группы видов / Background species or groups of species		Места обитания сусликов / Habitats of ground squirrels			
		Чихан-Гора, 1994 г. / Chikhan-Gora mountain, 1994	Варваровская степь, 1996 г. / Varvarovskaya steppe, 1996	Чихан-Гора, 2024 г. / Chikhan-Gora mountain, 2024	Варваровская степь, 2024 г. / Varvarovskaya steppe, 2024
1		2	3	4	5
Число описаний / Number of descriptions		21	12	7	7
Подрост кустарников и деревьев / Undergrowth of shrubs and trees		–	–	3	1
злаки / gramineae	число видов ОПП, % / number of species GPC, %	3 28.1±2.6	6 35.7±5.9	9 34.3±2.2	6 39.5±2.0
бобовые / legumes	число видов ОПП, % / number of species GPC, %	3 3.4±1.4	–	5 2.4±1.5	2 0.6±0.2
разнотравье / motley grass	число видов ОПП, % / number of species GPC, %	14 20.5±2.8	8 8.2±2.1	31 14.1±4.1	20 5.9±2.0
АПП <i>F. valesiaca</i> , % / APC <i>F. valesiaca</i> , %		2.2±0.9	7.7±3.6	0.4±0.2	8.9±2.4

Окончание табл. 2
Table 2. Continuation

1	2	3	4	5
АПП <i>A. austriaca</i> , % / APC <i>A. austriaca</i> , %	7.1±2.9	6.4±1.9	0.4±0.2	0.1±0.1
АПП <i>A. millefolium</i> , % / APC <i>A. millefolium</i> , %	10.4±2.4	0.2±0.1	0.2±0.1	1.0±0.3

Примечание. ОПП – общее проективное покрытие растений, АПП – проективное покрытие вида.

Note. GPC – means total projective plant coverage, APC – projective cover of the species.

В составе сообществ Варваровской степи за период наблюдений отмечено 36 видов растений, при этом только 7 – встречаются в описаниях разного времени: *Bromopsis riparia*, *F. valesiaca*, *A. millefolium*, *A. austriaca*, *Campanula sibirica*, *E. arvense*, *Plantago media*. Наблюдается увеличение общего числа видов в 2 раза, в основном за счет увеличения числа видов разнотравья (см. табл. 2). Плотнoderновинный злак – *F. valesiaca* и *A. millefolium* сохраняют участие в травостое и несколько увеличивают свое обилие, тогда как *A. austriaca* встречается единичными особями. В составе сообществ наблюдается подрост *Pinus sylvestris*.

Анализ флористического сходства сообществ в местах обитания крапчатого суслика выявил его низкий уровень (табл. 3).

Таблица 3. Флористическое сходство сообществ в местах обитания крапчатых сусликов в Ульяновской области (коэффициент Жаккара)

Table 3. Floristic similarity of communities in the habitats of speckled ground squirrels in the Ulyanovsk region (Jaccard's coefficient)

Места обитания сусликов / Habitats of ground squirrels	Чихан-Гора, 1994 г. / Chikhan-Gora mountain, 1994	Варваровская степь, 1996 г. / Varvarovskaya steppe, 1996	Варваровская степь, 2024 г. / Varvarovskaya steppe, 2024
Чихан-Гора, 2024 г. / Chikhan-Gora mountain, 2024	0.21	0.16	0.35
Чихан-Гора, 1994 г. / Chikhan-Gora mountain, 1994		0.36	0.17
Варваровская степь, 1996 г. / Varvarovskaya steppe, 1996			0.19

Результаты кластерного анализа (рис. 1) показали разделение на низком уровне сходства совокупности всех геоботанических описаний на 2 группы: описания, выполненные в 1994 – 1996 гг. и в 2024 г.

Анализ геоботанических описаний, выполненных в местах обитания крапчатых сусликов в 1994 – 1996 гг., показал, что растительный покров был представлен остепненными лугами (табл. 4, рис. 2).

На участке у подножия Чихан-Горы формировались сообщества разнотравно-злаковой ассоциации. В разреженном травяном покрове (ОПП 20 – 70%) доминировал *P. pratensis*, с высоким постоянством встречались *H. pubescens*, *A. millefolium* (класс константности 5), *F. valesiaca*, *A. repens*, *A. austriaca*, *T. officinale* (класс константности 4). Фоновые виды, имея высокое постоянство, показывают небольшое обилие на ПП – 3 – 12%.

В среднем на ПП злаки представлены только 2.3 ± 0.2 видами, но имеют наибольшее проективное покрытие (см. табл. 1). В составе разнотравья отмечено 3.7 ± 0.4 видов на 100 м^2 , со средним покрытием 20%, из которых на долю *A. millefolium* и *A. austriaca* приходится до 17%. Сообщество характеризуется низким разнообразием ЭЦГ (3). В травостое доминируют виды луговой ЭЦГ (преобладают растения влажных лугов) как по числу видов, так и видовому обилию. Высоко участие видов степной ЭЦГ. Видовое богатство низкое и составляет 3 – 13 видов на 100 м^2 .

На участках Варваровской степи формировались сообщества полынно-ползучепырейниковой ассоциации (см. табл. 4, рис. 2). Травяной покров разрежен (ОПП 20 – 60%), доминирует *E. repens*, местами содоминантом являются *A. austriaca* и *P. pratensis*. Помимо отмеченных видов с высоким постоянством встречается *T. officinale* (класс константности 4). *F. valesiaca* и *A. millefolium* имеют средние значения константности (класс константности 3), но местами встречаются с высоким обилием. В среднем на ПП злаки представлены 2.5 ± 0.2 видами, но имеют наибольшее проективное покрытие (см. табл. 1), в составе разнотравья отмечено 3.0 ± 0.4 видов на 100 м^2 , с низким проективным покрытием 8%. Бобовые отсутствуют. В сообществе присутствуют виды только 2 ЭЦГ: доминируют виды луговой ЭЦГ (преобладают растения влажных лугов) как по числу видов, так и видовому обилию. Высоко участие видов степной ЭЦГ. Видовое богатство низкое и составляет 3 – 9 видов на 100 м^2 .

Современный растительный покров пунктов исследования представлен сообществами луговых степей 2 ассоциаций: разнотравно-береговокостречовой (у подножия Чихан-горы) и типчаково-береговокостречовой (Варваровская степь) (см. табл. 4, рис. 2).

У подножия Чихан-Горы ОПП травостоя сообществ увеличилось до 50 – 70%. Абсолютным доминантом в настоящее время является *Bromopsis riparia*, с высоким постоянством встречаются *P. angustifolia*, *Galium verum*, *Convolvulus arvensis* (класс константности 5), *Falcaria vulgaris*, *Fragaria viridis* (класс константности 4). Наблюдаются одиночные дерновины ковылей – *Stipa dasyphylla* и *S. pennata*. Фоновые виды встречаются очень редко (отмечены только на 2 ПП из 7) и с низким

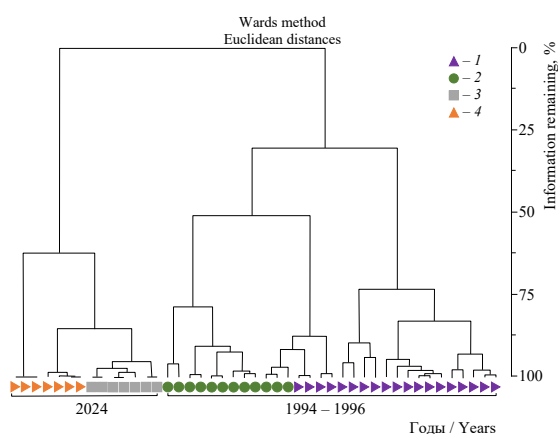


Рис. 1. Дендрограмма сходства геоботанических описаний мест обитания крапчатых сусликов в Ульяновской области: 1 – Чихан-Гора, 1994 г.; 2 – Варваровская степь, 1996 г.; 3 – Чихан-Гора, 2024 г.; 4 – Варваровская степь, 2024 г.

Fig. 1. Similarity dendrogram of the geobotanical descriptions of the habitats of speckled ground squirrels in the Ulyanovsk region: 1 – Chikhan-Gora mountain, 1994; 2 – Varvarovskaya steppe, 1996; 3 – Chikhan-Gora mountain, 2024; 4 – Varvarovskaya steppe, 2024

Таблица 4. Видовое разнообразие и высококонстантные виды растительных сообществ в местах обитания крапчатых сусликов в Ульяновской области
Table 4. Species diversity and highly constant types of plant communities in the habitats of speckled ground squirrels in the Ulyanovsk region

Признаки / Feature	Места обитания сусликов / Habitats of ground squirrels			
	Чихан-I ора, 1994 г. / Chikan-Gora mountain, 1994	Варваровская степь, 1996 г. / Varlavovskaya steppe, 1996	Чихан-I ора, 2024 г. / Chikan-Gora mountain, 2024	Варваровская степь, 2024 г. / Varlavovskaya steppe, 2024
Ассоциации / Association	Остепненный луг / Stepped meadow	Луговая степь / Meadow steppe	типчаково-беретовоко- третиковая / Festuco- bromorsetium prairie	
разнотравно-злаковая / mixto-cereoso- gramineosum	полянно-получершярейная / atemiso-elutrigiosum	разнотравно-беретово- кострцовая / mixto- herboso-bromorsetio- sum prairie		
Число описаний / Number of descriptions	21	12	7	7
Число видов / Number of species	20	14	48	29
Среднее покрытие травостоя, % / Average herbage coverage, %	45	40	70	55
Среднее число на 100 м ² / Average number per 100 m ²	6.7±0.6	5.5±0.5	15.7±2.8	12.4±2.3
ЭЦП / ECG:	а	б	а	б
Bt	–	–	0.9±0.1	1.4±0.3
Md	4.2±0.4	61.7±5.0	4.1±0.4	62.5±4.1
Nm	–	–	0.4±0.2	0.4±0.2
Nt	–	–	0.3±0.2	0.3±0.2
Ph	0.3±0.1	0.6±0.3	–	–
St	2.3±0.2	37.6±4.8	1.4±0.2	37.4±7.0
Высококонстантные виды / Species with high consistency	<i>H. rubescens</i> , <i>P. pratensis</i> , <i>A. millefolium</i>	<i>E. repens</i> , <i>P. pratensis</i> , <i>A. austriaca</i> , <i>T. officinale</i>	<i>B. piriata</i> , <i>C. arvensis</i> , <i>G. vertic.</i> , <i>P. angustifolia</i>	<i>B. piriata</i> , <i>P. angustifolia</i> , <i>C. erigeron</i> , <i>F. vesicaria</i> , <i>A. millefolium</i> , <i>S. avatica</i>
Индикаторные виды* (индикаторные значения > 90%) / Indicator species* (indicator values > 90%)	<i>H. rubescens</i> , <i>A. millefolium</i> , <i>P. pratensis</i>	<i>E. repens</i>	<i>C. arvensis</i> , <i>G. vertic.</i> , <i>B. piriata</i>	<i>C. erigeron</i> , <i>P. angustifolia</i>

Примечание. а – среднее число видов на ПП в травостое; б – доля видов в травостое с учетом обилия в среднем по ПП. *Виды
 расположены по убыванию индикаторных значений; жирным шрифтом выделены преобладающие ЭЦП с учетом обилия видов.

Note. a – the average number of species per 100 m² in the herbage; b – the proportion of species in the herbage, taking into account the
 abundance of the average 100 m². *The species are arranged in descending order of indicator values; the predominant ecological cenotic groups
 (ECG) are highlighted in bold, taking into account the abundance of species.

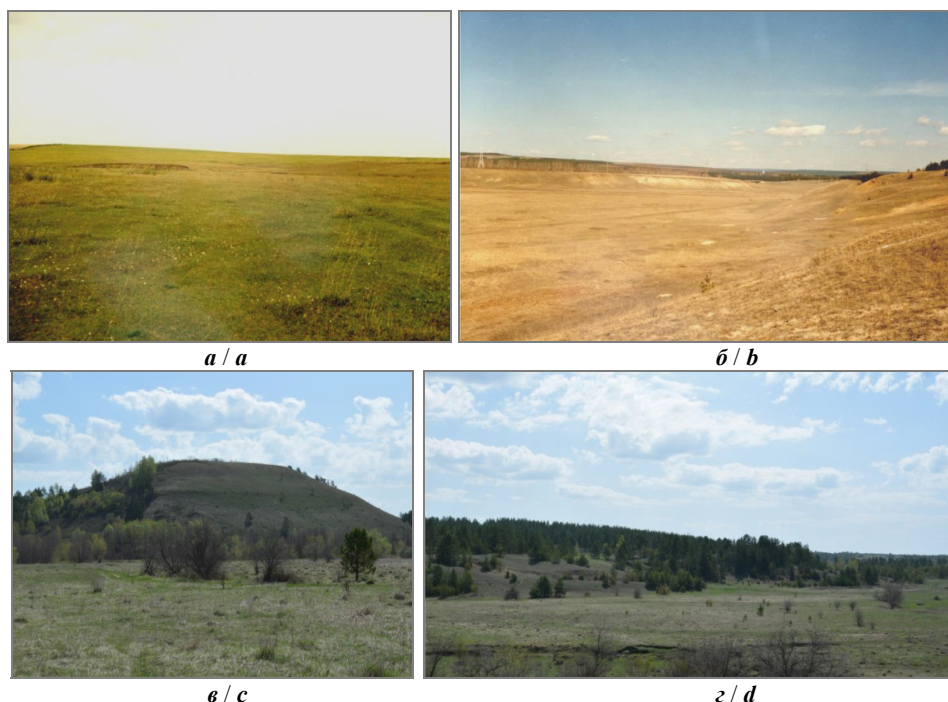


Рис. 2. Места обитания сусликов: *a* – Чихан-Гора, 1994 г.; *б* – Варваровская степь, 1996 г.; *в* – Чихан-Гора, 2024 г.; *г* – Варваровская степь, 2024 г.

Fig. 2. Ground squirrel habitats: *a* – Chikhan-Gora mountain, 1994; *b* – Varvarovskaya steppe, 1996; *c* – Chikhan-Gora mountain, 2024; *d* – Varvarovskaya steppe, 2024

обилием 0.5 – 1%. В среднем на ПП злаки представлены 4.4 ± 0.5 видами и имеют наибольшее проективное покрытие (см. табл. 1), в составе разнотравья отмечено 9.3 ± 2.0 видов на 100 м^2 , со средним покрытием $14.4 \pm 4.1\%$, наибольшие АПП имеют *F. viridis*, *G. verum*, *Veronica chamaedrys*. Бобовые по-прежнему не имеют широкого распространения в современном покрове участка, при этом число видов семейства за период наблюдений увеличилось с 3 до 5. По обилию только *Securiger avaria* имеет АПП около 5%. В трети геоботанических описаний отмечен подрост степных кустарников в разных сочетаниях имматурного возрастного состояния нормальной жизненности. В настоящее время кустарники пока не имеют широкого распространения в сложении сообщества и не вышли из яруса травостоя, однако процесс сylvатизации уже начался. Сообщество характеризуется высоким разнообразием ЭЦГ – 6 (см. табл. 4). В травостое по видовому обилию доминируют виды степной ЭЦГ, по числу видов растения степей и лугов имеют близкие значения. Среди растений лугов сохраняется доминирование видов влажных лугов, но при высоком участии растений сухих лугов. Видовое богатство составляет 10 – 26 видов на 100 м^2 .

В травяном покрове сообществ (ОПП 40 – 60%) Варваровской степи в настоящее время доминирует *B. riparia*, с высоким постоянством и местами с высоким

обилием встречается *Calamagrostis epigeios* или *F. valesiaca*. Помимо отмеченных видов с высоким постоянством и невысоким обилием характерны *P. angustifolia*, *A. millefolium* (класс константности 5), *Securiger avaria*, *F. viridis*, *G. verum*, *Senecio jacobaea* (класс константности 4). Наблюдаются одиночные дерновины ковылей *S. pennata*. В среднем на ПП злаки представлены 4.7 ± 0.3 видами и имеют наибольшее проективное покрытие (см. табл. 1). В составе разнотравья отмечено 6.4 ± 1.7 видов на 100 м^2 и при более чем двукратном увеличении числа видов этой группы в составе сообщества за период наблюдений, а проективное покрытие растений этой группы снижается. *F. valesiaca* и *A. millefolium* сохранили свое участие в сложение покрова. На отдельных участках АПП типчака составляет до 15% от общего проективного покрытия. *A. millefolium* при высоком постоянстве не имеет высокого АПП: 0.5 – 1%. Обилие этих видов существенно снижается при увеличении АПП *C. epigeios*. *A. austriaca* существенно сократила участие в сложении травостоя, вид отмечен только на двух ПП с минимальным участием. Изредка на ПП встречаются имматурные растения *P. sylvestris*. Сообщество характеризуется участием видов 5 ЭЦГ (см. табл. 4). В травостое по числу видов и видовому обилию доминируют виды степной ЭЦГ. Среди растений лугов сохраняется доминирование видов влажных лугов, высоко участие растений сухих лугов. Видовое богатство составляет 6 – 21 видов на 100 м^2 .

Были получены следующие результаты ординации в трех первых осях DCA геоботанических описаний мест обитания крапчатых сусликов в Ульяновской области (рис. 3). Суммарный коэффициент детерминации для первых осей имеет высокое значение – 81.7%. Для третьей оси DCA коэффициент детерминации равен лишь 6.1%.

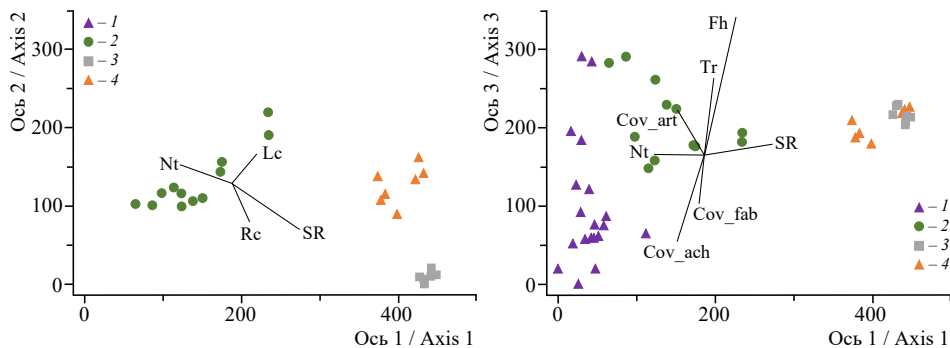


Рис. 3. Положение геоботанических описаний мест обитания крапчатых сусликов в Ульяновской области в первых трех осях DCA вместе с векторами факторов: Tr – обобщенный солевой режим (трофность) почвы, Nt – богатство почвы азотом, Fh – переменность увлажнения почв, Lc – освещенность, SR – число видов на ПП, Cov_ach – АПП *A. millefolium*, Cov_art – АПП *A. austriaca*, Cov_fab – проективное покрытие бобовых. Условные обозначения мест обитания крапчатых сусликов в Ульяновской области см. рис. 1

Fig. 3. Position of geobotanical descriptions of the habitats of speckled ground squirrels in the Ulyanovsk region in the first three DCA axes along with vectors of factors: Tr – generalized salt regime (trophicity) of the soil, Nt – soil nitrogen richness, Fh – soil moisture variability, Lc – illumination, SR – number of species on the plot, Cov_ach – projective cover *A. millefolium*, Cov_art – projective cover *A. austriaca*, Cov_fab – projective cover of legumes. The designation of the habitats of speckled ground squirrels in the Ulyanovsk region is the same as in Fig. 1

ТРАНСФОРМАЦИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ КАК ЛИМИТИРУЮЩИЙ ФАКТОР

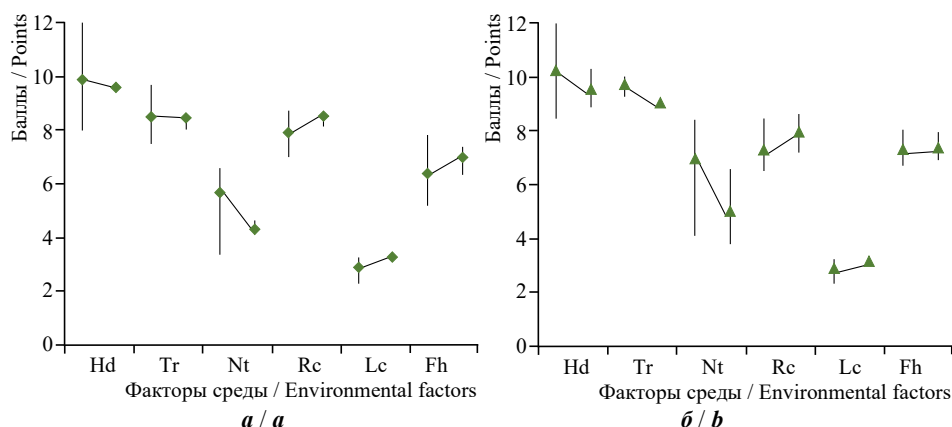


Рис. 4. Диапазоны экологических оценок растительных сообществ мест обитания крапчатых сусликов в Ульяновской области по годам наблюдений (1994 – 2024 гг.): *a* – окрестности Чихан-Горы; *б* – Варваровская степь. Пунксами отмечены средние балловые значения фактора. Факторы среды: Hd – увлажнение почвы, Rc – кислотность почвы, Tr – обобщенный солевой режим (трофность) почвы, Nt – богатство почвы азотом, Lc – освещенность и Fh – переменность увлажнения почв

Fig. 4. Ranges of ecological assessments of plant communities of the speckled ground squirrel habitats in the Ulyanovsk region by year of observation (1994–2024): *a* – environs of Chikhan-Gora mountain, *b* – Varvarovskaya steppe. The average score values of the factor are marked with punches. Environmental factors: Hd – soil moisture, Rc – soil acidity, Tr – general salt regime (trophicity) of the soil, Nt – soil nitrogen richness, Lc – illumination, and Fh – variability of soil moisture

С первой осью DCA коррелируют обеспеченность почвы азотом ($r_s = -0.52$), переменность увлажнения ($r_s = 0.41$), число видов на ПП ($r_s = 0.59$); со второй осью – кислотность почвы ($r_s = -0.42$), освещенность ($r_s = 0.43$) и число видов на ПП ($r_s = -0.45$). У третьей оси наиболее сильная корреляция с факторами трофности почвы ($r_s = -0.65$), переменности увлажнения ($r_s = 0.86$), АПП *A. millefolium* ($r_s = -0.67$), проективному покрытию видов семейства бобовые на ПП ($r_s = -0.52$) и АПП *A. austriaca* ($r_s = 0.43$).

По экологическим характеристикам сообщества имеют близкие балловые значения по всем факторам среды (рис. 4). Однако за период исследования наблюдаются сходные изменения балловых значений в местах обитания сусликов: снижение влажности почв, их трофности, богатства азотом, кислотности при увеличении затенения и переменности увлажнения почв.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Депрессия численности и исчезновение поселений крапчатого суслика в различных частях ареала вида обсуждается многими исследователями на протяжении последних десятилетий (Titov, 2001; Nedosekin, Ushakov, 2005; Shilova et al., 2010; Rodimtsev, 2012; Titov et al., 2015, 2024; Sapelnikov, Sapelnikova, 2019, 2021; Zhigarev, Rumyantsev, 2024). В качестве основных причин авторами указываются

увеличение площади распаханых земель, сокращение выпаса скота, использование в растениеводстве широкого спектра химических веществ, прямое истребление грызунов человеком, хищничество (Lobkov, 2006; Pivanova, Shubina, 2009; Oparin, Oparina, 2010; Shilova, 2011; Titov et al., 2024). По мнению С. А. Шиловой с соавторами (Shilova et al., 2010), на устойчивость популяций и динамику численности в поселениях крапчатого суслика в Московской области определенное влияние оказывают динамические изменения растительности – замена остепненных лугов сорнотравными молодыми залежами. Наши исследования показали, что прекращение выпаса скота в местах обитания крапчатых сусликов в Ульяновской области приводит к изменению состава флоры и структуры растительного покрова. В составе фитоценозов наблюдается увеличение видового богатства более чем в 2 раза, характерно внедрение древесных видов. Происходит увеличение структурного разнообразия сообществ за счет внедрения в их состав видов боровой, неморальной и бореальной ЭЦГ. Доминирующая роль в фитоценозах переходит видам степной ЭЦГ как по числу видов, так и видовому обилию.

Формирующиеся на фоне выпаса (1994 – 1996) сообщества остепненных лугов с высоким участием *F. valesiaca*, *P. pratensis*, *H. pubescens*, *E. repens* после прекращения выпаса сменяются ценозами луговых степей (2024) с доминированием *B. riparia*, *P. angustifolia*, *C. epigeios*. Происходит увеличение общего проективного покрытия травостоя (с 40 до 60 – 70%). Исчезновение поселений крапчатого суслика в этих биогеоценозах, по нашим наблюдениям, происходит через 3 – 5 лет после прекращения выпаса.

Сходные выводы о влиянии плотного сложения травостоя на состояние популяций сусликов приведены в работах и других авторов. Так, С. В. Пиванова и Ю. Э. Шубина (Pivanova, Shubina, 2009) указывают, что в Центральном Черноземье зверек предпочитает участки с невысоким травяным покровом. С. А. Шилова (Shilova, 2011) отмечает, что одной из причин многолетней депрессии малого суслика на юге Калмыкии можно считать замену первичной коренной полупустыни антропогенной степью, в которой сомкнутость и густота травостоя создают неблагоприятные условия для его существования. В условиях юга Нижнего Поволжья оптимальными местообитаниями для малого суслика являются участки злаково-полынно-разнотравной сухой степи с разреженной растительностью, полынно-злаковые полупустыни и полынно-солянковые пустыни на целинных и залежных землях (Magerramov et al., 2022, 2025).

Основной рацион крапчатого суслика состоит из вегетативных частей, плодов и семян растений: тысячелистника, типчака, овсяницы, пырея ползучего, костра, лебеды, одуванчика, василька, земляники (Barabash-Nikiforov, 1957; Lobkov, 1999; Titov, 1999). В Центральном Черноземье в мае – июне в рационе преобладают зеленые части растений, преимущественно злаковых и сложноцветных, а с июня по август – плодов и семян (Pivanova, Shubina, 2009).

Нами установлено, что при прекращении выпаса фоновые виды (*F. valesiaca*, *A. austriaca* и *A. millefolium*) сокращают свое участие в травостое и встречаются с невысоким обилием. При этом наиболее резкое снижение участия всех трех фоновых видов характерно для сообществ с более длительным периодом отсутствия

выпаса. Очевидно, первым из отмеченных видов сокращает свое участие в сложении травостоя *A. austriaca*, несколько позже при высоком постоянстве уменьшается обилие *A. millefolium*. Плотнокустовой злак *F. valesiaca* наиболее долго сохраняет свое участие в сложении травяного покрова.

Норная деятельность сусликов играет важную роль в поддержании микроклимата биотопов. Б. Д. Абатуров (Abaturon, 2010) отмечает, что ведущее значение в формировании специфического западного микрорельефа в северной части Прикаспийской низменности сыграла деятельность малого суслика: создаваемые зверьками особые норы-веснянки открывали доступ атмосферным водам в глубокие горизонты почвы.

Наши исследования экологических условий мест обитания крапчатого суслика (по шкалам Цыганова) показали, что за тридцатилетний период наблюдений произошли изменения балловых значений по основным факторам среды: снижение влажности почв, их трофности, богатства азотом, кислотности при увеличении затенения и переменности увлажнения почв, то есть современные сообщества формируются в более засушливых, менее богатых азотом и «кислых» местообитаниях. На наш взгляд, одной из причин смены экологических условий местообитаний является исчезновение крапчатого суслика из биоценозов. Роящая деятельность этих зверьков являлась важным фактором увлажнения почв за счет проникновения атмосферных осадков, которое обеспечивало возможность развития сообществ с высоким участием луговых видов.

Таким образом, важным фактором для сохранения и возможного восстановления поселений крапчатого суслика, как «ключевого» вида лесостепных комплексов Русской равнины, является сохранение в регионе разреженных травяных сообществ с высоким участием в их составе злаков, бобовых и отдельных видов разнотравья, являющихся основой кормовой базы этих грызунов. Очевидно, что в создавшихся условиях эти мероприятия возможны на охраняемых территориях при соблюдении научно обоснованного антропогенного воздействия, реализуемого в форме сенокосения и выпаса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

Abaturon B. D. Microdepressions microrelief of Caspian lowland and mechanisms of its formation. *Arid Ecosystems*, 2010, vol. 16, no. 5, pp. 31–45 (in Russian).

Abrakhina I. B. Influence of land plowing on the number and distribution of ground squirrels in the Ulyanovsk region. In: *Vliyanie antropogennoi transformatsii landshafta na naselenie nazemnykh pozvonochnykh zhivotnykh: tezisy Vsesoyuznogo soveshchaniya* [Influence of Anthropogenic Transformation of the Landscape on the Population of Terrestrial Vertebrates: Abstracts of the All-Union Meeting]. Moscow, VNI okhrany prirody i zapovednogo dela Gosagroproma SSSR, 1987, pt. 1, pp. 308–310 (in Russian).

Artemyev Yu. T. *Ecological and Morphological Sketch of Squirrels of the Volga-Kama Region*. Thesis Diss. Cand. Sci. (Biol.). Kazan, 1966. 24 p. (in Russian).

Assessment and Conservation of Forest Cover Biodiversity in the Reserves of European Russia. Moscow, Nauchnyi mir, 2000. 196 p. (in Russian).

Barabash-Nikiforov I. I. *Zveri yugo-vostochnoi chasti Chernozemnogo Tsentra* [Beasts of the South-Eastern Part of the Black Earth Center]. Voronezh, Voronezhskoe knizhnoe izdatel'stvo, 1957, pp. 219–230 (in Russian).

Bogdanov M. N. Birds and mammals of the chernozem zone in the Volga region and valleys of both Middle Volga and Lower Volga (biogeographic materials). *Proceedings of the Society of Naturalists in the Imperial Kazan University*, 1871, vol. 1, pp. 4–226 (in Russian).

Dufrene M., Legendre P. Species assemblages and indicator species: The need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs*, 1997, vol. 67, no. 3, pp. 345–366. <https://doi.org/10.2307/2963459>

Fedorovich F. F. Animals and birds of the Penza province. *Trudy Penzenskogo obshchestva lyubiteley prirody*, 1915, iss. 2, pp. 41–76 (in Russian).

Hill M. O., Gauch H. G. Detrended correspondence analysis: An improved ordination technique. *Vegetatio*, 1980, vol. 42, iss. 1–3, pp. 47–58. <https://doi.org/10.1007/BF00048870>

Krylova T. V., Deistfeldt L. A. Patterns of stationary distribution of settlements of the small mountain gopher. *Ecologiya*, 1987, no. 1, pp. 59–66 (in Russian).

Lobkov V. A. *Spotted Sousliks of the Northeastern Black Sea Region: Biology and Population Functioning*. Odessa, AstroPrint, 1999, pp. 113–120 (in Russian).

Lobkov V. A. Ecological reasons for changes in the number and distribution of the speckled ground squirrel *Spermophilus suslicus* (Guldenstaedt, 1770). *Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Biological Series*, 2006, vol. 111, iss. 5, pp. 59–64 (in Russian).

Magerramov S. V., Martsokha K. S., Yakovlev S. A., Mandzhieva V. S., Bondarev V. A., Lidzhigaryaeva G. V., Matrosov A. N., Popov N. V. Modern climate warming impact on the population dynamics of the small ground squirrel (*Spermophilus pygmaeus* Pallas, 1778) (Rodentia, Mammalia) in the Ilmenno-Prideltovy region of the Caspian lowland. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2022, no. 1, pp. 17–33 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2022-1-17-33>

Magerramov Sh. V., Matrosov A. N., Bocharnikova T. A., Grazhdanov A. K., Martsokha K. S., Kuznetsov A. A., Sludsky A. A., Popov N. V. Decrease in the population of the small ground squirrel – *Spermophilus pygmaeus* Pallas, 1779 (Rodentia, Sciuromorpha, Sciuridae) in the Volga–Ural steppe natural focus of plague. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2025, no. 1, pp. 48–63 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2025-1-48-63>

McCune B., Grace J. B. *Analysis of Ecological Communities*. Gleneden Beach, Oregon, MjM Software Design, 2002. 300 p.

McCune B., Mefford M. J. *Multivariate Analysis of Ecological Data*. Gleneden Beach, Oregon, MjM Software Design, 1999. 237 p.

Nedosekin V. Yu., Ushakov M. V. On the state of the speckled ground squirrel in the Lipetsk region. In: *Ground Squirrels of Eurasia (Genera Spermophilus, Spermophilopsis): Origin, Taxonomy, Ecology, Behavior, and Species Diversity Conservation: Proceedings of the Russian Scientific Conference*. Moscow, KMK, 2005, pp. 65–66 (in Russian).

Nitsenko A. A. On the problem of investigation of ecological structure of the vegetational cover. *Botanicheskii zhurnal*, 1969, vol. 54, no. 7, pp. 1002–1014 (in Russian).

Okulova N. M. A burrow of the little souslik as a consortia. *Parazitologiya*, 2003, vol. 37, iss. 5, pp. 361–380 (in Russian).

Oparin M. L., Oparina O. S. Bird and mammal complex transformation of steppe ecosystems under ploughing up (with Saratov steppes as examples). *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2010, no. 4, pp. 361–373 (in Russian).

Persson S. Ecological indicator values as an aid in the interpretation of ordination diagrams. *Journal of Ecology*, 1981, vol. 69, no. 1, pp. 71–84. <https://doi.org/10.2307/225981>

Pivanova S. V., Shubina Yu. E. Factors affecting the abundance of speckled ground squirrel (*Spermophilus suslicus* Guldenstaedt, 1770) in natural and anthropogenic landscapes. In: *Pest Management and Problems of Biodiversity Conservation: Materials of the Russian Scientific-Practical Conference with International Participation*. Moscow, A. N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences Publ., 2009, pp. 48–49 (in Russian).

Popov V. A. *Mlekopitaiushchie Volzhsko-Kamskogo kraya* (nasekomoyadnye, rukokrylye, gryzuny) [Mammals of the Volga-Kama Region (Insectivora, Chiroptera, Rodentia)]. Kazan, Kazan Branch of the USSR Academy of Sciences Publ., 1960. 468 p. (in Russian).

Rodimtsev A. S. New settlements of spotted souslik (*Spermophilus suslicus* Güld., 1770) in Tambov region. *Tambov University Reports. Series: Natural and Technical Sciences*, 2012, vol. 17, iss. 2, pp. 784–785 (in Russian).

Sapelnikov S. F., Sapelnikova I. I. Postnatal development of speckled ground squirrel (*Spermophilus suslicus* Güld., 1770) (Sciuridae, Mammalia) in Captivity. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2019, no. 1, pp. 47–60. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2019-1-47-60>

Sapelnikov S. F., Sapelnikova I. I. Retrospective analysis of condition of populations of *Spermophilus suslicus* Güldenstädt, 1770 in Central Black Earth region and in adjacent territories and possible ways of preserving the species. *Field Biologist Journal*, 2021, vol. 3, no. 2, pp. 167–212 (in Russian). <https://doi.org/10.52575/2658-3453-2021-3-2-167-212>

Shilova S. A. Abundance control and conservation of sousliks in Russia (*G. spermophilus*). *Arid Ecosystems*, 2011, vol. 17, no. 4, pp. 267–272. <https://doi.org/10.1134/S2079096111040147>

Shilova S. A., Neronov V. V., Shekarova O. N., Savinetskaya L. E. Dynamics of colonies of the speckled ground squirrel (*Spermophilus suslicus* Güld., 1770) on the northern boundary of the habitat. *Biology Bulletin*, 2010, vol. 37, no. 5, pp. 532–536. <https://doi.org/10.1134/S1062359010050134>

Smirnov V. E., Khanina L. G., Bobrovsky M. V. Validation of the ecological-coenotical groups of vascular plant species for European Russian forests on the basis of ecological indicator values, vegetation releves and statistical analysis. *Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Biological Series*, 2006, vol. 111, iss. 2, pp. 36–47 (in Russian).

Smirnova O. V., ed. *Forests of Eastern Europe: Holocene History and Modern Times*: in 2 books. Moscow, Nauka, 2004, 1 books. 476 p. (in Russian).

Stoyko T. G., Denisov V. P., Gudkov A. S. Speckled ground squirrel as an indicator of anthropogenic impact on steppe communities of the forest-steppe zone. In: *Materialy V soveshchaniya po gryzunam* [Proceedings of the V Meeting on Rodents]. Moscow, Nauka, 1980, pp. 447–449 (in Russian).

Tikhvinsky V. I. *Materialy po izucheniyu suslika v Tatrespublike* [Materials on the Study of the souslik in the Tatar Republic]. Kazan, Oblastnaya poligrafshkola FZU im. Lunacharskogo, 1931. 11 p. (in Russian).

Titov S. V. Current distribution and changes in number of the spotted souslik, *Spermophilus suslicus*, in the eastern part of its range. *Zoologicheskij zhurnal*, 2001, vol. 80, no. 2, pp. 230–235 (in Russian).

Titov S. V. Habitat preference in *Spermophilus major* and *S. suslicus* in recently developed sympatric zone. *Zoologicheskij zhurnal*, 2000, vol. 79, no. 1, pp. 64–72 (in Russian).

Titov S. V. *Relationships Between the Speckled Ground Squirrel and the Great Ground Squirrel in the Recently Emerged Sympatry Zone*. Thesis Diss. Cand. Sci. (Biol.). Moscow, 1999. 24 p. (in Russian).

Titov S. V., Kartavov N. A., Leonova N. A., Smirnov D. G., Chernyshova O. V., Kuzmin A. A. Current status of populations of speckled ground squirrels (*Spermophilus suslicus* Güld.) in Volga region: History and scale of extinction. *Russian Journal of Ecosystem Ecology*, 2024, vol. 9, no. 3, pp. 1–13 (in Russian). <https://doi.org/10.21685/2500-0578-2024-3-1>

Titov S. V., Kuzmin A. A., Naumov R. V., Ermakov O. A., Zaks S. S., Chernyshova O. V. *Dynamics of Habitats and the Current State of Settlements of Terrestrial Squirrels in the Right Bank Regions of the Volga Region*. Penza, Penza State University Publ., 2015. 124 p. (in Russian).

Tkachenko V. S. Placement of mountain gopher burrows inside isolated habitats. In: *Ekologiya i okhrana gornyx vidov mlekopitayushchikh: materialy III Vsesoyuznoj shkoly* [Ecology and Protection of Mountain Species of Mammals: Materials of the III All-Union School]. Mos-

cow, Severtsov Institute of Evolutionary Morphology and Ecology of Animals of the USSR Academy of Sciences Publ., 1987, pp. 183–185 (in Russian).

Tsyganov D. N. *Fitoindikatsiya ekologicheskikh rezhimov v podzone khvoyno-shirokolistvennykh lesov* [Phyto-indication of Ecological Regimes in the Subzone of Coniferous-deciduous Forests.]. Moscow, Nauka, 1983. 196 p. (in Russian).

Zhigarev I. V., Rumyantsev V. Yu. Modern situation in spotted ground squirrel (*Spermophilus suslicus*) populations within the forest steppe of European Russia. *Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Biological Series*, 2024, vol. 129, iss. 6, pp. 3–13 (in Russian). <https://doi.org/10.55959/MSU0027-1403-BB-2024-129-6-3-13>

Zozulin G. M. Historical formations of vegetation of a part of the USSR. *Botanicheskii zhurnal*, 1973, vol. 58, no. 8, pp. 1081–1092 (in Russian).

Zozulin G. M. Relationships between forest and herbaceous vegetation in the Central Black Earth State Reserve. *Proceedings of the Central Chernozem State Reserve*, 1955, iss. 3, pp. 102–234 (in Russian).

Vegetation transformation as a limiting factor in the existence of rodent populations in open area (using the example of *Spermophilus suslicus*)

N. A. Leonova , N. A. Kartavov, O. V. Chernyshova, E. K. Volkova, S. V. Titov

Penza State University
40 Krasnaya St., Penza 440026, Russia

Received: October 15, 2024 / revised: November 15, 2024 / accepted: November 16, 2024 / published: March 31, 2025

Abstract. A comparative analysis of the composition and structure of plant communities in two places of the former habitat of *Spermophilus suslicus* in the Nikolaevsky district of the Ulyanovsk region is provided. Our analysis of the current state of *S. suslicus* populations in the Volga region has shown that over the past fifty years there has been a critical decline in the numbers of the species, and even its complete disappearance has been noted in some regions. A number of researchers note that dynamic changes in vegetation have certain influence on these processes. Therefore, the goal of our work was a comparative study of the vegetation of biotopes at the time of high numbers of animals against the background of intensive grazing and in the absence of gopher settlements for more than 15–20 years in the absence of grazing. Our studies have shown an increase in the species richness and structural diversity of communities due to the introduction of species from the upland, nemoral and boreal ecological-coenotic groups into their composition. Phytocenoses of steppe meadows with a high participation of *Festuca valesiaca*, *Poa pratensis*, *Helictotrichon pubescens*, and *Elytrigia repens* after the cessation of grazing are replaced by cenoses of meadow steppes with the dominance of *Bromopsis riparia*, *Poa angustifolia*, and *Calamagrostis epigeios*. There is an increase in the total projective cover of the grass stand (from 40 up to 60–70%). Forage species that are background ones when the number of animals is high sharply reduce their participation in the grass stand. Changes in the ecological conditions of biotopes are characteristic, namely: modern communities are formed in drier, less nitrogen-rich and “acidic” habitats. The preservation and possible restoration of spotted ground squirrel settlements in the Volga region is possible subject to scientifically based anthropogenic impact, implemented in the form of haymaking and grazing.

Keywords: *Spermophilus suslicus*, vegetation, species richness, community structure, vegetation transformation, Volga region

Funding: This work was financially supported by the Russian Science Foundation (Project number 22-24-20099, <https://rscf.ru/project/24-24-20099>).

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: Leonova N. A., Kartavov N. A., Chernyshova O. V., Volkova E. K., Titov S. V. Vegetation transformation as a limiting factor in the existence of rodent populations in open area (using the example of *Spermophilus suslicus*). *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2025, no. 1, pp. 31–47 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2025-1-31-47>

 *Corresponding author.* Department of Zoology and Ecology of the Faculty of Physical, Mathematical and Natural Sciences, Penza State University, Russia.

ORCID and e-mail addresses: Natalia A. Leonova: <https://orcid.org/0000-0001-9508-5008>, na_leonova@mail.ru; Nikita A. Kartavov: <https://orcid.org/0000-0001-9480-7523>, nikitakartavov@yandex.ru; Olga V. Chernyshova: <https://orcid.org/0009-0007-8287-9221>, oliarabbit@yandex.ru; Elena K. Volkova: <https://orcid.org/0009-0004-4106-7188>, elena.dad30@gmail.com; Sergey V. Titov: <https://orcid.org/0000-0001-9634-1157>, svtitov@yandex.ru.

Оригинальная статья

УДК 616.98:579.842.23:599.32

<https://doi.org/10.35885/1684-7318-2025-1-48-63>

СНИЖЕНИЕ ЧИСЛЕННОСТИ ПОПУЛЯЦИИ МАЛОГО СУСЛИКА – *SPERMOPHILUS PYGMAEUS* PALLAS, 1779 (RODENTIA, SCIUROMORPHA, SCIURIDAE) В ВОЛГО-УРАЛЬСКОМ СТЕПНОМ ПРИРОДНОМ ОЧАГЕ ЧУМЫ

Ш. В. Магеррамов ^{1✉}, А. Н. Матросов ¹, Т. А. Бочарникова ²,
А. К. Гражданов ¹, К. С. Марцоха ¹, А. А. Кузнецов ¹,
А. А. Слудский ¹, Н. В. Попов ¹

¹ Российский научно-исследовательский противочумный институт «Микроб»
Роспотребнадзора

Россия, 410005, г. Саратов, ул. Университетская, д. 46

² Астраханская противочумная станция Роспотребнадзора

Россия, 414000, г. Астрахань, ул. Кубанская, д. 3

Поступила в редакцию 13.03.2024 г., после доработки 24.05.2024 г., принята 28.05.2024 г., опубликована 31.03.2025 г.

Аннотация. Представлены результаты изучения популяции малого суслика (*Spermophilus pygmaeus* Pallas, 1779) на территории Волго-Уральского междуречья в 1940 – 2023 гг. Рассматривается влияние глобального потепления климата на динамику численности этого вида в Волго-Уральском степном природном очаге чумы. Статистически обработаны и проанализированы данные ежегодного учета численности малого суслика (число особей на 1 га); показатели интенсивности размножения; среднемесячные показатели температуры воздуха по метеостанциям г. Харабали за период 1940 – 2023 гг. Подчеркивается, что динамика численности вида определяется целым комплексом природных и антропогенных факторов. Вместе с тем, в условиях полупустыни для малого суслика лимитирующим является распределение температуры воздуха и осадков по сезонам и годам. Проанализировано воздействие температур в январе – феврале, провоцирующих выход на поверхность при пробуждении малого суслика от зимней спячки. Выявлен основной механизм, определяющий негативное влияние современного потепления климата на популяции малого суслика в регионе Северного Прикаспия.

Ключевые слова: малый суслик, показатели плотности, температуры января и февраля, потепление климата, Волго-Уральский степной природный очаг чумы

✉ Для корреспонденции. Лаборатория эпизоотологического мониторинга и сектор информационных технологий в эпидемиологии Российского научно-исследовательского противочумного института «Микроб» Роспотребнадзора.

ORCID и e-mail адреса: Магеррамов Шамиль Валехович: <https://orcid.org/0000-0002-2578-1558>, magerramov.1994@list.ru; Матросов Александр Николаевич: <https://orcid.org/0000-0003-4893-7188>, anmatrosoy@mail.ru; Бочарникова Татьяна Александровна: harabalipcho@yandex.ru; Гражданов Александр Константинович: <https://orcid.org/0000-0002-0022-9521>, rusrapi@microbe.ru; Марцоха Кирилл Сергеевич: <https://orcid.org/0000-0003-2913-3766>, box4hawx@mail.ru; Кузнецов Александр Александрович: <https://orcid.org/0000-0002-0677-4846>, sansanych-50@mail.ru; Слудский Александр Аркадьевич: <https://orcid.org/0000-0003-4705-6151>, rusrapi@microbe.ru; Попов Николай Владимирович: <https://orcid.org/0000-0003-4099-9261>, popovnv47@mail.ru.

© Магеррамов Ш. В., Матросов А. Н., Бочарникова Т. А., Гражданов А. К., Марцоха К. С., Кузнецов А. А., Слудский А. А., Попов Н. В., 2025

СНИЖЕНИЕ ЧИСЛЕННОСТИ ПОПУЛЯЦИИ МАЛОГО СУСЛИКА

Соблюдение этических норм. Протоколы с использованием животных были одобрены Комиссией по биоэтике Российского научно-исследовательского противочумного института «Микроб» Роспотребнадзора (протокол № 4 от 11.03.2022 г.).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Маггеррамов Ш. В., Матросов А. Н., Бочарникова Т. А., Гражданов А. К., Марцоха К. С., Кузнецов А. А., Слудский А. А., Понов Н. В. Снижение численности популяции малого суслика – *Spermophilus pygmaeus* Pallas, 1779 (Rodentia, Sciuromorpha, Sciuridae) в Волго-Уральском степном природном очаге чумы // Поволжский экологический журнал. 2025. № 1. С. 48 – 63. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2025-1-48-63>

ВВЕДЕНИЕ

Изучение динамики численности животных является одним из основных разделов системы экологического мониторинга биogeоценозов. Уровень численности обусловлен адаптацией популяций к меняющимся условиям среды обитания под воздействием природных и антропогенных факторов (McComb et al., 2010). В условиях полупустынных и пустынных экосистем животные наиболее уязвимы и зависимы от целого комплекса факторов, многие из которых могут быть лимитирующими при оценке их воздействия на рождаемость, выживаемость и смертность (Titkova et al., 2023). Динамика численности животных, имеющих медицинское или хозяйственное значение, является важным объектом экологических исследований не только в прикладном (для нужд эпидемиологии, охотоведения, сельского хозяйства и т.д.), но и в теоретическом плане.

Малый суслик (*Spermophilus pygmaeus* Pallas, 1779) занимает обширный ареал Евразии, что определяет его высокую подвидовую изменчивость (Nikol'skii et al., 2007). Несмотря на это, она характеризуется небольшими географическими отличиями, объясняющимися относительной исторической молодостью вида. На этом основании он до недавнего времени считался полиморфным, экологически пластичным и процветающим видом (Gromov, 1957; Varshavsky, 1962). Малый суслик в XIX – XX столетиях был широко распространён в равнинных и низкогорных сухих степях и полупустынях Приднепровья, Предкавказья, Нижнего Поволжья, на востоке достигая пустыни Бетпак-Дала (Pavlinov, 2019). На западе он не встречался дальше Днепра, а северная граница ареала проходила от его низовий по рекам Ворскла и Коломак, по Северскому Донцу опускалась до 49° с.ш. (г. Изюм), пересекала Дон, поворачивала к востоку на Саратов. По левобережью Волги граница поднималась до 53° с.ш., смещалась на юго-восток, по берегу р. Самары выходила к р. Урал, левобережьем которой опять достигала 53° с.ш. (г. Троицк). Далее граница заходила в Казахстан: поворачивая на юго-восток, выходила к Астане, а оттуда – к озеру Зайсан. Южная граница ареала от Днепра проходила по побережью Чёрного (включая Крым) и Азовского морей, северокавказским степям, северному побережью Каспийского моря, оттуда шла по плато Устюрт вдоль 43° с.ш., огибала с севера Аральское море и спускалась по Сырдарье до низовий Сарысу (Sokolov, 1977).

Характерный обитатель подзоны южных пустынных степей, пустынь и, в особенности, глинистых полупустынь, включая закрепленные песчаные, глинисто-песчаные (на западе ареала), глинистые и лессовые (центральная и восточная часть ареала) (Sludskiy et al., 1969; Zaletaev, 1976; Gromov, Erbajeva, 1995). Оптимальными местообитаниями для малого суслика являются участки разнотравно-полынной сухой степи с разреженной растительностью, полынно-злаковые полупустыни и полынно-солянковые пустыни на целинных и залежных землях.

В недалеком прошлом малый суслик на территории Волго-Уральского междуречья был одним из наиболее многочисленных, средообразующих видов грызунов глинистой полупустыни (Zaletaev, 1976; Varshavsky et al., 1986). Суслики были важным элементом в цепи питания пернатых и наземных хищников, наносили большой вред посевам сельскохозяйственных культур. Малый суслик является основным резервуаром возбудителя чумы, определяя особенности природной очаговости этой особо опасной инфекции в природных очагах Северного Прикаспия (Kalabukhov, Raevsky, 1936; Rall, 1960; Popova, Kuttyrev, 2022). Волго-Уральский степной очаг чумы в XIX – первой половине XX в. отличался высокой эпизоотической и эпидемической активностью. На его территории развивались эпизоотии в поселениях малого суслика, что провоцировало эпидемические осложнения среди населения. В границах России и Казахстана в 1876 – 1938 гг. в этом очаге было зарегистрировано 1108 случаев заболеваний людей чумой, из которых 1025 (92.5%) закончились летально (Popova, Kuttyrev, 2016). Последние два десятилетия, при достаточно тщательном надзоре за чумой силами Астраханской и Уральской противочумных станций Российской Федерации и Республики Казахстан, эпизоотии на этой территории не выявляются, заболевания людей не отмечаются. Основной причиной такого «затишья» в очаге чумы является достаточно низкая современная численность малого суслика и его блох, участвующих в эпизоотическом процессе (Popova, Kuttyrev, 2022).

В настоящее время изменения климата во многих регионах мира, в том числе и на территории Волго-Уральского междуречья, определяют необходимость изучения воздействия природно-климатических факторов на состояние чумной паразитарной системы в описываемом регионе. В качестве контролируемых индикаторных показателей в системе экологического мониторинга используется динамика численности и распространения фоновых видов мелких млекопитающих в Волго-Уральском междуречье – малого суслика. Изменения климатических условий, выходящие за пределы нормы, негативно влияют на численность грызунов через увеличение смертности особей, снижение интенсивности размножения.

В последние годы в результате потепления климата и антропогенного пресса численность малого суслика существенно сократилась: граница ареала вида сместилась до 100 км к югу (Oparin, Oparina, 2010; Popov et al., 2016, 2019). По результатам исследований современный нозоареал Волго-Уральского степного природного очага чумы из-за низкого уровня численности суслика – основного носителя возбудителя чумы в границах России сократился на 30% (Kuznetsov et al., 2017). В российской части очага последние находки зараженных чумой животных регистрировали только в 20 – 30-х гг. XX в. В границах Республики Казахстан эпизоо-

тии чумы в поселения вида неоднократно развивались в разных частях этого очага до 2001 гг. (Grazhdanov, Maikanov, 2022).

Падение численности региональной популяции малого суслика в многолетнем аспекте ведет к закономерному сокращению ареала и фрагментации сохранившихся поселений зверьков. Вышесказанное определяет актуальность исследования современного состояния численности и пространственно-временной структуры ареала вида на территории Волго-Уральского междуречья.

Основной целью исследования явилось определение влияния потепления климата на многолетнюю динамику численности и распространения малого суслика в Волго-Уральском степном природном очаге чумы на территории Российской Федерации.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Волго-Уральский степной природный очаг располагается в северной части Прикаспийской низменности в междуречье Волги и Урала. Площадь очага составляет 85000 км², из которых в Российской Федерации (Астраханская и Волгоградская области) – 20873 км², занимает северо-западную территорию очага. Большая часть очага – 64127 км² расположена в степной и полупустынной зонах Западно-Казахстанской и Атырауской областей Республики Казахстан (рис. 1).

Изучение малых сусликов основано на данных полевых и лабораторных исследований, проведенных сотрудниками противочумных учреждений Российской Федерации в 1940 – 2023 гг. на территории Волго-Уральского степного очага чумы в административных границах Харабалинского и Ахтубинского районов Астраханской области, Ленинского, Палласовского, Быковского и Николаевского районов Волгоградской области. В работе использованы литературные источники, архивные данные и оперативные материалы ФКУН Российского противочумного института «Микроб» Роспотребнадзора и ФКУЗ «Астраханская противочумная станция» Роспотребнадзора.



Рис. 1. Современные границы Волго-Уральского степного природного очага чумы на территории Российской Федерации и Республики Казахстан: 1 – государственная граница, 2 – границы Волго-Уральского степного природного очага чумы, 3 – места сбора малого суслика в 1940 – 1999 гг., 4 – места сбора малого суслика в 2000 – 2023 гг.

Fig. 1. Modern borders of the Volga-Ural steppe natural plague focus in the territory of the Russian Federation and the Republic of Kazakhstan: 1 – the state border; 2 – the boundaries of the Volga-Ural steppe natural plague focus; 3 – collection sites of the small ground squirrel in 1940–1999; 4 – collection sites of the small ground squirrel in 2000–2023

За указанный период было собрано и исследовано в лабораториях противочумных подразделений около 135 тыс. экз. малого суслика. При эпизоотологическом обследовании плотность пунктов отбора полевых проб в среднем за год составляла 3 точки на 100 км². В течение года обследовалось от 60 до 100 пунктов забора материала. С учетом характера распространения вида на территории очага пробы в 1940 – 1999 гг. располагались более или менее равномерно, в 2000 – 2023 гг. обследовались только территории с оставшимися поселениями сусликов в южной части очага.

Учеты численности малого суслика проводились общепринятыми капкано-площадочным или маршрутным методами при подсчете плотности зверьков на 1 гектар. В первые две недели после пробуждения от зимней спячки ее оценивали по числу вертикальных нор-веснянок, в апреле – мае – при вылове зверьков капканами на открывшихся после прикопки входах нор (Rall, 1936; Varshavsky, 1952; Fenyuk et al., 1963). Визуальные наблюдения за просыпанием сусликов от зимней спячки проводили на стационарных участках с января по март, за залеганием разных возрастных групп в летний период – в мае – июле.

Для анализа интенсивности размножения малого суслика использованы материалы, полученные при лабораторном исследовании зверьков на территории Астраханской противочумной станции. При вскрытии зверьков определялись их пол и возраст, у самок – генеративное состояние (Турикова, 1964). Обработаны и проанализированы метеорологические данные по метеостанции г. Харабали (международный код метеостанции: 34687, <http://www.pogodaiklimat.ru/history/34687.htm>). С учетом глобального потепления климата и экологии малого суслика основное внимание обращали на температурные условия последних 23 лет: наиболее значительный рост температур воздуха отмечался в зимний холодный период года, в то время как в период бодрствования популяции – с марта по август большого отличия температур от средних многолетних уровней не наблюдалось.

Статистически обработаны и проанализированы данные ежегодного учета численности малого суслика, среднемесячные показатели температуры воздуха за 1940 – 2023 гг., показатели интенсивности размножения (ППИР). Последний представляет собой число эмбрионов на 100 половозрелых самок в популяции. Для его подсчета у полиэстральных видов грызунов определяют долю самок (в %), участвующих в размножении (сумма беременных и кормящих), перемножая на среднюю величину эмбрионов на 1 самку.

В качестве индикаторного показателя, определяющего степень неблагоприятного воздействия климатических факторов на состояние популяции малого суслика, использован суммарный показатель средней температуры воздуха января – февраля в указанный период. Для показателей плотности малого суслика, среднемесячных температур воздуха определялись среднее многолетнее значение и стандартная ошибка средней арифметической ($M \pm m$). Для выявления линии тренда многолетней динамики численности малого суслика использована полиномиальная аппроксимация.

Для установления достоверности влияния суммарных показателей среднемесячных температур воздуха января – февраля на многолетнюю динамику численности малого суслика материал был сгруппирован по десятилетним периодам

(Kolchin et al., 2017). Данные наблюдений были разбиты на периоды: 1940 – 1949, 1950 – 1959, 1960 – 1969, 1970 – 1979, 1980 – 1989, 1990 – 1999, 2000 – 2009, 2010 – 2019 гг. и наше время (2020 – 2023 гг.). Для каждого из них определен коэффициент корреляции Пирсона (ρ) между показателями суммарных средних значений температур января – февраля и численности малого суслика по указанным выше временным периодам. Также определена достоверность отличий в средних показателях температуры и плотности сусликов по этим 9 периодам.

Статистическая и графическая обработка данных выполнена с применением программ MS Excel 2000 (Microsoft Corp.) и Statistica 6.0 (Statsoft Inc., OK, USA).

РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате выполненного анализа установлены периоды низкой (1940 – 1968 гг., 2001 – 2023 гг.) и повышенной (1969 – 1981 гг., 1997 – 2000 гг.) численности малого суслика на территории Волго-Уральского степного природного очага чумы в 1940 – 2023 гг. Для выяснения роли изменения климата в состоянии популяций малого суслика выполнен анализ влияния температуры зимних месяцев на динамику численности этого вида (рис. 2).

Полиномиальные линии трендов подтверждают наличие циклических составляющих динамики его численности ($y = -0.0076x^2 + 0.5984x + 3.0005$, $R^2 = 0.3$) и колебаний среднемесячных температур воздуха января – февраля

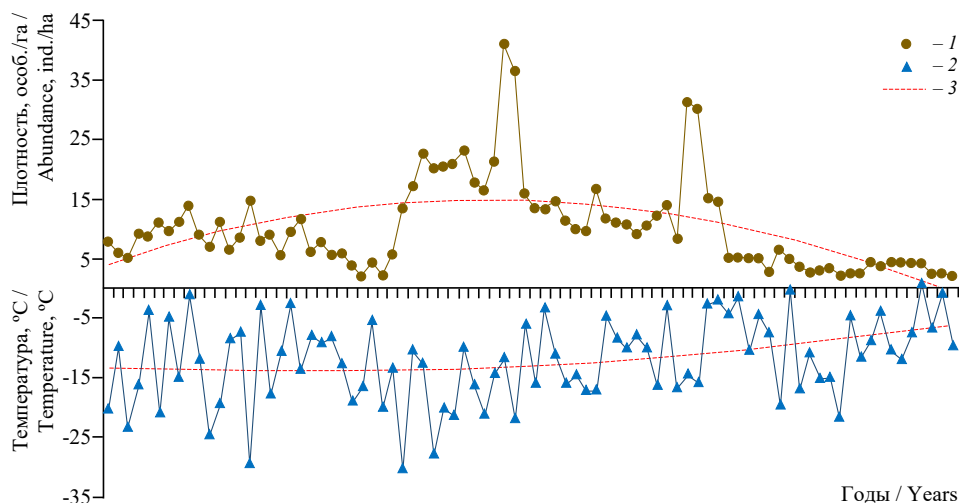


Рис. 2. Многолетняя динамика численности малого суслика в Волго-Уральском степном природном очаге чумы на территории РФ и средние среднемесячных температур воздуха января – февраля (по метеостанции г. Харабали) в 1940 – 2023 гг.: 1 – число зверьков на 1 га, 2 – средняя температур января – февраля, 3 – полиномиальная линия тренда

Fig. 2. Long-term dynamics of the small ground squirrel population in the Volga-Ural steppe natural plague focus in the territory of the Russian Federation and average monthly air temperatures in January – February (according to the Kharabali meteorological station) in 1940–2023: 1 – numbers of animals per 1 ha, 2 – average January–February temperature, 3 – a polynomial trend line

($y = 0.002x^2 - 0.0866x - 12.962$, $R^2 = 0.1$) на территории Волго-Уральского степного природного очага чумы в 1940 – 2023 гг.

В период 1940 – 1968 гг. на всей территории Волго-Уральского междуречья установлено развитие глубоких депрессий численности малого суслика. При этом особенно неблагоприятным в климатическом отношении стало десятилетие 1953 – 1965 гг., на протяжении которого численность сусликов во многих районах Северного Прикаспия значительно снизилась, причем наиболее значительное падение плотности зверьков отмечено здесь в подзонах полупустыни и северной пустыни. На обширных территориях с равнинным рельефом относительно равномерные поселения суслика сменились островными или ленточными поселениями. Аналогичная ситуация – почти полное вымирание сусликов – отмечалась в начале 1960-х гг. и на реликтовых равнинных выделах – ашиках, на территории располагающихся южнее Волго-Уральских песков.

По мере наступления более благоприятных для жизнедеятельности малых сусликов погодных и кормовых условий, их численность в 1969 – 1981 гг. возросла до 15 – 41 особ. / га. Однако этот длительный подъем численности малых сусликов был остановлен погодными условиями 1982 г., когда вследствие неустойчивой холодной весны период размножения сусликов растянулся до двух месяцев. Вследствие этого в 1982 г. в популяциях малого суслика имел место чрезвычайно низкий приплод молодняка, дальнейшая подготовка которого к спячке («нажировка») проходила в условиях последовавшей весенне-летней засухи. В последующие годы началось постепенное сокращение плотности малого суслика на всей территории очага, что объясняется влиянием аридизации климата и воздействием интенсивного сельскохозяйственного освоения – распахек, ирригации и других антропогенных причин (Matrosov et al., 2013; Okulova et al., 2016). В связи с этим поселения вида стали носить локальный, мозаичный характер. На протяжении последующих лет, за исключением кратковременного подъема численности в 1997 – 2000 гг., на территории Волго-Уральского степного природного очага чумы сохраняется низкий уровень численности малого суслика. В 1980 – 2023 гг. средняя многолетняя плотность вида составила 9.2 особ. / га при колебаниях в отдельные годы от 2.0 (2023 г.) до 36.5 (1980 г.) особ. / га. За последние 10 лет средняя плотность суслика в российской части очага составила всего 3.3 особ. / га, варьируя по годам от 2.0 (2023 г.) до 4.4 (2017 г.) особ. / га.

Для выяснения причин значительного сокращения популяций малых сусликов на территории российской части Волго-Уральского степного природного очага чумы в 1980 – 2023 гг. проанализирована многолетняя динамика климатических показателей по метеостанции г. Харабали, которая расположена в районе проведения полевых исследований. Поскольку на территории Волго-Уральского междуречья в 1940 – 2023 гг. пробуждение зверьков из спячки регистрировали с III декады января по III декаду марта, основным критерием для оценки степени неблагоприятного воздействия климатических факторов на состояние популяций этого вида определен суммарный средний показатель среднемесячных температур воздуха в феврале – январе.

Анализ долгосрочных изменений среднемесячных температур за этот период показывает, что в 1940 – 1979 гг. среднемноголетние показатели температуры воз-

СНИЖЕНИЕ ЧИСЛЕННОСТИ ПОПУЛЯЦИИ МАЛОГО СУСЛИКА

духа в январе характеризовались более низкими, по сравнению с февральскими, значениями (таблица).

Среднеголетние значения температуры воздуха января и февраля (по метеостанции г. Харабали) и показателей плотности малого суслика на территории российской части Волго-Уральского степного природного очага чумы по периодам в 1940 – 2023 гг.

Table. Average January–February air temperatures (according to the Kharabali weather station) and the density of small ground squirrels in the RF part of the Volga-Ural steppe natural plague outbreak by periods in 1940–2023

Периоды / Periods	Среднеголетний показатель температуры воздуха в январе, °C / Average January air temperature, °C	Среднеголет- ный показатель температуры воз- духа в феврале, °C / Average February air temperature, °C	Среднее суммарное значение показателей температуры воздуха в январе – феврале, °C / Total average January– February air tempera- ture value, °C	Среднеголетние значения плотности малого суслика, особ. / га / Annual- average density of small ground squirrels, animals per ha
1940–1949	-7.3 ± 1.6 -11.5–0.4	-5.6 ± 1.4 -11.6–0.4	-6.0 ± 1.3 11.6–0.4	9.1 ± 0.8 5–13.8
1950–1959	-6.8 ± 1.4 -16.6–2.1	-6.7 ± 1.9 -18.6–0.4	-6.8 ± 1.4 -14.6–1.3	9.1 ± 0.9 5.6–14.6
1960–1969	-7.2 ± 1.1 -17.0–3.3	-7.0 ± 1.2 -13.1–1.4	-7.0 ± 1.2 -15.1–2.7	5.6 ± 1.0 1.9–13.4
1970–1979	-9.4 ± 1.8 -14.4–3.4	-7.0 ± 1.1 -11.4–2.4	-8.2 ± 0.9 -13.9–4.9	22.1 ± 2.2 17.1–41
1980–1989	-5.8 ± 1.1 -12.6–1.7	-6.8 ± 1.3 -11.2–0.1	-6.3 ± 1.0 -10.9–1.5	15.3 ± 2.5 9.6–36.5
1990–1999	-5.0 ± 0.9 -10.2–2.0	-10.3 ± 1.3 -16.5–2.5	-5.2 ± 0.8 -8.3–1.5	15.2 ± 2.7 9.1–31.2
2000–2009	-4.6 ± 1.6 -12.9–2.4	-3.0 ± 0.9 -6.4–0.7	-3.8 ± 1.0 -9.7–0.9	5.5 ± 1.1 2.6–14.5
2010–2019	-5.8 ± 1.8 -8.1–3.7	-5.2 ± 1.4 -14.4–0.8	-5.5 ± 0.8 -10.8–1.9	3.4 ± 0.3 2.1–4.4
2020–2023	-3.6 ± 1.6 -5.8–0.3	-1.2 ± 1.5 -3.9–1.7	-2.0 ± 1.2 -4.8–0.4	2.8 ± 0.5 2.0–4.2

Примечание. В числителе – $M \pm m$, в знаменателе – $min - max$.

Note. The numerator is $M \pm m$, the denominator is $min - max$.

На фоне низких температур воздуха в январе пробуждение малого суслика проходило в феврале – марте, а более высокие февральские температуры обеспечивали оптимальные условия для «дружного» выхода из спячки и участия в размножении всех половозрастных групп малого суслика. Такое сочетание январских и февральских температур воздуха имело место на протяжении 1960 – 1979 гг. и, с нашей точки зрения, именно эти климатические условия во многом способствовали подъему и сохранению высокого уровня численности вида на рассматриваемой территории.

В периоды 1980 – 1989 гг. и 1990 – 1999 гг. ситуация кардинально изменилась: температура февраля была ниже температуры января. В течение ряда лет (1980 – 1999 гг.) частые повышения температуры в январе и значительные понижения в феврале оказывали губительное воздействие на популяции малых сусли-

ков повсеместно на территории Волго-Уральского степного очага чумы, равно как и в других регионах Северного и Северо-Западного Прикаспия (Роров et al., 2013). Изменение чередования холодных (январь) и теплых (февраль) месяцев в период с 1980 по 1999 гг. является, на наш взгляд, основным механизмом, определяющим негативное влияние современного потепления климата на популяции малого суслика в Прикаспийской низменности.

Депрессия численности малого суслика в 2000 – 2023 гг. в Волго-Уральском степном очаге, как и на всей территории Прикаспия, обусловлена потеплением климата в зимний период (Magerramov et al., 2022). Оттепели в это время провоцируют раннее пробуждение зверьков от зимней спячки с выходом на поверхность, а последующие похолодания приводят к массовой гибели зверьков. Это прежде всего касается взрослых самцов, которые на 20 – 30 дней залегают в спячку раньше самок, и раньше пробуждаются после зимней спячки. Участившееся раннее пробуждение в конце зимы с последующим массовым вымиранием самцов сказывается на соотношении полов, нарушает гон весной, негативно отражаясь на интенсивности размножения всей популяции (Lane et al., 2012; Sheriff et al., 2013; Falvo et al., 2019; Magerramov et al., 2021).

Графическая оценка зависимости плотности популяции зверьков на территории Волго-Уральского междуречья от общей средней температуры января – февраля за период 1940 – 2023 гг. представлена на рис. 3. Коэффициент Пирсона $\rho = -0,6$, откуда следует, что увеличение температуры зимних месяцев приводит к снижению численности и, как следствие этого, к сокращению ареала малого суслика.

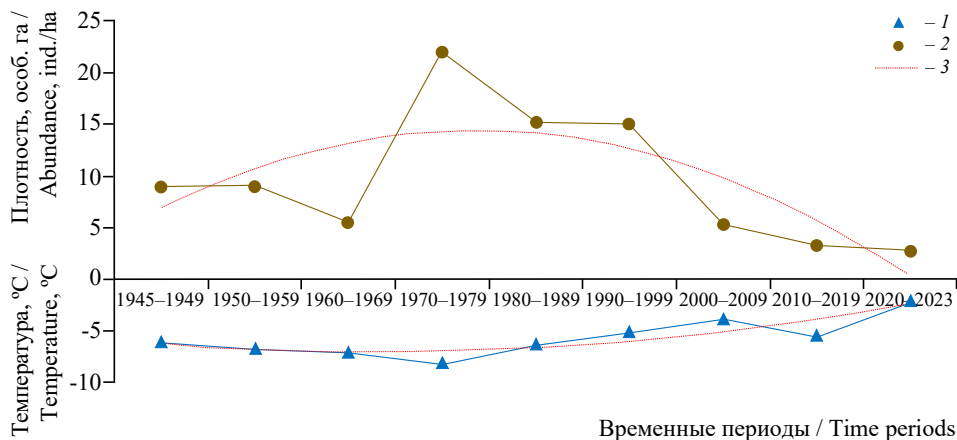


Рис. 3. Влияние повышения температуры зимних месяцев (январь – февраль) на динамику численности малого суслика в Волго-Уральском степном природном очаге чумы на территории РФ в 1940 – 2023 гг.: 1 – среднемесячные температуры января – февраля, 2 – число зверьков на 1 га, 3 – полиномиальная линия тренда

Fig. 3. Impact of the winter (January–February) temperature increase on the small ground squirrel population dynamics in the Volga–Ural steppe natural plague focus in the territory of the Russian Federation in 1940–2023: 1 – average January–February air temperatures; 2 – number of animals per 1 ha; 3 – a polynomial trend line

Полиномиальные линии трендов динамики численности малых сусликов ($y = -0.6562x^2 + 5.7355x + 1.8788$, $R^2 = 0.5$) и колебаний среднемесячных температур воздуха января – февраля ($y = 0.1398x^2 - 0.062x - 5.5338$, $R^2 = 0.8$) подтверждают наличие обратной корреляции между этими циклическими процессами на территории Северного Прикаспия.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты наших наблюдений показали, что наиболее выраженные негативные последствия современного потепления климата для популяций малого суслика на территории Прикаспийской низменности приходятся на период 2000 – 2023 гг. Анализ факторов, влияющих на показатель интенсивности размножения вида в Волго-Уральском междуречье, подтверждает, что основными из них здесь являются сроки и характер пробуждения зверьков после зимней спячки и преобладающие погодные условия весны (Fedosenko, Efremenko, 1964; Sheriff et al., 2011, 2013; Kucheravuy et al., 2021). Возвращение холодов в конце весны, выпадение снега и связанный с этим недостаток питания приводят к резкому снижению ПИР грызунов (рис. 4).

На территории Северного Прикаспия количество самок, участвующих в размножении в период с 1940 по 2023 г., варьировало от 18.7 (2023 г.) до 91.3% (1988 г.). По данным наблюдений в 1940 – 1969 гг. среднее число участвующих в размножении самок малого суслика составляло 61.9%, в 1970 – 1999 гг. – 53.9%, в 2000 – 2019 гг. – 34.7%, в 2020 – 2023 гг. – всего 26.7%. Таким образом, ПИР популяции основного носителя чумы постепенно падал. Так, в 1940 – 1969 гг. среднее число эмбрионов на одну самку составляло 6.3; в 1970 – 1999 гг. – 5.8; в 2000 – 2019 гг. сократился до 5.4; в 2020 – 2023 гг. – этот показатель составил 5.7.

Для наглядности весь период наблюдений был разбит на десятилетние периоды (рис. 5). Результаты исследования свидетельствуют, что среднее число эмбрионов в одной и той же географической популяции малого суслика было относительно постоянным, но все же колебалось в течение нескольких лет. В годы засухи или неблагоприятных условий для наживки зверьков у самок отмечалось снижение числа эмбрионов и их резорбция.

Резорбция эмбрионов у размножающихся самок происходит во всех популяциях малого суслика в пределах его ареала. В годы, когда условия жизни грызунов резко ухудшаются, количество случаев рас-

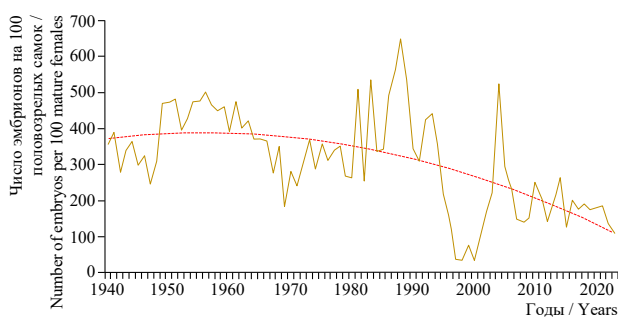


Рис. 4. Показатели интенсивности размножения малого суслика в Волго-Уральском междуречье в 1940 – 2023 гг.; пунктирная линия – полиномиальная линия тренда

Fig. 4. Reproduction intensity indicators of the small ground squirrel in the Volga–Ural interfluve in 1940–2023; dotted line is a polynomial trend line

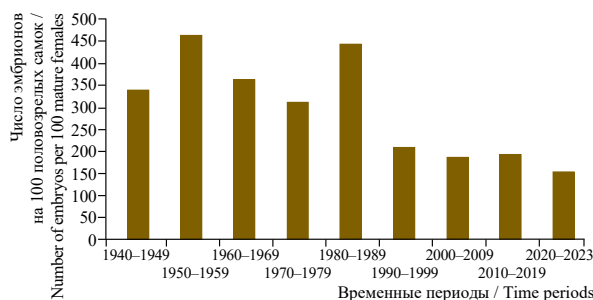


Рис. 5. Показатели интенсивности размножения малого суслика в Волго-Уральском междуречье по 10-летним периодам 1940 – 2023 гг.

Fig. 5. Reproduction intensity indicators of the small ground squirrel in the Volga-Ural interfluvium by 10-year periods in 1940–2023

сусликов, зависящая от числа самок, участвующих в размножении, неодинакова в различных зональных условиях и колеблется в многолетнем аспекте.

Изменение репродуктивной активности малого суслика во многом определяется сроками и характером пробуждения зверьков от спячки, их упитанностью, погодными и кормовыми условиями текущей весны (Shevchenko et al., 1984). Затяжная и неустойчивая весна, резкое похолодание, снегопады и недостаток корма в период пробуждения сусликов – вот условия, которые приводят к снижению интенсивности размножения.

Исходя из вышесказанного можно сделать вывод, что ПИР малого суслика (при нынешнем низком уровне численности) определяется в основном экологическими факторами, а не внутривидовыми механизмами. Кроме того, в многолетнем плане существует определенная ритмичность в изменении интенсивности размножения зверьков, влияющей на динамику их численности, что также связано с колебаниями погодных условий. В период с 40-х по 60-е гг. XX в. климат в регионе Северного и Северо-Западного Прикаспия становился все более засушливым, что негативно сказалось на репродуктивной способности популяций малого суслика. Особенно в годы с неблагоприятными погодными явлениями доля беременных самок в популяции суслика на территории Прикаспийской низменности неуклонно снижалась.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в современный период состояние численности малого суслика в различных частях ареала определяется комплексом антропогенных и климатических факторов (Shilov et al., 1989; Kuznetsov et al., 2017). Однако в прошлом столетии, даже в результате крупномасштабных истребительных мероприятий, направленных на оздоровление Волго-Уральского степного природного очага, не удалось снизить численность малого суслика до современного уровня. Решающим фактором, по нашему мнению, является современное глобальное потепление климата.

сасывания эмбрионов значительно возрастает, отмечаясь у 2 – 9% беременных самок. В особо неблагоприятные годы резорбция эмбрионов происходит в большом количестве. Так, в Северном Прикаспии весной 1975 г., когда очень рано установилась сильнейшая засуха, резорбция эмбрионов зарегистрирована у 31% беременных самок, при этом у большинства из них рассасывались все эмбрионы (Popov et al., 2016). Также отметим, что ПИР

Основной причиной снижения численности вида является не абсолютное значение зимних температур, а чередование теплых и холодных периодов в эти месяцы. Поэтому, если температуры января и февраля близки друг к другу, эффект от реализации повышения температуры может иметь разный характер. Негативное влияние зимнего повышения температуры на состояние зверьков реализуется в основном в годы, когда за «теплым» январем следует «холодный» февраль, или когда теплые и холодные периоды чередуются в течение одного месяца. При неоднократном чередовании теплых и холодных сезонов рано проснувшиеся грызуны массово гибнут от недостатка корма и холодов. С нашей точки зрения, именно более частое повторение таких неблагоприятных сочетаний погодных условий в зимние месяцы в начале XXI столетия и явилось одной из главных причин развития современной глубокой депрессии численности основного носителя чумы – малого суслика и его специфических эктопаразитов – блох *Neopsylla setosa* (Wagner, 1898), *Citellophilus tesquorum* (Wagner, 1898), *Frontopsylla semura* (Wagner et Ioff, 1926) (Magerramov et al., 2023). Вследствие депрессивного состояния паразитарной системы Волго-Уральского степного природного очага отмечено снижение его эпизоотической активности, вплоть до полного прекращения развития эпизоотий чумы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

Falvo C. A., Koons D. N., Aubry L. M. Seasonal climate effects on the survival of a hibernating mammal. *Ecology and Evolution*, 2019, vol. 9, iss. 7, pp. 3756–3769.

Fedosenko A. K., Efremenko A. T. On the influence of the peculiarities of spring 1958 on periodic phenomena in the life of the small gopher. In: *Materialy Yubileinoi konferentsii Ural'skoi protivochumnoi stantsii, 1914 – 1964 gg.* [Proceedings of the Anniversary Conference of the Ural Anti-Plague Station, 1914–1964]. Uralsk, Ministry of Health of the USSR Publ., 1964, pp. 216–220 (in Russian).

Fenyuk B. K., Pastukhov B. N., Semenov N. M. Organization and methodological principles of accounting of rodent numbers by anti-plague institutions. In: *Organizatsiya i metody ucheta ptits i vrednykh gryzunov* [Organization and Methods of Accounting of Birds and Harmful Rodents]. Moscow, Izdatel'stvo AN SSSR, 1963, pp. 152–158 (in Russian).

Grazhdanov A. K., Maikanov N. S. General information about the causative agent of plague and sources of excretion in natural foci of West Kazakhstan region. In: Popova A. Yu., Kutuyev V. V., eds. *Proceedings of the XVI Interstate Scientific and Practical Conference on the Issues of Sanitary Protection of the Territory and Reducing the Risk of Spread of Plague*. Saratov, Amirit, 2022, pp. 36–39 (in Russian).

Gromov I. M. Materials on the history of the rodent fauna of the Lower Urals and Northern Caspian. *Proceedings of the Zoological Institute of Academy of Sciences of the USSR*, 1957, vol. 22, pp. 192–245 (in Russian).

Gromov I. M., Erbajeva M. A. *The Mammals of Russia and Adjacent Territories. Lagomorphs and rodents*. St. Petersburg, Zoological Institute of Russian Academy of Sciences Publ., 1995. 520 p. (in Russian).

Kalabukhov N. I., Raevsky V. V. Life cycle of the little souslik (*Citellus pygmaeus* Pall.) and regularities in plague epizooty development. IV. Ecological peculiarities of the little souslik during different periods of annal cycle. *Bulletin of Microbiology, Epidemiology and Parasitology*, 1936, vol. 15, iss. 1, pp. 109–130 (in Russian).

Kolchin E. A., Barmin A. N., Kryzhanovskaya G. V., Valov M. V. Features of climatic changes in the arid territory of the Russian Federation. *Geology, Geography and Global Energy*, 2017, no. 4, pp. 113–122 (in Russian).

Kucheravy C. E., Waterman J. M., Dos Anjos E. A. C., Hare J. F., Enright C., Berkvens C. N. Extreme climate event promotes phenological mismatch between sexes in hibernating ground squirrels. *Scientific Reports*, 2021, vol. 11, iss. 1, article no. 21684. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-01214-5>

Kuznetsov A. A., Matrosov A. N., Porshakov A. M., Chekashov V. N., Shilov M. M. Modifications to the boundaries of the natural plague foci in the Volga–Ural interfluve. *Problems of Particularly Dangerous Infections*, 2017, no. 2, pp. 19–22 (in Russian). <https://doi.org/10.21055/0370-1069-2017-2-19-22>

Lane J. E., Kruuk L. E. B., Charmantier A., Murie J. O., Dobson F. S. Delayed phenology and reduced fitness associated with climate change in a wild hibernator. *Nature*, 2012, vol. 489, no. 7417, pp. 554–557. <https://doi.org/10.1038/nature11335>

Magerramov S. V., Marcocha K. S., Mandzhieva V. S., Yakovlev S. A., Popov N. V. Winter months' temperature rises effect on duration of phenological phases for *Spermophilus pygmaeus* Pallas, 1778 populations located in Caspian depression (Astrakhan oblast). *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2021, vol. 21, iss. 1, pp. 72–77 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-1-72-77>

Magerramov S. V., Martsokha K. S., Yakovlev S. A., Mandzhieva V. S., Bondarev V. A., Lidzhigaryeva G. V., Matrosov A. N., Popov N. V. Modern climate warming impact on the population dynamics of the small ground squirrel (*Spermophilus pygmaeus* Pallas, 1778) (Rodentia, Mammalia) in the Ilmenno-Prideltovy region of the Caspian lowland. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2022, no. 1, pp. 17–33 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2022-1-17-33>

Magerramov S. V., Martsokha K. S., Mandzhieva V. S., Smolyankina M. G., Grigoriev M. P., Kuznetsov A. A., Popov N. V. Assessment of the effect of contemporary climate warming on the small ground squirrel fleas population dynamics in Northwestern region of Caspian depression. *Parazitologiya*, 2023, vol. 57, no. 2, pp. 124–136 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0031184723020035>

Matrosov A. N., Chekashov V. N., Porshakov A. M., Yakovlev S. A., Shilov M. M., Knyazeva T. V., Kuznetsov A. A., Mokrousova T. V., Tolokonnikova S. I., Krasovskaya T. Yu., Sharova I. N. Fauna and number of animals–carriers and vectors of natural focal zoonoses in the semi-desert zone of the Saratov Volga region. In: *Biodiversity of Terrestrial and Aquatic Animals and Bioresources: Proceedings of the I International Internet Conference*. Kazan, Kazan State University Publ., 2013, pp. 87–91 (in Russian).

McComb B. C., Zucerbeg B., Vesely D. G., Jordan Ch. A. *Monitoring Animal Populations and Their Habitats: A Practitioner's Guide*. Corvallis, Oregon State University, 2010. 464 p. <https://doi.org/10.1201/9781420070583>

Nikol'skii A. A., Ermakov O. A., Titov S. V. Geographical variability of the little ground squirrel (*Spermophilus pygmaeus*): A bioacoustic analysis. *Zoologicheskii zhurnal*, 2007, vol. 86, no. 11, pp. 1379–1388 (in Russian).

Okulova N. M., Grazhdanov A. K., Neronov V. V. *Structure and Dynamics of Mammalian Communities in Western Kazakhstan*. Moscow, KMK Scientific Press Ltd., 2016. 920 p. (in Russian).

Oparin M. L., Oparina O. S. Bird and mammal complex transformation of steppe ecosystems under ploughing up (with Saratov steppes as examples). *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2010, no. 4, pp. 361–373 (in Russian).

Pavlinov I. Ya. *Land Beasts of Russia: A Guide-determiner. Pt. 1. Insectivores, Wings, Hares, Rodents*. Moscow, KMK Scientific Press, 2019. 340 p. (in Russian).

Popov N. V., Bezsmertny V. E., Udovikov A. I., Kuznetsov A. A., Sludsky A. A., Matrosov A. N., Knyazeva T. V., Fedorov Yu. M., Popov V. P., Grazhdanov A. K., Ayazbaev T. Z., Yakovlev S. A., Karavaeva T. B., Kutyrev V. V. Impact of the present-day climate changes on the natural plague foci condition, situated in the territory of the Russian Federation and other CIS Countries. *Problems of Particularly Dangerous Infections*, 2013, iss. 3, pp. 23–28 (in Russian).

Popov N. V., Grazhdanov A. K., Yakovlev S. A., Matrosov A. N., Grigor'ev M. P., Belova O. A., Ermolova N. V., Kulichenko A. N., Mandzhieva V. S., Sintsov V. K., Golosovskii S. M., Khalidov A. Kh., Bamatov D. M., Khasaev S. M., Korzhov P. N., Lidzhi-Goriaeva G. V., Bukreeva O. M., Sandzhiev V. B.-Kh., Iashkulov K. B. *Malyi suslik (Spermophilus pygmaeus Pallas, 1778, Rodentia) v Prikaspii i Predkavkaz'e* [Small Souslik (*Spermophilus pygmaeus* Pallas, 1778, Rodentia) in the Caspian Sea Region and Ciscaucasia]. Saratov, Amirit, 2016. 236 p. (in Russian).

Popov N. V., Yakovlev S. A., Lidzhi-Garyaeva G. V., Matrosov A. N., Sludsky A. A., Badmaev T. V., Sandzhev Valery B.-H., Magerramov Sh. V., Karavaeva T. B. Effect of the Current climate warming on the terms of key phenological stages in the population of *Spermophilus pygmaeus* Pallas, 1778 (Rodentia, Mammalia) in the Ergenin Upland territory. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2019, no. 3, pp. 360–370 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2019-3-360-370>

Popova A. Yu., Kutyrev V. V., eds. *Cadastre of Epidemic and Epizootic Manifestations of Plague in the Territory of the Russian Federation and Neighboring Countries (1876–2016)*. Saratov, Amirit, 2016. 248 p. (in Russian).

Popova A. Yu., Kutyrev V. V., eds. *Atlas of Natural Foci of Plague in Russia and Foreign Countries*. Kaliningrad, RA Poligrafych, 2022. 348 p. (in Russian).

Rall Yu. M. Some methods of ecological accounting of rodents. *Problems of Ecology and Biocenology*, 1936, no. 3, pp. 140–157 (in Russian).

Rall Yu. M. *Gryzuny i prirodnye ochagi chumy* [Rodents and Natural Foci of Plague]. Moscow, Medgiz, 1960. 224 p. (in Russian).

Sheriff M. J., Kenagy G. J., Richter M., Lee T., Tøien Ø., Kohl F., Buck C. L., Barnes B. M. Phenological variation in annual timing of hibernation and breeding in nearby populations of Arctic ground squirrels. *Proceedings of the Royal Society: Biological Sciences*, 2011, vol. 278, iss. 1716, pp. 2369–2375. <https://doi.org/10.1098/rspb.2010.2482>

Sheriff M. J., Richter M. M., Buck C. L., Barnes B. M. Changing seasonality and phenological responses of free-living male arctic ground squirrels: The importance of sex. *Philosophical Transactions of the Royal Society: Biological Sciences*, 2013, vol. 368, iss. 1624, article no. 20120480. <https://doi.org/10.1098/rstb.2012.0480>

Shevchenko V. L., Popov N. V., Shevchenko G. V., Medzykhovskiy G. A., Efimov S. V., Udovikov A. I., Mastiukov M. L. State of abundance and phenology of the small gopher in 1978–1983 in the territories of the Volga-Ural and Trans-Ural steppe plague foci. *Voprosy epizootologii nauchnoochagovye infections*, 1984, pp. 63–70 (in Russian).

Shilov M. N., Varshavskiy S. N., Popov N. V., Kozakevich V. P., Denisov P. S., Varshavskiy B. S. Epizootologic consequences of anthropogenic transformation of landscapes of the Eurasian South-East of the USSR. In: *Tezisy dokladov XII Vsesoyuznoi konferentsii po prirodnoi ochagovosti boleznei* [Theses of Reports of the XII All-Union Conference on Natural Focality of Diseases]. Novosibirsk, Siberian Branch of VASHNIL, 1989, pp. 46–48 (in Russian).

Sludskiy A. A., Varshavskiy S. N., Ismagilov M. I., Kapitonov V. I., Shubin I. G. *Mammals of Kazakhstan: in 4 vols. Vol. 1, pt. 1. Rodents (Marmots and Ground Squirrels)*. Almaty, Nauka, 1969. 455 p. (in Russian).

Sokolov V. E. *Sistematika mlekopitayushchikh* [Systematics of Mammals]. Moscow, Vysshaya Shkola, 1977, vol. 2. 493 p. (in Russian).

Titkova T. B., Zolotokrylin A. N., Cherenkova E. A. Current climatic trends in evaporation and soil moisture changes in the South of European Russia. *Arid Ecosystems*, 2023, vol. 13, iss. 3, pp. 239–247. <https://doi.org/10.1134/S2079096123030150>

Tupikova N. V. Study of reproduction and age composition of populations of small mammals. In: *Metody izucheniya prirodnnykh ochagov boleznei cheloveka* [Methods of Studying Natural Foci of Human Diseases]. Moscow, Meditsina, 1964, pp. 154–191 (in Russian).

Varshavsky S. N. Modern methods of counting gophers and great gerbils. In: *Metody ucheta i geograficheskogo raspredeleniya nazemnykh pozvonochnykh* [Methods of Counting and Geographical Distribution of Terrestrial Vertebrates]. Moscow, Izdatel'stvo AN SSSR, 1952, pp. 47–67 (in Russian).

Varshavsky S. N. Age types and the history of settlement of the small souslik. In: *Issledovaniia geografii prirodnnykh resursov rastitel'nogo i zhivotnogo mira* [Studies of the Natural Resource Geography of the Plant and Animal World]. Moscow, Leningrad, Izdatel'stvo AN SSSR, 1962, pp. 59–79 (in Russian).

Varshavsky S. N., Popov N. V., Lavrovsky A. A., Shilov M. N., Survillo A. V., Kozakevich V. P., Denisov P. S., Sorokina Z. S., Varshavsky B. S., Denisenko I. I., Vikulina A. E. Present situation with the range and the numbers of the little souslik in the European South-East of the USSR in connection with anthropogenous transformation of landscapes. *Bulletin of Moscow Society of Naturalists, Biological Series*, 1986, vol. 91, iss. 4, pp. 10–22 (in Russian).

Zaletaev V. S. *Life in the Desert (Geographical-Biogeocoenotic and Ecological Problems)*. Moscow, Mysl, 1976. 271 p. (in Russian).

Decrease in the population of the small ground squirrel – *Spermophilus pygmaeus* Pallas, 1779 (Rodentia, Sciuromorpha, Sciuridae) in the Volga–Ural steppe natural focus of plague

Sh. V. Magerramov ^{1✉}, A. N. Matrosov¹, T. A. Bocharnikova², A. K. Grazhdanov¹, K. S. Martsokha¹, A. A. Kuznetsov¹, A. A. Sludsky¹, N. V. Popov¹

¹ Russian Research Anti-Plague Institute “Microbe”

46 Universitetskaya St., Saratov 410005, Russia

² Astrakhan Plague Control Station

3 Kubanskaya St., Astrakhan 414000, Russia

Received: March 13, 2024 / revised: May 24, 2024 / accepted: May 28, 2024 / published: March 31, 2025

Abstract. The paper presents the results of our study of a small ground squirrel (*Spermophilus pygmaeus* Pallas, 1779) population in the territory of the Volga–Ural interfluvium between 1940 and 2023. The influence of global warming on the population dynamics of this species in the Volga–Ural steppe natural plague focus is considered. Data from the annual censuses of the small ground squirrel abundance (number of individuals per 1 ha); reproduction intensity indicators; average monthly air temperature indicators at weather stations in the town of Kharabali for the period of 1940–2023 were statistically processed and analyzed. It is emphasized that the population dynamics of this species is determined by a whole complex of natural and anthropogenic factors. At the same time, in semi-desert conditions, the limiting factor for the small ground squirrel population is the distribution of air temperature and precipitation over seasons and years. The influence of temperature in January–February, which provoke emergence to the surface when small ground squirrels awaken from hibernation, is assessed. The main mechanism determining the negative impact of modern climate warming on the small ground squirrel population in the Northern Caspian Sea region has been established.

Keywords: small ground squirrel, density indicators, climate warming, average monthly January–February temperatures, Volga–Ural steppe natural focus of plague

Ethics approval and consent to participate. Animal protocols were approved by the Bioethics Commission of the Russian Research Anti-Plague Institute “Microbe” (protocol No. 4 dated March 11, 2022).

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

For citation: Magerramov Sh. V., Matrosov A. N., Bocharnikova T. A., Grazhdanov A. K., Martsokha K. S., Kuznetsov A. A., Sludsky A. A., Popov N. V. Decrease in the population of the small ground squirrel – *Spermophilus pygmaeus* Pallas, 1779 (Rodentia, Sciuromorpha, Sciuridae) in the Volga–Ural steppe natural focus of plague. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2025, no. 1, pp. 48–63 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2025-1-48-63>

✉ *Corresponding author.* Laboratory of Epizootiological Monitoring and the Information Technology Sector in Epidemiology of the Russian Research Anti-Plague Institute “Microbe”, Russia.

ORCID and e-mail addresses: Shamil V. Magerramov: <https://orcid.org/0000-0002-2578-1558>, magerramov.1994@list.ru; Alexander N. Matrosov: <https://orcid.org/0000-0003-4893-7188>, anmatrosov@mail.ru; Tatyana A. Bocharnikova: harabalipcho@yandex.ru; Alexander K. Grazhdanov: <https://orcid.org/0000-0002-0022-9521>, rusrapi@microbe.ru; Kirill S. Martsokha: <https://orcid.org/0000-0003-2913-3766>, box4hawx@mail.ru; Alexander A. Kuznetsov: <https://orcid.org/0000-0002-0677-4846>, sansanych-50@mail.ru; Alexander A. Sludsky: <https://orcid.org/0000-0003-4705-6151>, rusra-pi@microbe.ru; Nikolay V. Popov: <https://orcid.org/0000-0003-4099-9261>, popovnv47@mail.ru.

Оригинальная статья

УДК 573.6:631.432.23:631.432.31:502.37:504.53.062.4

<https://doi.org/10.35885/1684-7318-2025-1-64-79>

ИЗМЕНЕНИЕ КАПИЛЛЯРНОЙ ВЛАГОЕМКОСТИ И ФИТОТОКСИЧНОСТИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ НЕФТЕРАЗРУШАЮЩЕГО БИОПРЕПАРАТА «DOP-UNI» В КРАТКОСРОЧНОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ

М. Б. Рюмин ¹, Д. И. Стом ^{1-4✉}, А. Э. Балаян ¹, О. Г. Лопатовская ¹,
Г. О. Жданова ^{2,4}, А. Б. Купчинский ², Ю. Ю. Петрова ⁴, М. Н. Саксонов ¹

¹ Иркутский государственный университет

Россия, 664003, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, д. 1

² Байкальский музей СО РАН

Россия, 664520, Иркутская обл., пос. Листвянка, ул. Академическая, д. 1

³ Иркутский национальный исследовательский технический университет

Россия, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 83

⁴ Сургутский государственный университет,

Россия, 628412, г. Сургут, ул. Энергетиков, д. 22

Поступила в редакцию 13.09.2023 г., после доработки 11.05.2024 г., принята 15.05.2024 г., опубликована 31.03.2025 г.

Аннотация. Показано, что загрязнение серых лесных почв нефтью и дизельным топливом в концентрациях 50, 150 и 300 мл/кг приводило к снижению их капиллярной влагоемкости. При внесении 50 мл/кг нефти этот показатель снижался с 62 (соответствует наилучшей капиллярной влагоемкости) до 22.6%, при 150 мл/кг – до 19.1%, при 300 мл/кг – до 12.6%. Действие дизельного топлива на капиллярную влагоемкость почвы было аналогичным. В присутствии 50, 150 и 300 мл/кг этого нефтепродукта капиллярная влагоемкость почвы с 62% снижалась до 28.3, 20.0 и 13.8% соответственно. В результате внесения микробного нефтеразрушающего препарата «DOP-UNI» и последующей экспозиции в течение 3 недель удавалось частично восстановить эту агрофизическую характеристику почвы. Даже за такое короткое время экспозиции капиллярная влагоемкость почвы, загрязненной нефтью (50 – 300 мл/кг), после обработки биопрепаратом повышалась в 1.3 – 1.8 раза по сравнению с необработанным нефтезагрязненным образцом. Однако ее значения все же оставались ниже, чем в незагрязненных образцах почвы. Подобная тенденция отмечена в эксперименте с дизельным топливом. Кроме того, обработка нефтезагрязненной почвы биопрепаратом DOP-UNI уже в течение 3 недель приводила к снижению (примерно на 20%) фитотоксичности при уровне нефтезагрязнения до 150 г/кг. Полученные материалы позволяют судить о

✉ Для корреспонденции. Лаборатория водной токсикологии научно-исследовательского института биологии Иркутского государственного университета.

ORCID и e-mail адреса: Рюмин Максим Борисович: <https://orcid.org/0009-0006-4762-4613>, maksim.ryumin@mail.ru; Стом Дэвард Иосифович: <https://orcid.org/0000-0001-9496-2961>, stomd@mail.ru; Балаян Алла Эдуардовна: <https://orcid.org/0009-0001-3934-9598>, 7balla@mail.ru; Лопатовская Ольга Геннадьевна: <https://orcid.org/0000-0002-5570-545X>, lopatovs@gmail.com; Жданова Галина Олеговна: <https://orcid.org/0000-0002-8355-9517>, zhdanova86@ya.ru; Купчинский Александр Борисович: <https://orcid.org/0000-0001-8884-8636>, albor67@mail.ru; Петрова Юлия Юрьевна: <https://orcid.org/0000-0003-3702-2249>, petrova_juju@surgu.ru; Саксонов Михаил Наумович: <https://orcid.org/0000-0003-0094-2447>, msaksonov@mail.ru.

© Рюмин М. Б., Стом Д. И., Балаян А. Э., Лопатовская О. Г., Жданова Г. О., Купчинский А. Б., Петрова Ю. Ю., Саксонов М. Н., 2025

ИЗМЕНЕНИЕ КАПИЛЛЯРНОЙ ВЛАГОЕМКОСТИ

перспективах использования биопрепарата DOP-UNI для ремедиации почв при загрязнении нефтепродуктами и восстановления их агрофизических свойств. При этом понижение температуры до 10°C не оказывало значительного влияния на эффективность работы биопрепарата, по крайней мере в описанных 3-недельных экспериментах. Это свидетельствует о возможности его применения в условиях пониженных температур, что характерно для основных мест нефтедобычи РФ.

Ключевые слова: нефтезагрязнение почв, нефтеокисляющие микроорганизмы, биопрепарат DOP-UNI, капиллярная влагоемкость почв, фитотоксичность

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Ханты-Мансийского автономного округа – Югры (проект № 2023-227-05 «Разработка эффективных методов ускорения деструкции нефтепродуктов в почвенно-климатических условиях Ханты-Мансийского автономного округа – Югра»).

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Рюмин М. Б., Стом Д. И., Балаян А. Э., Лопатовская О. Г., Жданова Г. О., Купчинский А. Б., Петрова Ю. Ю., Саксонов М. Н. Изменение капиллярной влагоемкости и фитотоксичности нефтезагрязненных почв под действием нефтеразрушающего биопрепарата «DOP-UNI» в краткосрочном эксперименте // Поволжский экологический журнал. 2025. № 1. С. 64 – 79. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2025-1-64-79>

ВВЕДЕНИЕ

Освоение, обустройство и эксплуатация месторождений нефти нередко сопровождаются загрязнением земель углеводородами (Замотаев и др., 2015; Chachina et al., 2023). При попадании нефти в почву нарушается стабильное функционирование экосистем. В результате этого изменяются физические и химические свойства почвы. Нарушается почвенная структура, блокируется активность почвенных ферментов, участвующих в важных биологических процессах. Как следствие, происходит снижение почвенного плодородия (Prabhu et al., 2017; Abdallah et al., 2023).

В России и за рубежом используются разнообразные методы очистки почвы от нефтяного загрязнения (Топчий и др., 2022; Успанова и др., 2022; Щемелинина, Анчугова, 2023; Tang, Juan, 2019; Park, 2021; Nikolaev et al., 2021; Stom et al., 2021; Ikiriko, Chukwumati, 2023). Наиболее экологичным и перспективным способом очистки почв признан биологический метод, включающий в себя применение микроорганизмов. Они способны расщеплять нефтяные углеводороды вплоть до воды и углекислого газа. Спектр микроорганизмов, участвующих в деструкции углеводородов нефти, крайне широк. Он включает в себя, в частности, бактерии родов *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Acinetobacter*, *Aeromonas*, *Arthrobacter*, *Rhodococcus*; дрожжи рода *Candida*; микромицеты *Fusarium*, *Mucor*, *Trichoderma*, *Rhizopus*, *Penicillium* и др. (Льонг и др., 2016; Nandini et al., 2023).

Наиболее известными на российском рынке и хорошо зарекомендовавшими себя являются препараты марок «Дестройл», «Путидойл», а в последние годы – препарат «DOP-UNI» (ООО «Лаборатория микробных технологий» (ООО «ЛМТ»)) (Деструкторы нефти, 2020).

Целью данной статьи было оценить влияние нефтеразрушающего биопрепарата «DOP-UNI» на изменение капиллярной влагоемкости и фитотоксичности почв, загрязненных нефтью и дизельным топливом, при краткосрочном (3 недели) воздействии, в том числе в условиях пониженных температур.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В качестве материала исследования были использованы образцы серой лесной почвы, отобранной на территории Ботанического сада Иркутского государственного университета. Серая лесная почва характеризовалась слабокислой реакцией (рН 6.3) верхней части профиля и нейтральной в нижней (рН 7.0).

Для моделирования нефтезагрязнения почвы в экспериментах брали нефть Марковского месторождения Иркутской области и дизельное топливо (летний сорт, ГОСТ 305-2013).

Очистку нефтезагрязненных почвенных образцов осуществляли нефтеразрушающим биопрепаратом DOP-UNI (разработчик – Институт микробиологии РАН (кандидат биологических наук И. А. Борзенков), выпускает ООО «Лаборатория микробных технологий»). Этот продукт предназначен для биodeградации нефти и нефтепродуктов при загрязнении почв, водоемов и стоков промышленных предприятий. Он представляет собой порошок, состоящий из сухих агрегатов жизнеспособных клеток микроорганизмов, растущих на углеводородах различных классов и некоторых их производных. Обсуждаемая ассоциация микроорганизмов родов *Candida*, *Dietzia*, *Rhodococcus*, *Pseudomonas*, *Acinetobacter* придает данному препарату ряд преимуществ перед другими способами биологической очистки. Он работает в толще нефти и нефтепродуктов; устойчив к резким колебаниям температуры; активен при химическом загрязнении среды; адаптирован к повышенной солености (Борзенков, Сердюков, 2017; Борзенков и др., 2018; Деструкторы нефти, 2020).

В экспериментальные образцы серой лесной почвы приливали нефть либо дизельное топливо в концентрациях 50, 150 и 300 мл/кг и тщательно перемешивали. Образцы почвы навеской по 100 г в трех повторностях распределяли в пластиковые контейнеры объемом 250 мл. В загрязненные почвенные образцы добавляли биопрепарат нефтеокисляющих микроорганизмов «DOP-UNI» (0.1 г/кг почвы). Внесение препарата осуществляли в виде его водной суспензии, приготовленной с добавлением диаммоний фосфата в соответствии с п. 3 Инструкции к препарату (на 1 кг почвы – 0.1 г препарата, 0.2 г диаммоний фосфата, 50 мл воды). Все испытуемые пробы экспонировали в пластиковых емкостях в течение 3 недель при двух температурах: 20 и 10°C. При этом каждые сутки измеряли влажность влагомером MC-7828 SOIL (KHP, AZ Instrument) и поддерживали ее на уровне около 60%. После экспонирования определяли капиллярную влагоемкость почвенных образцов термостатно-весовым методом (Козлова, 2012; Bandyopadhyay et al., 2012). Для этого почву просеивали через сито в 1-2 мм и при легком постукивании (для уплотнения) небольшими порциями засыпали почву в предварительно взвешенную стеклянную трубку, вставленную в ситечко с фильтром. Трубку прибора заполняли так, чтобы сверху оставалось не заполнено почвой около 1 см. Трубку с заполненной почвой взвешивали и устанавливали в ванну (чашку Петри) с дистиллированной водой. В почве делали углубление (не вынимая трубки из чашки) и

ИЗМЕНЕНИЕ КАПИЛЛЯРНОЙ ВЛАГОЕМКОСТИ

трубку оставляли стоять 15 мин, пока в углублении не появлялась вода. Через 15 мин делали взвешивание трубки с мокрой почвой. Расчет капиллярной влагоемкости (КВ) проводили по формуле:

$$\text{КВ (\%)} = \frac{P_2 - P_1}{P_1 - C} \times 100,$$

где C – масса сухого цилиндра, P_1 – масса трубки с сухой почвой, P_2 – масса почвы и трубки после насыщения водой.

Оценку показателя капиллярной влагоемкости проводили по градации Н. А. Качинского, согласно которой 40 – 50% считается наилучшей, 30 – 40% – хорошей, 25 – 30% – удовлетворительной, менее 25% – неудовлетворительной (Качинский, 1965). В качестве контроля использовали образцы почвы без добавления нефти и биопрепарата.

Оценку токсичности нефтезагрязненных субстратов осуществляли по прорастанию семян кресс-салата *Lepidium sativum* (Олькова и др., 2016). В чашки Петри помещали по 20 г испытуемого почвенного образца, равномерно распределяя его по дну чашки. В почву вносили семена кресс-салата в количестве 20 шт. Контролем служила незагрязненная почва. Через 7 сут. подсчитывали число проросших семян и среднюю длину корней проростков.

Эксперименты проводили не менее чем в трех независимых опытах, в экспериментах с капиллярной влагоемкостью – с 3-4 параллельными измерениями, в опытах по фитотоксичности – не менее чем с 20 параллельными измерениями.

Было рассчитано среднее арифметическое, так как при нормальном распределении исследуемого признака (как в нашем случае) именно этот параметр является наиболее вероятным значением измеряемой величины. На графиках приведены значения среднего арифметического и стандартное отклонение среднего арифметического (или средняя квадратичная ошибка). Достоверность различия результатов определяли с помощью критерия Стьюдента (T_{st}). Выводы сделаны с вероятностью безошибочного прогноза $P \geq 0.95$.

Статистическая обработка выполнена в пакетах программ MS Excel 2010 (Microsoft Corp.).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Показатель капиллярной влагоемкости серой лесной почвы без дополнительной обработки был равен $62.1 \pm 1.0\%$. Это соответствует наилучшей капиллярной влагоемкости. После добавления нефти (50 мл/кг) в исходный образец почвы исследуемый показатель снизился до $22.6 \pm 1.1\%$ ($T_{st} = 26.6$, $p < 0.001$) как при 10°C (рис. 1), так и 20°C (рис. 2). Данное значение уже свидетельствует о неудовлетворительной капиллярной влагоемкости. В результате 3-недельной обработки нефтезагрязненной почвы биопрепаратом «DOP-UNI» (0.1 г/кг почвы) показатель капиллярной влагоемкости через 3 недели повысился и стал равен 30% как при 20°C ($T_{st} = 6.48$, $p < 0.001$), так и при 10°C ($T_{st} = 7.00$, $p = 0.001$). При этом определяемый параметр оставался ниже контрольного образца на 31%.

После добавления в исходный образец почвы 150 мл/кг нефти капиллярная влагоемкость снижалась до $19.1 \pm 1.6\%$ ($T_{st} = 22.8$, $p < 0.001$) при 10 и 20°C , т.е. ка-

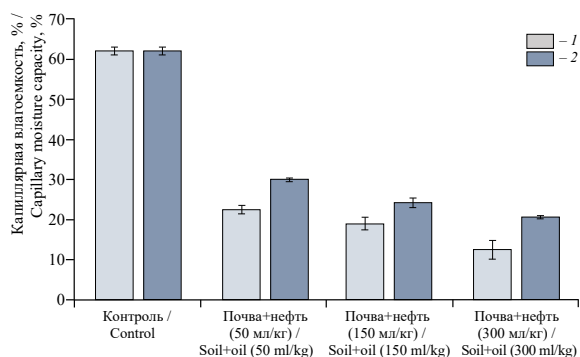


Рис. 1. Капиллярная влагоемкость серой лесной почвы, загрязненной нефтью (50, 150 и 300 мл/кг), до (1) и после (2) 3-недельной обработки биопрепаратом DOP-UNI (0.1 г/кг почвы) при 10°C

Fig. 1. Capillary moisture capacity of gray forest soil contaminated with oil (50, 150 and 300 ml/kg) before (1) and after (2) 3-week treatment with DOP-UNI (0.1 g/kg of soil) at 10°C

неудовлетворительной капиллярной влагоемкости. При внесении биопрепарата «DOP-UNI» (0.1 г/кг почвы) показатель повысился до $20.6 \pm 0.3\%$ при 10°C ($T_{st} = 3.45$, $p = 0.003$) и до $22.4 \pm 1.0\%$ при 20°C ($T_{st} = 3.90$, $p = 0.001$). При этом он все же не достигал значений контрольного образца. Таким образом, показатель капиллярной

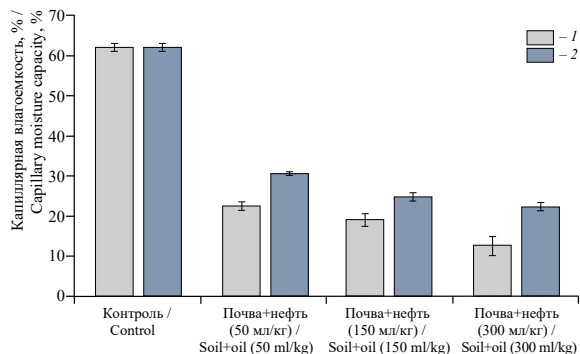


Рис. 2. Капиллярная влагоемкость серой лесной почвы, загрязненной нефтью (50, 150 и 300 мл/кг), до (1) и после (2) 3-недельной обработки биопрепаратом DOP-UNI (0.1 г/кг почвы) при 20°C

Fig. 2. Capillary moisture capacity of gray forest soil contaminated with oil (50, 150 and 300 ml/kg) before (1) and after (2) 3-week treatment with DOP-UNI (0.1 g/kg of soil) at 20°C

пиллярная влагоемкость становилась неудовлетворительной. При внесении биопрепарата «DOP-UNI» (0.1 г/кг почвы) после 3-недельной экспозиции показатель повысился до $24.2 \pm 1.2\%$ при 10°C ($T_{st} = 2.60$, $p = 0.02$) и $24.2 \pm 1.2\%$ при 20°C ($T_{st} = 3.02$, $p = 0.01$). Вместе с тем его значение оставалось ниже контрольного образца на 37.3%. Это соответствовало неудовлетворительной капиллярной влагоемкости.

После добавления в исходный образец почвы нефти (300 мл/кг) определяемый показатель снизился до $12.6 \pm 2.3\%$ при 10 и 20°C ($T_{st} = 19.70$, $p < 0.001$), что соответствовало неудовлетворительной капиллярной влагоемкости почвы, загрязненной нефтью, остался с неудовлетворительным значением (см. рис. 1, 2).

Следует отметить, что в описанных 3-недельных экспериментах экспонирование почвенных образцов, обработанных микробиологическим препаратом при пониженной температуре (10°C), не вызывало значимых отличий в изменении анализируемых агрофизических параметров по сравнению с опытом при 20°C. Например, под действием биопрепарата при 20°C капиллярная влагоемкость нефтезагрязненной почвы увеличивалась по сравнению с необрабо-

танной нефтезагрязненной почвой в 1.3 раза (при уровне загрязнения нефтью 50 и 150 мл/кг почвы) и в 1.8 раза (при 300 мл/кг нефти) (см. рис. 2). В аналогичном опыте, проводимом при 10°C, интенсивность восстановления исследуемой агрофизической характеристики была схожей. При уровне загрязнения нефтью 50 и 150 мл/кг почвы капиллярная влагоемкость нефтезагрязненной почвы после обработки препаратом увеличивалась в 1.3 раза, при 300 мл/кг – в 1.6 раза относительно необработанной препаратом загрязнённой почвенной пробы (см. рис. 1).

Подобные эксперименты проводили при загрязнении почвы дизельным топливом в концентрациях 50, 150 и 300 мл/кг. Параметр капиллярной влагоемкости контрольного образца серой лесной почвы, как и в первой серии опыта, был равен 62%, что соответствовало наилучшей капиллярной влагоемкости. После добавления дизельного топлива (50 мл/кг) в исходный образец почвы его значение снижалось до $28.3 \pm 2.0\%$ как при 10°C, так и 20°C ($T_{st} = 15.10$, $p < 0.001$), что соответствовало удовлетворительной капиллярной влагоемкости. В результате 3-недельной обработки почвы биопрепаратом «DOP-UNI» (0.1 г/кг почвы) этот показатель повысился до $33.8 \pm 1.0\%$ при 10°C ($T_{st} = 2.56$, $p = 0.02$) (рис. 3), $38.0 \pm 1.2\%$ при 20°C ($T_{st} = 4.16$, $p < 0.001$) (рис. 4), но все же остался ниже контрольного образца на 28%.

В присутствии дизельного топлива (150 мл/кг) в исходном образце почвы капиллярная влагоемкость уменьшилась и стала $20.0 \pm 0.2\%$ при обеих исследуемых температурах ($T_{st} = 41.30$, $p < 0.001$). Следовательно, при этой концентрации она должна оцениваться как неудовлетворительная. При внесении биопрепарата «DOP-UNI» (0.1 г/кг почвы) анализируемый показатель повысился и стал равен $33.1 \pm 1.6\%$ при 10°C ($T_{st} = 8.12$, $p < 0.001$) (см. рис. 3), $35.3 \pm 1.6\%$ при 20°C ($T_{st} = 9.49$, $p < 0.001$) (см. рис. 4), что соответствует хорошей капиллярной влагоемкости. Вместе с тем он оставался на 26% ниже значений, определяемых в контрольном образце.

После внесения дизельного топлива (300 мл/кг) в исходный образец почвы определяемый показатель снизился до $13.8 \pm 0.7\%$ при 10 и 20°C ($T_{st} = 39.60$, $p < 0.001$), после этого капиллярная влагоемкость стала неудовлетворительной. При внесении биопрепарата «DOP-UNI» (0.1 г/кг почвы) измеряемый показатель повысился до $28.6 \pm 0.5\%$ при 10°C ($T_{st} = 17.20$, $p < 0.001$), $27.6 \pm 0.6\%$ при 20°C ($T_{st} = 14.97$, $p < 0.001$), капиллярная влагоемкость становилась удовлетворительной, но все же была ниже показателя контрольного образца на 34% (см. рис. 3, 4).

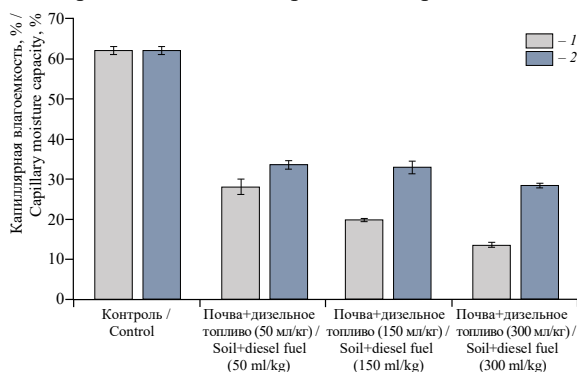


Рис. 3. Капиллярная влагоемкость серой лесной почвы, загрязненной дизельным топливом (50, 150 и 300 мл/кг), до (1) и после (2) 3-недельной обработки биопрепаратом DOP-UNI (0.1 г/кг почвы) при 10°C

Fig. 3. Capillary moisture capacity of gray forest soil contaminated with diesel fuel (50, 150 and 300 ml/kg) before (1) and after (2) 3-week treatment with DOP-UNI (0.1 g/kg of soil) at 10°C

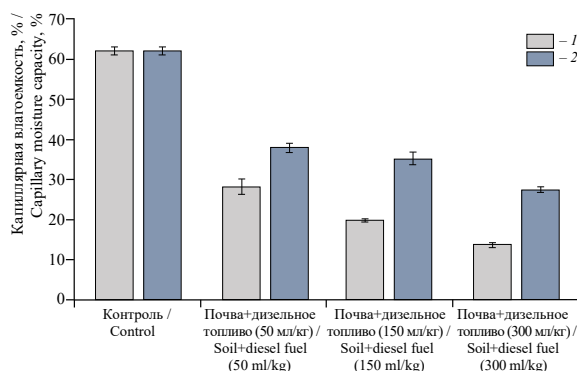


Рис. 4. Капиллярная влагоёмкость серой лесной почвы, загрязнённой дизельным топливом (50, 150 и 300 мл/кг), до (1) и после (2) 3-недельной обработки биопрепаратом DOP-UNI (0.1 г/кг почвы) при 20°C

Fig. 4. Capillary moisture capacity of gray forest soil contaminated with diesel fuel (50, 150 and 300 ml/kg) before (1) and after (2) 3-week treatment with DOP-UNI (0.1 g/kg of soil) at 20°C

Таким образом, биопрепарат «DOP-UNI» за 3 недели вызывал положительное увеличение (примерно в 1.3 – 2.0 раза) капиллярной влагоёмкости по сравнению с загрязнёнными дизельным топливом почвенными образцами, не обработанными биопрепаратом. Однако при этом значения этой агрофизической характеристики оставались ниже исходных. Наши эксперименты были довольно краткосрочные – 3 недели. Возможно, что при удлинении экспозиции удалось бы достичь большей степени восстановления определяемой агрофизической характеристики нефтезагрязнённой почвы.

Наряду с исследованием агрофизических свойств почвы, оценивали изменение фитотоксичности почвенных образцов, загрязнённых нефтью и дизельным топливом, после обработки их биопрепаратом DOP-UNI в течение 3 недель при температуре 10 и 20°C. Результаты этих экспериментов также продемонстрировали определённую эффективность биопрепарата при биоремедиации, в том числе при пониженной температуре. Длина корней проростков семян в почвенных нефтезагрязнённых пробах, обработанных микроорганизмами, была выше, чем в аналогичных образцах без внесения микроорганизмов.

Так, при нефтяном загрязнении 150 г/кг исследуемый тест-параметр возрастал в 1.2 – 1.3 раза после обработки биопрепаратом (как при 10°C, так и при 20°C). При более низком уровне загрязнения (нефть 50 г/кг) и температуре экспонирования проб 20°C длина проростков семян в почве, обработанной микроорганизмами, была в 1.5 раза выше, чем в необработанном нефтезагрязнённом образце (3.5 ± 0.2 см и 2.3 ± 0.2 см соответственно). Следует отметить, что почвенный образец, содержащий 50 г/кг нефти, после обработки микроорганизмами не только не ингибировал рост семян, но и стимулировал его. В этом случае длина корней проростков составила 3.5 ± 0.2 см, в то время как в контроле (незагрязнённая почва) – 2.6 ± 0.3 см ($T_{st} = 2.50$, $p = 0.05$) (табл. 1).

Эксперименты продемонстрировали эффективность работы биопрепарата DOP-UNI и при очистке почв, загрязнённых дизельным топливом. Так, в почвенном образце, содержащем 50 г/кг этого нефтепродукта, после 3 недель экспонирования с микроорганизмами длина корней проростков семян составляла 5.5 ± 0.4 см (при 10°C) и 3.7 ± 0.3 см (при 20°C), в то время как без добавления DOP-UNI анализируемый ростовой параметр был значительно ниже: 2.2 ± 0.2 см (при 10°C) и 1.4 ± 0.1 см (при 20°C).

ИЗМЕНЕНИЕ КАПИЛЛЯРНОЙ ВЛАГОЕМКОСТИ

Таблица 1. Изменение фитотоксичности почвы, загрязненной нефтью (50 и 150 г/кг), после ее обработки биопрепаратом DOP-UNI (0.1 г/кг почвы) в течение 3 недель при температуре 10 и 20°C

Table 1. Change in the phytotoxicity of oil-contaminated soil (50 and 150 g/kg) after its treatment with DOP-NI (0.1 g/kg of soil) for 3 weeks at temperatures of 10 and 20°C

Концентрация нефти / Oil concentration	Температура / Temperature	Длина корней проростков, см / Root length of seedlings, cm		Всхожесть, % от контроля (незагрязненная почва) (экспозиция семян в почве – 7 сут) / Germination, % of control (uncontaminated soil) (7-day seed exposure in the soil)	
		без DOP-UNI / without DOP-UNI	с DOP-UNI / with DOP-UNI	без DOP-UNI / without DOP-UNI	с DOP-UNI / with DOP-UNI
50 г/кг / 50 g/kg	10°C	1.6±0.1	1.8±0.1	94	96
		$T_{st} = 1.41, p = 0.20$			
		2.3±0.2	3.5±0.2		
	20°C	$T_{st} = 4.24, p < 0.001$		81	94
150 г/кг / 150 g/kg	10°C	0.8±0.1	1.1±0.1	55	70
		$T_{st} = 2.12, p = 0.05$			
		2.0±0.1	2.5±0.2		
	20°C	$T_{st} = 2.24, p = 0.04$		64	72
Контроль (незагрязненная почва) / Control (unpolluted soil)		2.6±0.3		100	

Более высокое загрязнение почвы дизельным топливом (150 г/кг) снижало эффективность работы биопрепарата. В этом случае длина корней проростков тест-растений в почвенных пробах, обработанных и необработанных микроорганизмами, достоверно не отличалась (табл. 2).

Таблица 2. Изменение фитотоксичности почвы, загрязненной дизельным топливом (50 и 150 г/кг), после ее обработки биопрепаратом DOP-UNI (0.1 г/кг почвы) в течение 3 недель при температуре 10 и 20°C

Table 2. Change in the phytotoxicity of the soil contaminated with diesel fuel (50 and 150 g / kg) after its treatment with DOP-UNI (0.1 g / kg of soil) for 3 weeks at temperatures of 10 and 20°C

Концентрация дизельного топлива / Diesel fuel concentration	Температура / Temperature	Длина корней проростков, см / Root length of seedlings, cm		Всхожесть, % от контроля (неза- грязненная почва) (экспозиция семян в почве – 7 сут) / Germina- tion, % of control (uncontaminated soil) (7-day seed exposure in the soil)	
		без DOP-UNI / without DOP-UNI	с DOP-UNI / with DOP-UNI	без DOP-UNI / without DOP-UNI	с DOP-UNI / with DOP-UNI
50 г/кг / 50 g/kg	10°C	2.2±0.2	5.5±0.4	60	74
		$T_{st} = 7.38, p < 0.001$			
	20°C	1.4±0.1	3.7±0.3	67	68
$T_{st} = 7.27, p < 0.001$					
150 г/кг / 150 g/kg	10°C	0.8±0.1	0.8±0.1	63	87
		—			
	20°C	0.7±0.1	0.8±0.1	67	87
		$T_{st} = 0.71, p > 0.05$			
Контроль (незагрязненная поч- ва) / Control (unpolluted soil)		2.3±0.3		100	

Таким образом, при уровне загрязнения почвы дизельным топливом 150 г/кг значительно снижалась эффективность работы биопрепарата DOP-UNI: степень фитотоксичности почвы за 3 недели экспонирования с микроорганизмами не изменялась. При аналогичном содержании нефти в почве наблюдалось уменьшение в 1.2 – 1.3 раза ее фитотоксичности.

Как и ожидалось, пониженная температура (10°C) несколько уменьшала эффективность работы микроорганизмов биопрепарата DOP-UNI при очистке почв от нефти, однако не подавляла ее полностью (см. табл. 1). Более того, при моделировании загрязнения почвенных проб дизельным топливом (50 г/кг) подобного снижения эффективности очистки не наблюдали (см. табл. 2).

Снижение капиллярной влагоемкости почв в результате действия нефти и нефтепродуктов отмечали и другие авторы. Так, по данным М. Ю. Гилязова и И. А. Гайсина (2003), в почве, содержавшей 3.12% нефти, капиллярная влагоемкость снижалась в 3.21 раза по сравнению с незагрязненной почвой. В исследованиях А. В. Леднева (2008) показано, что с увеличением степени загрязнения нефтью (10%) в почве резко ухудшаются ее водные характеристики. Происходит уменьшение полевой, максимальной гигроскопической (с 2.27 (контроль) до 1.66%), гигроскопической влажности (с 1.69 до 1.24%) и капиллярной влагоемкости (с 21.4 до 18.3%). Это связано, прежде всего, с тем, что нефть резко увеличивает гидрофобность поверхности механических элементов и структурных отдельных частей. Вследствие чего вода сложнее проникает в почвенные агрегаты. Поэтому она не впитывается в почву, а стекает по ее поверхности или просачивается в нижние горизонты по крупным порам. Другой возможной причиной снижения влагоемкости почвы является заполнение и закупорка нефтепродуктами макро- и микропор в почвенной толще. Так, в работе (Леднев, 2008) общая порозность нефтезагрязненной почвы вследствие этого снижалась на 20 – 34%. О негативном влиянии нефтяного загрязнения на почвы сообщали и другие авторы (Uzoije, Agunwamba, 2011; Sar-madi et al., 2019; Khoshgofar et al., 2021).

Внесение в нефтезагрязненные почвы препарата нефтеокисляющих микроорганизмов «DOP-UNI» способствует снижению токсичности экотоксикантов, ускорению процессов биохимического разложения органических токсикантов и восстановлению плодородия почв и растительного покрова на загрязненных и нарушенных территориях (Тавадзе, 2023). В работе (Туйкина, Мазлова, 2021) продемонстрирована эффективность биопрепарата «DOP-UNI» в процессах биодеструкции углеводородов в образцах бурового шлама Уренгойского месторождения. Т. В. Минниковой с соавторами (2017) показана стимуляция активности каталазы и пероксидазы при введении в нефтезагрязненную почву комплекса «DOP-UNI» с гуматом калия. Внесение биопрепарата в нефтезагрязненный чернозем обеспечивало сбалансированные процессы гумификации и минерализации. Наряду с другими авторами, полученные нами в данной работе результаты свидетельствуют об эффективности применения биопрепарата «DOP-UNI» в ремедиации нефтезагрязненных почв, даже при краткосрочной экспозиции. В течение всего трех недель препарату удавалось частично восстановить исследуемый агрофизический параметр почвы (капиллярную влагоемкость) при довольно высоком уровне загрязне-

ИЗМЕНЕНИЕ КАПИЛЛЯРНОЙ ВЛАГОЕМКОСТИ

ния почвы нефтью и дизельным топливом (50 – 300 мл/кг), а также снизить (примерно на 20%) фитотоксичность почвы при уровне ее нефтезагрязнения до 150 г/кг.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, загрязнение серых лесных почв нефтью и дизельным топливом в концентрациях 50, 150 и 300 мл/кг приводило к снижению капиллярной влагоемкости. Так, при загрязнении нефтью этот показатель снижался с $62.1 \pm 1.0\%$ (соответствует наилучшей капиллярной влагоемкости) до $22.6 \pm 1.1\%$ при внесении 50 мл/кг нефти, до $19.1 \pm 1.6\%$ при 150 мл/кг нефти и до $12.6 \pm 2.3\%$ при 300 мл/кг нефти. Действие дизельного топлива на капиллярную влагоемкость почвы было аналогичным. Внесение 50 мл/кг дизельного топлива приводило к уменьшению исследуемого показателя с 62.1 до $28.3 \pm 2.0\%$, 150 мл/кг – до $20.0 \pm 0.2\%$, а 300 мл/кг – до $13.8 \pm 0.7\%$. При этом температурный режим экспозиции не оказывал влияния на этот параметр: указанные выше изменения наблюдали в почвенных образцах, обработанных нефтью и дизельным топливом как при 10°C, так и при 20°C.

Даже в результате краткосрочной (3 недели) обработки загрязненной почвы микробным нефтеразрушающим препаратом «DOP-UNI» удавалось частично восстановить исследуемые в работе агрофизические характеристики. За такое время экспозиции капиллярная влагоемкость почвы, загрязненной нефтью (50 – 300 мл/кг), после обработки биопрепаратом повышалась в 1.3 – 1.8 раза по сравнению с необработанным нефтезагрязненным образцом. Подобная тенденция отмечена в эксперименте с дизельным топливом. Кроме того, обработка нефтезагрязненной почвы биопрепаратом DOP-UNI уже в течение 3 недель приводила к снижению (примерно на 20%) фитотоксичности при уровне нефтезагрязнения до 150 г/кг.

Полученные материалы свидетельствуют о перспективности использования нефтеразрушающего препарата «DOP-UNI» для ремедиации почв при загрязнении нефтепродуктами и восстановления агрофизических свойств нефтезагрязненных почв.

Следует отметить, что в описанных 3-недельных экспериментах понижение температуры до 10°C не оказывало значительного влияния на эффективность работы биопрепарата. Это свидетельствует о возможности применения биопрепарата DOP-UNI в условиях пониженных температур в основных местах нефтедобычи РФ.

Авторы признательны за ценные консультации доктору биологических наук А. А. Козловой и кандидату биологических наук И. А. Борзенкову.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Борзенков И. А., Сердюков Д. В. Биорекультивация жидких нефтешламов и асфальтосмолопарафиновых отложений в засушливых условиях // Экология производства. 2017. № 8. С. 113 – 119.

Борзенков И. А., Канапацкий Т. А., Литти Ю. В., Сердюков Д. В., Насонов П. А., Мейлах И. К. Переработка органических отходов с высоким содержанием нефтеуглеводородов // Экология производства. 2018. № 12. С. 44 – 51.

Гилязов М. Ю., Гайсин И. А. Агроэкологическая характеристика и приемы рекультивации нефтезагрязненных черноземов Республики Татарстан. Казань: Фэн, 2003. 228 с.

Деструкторы нефти // ООО «Лаборатория микробных технологий». М., 2020. URL: https://dop-uni.ru/destructor_of_oil_pollution (дата обращения: 02.05.2023).

Замотаев И. В., Иванов И. В., Михеев П. В., Никонова А. Н. Химическое загрязнение и трансформация почв в районах добычи углеводородного сырья (обзор литературы) // Почвоведение. 2015. № 12. С. 1505 – 1518. <https://doi.org/10.7868/S0032180X1512014X>

Качинский Н. А. Физика почв. М.: Высшая школа, 1965. Ч. 1. 324 с.

Козлова А. А. Физика почв. Иркутск: Изд-во Иркутского государственного университета, 2012. 147 с.

Леднев А. В. Изменение свойств дерново-подзолистых суглинистых почв под действием загрязнения продуктами нефтедобычи и приемы их рекультивации: дис. ... д-ра сельскохозяйственных наук. Ижевск, 2008. 378 с.

Льонг Т. М., Нечаева И. А., Петриков К. В., Пунтус И. Ф., Понаморева О. Н. Бактерии-нефтедеструкторы рода *Rhodococcus* – потенциальные продуценты биосурфактантов // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2016. № 1. С. 50 – 60.

Минникова Т. В., Денисова Т. В., Колесников С. И., Акименко Ю. В. Оценка активности оксидоредуктаз нефтезагрязненного чернозема при мелиорации глауконитом, «DOP-UNI» и гуматом калия // Известия Самарского научного центра РАН. 2017. Т. 19, № 2. С. 307 – 311.

Олькова А. С., Березин Г. И., Ашихмина Т. Я. Оценка состояния почв городских территорий химическими и эколого-токсикологическими методами // Поволжский экологический журнал. 2016. № 4. С. 411 – 423.

Тавадзе Б. Д. Влияние биодеструкторов в процессе детоксикации поллютантов на загрязненных почвах // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2023. № 4. С. 29 – 35. <https://doi.org/10.17513/mjpf.13527>

Топчий И. А., Стом Д. И., Донина К. Ю., Алферов С. В., Нечаева И. А., Купчинский А. Б., Огарков Б. Н., Петрова Ю. Ю., Антонова Е. В. Использование поверхностно-активных веществ в биodeградации гидрофобных соединений: обзор // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2022. Т. 12, № 4. С. 521 – 537. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2022-12-4-521-537>

Туйкина А. В., Мазлова Е. А. Обезвреживание бурового шлама в открытых и герметичных контейнерах окислительным методом // Химия, экология и рациональное природопользование: материалы Международной научно-практической конференции. Махачкала: АЛЕФ, 2021. С. 312 – 317.

Успанова Д. М., Мурзина Ю. И., Коробейникова А. С., Петерсон А. М., Глинская Е. В., Арефьев К. А., Нечаева О. В. Биоремедиационный потенциал аборигенных микроорганизмов чернозема южного // Поволжский экологический журнал. 2022. № 2. С. 216 – 231. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2022-2-216-231>

Щемелинина Т. Н., Анчугова Е. М. Комплексная биотехнология очистки нефтезагрязненной почвы // Поволжский экологический журнал. 2023. № 2. С. 246 – 256. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-2-246-256>

Abdallah A. H., Elhussein A. A., Ibrahim D. A. Biodegradation of crude oil contaminated soil in Sudan using sudanese plant *Acacia seyal* Del. // International Journal of Plant & Soil Science. 2023. Vol. 35, iss. 8. P. 171 – 180. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2023/v35i82893>

Bandyopadhyay K. K., Aggarwal P., Chakraborty D., Pradhan S., Garg R. N., Singh R. Practical Manual on Measurement of Soil Physical Properties. New Delhi: Indian Agricultural Research Institute, 2012. 62 p.

Chachina S. B., Voronkova N. A., Gross M. A., Chachina E. P. Vermiculization of oil-contaminated soils using vermiculture of earthworms and microorganisms *Pseudomonas putida*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus subtilis*, *Rhodococcus* // AIP Conference Proceedings. 2023. Vol. 2784, iss. 1. Article number 070001. <https://doi.org/10.1063/5.0140364>

Ikiriko M. E., Chukwumati J. A. Phytoremediation potential of *Ficus benjamina* on soils contaminated with crude oil in Rivers State, South-South Nigeria // World Journal of Agriculture and Soil Science. 2023. Vol. 8, № 4. Article number WJASS.MS.ID.000693. <https://doi.org/10.33552/WJASS.2023.08.000693>

Khoshgoftar A., Khodaparast M., Sedighi M. Effect of residues from a burnt oil refinery on the compaction parameters and strength of clayey sand // Bulletin of Engineering Geology and the Environment. 2021. Vol. 80, iss. 8. P. 6331 – 6341. <https://doi.org/10.1007/s10064-021-02320-4>

Nikolaev Y., Borzenkov I., Demkina E., Loiko N., Kanapatsky T., Grigoreva N., El-Registan G., Perminova I., Volikov A., Khreptugova A., Bliznetc I. Immobilization of cells of hydrocarbon-oxidizing bacteria for petroleum bioremediation using new materials // International Journal of Environmental Research. 2021. Vol. 15, iss. 6. P. 971 – 984. <https://doi.org/10.1007/s41742-021-00367-5>

Nandini R., Amuthavallinayaki M., Sangameswaran R., Arthe R. A review on nano enhanced bioremediation of toxic contaminants in the environment // International Journal of Modern Developments in Engineering and Science. 2023. Vol. 2, № 6. P. 28 – 34.

Park J. Evaluation of changes in the permeability characteristics of a geotextile–polynorbornene liner for the prevention of pollutant diffusion in oil-contaminated soils // Sustainability. 2021. Vol. 13, iss. 9. Article number 4797. <https://doi.org/10.3390/su13094797>

Prabhu A. A., Chityala S., Jayachandran D., Naik N., Dasu V. V. Rhizoremediation of environmental contaminants using microbial communities // Plant-Microbe Interactions in Agro-Ecological Perspectives / eds. D. Singh, H. Singh, R. Prabha. Singapore: Springer, 2017. P. 433 – 453. https://doi.org/10.1007/978-981-10-6593-4_17

Sarmadi M. S., Zohrevand P., Rezaee M. Effect of kerosene contamination on the physical and mechanical properties of sandy soil // Innovative Infrastructure Solutions. 2019. Vol. 4. Article number 7. <https://doi.org/10.1007/s41062-019-0196-1>

Stom D. I., Matveeva O. N., Zhdanova G. O., Ponamoreva O. N., Kupchinsky A. B., Tolstoy M. Yu., Vardanyan N. S., Saksonov M. N., Chesnokova A. N., Wang L., Ge Sh. Transformation of oil and hexadecane in soil by microbial preparations and earthworms // Bioremediation Journal. 2021. Vol. 25, iss. 2. P. 159 – 168. <https://doi.org/10.1080/10889868.2020.1860894>

Tang K. H. D., Juan A. Phytoremediation of crude oil-contaminated soil with local plant species // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 495. Article number 012054. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/495/1/012054>

Uzoije A. P., Agunwamba J. C. Physiochemical properties of soil in relation to varying rates of crude oil pollution // Journal of Environmental Science and Technology. 2011. Vol. 4, iss. 3. P. 313 – 323. <https://doi.org/10.3923/jest.2011.313.323>

Change in the capillary moisture capacity and phytotoxicity of oil-contaminated soils under the influence of the oil-destructive biological product “DOP-UNI” in a short-term experiment

М. Б. Рюмин¹, Д. И. Стом^{1-4✉}, А. Е. Балаян¹, О. Г. Лопатовская¹,
Г. О. Зhdanova^{2,4}, А. Б. Купчинский², Ю. Ю. Петрова⁴, М. Н. Сакsonov¹

¹ Irkutsk State University

1 Karl Marx St., Irkutsk 664003, Russia

² Baikal Museum of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

1 Akademicheskaya St., Listvyanka village, Irkutsk region 664520, Russia

³ Irkutsk National Research Technical University

83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia

⁴ Surgut State University,

22 Energetikov St., Surgut 628412, Russia

Received: September 13, 2023 / revised: May 11, 2024 / accepted: May 15, 2024 / published: March 31, 2025

Abstract. The contamination of gray forest soils with oil and diesel fuel at concentrations of 50, 150 and 300 ml/kg is shown to lead to a decrease in their capillary moisture capacity. When applying 50, 150 and 300 ml/kg of oil, this indicator decreased from 62 (corresponds to the best capillary moisture capacity) down to 22.6, 19.1 and 12.6%, respectively. The effect of diesel fuel on the capillary moisture capacity of the soil was similar. In the presence of 50, 150 and 300 ml/kg of this oil product, the capillary moisture capacity of the soil decreased from 62% down to 28.3, 20.0 and 13.8%, respectively. As a result of the introduction of the microbial oil-destroying preparation “DOP-UNI” and subsequent exposure for 3 weeks, it was possible to partially restore this agrophysical characteristic of the soil. Even during such a short exposure time, the capillary moisture capacity of the oil-contaminated soil (50–300 ml/kg), after treatment with the biological preparation, increased by 1.3–1.8 times compared to an untreated oil-contaminated sample. However, its values still remained lower than in uncontaminated soil samples. A similar trend was noted in our experiment with diesel fuel. In addition, the treatment of oil-contaminated soil with the biological preparation “DOP-UNI” for 3 weeks led to a decrease (by ~20%) in phytotoxicity at the level of oil contamination up to 150 g/kg. The obtained data allow us to judge the prospects of using the biopreparation “DOP-UNI” for soil remediation in the case of contamination with petroleum products and restoration of their agrophysical properties. At the same time, lowering the temperature down to 10°C did not significantly affect the effectiveness of the biopreparation, at least in the described 3-week experiments. This indicates the possibility of its use in low-temperature conditions, which is typical for the main oil production sites in the Russian Federation.

Keywords: oil pollution of soils, oil-oxidizing microorganisms, biological preparation DOP-UNI, capillary moisture capacity of soils, phytotoxicity

✉ Corresponding author. Laboratory of Aquatic Toxicology of the Research Institute of Biology, Irkutsk State University, Russia.

ORCID and e-mail addresses: Maxim B. Ryumin: <https://orcid.org/0009-0006-4762-4613>, maksim.ryumin@mail.ru; Devard I. Stom: <https://orcid.org/0000-0001-9496-2961>, stomd@mail.ru; Alla E. Balayan: <https://orcid.org/0009-0001-3934-9598>, 7balla@mail.ru; Olga G. Lopatovskaya: <https://orcid.org/0000-0002-5570-545X>, lopatovs@gmail.com; Galina O. Zhdanova: <https://orcid.org/0000-0002-8355-9517>, zhdanova86@ya.ru; Alexander B. Kupchinsky: <https://orcid.org/0000-0001-8884-8636>, albor67@mail.ru; Yulia Yu. Petrova: <https://orcid.org/0000-0003-3702-2249>, petrova_juju@surgu.ru; Mikhail N. Saksonov: <https://orcid.org/0000-0003-0094-2447>, msaksonov@mail.ru.

ИЗМЕНЕНИЕ КАПИЛЛЯРНОЙ ВЛАГОЕМКОСТИ

Funding: The work was carried out with the financial support of the Department of Education and Science of Khanty-Mansi Autonomous Okrug–Yugra region (project No. 2023-227-05 “Development of effective methods to accelerate the destruction of petroleum products in soil and climatic conditions of Khanty-Mansi Autonomous Okrug–Yugra region”).

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: Ryumin M. B., Stom D. I., Balayan A. E., Lopatovskaya O. G., Zhdanova G. O., Kupchinsky A. B., Petrova Yu. Yu., Saksonov M. N. Change in the capillary moisture capacity and phytotoxicity of oil-contaminated soils under the influence of the oil-destructive biological product “DOP-UNI” in a short-term experiment. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2025, no. 1, pp. 64–79 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2025-1-64-79>

REFERENCES

- Borzenkov I. A., Serdyukov D. V. Biorecultivation of liquid oil sludge and asphalt-resin-paraffin deposits in arid conditions. *Ekologia proizvodstva*, 2017, no. 8, pp. 113–119 (in Russian).
- Borzenkov I. A., Kanapatskii T. A., Litt Iu. V., Serdiukov D. V., Nasonov P. A., Meilakh I. K. Recycling of organic waste with high content of petroleum hydrocarbons. *Ekologia proizvodstva*, 2018, no. 12, pp. 44–51 (in Russian).
- Gilyazov M. Yu., Gaisin I. A. *Agroekologicheskaya kharakteristika i priemy rekul'tivatsii neftezagryaznennykh chernozemov Respubliki Tatarstan* [Agroecological Characteristics and Methods of Reclamation of Oil-contaminated Chernozems of the Republic of Tatarstan]. Kazan, Fen, 2003. 228 p. (in Russian).
- Destructors of oil. LLC “Laboratory of Microbial Technology”. Moscow, 2020. Available at: https://dop-uni.ru/destructor_of_oil_pollution (accessed May 2, 2023).
- Zamotaev I. V., Nikonova A. N., Ivanov I. V., Mikheev P. V. Chemical contamination and transformation of soils in hydrocarbon production regions. *Eurasian Soil Science*, 2015, vol. 48, iss. 12, pp. 1370–1382. <https://doi.org/10.1134/S1064229315120133>
- Kachinsky N. A. *Fizika pochv* [Soil Physics]. Moscow, Vysshaya shkola, 1965, part 1. 324 p. (in Russian).
- Kozlova A. A. *Fizika pochv* [Soil Physics]. Irkutsk, Irkutsk State University Publ., 2012. 147 p. (in Russian).
- Lednev A. V. *Changes in the Properties of Sod-podzolic Loamy Soils Under the Influence of Pollution by Oil Production Products and Methods of Their Reclamation*. Diss. Dr. Sci. (Agricul.). Izhevsk, 2008. 378 p. (in Russian).
- Luong T. M., Nechaeva I. A., Petrikov K. V., Puntus I. F., Ponamoreva O. N. Oil-degrading microorganisms of genus *Rhodococcus* – potential producers of biosurfactants. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*, 2016, no. 1, pp. 50–60 (in Russian).
- Minnikova T. V., Denisova T. V., Kolesnikov S. I. Assessment the activity of petropolluted chernozem oxidoreductases at melioration by glaukonite, “DOP-UNI” and humate potassium. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 2017, vol. 19, no. 2, pp. 307–311 (in Russian).
- Olkova A. S., Berezin G. I., Ashikhmina T. Ya. Soil status assessment in urban areas by chemical and environmental toxicological methods. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2016, no. 4, pp. 411–423 (in Russian).

Tavadze B. D. Influence of biodestructors in the process of detoxification of pollutants on contaminated soils. *International Journal of Applied and Fundamental Research*, 2023, no. 4, pp. 29–35 (in Russian). <https://doi.org/10.17513/mjpf.13527>

Topchiy I. A., Stom D. I., Donina K. Yu., Alferov S. V., Nechaeva I. A., Kupchinsky A. B., Ogarkov B. N., Petrova Yu. Yu., Antonova E. V. Use of surfactants in biodegradation of hydrophobic compounds: A review. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*, 2022, vol. 12, no. 4, pp. 521–537 (in Russian). <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2022-12-4-521-537>

Tuykina A. V., Mazlova E. A. Decomposition of drill sludge in open and sealed containers by oxidizing method. In: *Chemistry, Ecology and Rational Nature Management: Materials of the International Scientific and Practical Conference*. Makhachkala, ALEF, 2021, pp. 312–317 (in Russian).

Uspanova D. M., Murzina Yu. I., Korobeinikova A. S., Peterson A. M., Glinskaya E. V., Arefiev K. A., Nechaeva O. V. Bioremediation potential of native microorganisms of the southern chernozem. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2022, no. 2, pp. 216–231 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2022-2-216-231>

Shchemelinina T. N., Anchugova E. M. Integrated biotechnology for oil-polluted soil cleanup. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2023, no. 2, pp. 246–256 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-2-246-256>

Abdallah A. H., Elhussein A. A., Ibrahim D. A. Biodegradation of crude oil contaminated soil in Sudan using sudanese plant *Acacia seyal* Del. *International Journal of Plant & Soil Science*, 2023, vol. 35, iss. 8, pp. 171–180. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2023/v35i82893>

Bandyopadhyay K. K., Aggarwal P., Chakraborty D., Pradhan S., Garg R. N., Singh R. *Practical Manual on Measurement of Soil Physical Properties*. New Delhi, Indian Agricultural Research Institute, 2012. 62 p.

Chachina S. B., Voronkova N. A., Gross M. A., Chachina E. P. Vermicultivation of oil-contaminated soils using vermiculture of earthworms and microorganisms *Pseudomonas putida*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus subtilis*, *Rhodococcus*. *AIP Conference Proceedings*, 2023, vol. 2784, iss. 1, article no. 070001. <https://doi.org/10.1063/5.0140364>

Ikiriko M. E., Chukwumati J. A. Phytoremediation potential of *Ficus benjamina* on soils contaminated with crude oil in Rivers State, South-South Nigeria. *World Journal of Agriculture and Soil Science*, 2023, vol. 8, no. 4, article no. WJASS.MS.ID.000693. <https://doi.org/10.33552/WJASS.2023.08.000693>

Khoshgoftar A., Khodaparast M., Sedighi M. Effect of residues from a burnt oil refinery on the compaction parameters and strength of clayey sand. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 2021, vol. 80, iss. 8, pp. 6331–6341. <https://doi.org/10.1007/s10064-021-02320-4>

Nikolaev Y., Borzenkov I., Demkina E., Loiko N., Kanapatsky T., Grigoreva N., El-Registan G., Perminova I., Volikov A., Khreptugova A., Bliznetc I. Immobilization of cells of hydrocarbon-oxidizing bacteria for petroleum bioremediation using new materials. *International Journal of Environmental Research*, 2021, vol. 15, iss. 6, pp. 971–984. <https://doi.org/10.1007/s41742-021-00367-5>

Nandini R., Amuthavallinayaki M., Sangameswaran R., Arthe R. A review on nano enhanced bioremediation of toxic contaminants in the environment. *International Journal of Modern Developments in Engineering and Science*, 2023, vol. 2, no. 6, pp. 28–34.

Park J. Evaluation of changes in the permeability characteristics of a geotextile–polynorbornene liner for the prevention of pollutant diffusion in oil-contaminated soils. *Sustainability*, 2021, vol. 13, iss. 9, article no. 4797. <https://doi.org/10.3390/su13094797>

Prabhu A. A., Chityala S., Jayachandran D., Naik N., Dasu V. V. Rhizoremediation of environmental contaminants using microbial communities. In: Singh D., Singh H., Prabha R., eds. *Plant-Microbe Interactions in Agro-Ecological Perspectives*. Singapore, Springer, 2017, pp. 433–453. https://doi.org/10.1007/978-981-10-6593-4_17

ИЗМЕНЕНИЕ КАПИЛЛЯРНОЙ ВЛАГОЕМКОСТИ

Sarmadi M. S., Zohrevand P., Rezaee M. Effect of kerosene contamination on the physical and mechanical properties of sandy soil. *Innovative Infrastructure Solutions*, 2019, vol. 4, article no. 7. <https://doi.org/10.1007/s41062-019-0196-1>

Stom D. I., Matveeva O. N., Zhdanova G. O., Ponamoreva O. N., Kupchinsky A. B., Tolstoy M. Yu., Vardanyan N. S., Saksonov M. N., Chesnokova A. N., Wang L., Ge Sh. Transformation of oil and hexadecane in soil by microbial preparations and earthworms. *Bioremediation Journal*, 2021, vol. 25, iss. 2, pp. 159–168. <https://doi.org/10.1080/10889868.2020.1860894>

Tang K. H. D., Juan A. Phytoremediation of crude oil-contaminated soil with local plant species. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, vol. 495, article no. 012054. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/495/1/012054>

Uzoije A. P., Agunwamba J. C. Physiochemical properties of soil in relation to varying rates of crude oil pollution. *Journal of Environmental Science and Technology*, 2011, vol. 4, iss. 3, pp. 313–323. <https://doi.org/10.3923/jest.2011.313.323>

Оригинальная статья

УДК 579.64:676.034.81

<https://doi.org/10.35885/1684-7318-2025-1-80-90>

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИИ УСКОРЕННОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НАВОЗА

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

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 Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН

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

Поступила в редакцию 16.01.2024 г., после доработки 23.05.2024 г., принята 25.05.2024 г., опубликована 31.03.2025 г.

Аннотация. В современных условиях ведения животноводства необходимы новые экологически безопасные технологии переработки и утилизации побочных продуктов животноводства (ППЖ): навоза и навозных стоков животноводческих комплексов. Одной из таких технологий является производство восстановленной подстилки (ВП) в биореакторных установках (БРУ) из навоза крупного рогатого скота, внедренное на одном из молочных комплексов Кировской области. Применяемая технология рециклинга позволила получить однородный продукт мягкой, рыхлой консистенции, высокой гигроскопичности, бурого цвета со слабым характерным земельным запахом. Обработка навоза в БРУ в течение 24 ч при температуре 69±4°C способствует существенному снижению влажности навозных стоков, повышению массовой доли органического вещества, зольности, pH, а также существенному снижению содержания общего числа микроорганизмов (МО) в 68,2 раза и видового разнообразия в 2,2 раза. Из состава микробиоты исчезли *Proteus*, *Fusobacterium*, *Prevotella*, *Pseudomonas*, *Peptococcus*, *Aspergillus*, *Klebsiella*, входящие в число возбудителей мастита. Численность условно-патогенных энтерококков сократилась с $(8.0 \pm 0.5) \times 10^6$ до $(5.0 \pm 0.5) \times 10^4$ КОЕ/мл. После обработки в БРУ бифидобактерии заняли доминирующее положение в составе микробиоты ВП (63% от общего числа выявленных МО), данный факт следует расценивать как достоинство соответствующей технологии и одно из преимуществ ВП. Однако высокую устойчивость при обработке навозных стоков в БРУ проявили условно-патогенные микроорганизмы родов *Clostridium*, *Bacteroides*, *Peptostreptococcus*, *Veillonella*, *Candida*. Согласно результатам химического анализа, содержание крупного рогатого скота на ВП привело к накоплению в подстилочном навозе азота, фосфора и калия, что обусловлено постепенной деградацией органических компонентов ВП в процессе рециклинга. Представленные результаты могут быть использованы для оптимизации параметров обработки навоза крупного рогатого скота с использованием БРУ для повышения качества ВП.

Ключевые слова: рециклинг навоза, микробиота, крупный рогатый скот, восстановленная подстилка, биореакторные установки, фильтрационно-сушильные установки

✉ Для корреспонденции. Лаборатория биомониторинга Института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН и 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; Ашихмина Тамара Яковлевна: <https://orcid.org/0000-0003-4919-0047>, ecolab2@gmail.com.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН по теме «Структура и состояние компонентов техногенных экосистем подзоны южной тайги» (государственная регистрация в ЕГИСУ № 122040100032-5).

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., Ашихмина Т. Я. Микробиологическая безопасность технологии ускоренной переработки навоза // Поволжский экологический журнал. 2025. № 1. С. 80 – 90. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2025-1-80-90>

ВВЕДЕНИЕ

Интенсификация современного промышленного животноводства приводит к многочисленным экологическим проблемам, большинство которых обусловлено образованием побочных продуктов: навоза животных и помета птиц. Образующиеся на животноводческих предприятиях побочные продукты животноводства (ППЖ) чаще всего после обеззараживания вносят в пашню, расположенную в радиусе 10 – 15 км от мест содержания животных. Соответствующий подход не является оптимальным как в экологическом, так и в экономическом плане. Внесение высоких норм органических удобрений на ограниченных площадях приводит к химическому и биологическому загрязнению почвы и водных источников, а необходимость транспортирования навоза на значительные расстояния – к дополнительным экономическим затратам (Pilip et al., 2022; Syrchina et al., 2022). Практика показывает, что для устойчивого функционирования животноводческой отрасли необходима разработка новых инновационных подходов и технологий по переработке и утилизации ППЖ, а также совершенствование действующих технологий с целью снижения негативного воздействия на окружающую среду. К числу таких технологий можно отнести переработку навоза крупного рогатого скота (КРС) в подстилку для животных. Ориентировочные расчеты показывают, что на каждую тонну коровьего молока образуется более трех тонн бесподстилочного навоза, рациональная утилизация которого представляет серьезную производственную, санитарно-эпидемиологическую и экологическую проблему. Благодаря рециклингу навоза его значительную долю удастся вернуть в хозяйственный оборот в качестве полезного продукта.

Технологии переработки навоза КРС в подстилку начали разрабатываться и впервые были апробированы еще в 70-х гг. XX в. в США (Leach, 2015). Несколько позднее соответствующий опыт был освоен в Европе, а в последние десятилетия и в РФ. Согласно Регламенту (ЕС) № 1069/2009 Европейского Парламента и Совета от 21 октября 2009 г., навоз домашнего скота относится к побочным продуктам животного происхождения 2-й категории. Использование навоза в качестве технического продукта (в том числе подстилки для животных) возможно только при соблюдении определенных условий, исключающих или минимизирующих риски для здоровья человека, животных и окружающей среды (Regulation..., 2009). Основными факторами риска, связанными с переработкой навоза в подстилку, явля-

ются неблагоприятные микробиологические характеристики соответствующего материала: наличие условно-патогенной, патогенной и антибиотико-резистентной микрофлоры, гельминтов и яиц гельминтов, семян сорных растений (Pilip et al., 2022, 2023a). К тому же навоз является источником запахового загрязнения атмосферного воздуха, оказывающего отрицательное воздействие на условия труда работников животноводческих предприятий и качество жизни населения на территориях вблизи животноводческих комплексов (Pilip, Syrchina, 2023; Pilip et al., 2023b; Syrchina et al., 2023). Оптимизировать микробиологические и органолептические характеристики подстилки из ППЖ позволяют современные технологии переработки навоза КРС на фильтрационно-сушильных (биореакторных) установках (БРУ).

Переработка ППЖ в подстилку на БРУ включает 2 основные стадии. Первая заключается в разделении навоза на твердую и жидкую фракции с помощью центрифуги, вторая – в обработке твердой фракции во вращающихся барабанах (биореакторах) при температуре 65 – 75°C в условиях активной аэрации. Время обработки обычно занимает от 15 до 24 ч и зависит от производительности установки и особенностей поступающего на переработку навоза. Готовый продукт – восстановленная подстилка (ВП) представляет собой однородную мягкую и рыхлую массу бурого цвета со слабым характерным запахом. Выделенная из ППЖ жидкая фракция перекачивается для обеззараживания в лагуны, а затем вносится в пашню в качестве органического удобрения. Следует отметить, что некоторые виды характерных для навоза микроорганизмов (МО) сохраняют свою жизнеспособность даже после обработки в БРУ (Pilip et al., 2023c), что может оказать существенное влияние на степень микробиологической безопасности ВП. Изучение соответствующих аспектов переработки ППЖ в подстилку представляет большой интерес для современного промышленного животноводства, поскольку высокая концентрация поголовья на ограниченных площадях сопряжена с повышенными рисками распространения инфекционных заболеваний.

Цель настоящей работы – изучить влияние аэробной обработки навоза КРС в фильтрационно-сушильной установке на состав микрофлоры и микробиологическую безопасность восстановленной подстилки.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для проведения исследований использовали пробы навоза КРС до и после обработки в фильтрационно-сушильной (биореакторной) установке BRU FAN 720 (BAUER GmbH, Австрия). Время обработки – 24 ч, температура в биореакторе – $69 \pm 2^\circ\text{C}$. Используемые в исследовании физико-химические методы анализа ВП приведены в табл. 1. Отбор проб для микробиологических исследований (5 проб навоза КРС до обработки в БРУ, 5 проб ВП после обработки в БРУ) производили в стерильные емкости с соблюдением правил асептики и антисептики, в течение 1 ч доставляли в микробиологическую лабораторию. Микробиологические исследования включали посев определенного объема из серии десятикратных разведений суспензии исследуемых МО на плотную питательную среду, инкубацию и подсчет образовавшихся колоний. Общее количество МО (концентрацию микробных кле-

ток) определяли методом посева на питательные среды в соответствии с ОФС.1.7.2.0008.15 «Определение концентрации микробных клеток» (приказ МЗ РФ от 31.10.2018 №749). Для определения количества клеток анаэробных МО чашки Петри после посева помещали в анаэростат. Для создания анаэробноз применяли микроанаэростат (OXOID, Великобритания) и газогенерирующие пакеты (ООО «Новые технологии», Россия).

Микробиологические исследования выполняли 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 выполненных исследований установлено, что свойства навоза КРС при обработке на БРУ существенно изменяются. В табл. 1 приведены основные характеристики отобранных образцов навоза КРС до и после обработки в фильтрационно-сушильной установке.

Таблица 1. Свойства отобранных образцов навоза КРС до и после обработки в фильтрационно-сушильной установке

Table 1. Properties of the selected cattle manure samples before and after processing in a bioreactor installation

Показатель / Indicator	Значение показателя (на естественную влажность) / Indicator value (for natural moisture content)		Метод анализа / Method of analysis
	до обработки / before treatment	после обработки / after treatment	
Влажность, % / Moisture content, %	79.6±3.2	68.5±3.4	Гравиметрический: высушивание навески при температуре 105 – 110°C до постоянной массы / Gravimetric: sample drying at 105–110°C to constant weight
Активная кислотность, ед. pH / Active acidity, pH units	8.2±0.3	7.5±0.3	Потенциометрический: измерение pH в водной суспензии ВП, приготовленной согласно ГОСТ 11623-89 / Potentiometric: pH measurement in an aqueous suspension of reconstituted litter prepared according to GOST 11623-89
Органическое вещество, % / Organic matter, %	18.2±3.6	26.7±3.2	Термогравиметрический по ГОСТ 27980 / Thermogravimetric, according to GOST 27980
Зольность, % / Ash content, %	2.24±1.6	4.8±1.4	Термогравиметрический по ГОСТ 26714-85 / Thermogravimetric, according to GOST 26714-85
N (общий), % / N (total), %	0.8±0.3	1.2±0.3	Метод Кельдаля по ГОСТ 26715 / Kjeldahl's method, according to GOST 26715
P ₂ O ₅ (общий), % / P ₂ O ₅ (total), %	0.48±0.12	0.69±0.14	Фотометрический по ГОСТ 26717 / Photometric, according to GOST 26717
K ₂ O (общий), % / K ₂ O (total), %	1.2±0.4	1.5±0.4	Пламенная фотометрия по ГОСТ 26718 / Flame photometry, according to GOST 26718

Согласно полученным результатам, обработка навоза в БРУ способствовала существенному снижению влажности, повышению массовой доли органического вещества, зольности и снижению значений pH. Снижение pH может быть обусловлено разложением солей аммония и удалением NH_3 из навоза в процессе нагревания и аэрации.

Содержание КРС на исследуемой подстилке привело к накоплению в навозе азота, фосфора и калия (табл. 2), что обусловлено постепенной деградацией органических компонентов ВП в процессе рециклинга.

Таблица 2. Содержание общего азота, фосфора и калия в экскрементах КРС и в смеси экскрементов и восстановленной подстилки

Table 2. Total content of nitrogen, phosphorus and potassium in cow excrements and in a mixture of excrement and reconstituted litter

Показатель / Indicator	Среднее содержание, % (на сухое вещество) / Average content, % (dry matter)	
	Экскременты КРС (РД-АПК, 2017) / Cow excrements (RD-APC, 2017)	Смесь экскрементов КРС и восстановленной подстилки / A mixture of cow excrements and reconstituted bedding
N (общий), % / N (total), %	3.2	4.0
P_2O_5 (общий), % / P_2O_5 (total), %	1.8	2.4
K_2O (общий), % / K_2O (total), %	5.0	6.0

В табл. 3 приведены данные о составе микробиоты навоза КРС до и после обработки в фильтрационно-сушильной установке.

Таблица 3. Состав микробиоты навоза КРС до и после обработки на фильтрационно-сушильной установке

Table 3. Microbiota composition in cattle manure before and after processing in a bioreactor installation

Микроорганизмы / Microorganisms	Количество микроорганизмов, КОЕ/мл / Numbers of microorganisms, CFU/mL	
	Навоз КРС до обработки в БРУ / Cattle manure before processing in a bioreactor installation	Навоз КРС после обработки в БРУ / Cattle manure after processing in a bioreactor installation
1	2	3
Факультативные анаэробы / Facultative anaerobes		
<i>Escherichia coli</i>	$(6.0 \pm 0.3) \times 10^6$	$(5.0 \pm 0.7) \times 10^4$
<i>Enterococcus</i> sp.	$(8.0 \pm 0.5) \times 10^6$	$(5.0 \pm 0.5) \times 10^4$
<i>Lactobacillus</i> spp.	$(5.0 \pm 0.4) \times 10^5$	$(6.0 \pm 0.8) \times 10^4$
<i>Veillonella parvula</i>	$(7.0 \pm 0.5) \times 10^4$	$(4.0 \pm 0.4) \times 10^4$
<i>Capnocytophaga ochracea</i>	$(7.0 \pm 0.4) \times 10^4$	Не обнаружены / Undetected
<i>Klebsiella</i> sp.	$(6.0 \pm 0.5) \times 10^4$	Не обнаружены / Undetected
<i>Proteus</i> spp.	$(5.0 \pm 0.3) \times 10^4$	Не обнаружены / Undetected
<i>Staphylococcus aureus</i>	$(3.0 \pm 0.8) \times 10^4$	Не обнаружены / Undetected
<i>Staphylococcus epidermidis</i>	$(5.0 \pm 0.8) \times 10^2$	Не обнаружены / Undetected
Облигатные анаэробы / Obligate anaerobes		
<i>Bifidobacterium</i> spp.	$(6.0 \pm 0.5) \times 10^7$	$(7.0 \pm 0.8) \times 10^5$
<i>Clostridium</i> spp.	$(7.0 \pm 0.4) \times 10^5$	$(6.0 \pm 0.8) \times 10^4$

Окончание табл. 3
Table 3. Continuation

1	2	3
<i>Peptoniphilus</i> sp.	$(7.0 \pm 0.3) \times 10^4$	$(4.0 \pm 0.4) \times 10^3$
<i>Anaerococcus prevotii</i>	$(6.0 \pm 0.5) \times 10^4$	$(7.0 \pm 0.6) \times 10^3$
<i>Bacteroides</i> sp.	$(7.0 \pm 0.7) \times 10^4$	$(6.0 \pm 0.9) \times 10^4$
<i>Peptostreptococcus</i> sp.	$(4.0 \pm 0.5) \times 10^4$	$(4.0 \pm 0.3) \times 10^4$
<i>Peptococcus</i> sp.	$(6.0 \pm 0.4) \times 10^4$	Не обнаружены / Undetected
<i>Sarcina ventriculi</i>	$(6.0 \pm 0.6) \times 10^4$	Не обнаружены / Undetected
<i>Fusobacterium</i> sp.	$(4.0 \pm 0.9) \times 10^4$	Не обнаружены / Undetected
<i>Prevotella</i> sp.	$(7.0 \pm 0.4) \times 10^3$	Не обнаружены / Undetected
<i>Acidaminococcus fermentans</i>	$(5.0 \pm 0.6) \times 10^3$	Не обнаружены / Undetected
<i>Alistipes putredinis</i>	$(5.0 \pm 0.5) \times 10^2$	Не обнаружены / Undetected
Аэробы / Aerobes		
<i>Pseudomonas</i> spp.	$(7.0 \pm 0.7) \times 10^3$	Не обнаружены / Undetected
Грибы / Mushrooms		
<i>Candida</i> sp.	$(7.0 \pm 0.5) \times 10^4$	$(6.0 \pm 0.3) \times 10^3$
<i>Aspergillus</i> spp.	$(6.0 \pm 1.1) \times 10^3$	Не обнаружены / Undetected
Общее число микроорганизмов / Total number of microorganisms	7.5×10^7	1.1×10^6

Примечание. Жирным шрифтом выделены значения варианта эксперимента 2, достоверно ($P > 0.95$) отличающиеся от варианта 1.

Note. Values of experiment 2 differing significantly ($P > 0.95$) from experiment 1 are marked in bold.

В результате микробиологических исследований установлено, что состав микробиоты подстилочного навоза КРС (восстановленная подстилка – обработанный в БРУ навоз КРС) в основном определяется МО, характерными для желудочно-кишечного тракта, ротовой полости и кожных покровов животных. Источниками плесневых грибов *Aspergillus* spp. могут быть корма, почва или вода. Содержание выявленных МО в навозе на ВП не превышает характерные для навоза КРС показатели (Mushina, Telyatnikova, 2016; Munshi et al., 2018).

Обработка навоза в БРУ привела к сокращению численности и видового разнообразия населяющих соответствующий субстрат МО. Из состава микробиоты исчезли МО, входящие в число возбудителей мастита: *Proteus*, *Fusobacterium*, *Prevotella*, *Pseudomonas*, *Peptococcus*, *Aspergillus*, *Klebsiella* (Laptev et al., 2017), а также условно-патогенные *Staphylococcus aureus* и *Staphylococcus epidermidis*. Устранение из ВП бактерий рода *Klebsiella* и снижение количества *S. aureus* имеет большое санитарное и гигиеническое значение, поскольку соответствующие МО проявляют множественную резистентность к существующим антибактериальным препаратам. Кроме того, клебсиеллы относятся к основным возбудителям внутрибольничных инфекций (Lartseva, Obukhova, 2020), а для *S. aureus* характерно наличие различных факторов вирулентности, которые могут привести к опасным инфекционным заболеваниям человека и животных (Saceres et al., 2001).

Высокую устойчивость к обработке навоза в БРУ проявили условно-патогенные *Clostridium*, *Bacteroides*, *Peptostreptococcus*, *Veillonella parvula*, *Candida*.

Бактерии рода *Bacteroides* и грибы рода *Candida* входят в число возбудителей мастита (Laptev et al., 2017). Патогенные виды клостридий вызывают широкий спектр заболеваний, включая столбняк (*C. tetani*), ботулизм (*C. botulinum*), клостридиальный некротизирующий энтерит (*C. perfringens* типа C), нейтروпенический энтероколит (*C. septicum*) и др. Основными факторами вирулентности клостридий служат вырабатываемые ими токсины, некоторые из них могут привести к летальному исходу (Shilnikova et al., 2016). *Peptostreptococcus* и *Veillonella parvula* входят в число клинически значимых анаэробных кокков, играющих существенную роль в развитии острых кишечных инфекций (Sukhina, Savelev, 2005). Наличие устойчивых к обработке в БРУ условно-патогенных МО снижает гигиенические характеристики ВП.

Сохраняющиеся при обработке в БРУ бактероиды, протей, клостридии, эшерихии по типу потребляемого субстрата относят к протеолитической микробиоте, в процессе жизнедеятельности которой выделяются разнообразные вещества с крайне неприятными запахами (индол, скатол, фенолы, меркаптаны, амины и др.). Фузобактерии продуцируют масляную (основной метаболит) и уксусную кислоты (дополнительный метаболит). Наличие соответствующих МО в ВП способствует эмиссии дурнопахнущих веществ, что снижает качество воздуха в помещениях для содержания животных и приводит к запаховому загрязнению территорий в районах размещения животноводческих комплексов (Kolevatykh et al., 2022).

Относительную устойчивость к обработке в БРУ проявили условно-патогенные энтерококки. Благодаря высокой пластичности генома, соответствующие МО входят в число активных переносчиков генов антибиотикорезистентности. Энтерококки проявляют выраженную протеолитическую и пептидолитическую активность. Попадая в молочные продукты, эти МО могут оказать негативное влияние на формирование вкуса (Gagnon et al., 2020).

Численность полезных лактобактерий и бифидобактерий при обработке навоза в БРУ снижается незначительно, что следует расценивать как достоинство соответствующего способа обработки ППЖ и одно из преимуществ ВП. После обработки в БРУ бифидобактерии заняли доминирующее положение в составе микробиоты ВП (63% от общего числа выявленных МО). Непатогенные лактобактерии и бифидобактерии относятся к типичным представителям нормальной микробиоты желудочно-кишечного тракта человека и животных. В процессе жизнедеятельности этих МО во внешнюю среду выделяются молочная и некоторые другие органические кислоты, а также антибиотики и бактериоцины, оказывающие угнетающее воздействие на развитие гнилостной, патогенной и газообразующей микробиоты (Astashkina, 2010; Zotova, Trifonova, 2016), что улучшает санитарные и гигиенические характеристики подстилки. В настоящее время биопрепараты, содержащие лактобактерии, находят применение для обработки подстилочных материалов с целью повышения их эксплуатационных характеристик (Lyashenko et al., 2021).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Производство восстановленной подстилки из навоза крупного рогатого скота является перспективной и экологически безопасной технологией переработки и утилизации побочных продуктов животноводства в условиях крупных молочных

животноводческих комплексов. Рециклинг навоза позволяет снизить химическое и микробиологическое загрязнение окружающей среды, а также улучшить экологическое состояние прилегающих к животноводческим комплексам территорий.

Результаты выполненных исследований показали, что аэробная обработка навоза крупного рогатого скота в фильтрационно-сушильных установках приводит к сокращению численности (почти в 70 раз) и видового разнообразия (в 2 раза) населяющих навоз МО. Из состава микробиоты исчезли условно-патогенные *Proteus*, *Fusobacterium*, *Prevotella*, *Pseudomonas*, *Peptococcus*, *Aspergillus*, *Klebsiella*, *Staphylococcus aureus* и *Staphylococcus epidermidis*.

Высокую устойчивость к обработке в БРУ проявили *Clostridium*, *Bacteroides*, *Peptostreptococcus*, *Veillonella parvula*, *Candida*. Количество соответствующих МО в ВП по сравнению с нативным навозом не изменилось или изменилось незначительно. Численность *Escherichia coli* и *Enterococcus* sp. после обработки сократилась на 2 порядка. Для подавления соответствующей микробиоты требуются более жесткие режимы, такие как увеличение температуры и/или продолжительности обработки.

Доминирующее положение в составе микробиоты навоза крупного рогатого скота до обработки и после обработки в БРУ занимали непатогенные бифидобактерии, однако их доля в общем числе МО после обработки навоза сократилась с 80 до 63%. Доля непатогенных лактобактерий после обработки увеличилась до 5% (в нативном навозе доля лактобактерий составляла лишь 0.7%).

Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации параметров обработки навоза крупного рогатого скота на фильтрационно-сушильных установках с целью повышения качества восстановленной подстилки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Astashkina A. P. Up to day review the biological feature of bifidobacterium and lactobacillus. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy*, 2010, no. 1, pp. 133–139 (in Russian).
- Sacares M., Nord C. E., Weintraub A. Ecological aspects of antimicrobial susceptibility of anaerobic bacteria. *Clinical Microbiology and Antimicrobial Chemotherapy*, 2001, vol. 3, no. 1, pp. 39–47 (in Russian).
- Gagnon M., Hamelin L., Fréchette A., Dufour S., Roy D. Effect of recycled manure solids as bedding on bulk tank milk and implications for cheese microbiological quality. *Journal of Dairy Science*, 2020, vol. 103, no. 1, pp. 128–140.
- Kolevatykh E. P., Pilip L. V., Syrchina N. V., Kozvonin V. A., Ashikhmina T. Ya. 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>
- Laptev G. Yu., Novikova N. I., Ilina L. A., Yildirim E. A., Soldatova V. V., Nikonov I. N. Molecular-genetic investigation of microorganisms corresponding mastitis in cattle. *Actual Issues in Agricultural Biology*, 2017, no. 4, pp. 30–34 (in Russian).
- Lartseva L. V., Obukhova O. V. Comparative assessment of the sanitary and hygienic significance of *Klebsiella* isolated from clinical material and hydroecosystems. Literature review. *Astrakhan Bulletin for Environmental Education*, 2020, no. 2(56), pp. 143–154 (in Russian). <https://doi.org/10.36698/2304-5957-2020-19-2-143-154>

Leach K. A., Archer S. C., Breen J. E., Green M. J., Ohnstad I. C., Tuer S., Bradley A. J. Recycling manure as cow bedding: Potential benefits and risks for UK dairy farms. *The Veterinary Journal*, 2015, vol. 206, iss. 2, pp. 123–130. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2015.08.013>

Lyashenko V. V., Kaeshova I. V., Vorobeva A. A. The effect of bio-litter on the productive qualities of cows. *Surskiy Vestnik*, 2021, no. 3(15), pp. 43–48 (in Russian). https://doi.org/10.36461/2619-1202_2021_03_007

Munshi S. K., Roy J., Noor R. Microbiological investigation and determination of the antimicrobial potential of cow dung samples. *Stamford Journal of Microbiology*, 2018, vol. 8, iss. 1, pp. 34–37. <https://doi.org/10.3329/sjm.v8i1.42437>

Mushina M. V., Telyatnikova N. V. Microflora of manure. *Youth and Science*, 2016, no. 8, pp. 8 (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., 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., Ashikhmina T. Ya., Kolevatykh E. P. Coliform bacteria as components in biofilm of manure effluents. *South of Russia: Ecology, Development*, 2023a, vol. 18, no. 3(68), pp. 118–125 (in Russian). <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2023-3-118-125>

Pilip L. V., Syrchina N. V., Kolevatykh E. P., Rutman V. V. Influence of various types of surfactants on gas emissions and microbiota of the liquid fraction of manure effluents. *Theoretical and Applied Ecology*, 2023b, no. 3, pp. 59–72 (in Russian). <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2023-3-059-072>

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*, 2023c, no. 1(33), pp. 45–51 (in Russian). <https://doi.org/10.24852/2411-7374.2023.1.45.51>

RD-APK 1.10.15.02-17. *Methodological Recommendations for Technological Design Methodological Recommendations for Technological Design of Systems for Removal and Preparation for Use of Manure and Litter*. Moscow, Rosinformagrotech, 2017. 172 p. (in Russian).

Regulation (EC) no 1069/2009 of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009. Available at: <https://fsvps.gov.ru/sites/default/files/fsvps-docs/ru/usefulinf/files/es1069-2009.pdf> (accessed December 5, 2023).

Shilnikova I. I., Dyakova S. A., Kulaga E. V., Sokolova E. N., Tereshchenko I. V., Dmitrieva N. V. The identification and sensitivity to antibiotics of *Clostridia*, including *Clostridia difficile* isolated under infectious complications in oncologic patients. *Clinical Laboratory Diagnostics*, 2016, vol. 61, no. 7, pp. 439–444 (in Russian).

Sukhina M. A., Savelev V. N. Epidemiology and pathogenicity of clinically significant anaerobes. *Epidemiology and Vaccinal Prevention*, 2005, no. 1, pp. 41–44 (in Russian).

Syrchina N. V., Pilip L. V., Ashikhmina T. Ya. Chemical land degradation under the influence of animal husbandry waste. *Theoretical and Applied Ecology*, 2022, no. 3, pp. 219–225 (in Russian). <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-3-219-225>

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>

Zotova E. P., Trifonova T. I. The effect of exometabolites of lacto- and bifidobacteria on the human body. *Academic Journal of West Siberia*, 2016, vol. 12, no. 5, pp. 52–54 (in Russian).

Microbiological safety of the accelerated manure processing technology

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

¹ Vyatka State University

36 Moskovskaya St., Kirov 610000, Russia

² Vyatka State Agrotechnological University

133 Oktyabrsky Pros., Kirov 610017, Russia

³ Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of RAS

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

Received: January 16, 2024 / revised: May 23, 2024 / accepted: May 25, 2024 / published: March 31, 2025

Abstract. Modern animal husbandry requires new environmentally friendly technologies for the processing and disposal of its by-products (BPAH), namely: manure and manure effluents from livestock complexes. One of these technologies is the production of reconstituted litter (RL) in Bedding Recovery Units (BRU) from cattle manure, introduced at one of the dairy complexes in the Kirov region. The recycling technology used made it possible to obtain a homogeneous product of a soft, loose consistency, high hygroscopicity, brown color with a weak characteristic earthy odor. Manure processing in BRU for 24 h at a temperature within $69 \pm 4^\circ\text{C}$ contributes to a significant decrease in the humidity of manure effluents, an increase in the mass fraction of organic matter, ash content, pH, as well as a significant decrease of the total number of microorganisms (MO) (by 68.2 times) and species diversity (by 2.2 times). *Proteus*, *Fusobacterium*, *Prevotella*, *Pseudomonas*, *Peptococcus*, *Aspergillus*, and *Klebsiella*, which are among the causative agents of mastitis, have disappeared from the microbiota. The numbers of opportunistic Enterococci decreased from $(8.0 \pm 0.5) \times 10^6$ down to $(5.0 \pm 0.5) \times 10^4$ CFU/ml. After processing in BRU, Bifidobacteria took a dominant position in the composition of microbiota in RL (63% of the total number of identified MO). This fact should be regarded as an advantage of the used technology and one of the advantages of the RL. However, conditionally pathogenic microorganisms of the genera *Clostridium*, *Bacteroides*, *Peptostreptococcus*, *Veillonella*, and *Candida* showed high resistance to manure effluent processing in BRU. According to the chemical analysis results, the content of cattle on RL led to the accumulation of nitrogen, phosphorus and potassium in litter manure, which is due to the gradual degradation of organic components of RL during recycling. The presented results can be used to optimize the parameters of processing cattle manure using BRU to improve the quality of RL.

Keywords: manure recycling, microbiota, cattle, reconstituted litter, Bedding Recovery Unit, filtration and drying plants

Funding: The work was carried out within the framework of the state assignment of the Institute of Biology of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences on the theme “Structure and Condition of Components of Anthropogenic Ecosystems of the Southern Taiga Subzone” (state registration in EGISU No. 122040100032-5).

✉ Corresponding author. Biomonitoring Laboratory of the Institute of Biology of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences and 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; Tamara Ya. Ashikhmina: <https://orcid.org/0000-0003-4919-0047>, ecolab2@gmail.com.

Н. В. Сырчина, Л. В. Пилип, Т. Я. Ашихмина

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: Syrchina N. V., Pilip L. V., Ashikhmina T. Ya. Microbiological safety of the accelerated manure processing technology. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2025, no. 1, pp. 80–90 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2025-1-80-90>

SHORT COMMUNICATIONS

Short Communication

<https://doi.org/10.35885/1684-7318-2025-1-91-99>

Atlantic blue crab *Callinectes sapidus* Rathbun, 1896 (Portunidae, Malacostraca) could lead to local extinction of few endemic freshwater species in the Eastern Morocco

Y. Mabrouki ^{1✉}, K. Gourari ², A. F. Taybi ³

¹ Faculty of Sciences Dhar El Mehraz, University Sidi Mohamed Ben Abdellah
B.P. 1796, Fès-Atlas 30003, Fez, Morocco

² Faculty of Science, Mohammed First University
B.P. 524, Oujda 60000, Morocco

³ Nador Multidisciplinary Faculty, Mohammed First University
B.P. 524, Oujda 60000, Morocco

Received: June 28, 2024 / revised: November 28, 2024 / accepted: November 29, 2024 / published: March 31, 2025

Abstract. The protected area of the Moulouya River mouth, also known as a SIBE (Site of Biological and Ecological Interest), is one of the most important and vulnerable freshwater reserves in the southern Mediterranean. This site is characterized by a wide variety of habitats that support rich aquatic biodiversity with a high degree of endemism. It was also one of the first wetlands in Morocco to be invaded by the marine and invasive American blue crab, *Callinectes sapidus* Rathbun, 1896, following its initial establishment in the Marchica Lagoon. Since its first detection in 2019, the blue crab has been expanding its range upstream in the Moulouya River, now reaching areas home to some of the last populations of endemic and patrimonial species in Eastern Morocco. In this paper, we compare the abundance of certain patrimonial species in the Moulouya SIBE before and after the arrival of the blue crab, focusing on the Moroccan endemic freshwater mussel *Unio foucauldianus* Pallary, 1936, and the freshwater crab *Potamon algeriense* Bott, 1967. We observed a complete disappearance of these species in certain areas of the lower Moulouya, which could likely be attributed to predation by the blue crab. The predation and migration behaviour of the blue crab in the Moulouya River aligns with what has been described in the literature for its non-native range.

Keywords: Moroccan naiad, freshwater crab, last populations, marine species, biological invasion, threatened populations

✉ Corresponding author. Biotechnology, Conservation and Development of Natural Resources Laboratory, Biology Department, Faculty of Sciences Dhar El Mehraz, University Sidi Mohamed Ben Abdellah, Morocco.

ORCID and e-mail addresses: Youness Mabrouki: <https://orcid.org/0000-0002-7336-8717>, youness.mabrouki@usmba.ac.ma; Kamal Gourari: <https://orcid.org/0009-0006-0096-3757>, k.gourari@ump.ac.ma; Abdelkhaleq Fouzi Taybi: <https://orcid.org/0000-0001-9652-5407>, a.taybi@ump.ac.ma.

Ethics approval and consent to participate: The sampling of crabs for the current research was performed in accordance with the legislation of Morocco and was approved by the Sidi Mohammed Ben Abdellah University, Faculty of Sciences Dhar El Mahraz (Fez, Morocco).

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

For citation: Mabrouki Y., Gourari K., Taybi A. F. Atlantic blue crab *Callinectes sapidus* Rathbun, 1896 (Portunidae, Malacostraca) could lead to local extinction of few endemic freshwater species in the Eastern Morocco. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2025, no. 1, pp. 91–99. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2025-1-91-99>

Introduction. Alien and invasive species pose a significant threat to global ecosystems, as they can reduce the genetic diversity of native biodiversity and drive biotic homogenization through various mechanisms and interactions (Canonico et al., 2005). The Mediterranean Sea, recognized as a biodiversity hotspot, has not escaped the widespread invasion of alien species. It has become one of the world's most affected regions, with a high prevalence of introduced species among benthic fauna, particularly crustaceans (Galil et al., 2002).

Among these invasive species, the American blue crab, *Callinectes sapidus* Rathbun, 1896, is listed as one of the world's most problematic invaders and is ranked among the 100 worst invasive species in the Mediterranean. Native to the Atlantic coasts of the Americas, ranging from southern Canada to northern Argentina (Williams, 1984), *C. sapidus* was first recorded in Morocco in 2017 when it was caught by fishermen in the Marchica Lagoon (Chartosia et al., 2018). Since then, the species has continued to expand its range along Morocco's Mediterranean and Atlantic coasts, invading several national parks and protected areas. Its southernmost limit has now been recorded in the Dakhla wetlands, located on the Atlantic Sahara coast of Morocco (Taybi et al., 2023; Mabrouki et al., 2025).

One of the first protected areas in Morocco to be invaded by the blue crab was the Moulouya wetland (Taybi, Mabrouki, 2020). The wetland of Moulouya River mouth is among the most important and vulnerable freshwater ecosystems in the southern Mediterranean. It has been designated as a Ramsar site, with Morocco committing to its protection since 2005. Additionally, it has been listed as a Site of Biological and Ecological Interest (SIBE) by the National Commission responsible for the Master Plan for Protected Areas (<https://ma.chm-cbd.net/fr/protected-areas/embouchure-de-la-moulouya>). This site is characterized by diverse wetland habitats that sustain rich aquatic biodiversity, with a high degree of endemism. In some cases, the range of endemic species is strictly confined to this section of the Moulouya River or to the SIBE (Gloër et al., 2020; Mabrouki et al., 2018, 2020; Taybi et al., 2021).

In this paper, we present the first data on the upstream migration of *C. sapidus* in the Moulouya River. We also report the local extinction of the freshwater crab *Potamon algeriense* Bott, 1967, and the bivalves *Unio foucauldianus* Pallary, 1936, and *Corbicula fluminea* (O. F. Müller, 1774) within the Moulouya SIBE.

Material and Methods. Study Area. The Moulouya River is one of the longest rivers in Morocco and the Maghreb region, with a length of approximately 600 km. It is

located in the north-eastern part of the country and flows into the Mediterranean Sea. The Lower Moulouya Site of Biological and Ecological Interest (SIBE) spans an area of nearly 3,000 hectares along a 25 km stretch of the river (Fig. 1).

This site encompasses a variety of aquatic ecosystems, including the Moulouya River mouth and its floodplain, a 6 km-long coastal marine strip, a dune ridge, semi-temporary salt marshes, and a 7 km-long river channel. Within the reserve, five distinct habitat systems are identified: marine, estuarine, riverine, palustrine, and lacustrine.

Field Surveys. Since 2014, we have conducted regular surveys and sampling campaigns in the Lower Moulouya reserve for various hydrobiological studies, including assessments of benthic and fish fauna. Following the first detection of the blue crab (*C. sapidus*) in the SIBE in 2019, we began monitoring its progression within the river (ongoing study) and investigating its potential predation effects on Morocco's endemic and patrimonial freshwater species.

Two stations within the Moulouya SIBE, previously known to host populations of the endemic species *P. algeriense* and *U. foucauldianus*, were sampled bimonthly during three campaigns conducted both before (March–August 2018) and after (March–August 2024) the blue crab's arrival. Each sampling site covered an area of 100 m².

Sampling Methodology. For *P. algeriense*, sampling was conducted using a turbid net in aquatic environments, while searches for adults outside the water were performed manually, either by hand or with clamps. These operations involved approximately one hour of excavation per station. All captured specimens were re-released back into their natural habitats after being sexed, measured, and recorded for additional data (see Taybi et al., 2018).

At each site, macroinvertebrates, including freshwater bivalves, were collected using a Surber sampler (surface area: 20×25 cm; mesh size: 0.4 mm). This method ensured coverage of the full range of microhabitat heterogeneity represented at each site (see Taybi et al., 2017).

For *C. sapidus*, both quantitative and qualitative sampling methods were employed. Quantitative sampling in clear, shallow waters near the shore (depth: 0.5–1 m) involved the use of a hawk net, which was dragged randomly through aquatic vegetation or used to directly catch visible crabs. In deeper, murkier waters, a fishing net was deployed. Additionally, adapted trawl nets baited with small pieces of sardine were deployed and left for 24 hours to attract blue crabs.

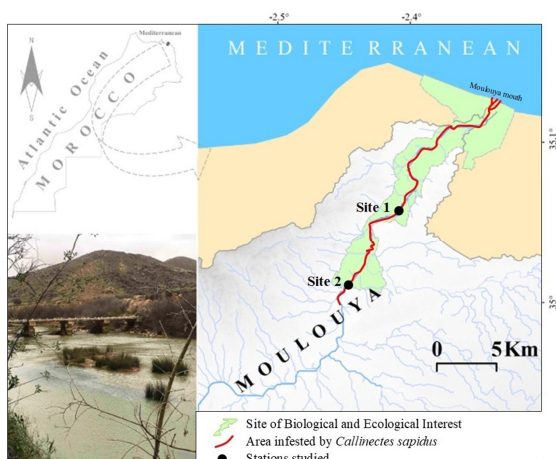


Fig. 1. The location of the Moulouya SIBE protected area with an example of habitat invaded by the blue crab

Qualitative surveys extended beyond the SIBE boundaries to monitor the spread of *C. sapidus* further upstream and downstream in the Moulouya River.

Results. For the first time since its detection at the mouth of the Moulouya River in 2019, the blue crab (*C. sapidus*) has been observed in large numbers in the freshwater sections of the river, at locations far from the sea and with very high population densities (Table), reaching distances of up to 15 km inland (Figs. 1 & 2a).

Table. Mean Abundance (Individuals per 100 m²) of *Callinectes sapidus* and its three prey species at two sampling stations within the Moulouya SIBE, recorded before (18 March–25 August 2018) and after (15 March–18 August 2024) the blue crab invasion

Studies localities within the Moulouya SIBE	<i>Callinectes sapidus</i>	<i>Potamon algeriense</i>		<i>Unio foucauldianus</i>		<i>Corbicula fluminea</i>	
		pre-invasion	post-invasion	pre-invasion	post-invasion	pre-invasion	post-invasion
Site 1: 35°00'09.9" N, 2°27'25.9" W	38	5	0	8	0	25	0
Site 2: 34°54'27.53" N, 2°38'8.86" W	21	3	0	4	0	46	4

Our study revealed that at both surveyed locations, the endemic freshwater crab (*P. algeriense*) and the freshwater mussel (*U. foucauldianus*) have disappeared. Additionally, the density of the non-native Asian clam (*C. fluminea*) decreased significantly – by an order of magnitude at one station and to complete absence at another. At the northern limit of their distribution within the SIBE, at the Hassan II Bridge (Table, site 1), these species have entirely vanished, with only empty shells remaining (Fig. 2, a, b).

Notably, a blue crab was observed actively preying on an endemic *P. algeriense* (Fig. 2, c; 34°58'50.8" N, 2°27'06.7" W). Additionally, a partially alive *P. algeriense* specimen, missing its claws, was found under a rock on the riverbank outside the protected area (Fig. 2, d; 34°57'48.9" N, 2°28'01.5" W).

Discussion. Since its first detection at the mouth of the Moulouya River in 2019, the blue crab (*C. sapidus*) has been observed in large numbers in the freshwater sections

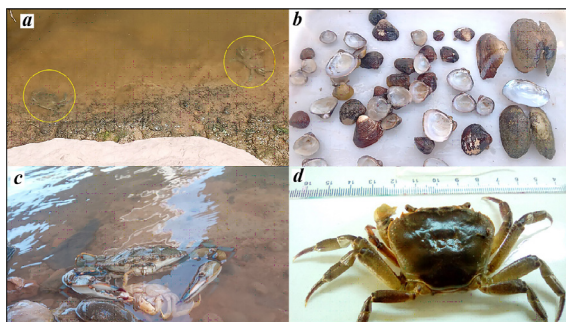


Fig. 2. Occurrence and documentation of predation by *Callinectes sapidus* in the Moulouya SIBE: a – blue crab in situ; b – empty shells of *Unio foucauldianus* and *Corbicula fluminea*; c – predation by *C. sapidus* on the freshwater crab *Potamon algeriense*; d – *P. algeriense* with lost claws

of the river, far from the sea. Its expansion may be facilitated by the effects of climate change and the deteriorating water quality of the river (Taybi et al., 2020). The upstream migration of the blue crab in the Moulouya River closely mirrors patterns observed in both its native range and other areas of introduction (Pla Ventura et al., 2018; Scalici et al., 2022; Bedmar et al., 2024). Although typically a marine species, *C. sapidus* is highly euryhaline and capable of effective osmoregulation across a broad range of salinities,

allowing it to establish populations in freshwater environments. This physiological adaptability, combined with its other ecological traits, has contributed to its successful establishment in the Mediterranean (Galil et al., 2002; Mancinelli et al., 2013).

Predation by blue crabs on native and non-native freshwater bivalves has been documented in Europe, notably in Spain, where large numbers of blue crabs were observed in the summer of 2018 in the Ebro River, up to 50 km from its mouth. This predation poses a significant threat, potentially leading to the local extinction of certain populations of European naiads, such as *Anodonta anatina* (Linnaeus, 1758), *Unio mancus* Lamarck, 1819, and *Potomida littoralis* (Cuvier, 1798), as well as the alien *C. fluminea* (Pla Ventura et al., 2018). A similar scenario could occur in Moroccan rivers, particularly for native freshwater bivalves. Since the detection of the blue crab in the Moulouya SIBE, we have monitored its population structure and documented its seasonal and spatial migrations between upstream and downstream habitats (ongoing study). Our findings suggest that the invasion of the blue crab has likely contributed to the decline of native species in the protected areas of the Moulouya River.

The freshwater mussel *U. foucauldianus*, an endemic species of Moroccan rivers, is critically endangered and listed by the International Union for Conservation of Nature (IUCN) (Van Damme, Ghamizi, 2010). Its distribution includes Morocco's major basins, from the southern Atlantic coast to the northeastern Mediterranean coast (Gomes-dos-Santos et al., 2019). Within its easternmost range, *U. foucauldianus* occupies the potamon reaches of the Moulouya River, characterized by high flow rates and well-oxygenated water throughout the year (Taybi, 2016; Taybi et al., 2017). The disappearance of *U. foucauldianus* from the Moulouya SIBE is likely linked, at least in part, to predation by the invasive blue crab.

The Maghrebian endemic freshwater crab *P. algeriense* is restricted to northwestern Africa, including Morocco, Algeria, and Tunisia (Cumberlidge, 2009). Recent phylogenetic studies have identified two distinct clades: an eastern clade, comprising populations from Tunisia and Numidia, and a western clade, which includes populations from central Algeria and Morocco (Marrone et al., 2020). Despite its wide distribution in the Maghreb, populations of *P. algeriense* are fragmented and discontinuous. The lower Moulouya basin likely supports the last remaining population of this species in eastern Morocco (Taybi et al., 2018). The decline of *P. algeriense* in Morocco is already a concern due to insufficient conservation measures, and our findings suggest that the invasion of *C. sapidus* may accelerate this trend.

Additionally, the Moulouya wetland serves as one of the last refuges for the critically endangered European eel (*Anguilla anguilla*) in Morocco, as well as for other endemic fish species such as *Luciobarbus yahyaoui* Doadrio, Casal-López & Perea, 2016, and *Alosa* spp. (Doadrio et al., 2016; Ford et al., 2020, unpublished data). However, this important refuge has become a hotspot for biological invasions in eastern Morocco (Taybi et al., 2023). The wetland is now home to multiple alien animal and plant species across various taxonomic groups (Mabrouki et al., 2019; Taybi et al., 2016, 2020b, c).

Conclusions. The American blue crab (*C. sapidus*) is arguably the most significant invasive species currently present in the Moulouya SIBE reserve, owing to its rapid adaptability, high invasiveness, and remarkable biological plasticity in both marine and

freshwater habitats. Under the ongoing scenario of climate warming, higher rates of evapotranspiration are expected to intensify the salinization of freshwater ecosystems, creating conditions that may further favor invasive species like *C. sapidus*.

To mitigate the potential impacts of this invasive species on native communities and to safeguard the integrity of Moroccan freshwater ecosystems, it is essential to implement robust monitoring programs to track its expansion within the invaded areas. Proactive measures will be critical to minimizing ecological damage and preserving the biodiversity of these vulnerable habitats.

Acknowledgments. We would like to thank the local fishermen who helped us with the sampling. We are grateful to the editor and reviewers whose helpful and sincere comments have improved the manuscript.

REFERENCES

- Bedmar S., Oficialdegui F. J., Clavero M. Far-reaching blues: Long-distance migration of the invasive Atlantic blue crab. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 2024, vol. 34, iss. 4, article no. e4136. <https://doi.org/10.1002/aqc.4136>
- Canonico G. C., Arthington A., Mccrary J. K., Thieme M. L. The effects of introducing tilapias on native biodiversity. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystem*, 2005, vol. 15, iss. 5, pp. 463–483. <https://doi.org/10.1002/aqc.699>
- Chartosia N., Anastasiadis D., Bazairi H., Crocetta F., Deidun A., Despalatović M., Di Martino V., Dimitriou N., Dragičević B., Dulčić J., Durucan F., Hasbek D., Ketsilis-Rinis V., Kleitou P., Lipej L., Macali A., Marchini A., Ousselam M., Piraino S., Stancanelli B., Theodosiou M., Tiralongo F., Todorova V., Trkov D., Yapici S. New Mediterranean biodiversity records (July 2018). *Mediterranean Marie Sciences*, 2018, vol. 19, iss. 2, pp. 398–415. <https://doi.org/10.12681/mms.18099>
- Cumberlidge N. Freshwater Crabs and Shrimps (Crustacea: Decapoda) of the Nile Basin. In: Dumont H. J., ed. *The Nile. Origin, Environments, Limnology and Human, Use*. New York, Springer, 2009, pp. 547–561.
- Doadrio I., Casal-Lopez M., Perea S. Taxonomic remarks on *Barbus moulouyensis* Pellegrin, 1924 (Actinopterygii, Cyprinidae) with the description of a new species of *Luciobarbus* Haeckel, 1843 from Morocco. *Graellsia*, 2016. vol. 72, iss. 2, article no. e054
- Ford M., Brahimi A., Baikeche L., Bergner L., Clavero M., Doadrio I., Lopes-Lima M., Perea S., Yahyaoui A., Freyhof J. Freshwater fish distribution in the Maghreb: A call to contribute. *OSF Preprints*, 2020. 97 p. <https://doi.org/10.31219/osf.io/kx4gc>
- Galil B., Froglija C., Noel P. Crustaceans: Decapods and stomatopods. In: Briand F., ed. *CIESM Atlas of Exotic Species in the Mediterranean*. Monaco, CIESM, 2002, vol. 2, pp. 1–192.
- Glöer P., Mabrouki Y., Taybi A. F. A new genus and two new species (Gastropoda, Hydrobiidae) from Morocco. *Ecologica Montenegrina*, 2020, vol. 28, pp. 1–6. <https://doi.org/10.37828/em.2020.28.1>
- Gomes-dos-Santos A., Froufe E., Gonçalves D. V., Sousa R., Prié V., Ghamizi M., Benaissa H., Varandas S., Teixeira A., Lopes-Lima M. Freshwater conservation assessments in (semi-)arid regions: Testing river intermittence and buffer strategies using freshwater mussels (*Bivalvia*, *Unionida*) in Morocco. *Biological Conservation*, 2019, vol. 236, pp. 420–434. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.05.038>
- Mabrouki Y., Taybi A. F., Chavanon G., Millán A., Berrahou A. New and interesting data on the distribution of aquatic beetles from Morocco (Coleoptera, Polyphaga). *Arxius de Miscellania Zoologica*, 2018, vol. 16, pp. 185–211. <https://doi.org/10.32800/amz.2018.16.0185>

Mabrouki Y., Taybi A. F., Skalli A., Sánchez-Vialas A. Amphibians of the Oriental Region and the Moulouya River Basin of Morocco: Distribution and conservation notes. *Basic and Applied Herpetology*, 2019, vol. 33, pp. 19–32. <https://doi.org/10.11160/bah.134>

Mabrouki Y., Taybi A. F., El Alami M., Wiggers R., Berrahou A. New data on fauna of cad-disflies (Insecta: Trichoptera) from northeastern Morocco with notes on chorology. *Aquatic Insects*, 2020, vol. 41, iss. 4, pp. 356–390. <https://doi.org/10.1080/01650424.2020.1797817>

Mabrouki Y., Gourari K., Parenteau-Mauffette É., Sbaa M., Bouzrouk A., Taybi A. F. The Atlantic blue crab *Callinectes sapidus* (Rathbun, 1896) extends its southbound invasion along the Atlantic Coast of North Africa: First occurrence in the Atlantic Sahara shores of Morocco. *Thalassas*, 2025, vol. 41, iss. 1, article no. 12. <https://doi.org/10.1007/s41208-024-00767-2>

Mancinelli G., Carrozzo L., Costantini M. L., Rossi L., Marini G., Pinna M. Occurrence of the Atlantic blue crab *Callinectes sapidus* Rathbun, 1896 in two Mediterranean coastal habitats: Temporary visitor or permanent resident? *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2013, vol. 135, pp. 46–56. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2013.06.008>

Marrone F., Vecchioni L., Deidun A., Mabrouki Y., Abdeslam A., Arculeo M. DNA taxonomy of the Potamid freshwater crabs from Northern Africa (Decapoda, Potamidae). *Zoologica Scripta*, 2020, vol. 49, iss. 4, pp. 473–487. <https://doi.org/10.1111/zsc.12415>

Pla Ventura M., Quiñonero Salgado S., Hernández Núñez de Arenas J., Velázquez Cano J., Risueño Mata P., López Soriano J. Predation of the blue crab *Callinectes sapidus* Rathbun, 1896 on freshwater bivalves (Unionidae & Corbiculidae) in eastern Iberian Peninsula. *Folia Conchyliologica*, 2018, vol. 47, pp. 3–9.

Scalici M., Chiesa S., Mancinelli G., Rontani P. M., Voccia A., Nonnis Marzano F. Euryhaline aliens invading Italian inland waters: The case of the atlantic blue crab *Callinectes sapidus* Rathbun, 1896. *Applied Sciences*, 2022, vol. 12, iss. 9, article no. 4666. <https://doi.org/10.3390/app12094666>

Taybi A. F. *Hydrobiological Study of the Moulouya: Structure of the Biodiversity and Longitudinal Zonation of Benthic Invertebrates*. PhD Thesis, Univ. Mohamed Premier, Oujda, Morocco, 2016. 260 p. (in French).

Taybi A. F., Mabrouki Y. The American blue crab *Callinectes sapidus* Rathbun, 1896 (Crustacea: Decapoda: Portunidae) is rapidly expanding through the Mediterranean coast of Morocco. *Thalassas*, 2020, vol. 36, iss. 2, pp. 267–271. <https://doi.org/10.1007/s41208-020-00204-0>

Taybi A. F., Mabrouki Y., Berrahou A., Peris-Felipo F. J., Chaabane K. Contribution to the knowledge of plant-host-parasitoid between *Elodea canadensis* Michx., *Hydrellia* sp. (Diptera) and *Ademon decrescens* (Nees, 1811) (Hymenoptera, Opiinae) in the catchment area of Moulouya (Morocco). *Journal of Materials and Environmental Science*, 2016, vol. 7, iss. 7, pp. 2445–2452.

Taybi A. F., Mabrouki Y., Ghamizi M., Berrahou A. The freshwater malacological composition of Moulouya's watershed and Oriental Morocco. *Journal of Materials and Environmental Science*, 2017, vol. 8, iss. 4, pp. 1401–1416.

Taybi A. F., Mabrouki Y., Berrahou A., El Abd A. A. Bio-ecology of *Potamon algeriense* (Herbst, 1785) (Crustacea, Decapoda) in Eastern Morocco. *Animal Biodiversity and Conservation*, 2018, vol. 41, iss. 2, pp. 267–274. <https://doi.org/10.32800/abc.2018.41.0267>

Taybi A. F., Mabrouki Y., Berrahou A., Legssyer B. Spatio-temporal typology of the physico-chemical parameters of the Moulouya and its main tributaries. *African Journal of Aquatic Sciences*, 2020a, vol. 45, iss. 4, pp. 431–441. <https://doi.org/10.2989/16085914.2020.1727832>

Taybi A. F., Mabrouki Y., Doadrio I. The occurrence, distribution and biology of invasive fish species in fresh and brackish water bodies of NE Morocco. *Arxiu de Miscellania Zoologica*, 2020b, vol. 18, pp. 59–73. <https://doi.org/10.32800/amz.2020.18.0059>

Taybi A. F., Mabrouki Y., Chavanon G., Millán A. The alien boatman *Trichocorixa verticalis* (Hemiptera: Corixidae) expanding in Morocco. *Limnetica*, 2020c, vol. 39, iss. 1, pp. 49–59. <https://doi.org/10.23818/limn.39.04>

Taybi A. F., Mabrouki Y., Bozdogan H., Millán A. Are aquatic Hemiptera good indicators of environmental river conditions? *Aquatic Ecology*, 2021, vol. 55, iss. 3, pp. 791–806. <https://doi.org/10.1007/s10452-021-09861-6>

Taybi A. F., Mabrouki Y., Piscart C. Distribution of freshwater alien animal species in Morocco: Current knowledge and management issues. *Diversity*, 2023, vol. 15, iss. 2, article no. 169. <https://doi.org/10.3390/d15020169>

Van Damme D., Ghamizi M. *Unio foucauldianus*. *The IUCN Red List of Threatened Species*, 2010, article no. E.T184708A8318610. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T184708A8318610.en>

Williams A. B. *Shrimps, Lobsters, and Crabs of the Atlantic Coast of the Eastern United States, Maine to Florida*. Washington, Smithsonian Institution Press, 1984. 550 p.

Краткое сообщение

УДК 595.384.62(64)

<https://doi.org/10.35885/1684-7318-2025-1-91-99>**Атлантический голубой краб *Callinectes sapidus* Rathbun, 1896 (Portunidae, Malacostraca) может привести к локальному исчезновению эндемичных пресноводных видов в восточной части Марокко****Ю. Мабруки ^{1✉}, К. Гурари ², А. Ф. Тайби ³**¹ Факультет естественных наук Дхар Эль Мехраз, Университет Сиди Мохамед Бен Абделла Марокко, Фес, 30003, з. Фес-Атлас, В.Р. 1796² Факультет естественных наук, Первый университет Мохаммеда Марокко, 60000, з. Уджда, В.Р. 524³ Многопрофильный факультет Надора, Первый университет Мохаммеда Марокко, 60000, з. Уджда, В.Р. 524

Поступила в редакцию 28.06.2024 г., после доработки 28.11.2024 г., принята 29.11.2024 г., опубликована 31.03.2025 г.

Аннотация. Охраняемая территория в устье р. Мулуя, также известная как SIBE (Site of Biological and Ecological Interest), является одним из наиболее важных и уязвимых пресноводных заповедников в южном Средиземноморье. Она характеризуется широким разнообразием сред обитания, которые поддерживают богатое водное биоразнообразие с высокой степенью эндемизма. Она также стала одним из первых водно-болотных угодий в Марокко, куда проник морской инвазивный вид – американский голубой краб (*Callinectes sapidus* Rathbun, 1896), после его первоначального появления в лагуне Марчика. С момента своего первого обнаружения в 2019 г. голубой краб расширяет свой ареал вверх по течению р. Мулуя, ныне достигая районов, где обитают одни из последних популяций эндемичных и охраняемых видов в восточном Марокко. Мы сравниваем численность некоторых видов в SIBE Мулуя до и после появления там синего краба, уделяя особое внимание эндемичной для Марокко пресноводной перловице (*Unio foucauldianus* Pallary, 1936) и пресноводному крабу (*Potamon algeriense* Bott, 1967). Наблюдается полное исчезновение этих видов в некоторых районах нижнего течения р. Мулуя, что, вероятно, можно объяснить хищничеством голубого краба. Хищническое и миграционное поведение голубого краба в р. Мулуя соответствует описанному в литературе для его неаборигенного ареала.

Ключевые слова: марокканская перловица, пресноводный краб, последние популяции, морские виды, биологическое вторжение, угрожаемые популяции

Соблюдение этических норм. Отлов крабов для настоящего исследования проводился в соответствии с законодательством Марокко и был одобрен факультетом естественных наук Дхар Эль Мехраз Университета Сиди Мохамед Бен Абделла (Фес, Марокко).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Mabrouki Y., Gourari K., Taybi A. F. Atlantic blue crab *Callinectes sapidus* Rathbun, 1896 (Portunidae, Malacostraca) could lead to local extinction of few endemic freshwater species in the Eastern Morocco [Мабруки Ю., Гурари К., Тайби А. Ф. Атлантический голубой краб *Callinectes sapidus* Rathbun, 1896 (Portunidae, Malacostraca) может привести к локальному исчезновению эндемичных пресноводных видов в восточной части Марокко] // Поволжский экологический журнал. 2025. № 1. С. 91 – 99. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2025-1-91-99>

✉ Для корреспонденции. Лаборатория биотехнологии, сохранения и развития природных ресурсов кафедры биологии, факультет естественных наук Дхар Эль Мехраз, Университет Сиди Мохамед Бен Абделла, Марокко.

ORCID и e-mail адреса: Мабруки Юнесс: <https://orcid.org/0000-0002-7336-8717>, youness.mabrouki@usmba.ac.ma; Гурари Камал: <https://orcid.org/0009-0006-0096-3757>, k.gourari@ump.ac.ma; Тайби Абдельхалек Фузи: <https://orcid.org/0000-0001-9652-5407>, a.taybi@ump.ac.ma.

Short Communication

<https://doi.org/10.35885/1684-7318-2025-1-100-107>

ATTEMPTS OF THE WHITE STORK (*CICONIA CICONIA*) (CICONIIDAE, AVES) TO INHABIT KARELIA, NORTHWESTERN RUSSIA

M. V. Matantseva , A. V. Artemyev, T. Yu. Khokhlova, S. A. Simonov

*Institute of Biology of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., Petrozavodsk, Karelia 185910, Russia*

Received: June 12, 2024 / revised: August 28, 2024 / accepted: August 28, 2024 / published: March 31, 2025

Abstract. The paper briefly relates the history of the white stork's expansion into Karelia (North-western Russia, 61° N, 33° E), this species being red-listed with a 3NT status (rare, near threatened) in the regional Red Data Book. The western populations of the species declined dramatically in the second half of the 20th century, but targeted conservation actions have helped the species numbers to be restored. However, its West European populations are still listed in column A (category 3b) in the Action Plan of the African-Eurasian Waterbird Agreement (AEWA). In view of the remaining risks and the tangible changes having occurred in the population size, it appears important to monitor the species' distribution range and possible pathways of its expansion to new regions. The white stork's breeding range currently encompasses Europe, excluding its northern regions, and reaches into the westernmost parts of Russia up to the southern districts of the Leningrad Region in the north. Vagrant birds are occasionally seen in central and northern districts of the Leningrad Region and even beyond, in Karelia. In this study, we have processed and synthesized archival, including partially published, and new records of solo individuals and groups of birds of this species from areas north of the regular breeding range and described some attempts of white storks to breed in these northern regions. We demonstrate that since the late 1960s, these birds have been regularly showing up in southern parts of Karelia, sometimes even farther north, and making occasional breeding attempts, pushing their permanent breeding range to the north and north-east. Having analyzed the records, we conclude that the visits of white storks to northern regions have become regular in the previous decades, but their attempts to breed there are still episodic and largely unsuccessful, suggesting that this species has not yet colonized Karelia as a breeding region.

Keywords: white stork, range expansion, breeding, occurrence, red-listed species, Northwestern Russia

Funding: The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation (Project number 23-24-10049, <https://rscf.ru/project/23-24-10049>) and Venture Capital Fund of the Republic of Karelia (Project number 19-P23).

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.** Laboratory of Zoology, Institute of Biology of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Russia.

ORCID and e-mail addresses: Maria V. Matantseva: <https://orcid.org/0000-0002-5393-4144>, mariamatantseva@gmail.com; Aleksandr V. Artemyev: <https://orcid.org/0000-0002-7594-3500>, ficedul@gmail.com; Tatyana Yu. Khokhlova: <https://orcid.org/0009-0007-5167-8478>, t.khokhlova@mail.ru; Sergey A. Simonov: <https://orcid.org/0000-0001-6396-9335>, ssaves@gmail.com.

ATTEMPTS OF THE WHITE STORK (*CICONIA CICONIA*)

For citation: Matantseva M. V., Artemyev A. V., Khokhlova T. Yu., Simonov S. A. Attempts of the white stork (*Ciconia ciconia*) (Ciconiidae, Aves) to inhabit Karelia, Northwestern Russia. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2025, no. 1, pp. 100–107. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2025-1-100-107>

*To the honorable memory
of Dr. Nikolai V. Lapshin (October 8, 1946–June 23, 2024),
who has contributed greatly to the study of birds in Karelia*

Introduction. The European breeding range of the white stork (*Ciconia ciconia* Linnaeus, 1758) extends from the Pyrenean Peninsula to the Volga Region and Transcaucasia, and northwards up to Denmark, Estonia, Southern Sweden, and Southern Finland. Storks also breed in the west of Northern Africa, in Western and Middle Asia, and there is a small population breeding in Southern Africa (Gozhko, Grishanov, 2020). In Northeastern Europe, the permanent breeding area of these birds covers only Russia's westernmost fringe up to the Leningrad Region (Elliott et al., 2020; Chodkiewicz, Sikora, 2020). Within the Leningrad Region, in the north-eastern periphery of the species range, white storks have nested regularly in the past decade up to 59° N (Dombrovsky, 2015–2018, 2023; Khrabry et al., 2019; Dombrovsky et al., 2021) and have occasionally been encountered even farther north – up to 60° N (Dombrovsky, Chirinskaite, 2020, 2022), including sites in the Karelian Peninsula (Khrabry, 2020). Furthermore, since 1969, white storks have periodically been seen also in South Karelia (60–61° N, 32–33° E) (Lapshin, 1997, 2000; Artemyev, 2015; Matantseva, Matantsev, 2019), where these birds have a status of a rare, sporadically breeding species, listed in the regional Red Data Book (Artemyev et al., 2020). The white stork is also listed on Annex I of the EU Birds Directive, Annex II of the Bern Convention and Annex II of the Convention on Migratory Species, under which it is covered by the African-Eurasian Waterbird Agreement (AEWA). The eastern and western European populations are currently listed in columns C (category 1) and A (category 3b) in the AEWA Action Plan, respectively (BirdLife International, 2024).

Owing to special conservation measures (Berthold et al., 2000) the white stork currently has the LC (least concern) status on the global scale (BirdLife International, 2024). Relatively recently however, some populations of this species, especially in their western group, were declining catastrophically – in the second half of the 20th century, free living Stork populations became extinct in Switzerland, Sweden, and the Netherlands, and declined critically to just several breeding pairs in Denmark. A special assessment carried out in 1994–1995 revealed a significant decline in white stork populations of 22 European and North African countries, with only one country retaining a stable population and with some growth in only four countries (Allan, 1989; Mullié et al., 1995; Berthold et al., 2000). In view of the remaining risks and the tangible changes that have occurred in the population size, it appears important to monitor the species' distribution range and the possible pathways of its expansion to new regions.

This paper was designed to briefly communicate the history of the white stork's expansion into Karelia, beyond the species' regular breeding range, as well as to present new records of the encounters and breeding attempts of these birds in areas north of the Leningrad Region. The tasks were to synthesize and analyze the archival (including partially published) and new data on white stork encounters and breeding attempts in Karelia.

Material and Methods. This communication is based on a synthesis and analysis of data on white stork encounters north of the Leningrad Region, which were partially published in some regional digests and special articles, supplemented with new white stork observations in Karelia in the past decade.

Results and discussion. We processed data on solo individuals and groups of white storks sighted in the territory Karelia in the period 1969–2024. The analysis of these records resulted in the below-given account of the north-eastern limits of the modern region of the species occurrence and regular breeding in Northwest Russia. In addition, the history of the expansion beyond the north-eastern periphery of the range is described.

Reports of white stork encounters in Karelia started arriving in the late 1960 (Lapshin, 1997, 2000; archival data). They were not annual and mostly came from southern districts (61° N, 33° E). Since the mid-1980s, solo individuals, pairs and small groups have been appearing up to middle Karelia (62° N, 33° E) (Lapshin, 1997, 2000; archival data). The northernmost reliable record of the white stork in European Russia comes from Vlg. Olenitsa (66.47° N, 35.35° E) on the Kola Peninsula southern coast (Kokhanov, 1987). The northernmost in Russia attempt of white storks to build a nest (left incomplete) was observed in the same place in 1994 (Rezanov, Rezanov, 2008).

The first and as yet the only case of successful breeding of white storks in Karelia was recorded in Vlg. Bolshaya Selga, Olonets District (61.05° N, 33.17° E), in 1988 (Lapshin, 1993). In the 1990s, encounters were limited to southern districts of Karelia, where some pairs started building nests but left the structures unfinished (Lapshin, 2000; our data).

In the early 21st century, encounters of solo individuals, pairs or small groups of white storks in the spring and summer period in southern and central parts of Karelia became almost annual (Artemyev, 2015). In 2004, white storks started building a nest in the Olonets District but left the next day (Artemyev, 2015). A completed nest and incubation of eggs were observed in that district in 2013. That breeding attempt however was unsuccessful (Artemyev, 2015). The next year, white storks were seen in the same area again (Artemyev, 2015). On one day in April 2019, four storks were noted in the fields on the right bank of the Shuya River and in the environs of the same-name village (61.90°N; 34.21°E) in the Prionezhsky District of Karelia (Matantseva, Matantsev, 2019).

The latest reports of storks in Karelia, including a nesting attempt, were received from the Olonets District in 2023. On April 23, four white storks appears in the fields near Vlg. Aleksala (60.98° N, 32.79° E), and on April 26 there were five individuals already. On April 25 and 27, two birds were sighted near Vlg. Putilitsa (60.98° N, 32.93° E). On April 29, one individual was spotted in Vlg. Rypushkalitsy (60.97° N, 32.91° E), and on May 10, two birds landed on the water tower but did not start nesting. Another

pair built a nest on the water tower in Vlg. Tuksa (61.03° N, 32.85° E) – a picture of a brooding bird on the nest was taken on May 6, 2023. The breeding attempt recorded that year failed – the adults disappeared on 1st July and on 20th July the karelia.news portal posted a photo of the abandoned nest with a dead chick and one egg (<https://karelia.news/news/10095719/tragediey-zakonchilas-popytka-aistov-zavesti-potomstvo-v-oloneckom-rayone/>). Another known record from 2023 (undated) is one bird encountered in the fields of the Shunga rural settlement cluster, Medvezhyegorsk District (62°N; 35°E). Finally, four individuals appeared in Vlg. Derevyanka (61.56°N; 34.45°E) in the Priozhsky District of Karelia in 2024, on May 28, stayed overnight there and flew away.

Thus, since the late 1960s, white storks have been regularly appearing in southern districts of Karelia, sometimes reaching even farther north and occasionally making breeding attempts. At about the same time, white storks started actively colonizing the Leningrad Region, occupying its south-western districts and the southern Lake Ladoga region (Mal'chevsky, Pukinsky, 1983; Pchelintsev, 1996; Vysotsky, 1999). In the late 1990s – early 2000s, white storks dynamically expanded their presence in the Leningrad Region north-eastwards and eastwards (Khrabry, 2020). Their regular breeding however is known only for southern and central districts of the Leningrad Region. White storks occasionally appear in the north of the region and in the Karelian Isthmus, but no successful nesting attempts have been recorded there (Khrabry, 2020). An overwhelming majority of the attempts of white storks to nest in Karelia have also failed. Such attempts are likely made by young and inexperienced birds. This assumption is indirectly supported by the fact that the birds have not been seen returning to the previous nesting sites.

Late in the 20th century, some researchers talked of the white stork's tendency to expand its range north-eastwards and eastwards (Lebedeva, 1975, 1986; Mal'chevsky, Pukinsky, 1983). At present, there are also speculations of a forming trend for the species to expand northwards (Khrabry, 2020). The available data however corroborate the hypothesis that the white stork has not yet colonized Karelia (even its southern districts) as a regular breeding area (Artemyev, 2015) – the species' expansion into this region is still in the phase of regular vagrancy and sporadic nesting.

Acknowledgments. We are grateful to Dr. Nikolay V. Lapshin (Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia) for his participation in the research and Olga S. Kislova (Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia) for translating the manuscript into English.

REFERENCES

- Allan D. Results of a national stork counting weekend in South Africa. In: Rheinwald G., Ogden J., Schulz H., eds. *Weißstorch – White Stork. Proceedings of the First International Stork Conservation Symposium*. Bonn, Rheinischer Landwirtschafts-Verlag, 1989, pp. 365–371.
- Artemyev A. V. The second case of nesting of the White stork *Ciconia ciconia* in Karelia. *Russian Journal of Ornithology*, 2015, vol. 24, no. 1222, pp. 4376–4378 (in Russian).
- Artemyev A. V., Baryshev I. A., Boychuk M. A., Borovichev E. A., Vetchinnikova L. V., Gnatyuk E. P., Gorbach V. V., Danilov P. I., Dyachkova T. Y., Efremov D. A., Zotin A. A., Ieshko E. P., Ilmast N. V., Korosov A. V., Kotkova V. M., Kravchenko A. V., Kryshen A. M., Kuznetsov O. L., Kutenkova N. N., Lyabzina S. N., Maksimov A. I., Matantseva M. V., Panchenko D. V., Polevoy A. V.,

Potemkin A. D., Predtechenskaya O. O., Ruokolainen A. V., Simonov S. A., Sterligova O. P., Tarasova V. N., Tirronen K. F., Titov A. F., Fadeyeva M. A., Khochlova T. Yu., Humala A. E., Yakimova A. E., Yakovlev E. B., Yakovleva M. V. *The Red Data Book of the Republic of Karelia*. Belgorod, Constanta, 2020. 448 p. (in Russian).

Berthold P., Fiedler W., Querner U. White stork (*Ciconia ciconia*) migration studies: Basic research devoted to conservation measures. *Global Environmental Research*, 2000, vol. 4, pp. 133–141.

BirdLife International. Species factsheet: Ciconia ciconia, 2024. Available at: <http://datazone.birdlife.org/species/factsheet/white-stork-ciconia-ciconia> (accessed June 5, 2024).

Chodkiewicz T., Sikora A. White stork *Ciconia ciconia*. In: *European Breeding Bird Atlas 2: Distribution, Abundance and Change*. Barcelona, Lynx Edicions, 2020, pp. 256–257.

Dombrovsky K. Yu. Data on the White stork *Ciconia ciconia* nests in the Leningrad Oblast for 2015. *Russian Journal of Ornithology*, 2015, vol. 24, no. 1224, pp. 4423–4427 (in Russian).

Dombrovsky K. Yu. Data on the White stork *Ciconia ciconia* nests in the Leningrad Oblast for 2016. *Russian Journal of Ornithology*, 2016, vol. 25, no. 1365, pp. 4449–4453 (in Russian).

Dombrovsky K. Yu. Data on the White stork *Ciconia ciconia* nests in the Leningrad Oblast for 2017. *Russian Journal of Ornithology*, 2017, vol. 26, no. 1528, pp. 4877–4881 (in Russian).

Dombrovsky K. Yu. Data on the White stork *Ciconia ciconia* nests in the Leningrad Oblast for 2017–2018. *Russian Journal of Ornithology*, 2018, vol. 27, no. 1705, pp. 5947–5957 (in Russian).

Dombrovsky K. Yu. Overview of nesting data for the White stork *Ciconia ciconia* in the Leningrad Oblast in 2022. *Russian Journal of Ornithology*, 2023, vol. 32, no. 2268, pp. 361–371 (in Russian).

Dombrovsky K. Yu., Chirinskaite L. I. Data on nests of the White stork *Ciconia ciconia* in the Leningrad Oblast in 2019. *Russian Journal of Ornithology*, 2020, vol. 29, no. 1944, pp. 3017–3031 (in Russian).

Dombrovsky K. Yu., Chirinskaite L. I. Overview of nesting data for the White stork *Ciconia ciconia* in the Leningrad Oblast in 2021. *Russian Journal of Ornithology*, 2022, vol. 31, no. 2181, pp. 1693–1708 (in Russian).

Dombrovsky K. Yu., Kondratieva I. A., Chirinskaite L. I. Information about the nesting of the White stork *Ciconia ciconia* in the Leningrad Oblast in 2020. *Russian Journal of Ornithology*, 2021, vol. 30, no. 2045, pp. 1171–1194 (in Russian).

Elliott A., Garcia E. F. J., Boesman P. F. D. White Stork (*Ciconia ciconia*), version 1.0. In: Hoyo del J., Elliott A., Sargatal J., Christie D. A., Juana E. de, eds. *Birds of the World*. Ithaca, Cornell Lab of Ornithology, 2020. <https://doi.org/10.2173/bow.whisto1.01>

Gozhko A. A., Grishanov G. V. White stork *Ciconia ciconia*. In: Kalyakin M. V., Voltzit O. V., eds. *Atlas of Nesting Birds of the European Part of Russia*. Moscow, Fiton XXI, 2020, pp. 94–96 (in Russian).

Khrabry V. M. Documented sightings of the White stork *Ciconia ciconia* on the Karelian Isthmus. *Russian Journal of Ornithology*, 2020, vol. 29, no. 1960, pp. 3686–3689 (in Russian).

Khrabry B. M., Veselkin A. G., Petrov S. A. New data on nests of the White stork *Ciconia ciconia* in the Leningrad Region. *Russian Journal of Ornithology*, 2019, vol. 28, no. 1721, pp. 275–283 (in Russian).

Kokhanov V. D. An overview of changes noted in the avifauna of the Murmansk Region over the last century. In: *Problemy izuchenii i okhrany prirody Pribelomor'ia* [Problems of Studies and Nature Protection in the White Sea Region]. Murmansk, Murmanskoe knizhnoe izdatel'stvo, 1987, pp. 20–37 (in Russian).

Lapshin N. V. Order Ciconiiformes. In: *Ornitofauna Karelii* [Ornithofauna of Karelia]. Petrozavodsk, Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences Publ., 1993, pp. 13–16 (in Russian).

ATTEMPTS OF THE WHITE STORK (*CICONIA CICONIA*)

Lapshin N. V. The White stork *Ciconia ciconia* in Karelia. *Russian Journal of Ornithology*, 1997, vol. 6, pp. 3–4 (in Russian).

Lapshin N. V. Registrations and status of the White stork *Ciconia ciconia* L. in Karelia. In: *White Stork in Russia: Further to the East*. Kaluga, Center-Cadastre, 2000, pp. 61–62 (in Russian).

Lebedeva M. I. Distribution, abundance and migration of the White stork. In: *Materials of the All-Union Conference on Birds Migration*. Moscow, Moscow State University Publ., 1975, pt. 1, pp. 128–132 (in Russian).

Lebedeva M. I. Abundance of white storks in the USSR. In: *The Study of Birds in the USSR, Their Protection and Rational Use: Proceedings of the I Congress of All-Union Ornithological Society and of the IX All-Union Ornithological Conference*. Leningrad, Nauka, 1986, pt. 2, pp. 15 – 16 (in Russian).

Mal'chevsky A. S., Pukinsky Yu. B. *Ptitsy Leningradskoi oblasti i sopredel'nykh territorii* [Birds of the Leningrad Region and adjacent territories]: in 2 vols. Leningrad, Leningrad State University Publ., 1983, vol. 2. 504 p. (in Russian).

Matantseva M. V., Matantsev V. A. Registration of the White stork *Ciconia ciconia* in Southern Karelia in April 2019. *Russian Journal of Ornithology*, 2019, vol. 28, no. 1775, pp. 2441–2444 (in Russian).

Mullié W. C., Brouwer J., Scholte P. Numbers, distribution and habitat of wintering White Storks *Ciconia ciconia* in the East-Central Sahel in relation to rainfall, food and anthropogenic influences. In: Biver O., Enggist P., Marti C., Salath T., eds. *Proceedings of the International Symposium on the White Stork (Western Population)*. Basel, 1995, pp. 219–240.

Pchelintsev V. G. The northernmost point of the White stork *Ciconia ciconia* nesting in the Leningrad Oblast. *Russian Journal of Ornithology*, 1996, vol. 5, no. 3, pp. 15 (in Russian).

Rezanov A. G., Rezanov A. A. Ornithological observations on the southern shore of the Kola Peninsula in late of July 2004. *Russian Journal of Ornithology*, 2008, vol. 17, no. 444, pp. 1511–1525 (in Russian).

Vysotsky V. G. The extreme North-Eastern in Leningrad Region known nest of the White stork *Ciconia ciconia*. *Russian Journal of Ornithology*, 1999, vol. 8, no. 83, pp. 8–9 (in Russian).

Попытки освоения белым аистом (*Ciconia ciconia*) (Ciconiidae, Aves) территории Карелии, Северо-Запад России

М. В. Матанцева , А. В. Артемьев, Т. Ю. Хохлова, С. А. Симонов

Институт биологии Карельского научного центра РАН
Россия, 185910, г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, д. 11

Поступила в редакцию 12.06.2024 г., после доработки 28.08.2024 г., принята 28.08.2024 г., опубликована 31.03.2025 г.

Аннотация. Кратко приведена история проникновения в Карелию (Северо-Запад России, 61° N, 33° E) белого аиста – охраняемого вида, включенного в региональную Красную книгу со статусом ЗНТ (редкий, находящийся в состоянии, близком к угрожаемому). Во второй половине XX в. западные популяции этого вида катастрофически сократились, но благодаря специальным природоохранным мероприятиям, в настоящее время численность этого вида восстановилась. Тем не менее, его западноевропейские популяции по-прежнему перечислены в колонке А (категория 3b) Плана действий Афро-Евразийского соглашения по водоплавающим птицам (AEWA). В свете сохраняющихся рисков и столь существенных изменений численности важно отслеживать область распространения этого вида и возможные пути проникновения его представителей в новые регионы. Современный гнездовой ареал белого аиста охватывает Европу, за исключением северных районов, и затрагивает крайний запад России, доходя на севере до южных районов Ленинградской области. При этом периодически отмечают залеты белых аистов в центральные и северные районы Ленинградской области и даже за ее пределы – в Карелию. В ходе наших исследований были обработаны и обобщены архивные, в том числе частично опубликованные, и новые данные регистраций одиночных особей и групп птиц этого вида севернее зоны регулярного размножения, описаны попытки гнездования белых аистов в северных регионах. Показано, что начиная с конца 1960-х гг. белые аисты регулярно появляются в южных районах Карелии, иногда продвигаясь еще севернее, и периодически предпринимают попытки гнездования, распространяясь за пределы постоянного гнездового ареала в северном и северо-восточном направлении. На основании анализа регистраций сделано заключение, что залеты белых аистов в северные регионы в последние десятилетия приобрели регулярный характер, однако попытки их гнездования здесь остаются эпизодическими и в большинстве случаев оказываются неудачными, что свидетельствует о том, что на данный момент белый аист еще не освоил Карелию как место размножения.

Ключевые слова: белый аист, расширение ареала, гнездование, встречаемость, охраняемые виды, Северо-Запад России

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 23-24-10049, <https://rscf.ru/project/23-24-10049>) и Фонда венчурного инвестирования Республики Карелия (проект № 19-P23).

 Для корреспонденции. Лаборатория зоологии Института биологии Карельского научного центра РАН.

ORCID и e-mail адреса: Матанцева Мария Валерьевна: <https://orcid.org/0000-0002-5393-4144>, mariamatantseva@gmail.com; Артемьев Александр Владимирович: <https://orcid.org/0000-0002-7594-3500>, ficedul@gmail.com; Хохлова Татьяна Юрьевна: <https://orcid.org/0009-0007-5167-8478>, t.hokhlova@mail.ru; Симонов Сергей Александрович: <https://orcid.org/0000-0001-6396-9335>, ssaves@gmail.com.

ATTEMPTS OF THE WHITE STORK (*CICONIA CICONIA*)

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. Matantseva M. V., Artemyev A. V., Khokhlova T. Yu., Simonov S. A. Attempts of the white stork (*Ciconia ciconia*) (Ciconiidae, Aves) to inhabit Karelia, Northwestern Russia [Матанцева М. В., Артемьев А. В., Хохлова Т. Ю., Симонов С. А. Попытки освоения белым аистом (*Ciconia ciconia*) (Ciconiidae, Aves) территории Карелии, Северо-Запад России] // Поволжский экологический журнал. 2025. № 1. С. 100 – 107. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2025-1-100-107>

Краткое сообщение

УДК 591.525(598.112.3)

<https://doi.org/10.35885/1684-7318-2025-1-108-118>

ОСОБЕННОСТИ ПОПУЛЯЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ ПОСЕЛЕНИЯ УШАСТОЙ КРУГЛОГОЛОВКИ, *PHRYNOCEPHALUS MYSTACEUS* (PALLAS, 1776) (LACERTILIA: AGAMIDAE) НА ПЕСЧАНОМ МАССИВЕ САРЫКУМ

Г. В. Полынова , О. Е. Полынова, Д. О. Капралова

Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы
Россия, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6

Поступила в редакцию 10.03.2024 г., после доработки 30.10.2024 г., принята 30.10.2024 г., опубликована 31.03.2025 г.

Аннотация. Представлены результаты исследования популяционной структуры поселения ушастой круглоголовки, *Phrynocephalus mystaceus mystaceus* (Pallas, 1776) на песчаном массиве Сарыкум (43°00'23.9 с.ш., 47°14'04.3 в.д.). Цель исследования – выяснение особенностей популяционной структуры вида в условиях островного обитания на изолированной песчаной территории. Специфичностью поселения вида на Сарыкуме являлась очень высокая плотность населения, в среднем составлявшая 82.1 особ./га, относительно небольшая средняя величина индивидуальных участков (в среднем 69.7±33.3 и 50.7±35.9% у самцов и самок соответственно) и их значительное перекрытие: внутри половых групп (57.5±39.4% у самок с участками самцов). Перекрытие участков внутри группы молодняка оказалось достоверно больше – 93.2±12.9%. Особенностью поселения являлось и преобладание в оседлой части неполовозрелых особей (1.7:1), 1–2-дневные участки которых перемещались по территории поселения. Последнее, вероятно, связано со стремлением молодняка закрепиться в любой части перенаселенной территории. По площади поселения шел поток мигрантов, равный 25.7 особ./га в неделю, состоящий в равных частях из половозрелых и неполовозрелых животных. Неполное перекрытие участков самок с участками самцов можно рассматривать как возможный элемент начала работы механизмов авторегуляции численности, уменьшающий число встреч половых партнеров. Все специфические черты поселения, по всей видимости, связаны с островным положением популяции.

Ключевые слова: *Phrynocephalus mystaceus mystaceus*, популяционная структура, островное обитание, Сарыкум

Финансирование. Работа выполнена в рамках Программы стратегического академического лидерства Российского университета дружбы народов имени Патриса Лумумбы.

Соблюдение этических норм. Протоколы с использованием животных были одобрены Комитетом по этике Медицинского института Российского университета дружбы народов имени Патриса Лумумбы (протокол № 4 от 20.01.2022 г.).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

 *Для корреспонденции.* Институт экологии Российского университета дружбы народов имени Патриса Лумумбы.

ORCID и e-mail адреса: Полынова Галина Вячеславовна: <https://orcid.org/0000-0003-0217-5771>, galinapolynova@mail.ru; Полынова Ольга Евгеньевна: <https://orcid.org/0000-0001-8856-545X>, olgapolynova@yandex.ru; Капралова Дарья Олеговна: <https://orcid.org/0000-0003-1131-4331>, dorris@yandex.ru.

ОСОБЕННОСТИ ПОПУЛЯЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ ПОСЕЛЕНИЯ

Для цитирования. Польшова Г. В., Польшова О. Е., Капралова Д. О. Особенности популяционной структуры поселения ушастой круглоголовки, *Phrynocephalus mystaceus* (Pallas, 1776) (Lacertilia: Agamidae) на песчаном массиве Сарыкум // Поволжский экологический журнал. 2025. № 1. С. 108 – 118. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2025-1-108-118>

Введение. Одной из главных проблем современной экологии следует считать проблему сохранения биологического разнообразия. Ее решение невозможно без глубокого изучения популяционной структуры видов, поскольку популяция является конкретной формой существования вида в данных условиях. Изучению популяционной структуры представителей различных классов позвоночных животных посвящено значительное число исследований, прошедшее процесс фундаментальных обобщений (Naumov, 1963; Flint, 1977; Pianka, Parker, 1975; Shilov, 1977; Ricklefs, 1979; Pianka, 1981; Polynova et al., 2022). Тем не менее исследования в этой области не перестают быть актуальными, поскольку в рамках глобальных изменений окружающей среды сохранение видового разнообразия позвоночных животных требует глубокого понимания потенциала адаптивных популяционных механизмов.

Одним из примеров подобных серьезных изменений является процесс зарастания песчаных пустынь и полупустынь, повсеместно проходящий как в южных регионах нашей страны, так и за её пределами. Зарастание приводит к сокращению характерных местообитаний и снижению численности многих видов пресмыкающихся (Tabachishin et al., 2006; Sarayev, Pestov, 2010; Lotiev, Batkhiev, 2019) вплоть до полного исчезновения типичных псаммофилов (Polynova, Polynova, 2021). Процессы зарастания коснулись и песчаного массива Сарыкум (43°00'23.9" с.ш., 47°14'04.3" в.д.), находящегося на территории Государственного природного заповедника «Дагестанский». Как с теоретической точки зрения, так и с целью сохранения псаммофилов этой территории, изучение их популяционной структуры несомненно является одним из актуальных направлений исследований. Пока зарастание Сарыкума только началось и непосредственно не коснулось территории популяций животных псаммофилов, существует возможность получить материалы об адаптивной реакции вида на самом начальном этапе изменения экосистемы.

Особый интерес песчаный массив Сарыкум представляет и как пример островного местообитания или экологического изолята для песчаных видов животных.

В связи с вышесказанным мы поставили перед собой цель выяснить особенности популяционной структуры одного из псаммофильных видов данной территории. Объектом исследования стала ушастая круглоголовка, а именно обитающий здесь её номинативный подвид *Phrynocephalus mystaceus mystaceus* (Pallas, 1776) (Macey et al., 2018; Solovyeva et al., 2018). Популяционной структуре этого вида посвящен ряд исследований (Brushko, 1980, 1995; Semenov, 1977, 2007 и др.), в том числе и наши работы по Кызыл-Кумам (Polynova, Lobachev, 1981; Polynova, 1982) и Астраханской области (Polynova, Polynova, 2021, 2024). На первом этапе исследования поставлены следующие задачи:

- выяснить какие компоненты популяционной структуры изменяются в условиях островного местообитания;

- описать популяционную структуру вида в преддверии начала процессов за-растания его биотопа.

Материал и методы. Исследование проходило с 1 по 7 мая 2021 г. на уровне изолированного поселения вида. Территория поселения представляла собой участок, расположенный под основной песчаной грядой на выровненной поверхности, общей площадью 1.4 га. Биотоп – открытые пески с полынно-злаковым сообществом (полынь Черняева – *Artemisia tschernieviana* Besser, костер кровельный – *Anisantha testorum* (L.) Nevsk, волосец кистистый – *Leymus racemosus* (Lam.) Tzvel.) и проективным покрытием менее 30%. На этой территории отловлены, промерены и помечены все встреченные ушастые круглоголовки, общей численностью 115 особей (26 самцов, 22 самки и 67 неполовозрелых ящериц).

У пойманных животных измеряли длину тела и длину хвоста с точностью до миллиметра и определяли возрастную категорию и пол. Прижизненное определение возраста (половозрелое или неполовозрелое животное) сделано на основе размерно-возрастной шкалы, основанной на материалах других авторов (Brushko, 1995; Khonyakina, 1961, 1965, 1967). Так известно, что в весенний период популяция ушастой круглоголовки включает три половозрастные группы: неполовозрелых особей, половозрелых самцов и самок (Khonyakina, 1961, 1967; Brushko, 1995). Половозрелость у ушастой круглоголовки в Дагестане наступает на третьем году жизни в возрасте 22 – 23 месяцев при длине туловища у самок в среднем 58 мм, а у самцов 60 мм. Измеренных ящериц метили временной (номер на спине спиртовым маркером) и постоянной (отрезание конечной фаланги пальцев по определенной схеме) меткой.

Для оценки распределения животных по территории поселения все точки встреч и перемещения картировали с использованием программы QGIS. Наблюдения проводились в течение дневной активности животных. Территорию поселения обследовали «челноком» 3 человека.

Для определения численности оседлого поселения вида требовались критерии оседлости. Особь, встреченную 3 и более раз на одном и том же ограниченном участке, мы считали условно оседлой, а встреченную всего один раз относили к мигрантам. Дополнительным критерием оседлости являлось наличие жилой норы. Одновременно проводили дополнительные наблюдения за поведением с использованием методики осторожного преследования.

Методика осторожного преследования базируется на том, что оседлым ящерицам характерно уверенное передвижение по участку обитания со знанием имеющихся на участке укрытий. В случае осторожного преследования такие особи обычно бегают в пределах своего индивидуального участка, занимаются повседневной деятельностью, прячутся в известные им кусты и норы, а дойдя до границ участка, сворачивают назад. Передвижение в результате осторожного преследования исключительно по своему участку мы много раз проверяли на ящерицах целого ряда видов. Осторожное преследование следует проводить на расстоянии 3 – 5, а для некоторых видов даже 5 – 10 м от животного, медленно следуя за ним, так как при активной погоне животное может скрыться надолго в укрытие или убежать за пределы своего участка. Мигрирующие особи в случае осторожного преследования ведут себя по-другому: они сразу убегают на далекое расстояние от места первой встречи с наблюдателем.

Таким образом, использованный нами метод оценки численности оседлого поселения ушастой круглоголовки близок к методу абсолютного вылова с той разницей, что участок не огорожен. Известное явление «краевого эффекта» (Semenov, Shenbrot, 1985), возникающее в случае неогороженной площадки из-за захода ящериц на исследуемую территорию с внешней стороны, неизбежно приводит к завышению показателей плотности при увеличении сроков регистрации животных. В нашем случае исследования были относительно краткосрочными, и мы включили в число оседлых только проверенных наблюдениями особей, чтобы избежать отмеченной погрешности.

Индивидуальные участки оседлых особей строились по методу выпуклого многоугольника (Waldshmidt, 1979; Rose, 1982; Perry, Garland, 2002), обычно используемого в герпетологических исследованиях. Уровень перекрытия участков измерялся для каждого участка отдельно как общий процент перекрытия с ним площадей других особей. Полученные данные усреднялись для отдельных половозрастных групп.

Определение потока мигрирующих по территории поселения животных мы оценивали в особях на гектар в единицу времени, здесь – неделя. Единицей времени могут быть и сутки, и декада, и месяц в зависимости от длительности исследования. Такой подход, на наш взгляд, наиболее объективный, поскольку позволяет сравнивать материалы исследований разной продолжительности и на разной по площади территории и не имеет кумулятивного эффекта.

Для статистической оценки различий, полученных для разных возрастных и половых групп данных, использовали непараметрический критерий Манна – Уитни (*U*). Статистическая обработка выполнена в пакетах программ Excel 10.0 (Microsoft Corp., USA) и Statistica 6.1 (StatSoft Inc., OK, USA).

Результаты и их обсуждение. Согласно вышеприведенным сведениям общая площадь поселения составила 1,4 га, и на обследованном участке поймали и поместили 115 особей. Таким образом, средняя плотность населения с учетом всех встреченных ящериц составила 82,1 особ./га.

Согласно опубликованным материалам плотность этого вида в разных частях ареала варьирует в широких пределах, но, как правило, значительно ниже отмеченного нами показателя: 10 особ./га – Астраханская область (Krasnaya kniga Astrakhanskoi oblasti, 2014), 27,72 особ./га – Чеченская республика (Krasnaya kniga Chечenskoi Respubliki, 2007), 50 особ./га – Центральное Предкавказье (Tertyshnikov, 2002) и Ставропольский край (Krasnaya kniga Stavropol'skogo kraja..., 2002).

Однако, по данным З. П. Хонякиной (Khonyakina, 1961, 1965), плотность сарыкумской популяции в конце 50-х гг. XX в. доходила до 100 особ./га. Тем не менее, в 1960-х гг. показатель снизился до 46 – 54 особ./га, а в начале XX в. (2004 – 2008 гг.) произошло его дальнейшее снижение до 33 – 36 особ./га (Mazanaeva, 2020). Сокращение численности более чем на 30% наблюдалось не только на Сарыкуме, но и в целом по всем соответствующим урочищам Дагестана, что очевидно свидетельствовало о закономерных изменениях численности вида и требовало природоохранного внимания. В результате в 2009 г. вид включили в Красную книгу республики по категории 3 – редкий. В следующем издании Красной книги

2020 г. виду присвоена другая категория – 2(VU): сокращающийся в численности, находящийся в уязвимом положении. Следует также отметить, что популяции ушастой круглоголовки Предкавказья внесли и в Красную книгу России (Anapjeva, Mazanaeva, 2021) по категории 2 «сокращающиеся в численности и/или распространении». Вид внесен и в Красные книги ряда регионов Северного Кавказа.

Данные авторов статьи по сарыкумской популяции ушастой круглоголовки показали её значительный рост. О современной высокой плотности населения говорят и материалы коллег, собранные одновременно с нами в пределах территории Сарыкума (Cherlin et al., 2022). Авторы пишут, что плотность популяции ушастых круглоголов в местах их наиболее компактного обитания может достигать 125 особ./га.

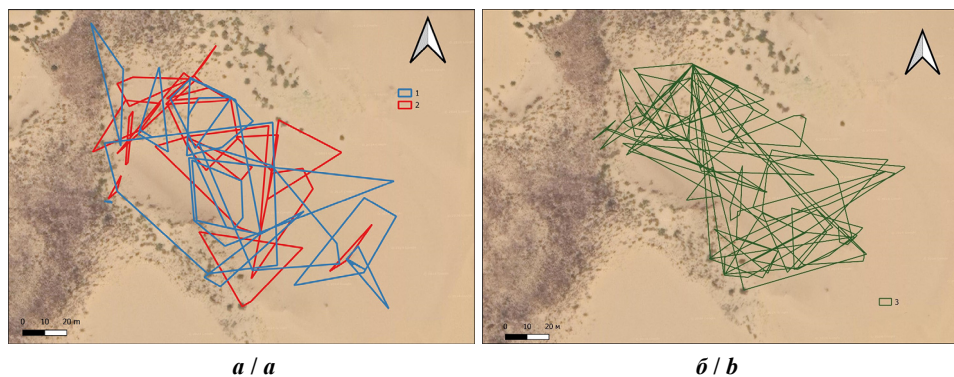
Способность формирования высокой плотности населения, на наш взгляд, – одна из главных особенностей сарыкумской популяции ушастой круглоголовки, определяемая ее островным положением. Высокую плотность населения (74.0 особ./га) на изолированном бархане отмечала и З. К. Брушко (Brushko, 1980, 1995).

Для понимания этой способности следует прежде всего обратиться к параметрам пространственной структуры, и мы начнем с её оседлой и мигрирующей составляющих. Оседлая часть поселения, согласно описанной методике, включала 79 особей: 13 самцов, 16 самок и 50 неполовозрелых ящериц, т.е. плотность оседлого населения исследованной территории равнялась 56.4 особ./га. Одновременно за недельный отрезок исследований по территории поселения прошел значительный поток мигрантов из 36 ящериц: 13 самцов, 6 самок и 17 молодых особей. В пересчете на особ./га в неделю это составило 25.7. Для сравнения: аналогичный параметр по нашим данным (Polynova, Lobachev, 1981) у популяции вида в Кызыл-Кумах равнялся 0.6 особ./га в неделю, а в Астраханской области колебался по годам от 35.0 в условиях относительно высокой численности поселения (2010 г.) до 7.5 перед полным исчезновением вида на исследованной территории (2014 г.). Из совокупности двух чисел, характеризующих оседлую и мигрирующую части сарыкумской популяции, сложилась вышеотмеченная общая плотность населения.

Высокая плотность в пространственном выражении подразумевает небольшие индивидуальные участки и/или их значительное перекрывание. В соответствии с упомянутой стандартной методикой построения индивидуальных участков по точкам встреч по методу выпуклого многоугольника сарыкумское поселение представляло систему сильно перекрывающихся индивидуальных участков. Перекрывание участков половозрелых (рисунок, а) и неполовозрелых (см. рисунок, б) особей показаны отдельно для большей наглядности.

Такое пространственное расположение участков вида значительно отличалось от известных из литературы. Так, в Казахстане пространственная структура вида, как правило, представляет систему почти не перекрывающихся участков половозрелых особей (Brushko, 1980), а в Кызыл-Кумах – почти неперекрывающихся индивидуальных территорий самцов, внутри которых находятся изолированные друг от друга участки самок и молодых особей (Polynova, Lobachev, 1981).

Расчет уровня перекрывания индивидуальных участков поселения ушастой круглоголовки на Сарыкуме показал, что внутри отдельных половых групп он статистически не отличался: $69.7 \pm 33.3\%$ (у самцов) и $50.7 \pm 35.9\%$ (у самок). Перекры-



Пространственное расположение участков половозрелых (а) и неполовозрелых (б) особей ушастой круглоголовки *Ph. m. mystaceus* (Май 2021, Сарыкум, Дагестан): 1 – участки самца, 2 – участки самки, 3 – участки неполовозрелых особей

Figure. Spatial arrangement of the plots of mature (a) and immature (b) individuals of *Ph. m. mystaceus* settlement (May 2021, Sarykum, Dagestan): 1 – male's territories, 2 – female's territories, 3 – immature individuals' plots

вание участков самок с самцами оказалось в среднем $57.5 \pm 39.4\%$, а участков молодняка между собой – достоверно выше, чем половозрелых особей: $93.2 \pm 12.9\%$ ($U_{\text{Эмп}} = 147$ при $p < 0.01$, сравнение с самым высоким показателем самцов). Небольшое перекрытие участков брачных партнеров также является спецификой сарыкумской популяции, поскольку у ушастой круглоголовки описано полное включение участков самок в территории самцов (Polynova, Lobachev, 1981).

Предположение о небольших размерах участков также оправдалось. Известно, что площадь индивидуального участка – показатель наиболее лабильный и зависит от очень многих экологических факторов (Pianka, Parker, 1975; Perry, Garland, 2002; Moorcroft, Lewis, 2006; Moorter et al., 2009; Bastille-Rousseau et al., 2015 и др.). У ушастой круглоголовки на Сарыкуме площадь индивидуальных участков имела широкий размерный диапазон, который отражает величина дисперсии признака. Средний размер площади самцов составлял $1013.85 \pm 1034.93 \text{ м}^2$, а самок – $321.66 \pm 365.75 \text{ м}^2$. Различие оказалось достоверным: $U_{\text{Эмп}} = 44$ при $p \leq 0.01$. Для сравнения аналогичные показатели популяции в Кызыл-Кумах значительно выше: 9575.0 ± 355.0 и $800.0 \pm 196.6 \text{ м}^2$ соответственно (Polynova, Lobachev, 1981). Молодые особи перемещались по поселению, временно занимая на 1 – 2 дня небольшие участки. Средняя площадь этих перемещений – $397.87 \pm 215.04 \text{ м}^2$. О перемещении участков по крайней мере половины неполовозрелых особей говорят и материалы по Казахстану (Brushko, 1980, 1995). Активное перемещение оседлого молодняка, очевидно, также является результатом высокой плотности населения.

Подводя итог особенностям пространственной структуры популяции ушастой круглоголовки на Сарыкуме, следует отметить, что они взаимосвязаны: высокая плотность населения, большое перекрытие индивидуальных участков, их небольшие размеры у половозрелых животных и постоянное перемещение участков у молодняка.

Теперь обратимся к половозрастной структуре поселения. Основную часть оседлого населения популяции составляли неполовозрелые особи. Среди постоянных обитателей неполовозрелых ящериц насчитывалось почти в 2 раза больше, чем взрослых ($ad:sad = 29:50$ особей или 1:1.7), в то время как среди мигрантов это соотношение оказалось близким к 1 ($ad:sad = 19:17$ особей или 1.1:1).

Сравнение этих данных с собственными материалами по другим популяциям вида, собранными также в весенний сезон, позволило выявить некоторые особенности (таблица).

Численное соотношение возрастных групп в популяциях ушастой круглоголовки (*Ph. m. mystaceus*) в разных частях ареала

Table. Numerical ratio of age groups in populations of the secret toad-headed agama (*Ph. m. mystaceus*) in different parts of its area

Район исследований / Study area	Оседлые половозрелые : неполовозрелые / Sedentary sexually mature : immature	Неоседлые половозрелые : неполовозрелые // Non-sedentary sexually mature : non-sedentary
Сарыкум, Дагестан, май 2021 г. / Sarykum, Dagestan, May 2021	1 : 1.7	1.1 : 1
Астраханская область, пос. До- санг, май 2010 и 2014 гг. / Astrakhan region, Dosang settlement, May 2010 and 2014	1 : 1 (в год существования поселения / in the year of the settlement's existence) 2:0 (в год исчезновения поселения / per year of disappearance of the settlement)	1 : 4 (в год существования поселения / in the year of the settlement's existence) 2 : 1 (в год исчезновения поселения / per year of disappearance of the settlement)
Кызыл-Кумы, пос. Кемпер- тубе, май 1978 г. / Kyzyl- Kumu, Kempertube settlement, May 1978	1.7 : 1	1.8 : 1

Оказалось, что значительное численное преобладание молодняка в оседлой части является еще одной отличительной чертой сарыкумской популяции. Такое соотношение в сезон размножения не наблюдалось нами ни у других популяций вида, ни у остальных ранее изученных видов пустынных ящериц: степной агамы – *Trapelus sanguinolentus* Pallas, 1914 (Кызыл-Кумы, май 1975 г.); сетчатой ящурки – *Eremias grammica* Liechtenstein, 1823 (Кара-Кумы, 1980 г.) и быстрой ящурки – *E. velox* Pallas, 1771 (Кызыл-Кумы, 1983 г.) (Polynova, 1988). Такой же численный перевес неполовозрелых особей на изолированном бархане (84.3%) описан и в Казахстане (Brushko, 1995). Здесь следует отметить, что у видов с интенсивным типом использования территории неполовозрелые животные, как правило, преобладают не в оседлой, а в кочующей части популяции (Flint, 1977; Shilov, 1977). На наш взгляд, численное преобладание молодняка в оседлой части поселения связано с высокой плотностью населения: молодняк оседает там, где ему удалось закрепиться и дальше не двигается. Таким образом, данная особенность также замыкается на островное положение популяции.

Соотношение полов в поселении (самцы : самки) с преобладанием самок в оседлой части (1:1.2) и самцов в мигрирующей (2.2:1) не отличается от характерного для вида. Аналогичную картину мы встречали в Кызыл-Кумах. О численном

ОСОБЕННОСТИ ПОПУЛЯЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ ПОСЕЛЕНИЯ

преобладании самок в популяциях ушастой круглоголовки говорят и материалы по Казахстану (Paraskiv, 1956; Brushko, 1995), и общие по Дагестану (Mazanaeva, 2020; Ananjeva, Mazanaeva, 2021).

Заключение. Исходя из вышеизложенного материала можно сделать следующее заключение. В весенний период для поселения популяции ушастой круглоголовки на песчаном массиве Сарыкум характерны следующие специфические характеристики. Прежде всего это способность существовать при не описанной у других популяций вида высокой плотности населения. Для этого пространственная структура формируется как сеть значительно перекрывающихся относительно небольших индивидуальных участков. В оседлой части поселения суммарно преобладают неполовозрелые особи, что свидетельствует об успешности размножения в предыдущий сезон и в целом о росте численности. С другой стороны, численное преобладание молодняка в оседлой части поселения, очевидно, также связано с общей высокой плотностью популяции: молодняк поселяется там, где ему удалось закрепиться и из поселения не уходит, но из-за высокой плотности вынужден постоянно перемещаться в его пределах. Неполное перекрывание участков самок с участками самцов, не характерное другим популяциям вида, можно рассматривать как возможный элемент начала работы механизмов авторегуляции численности, уменьшающий число встреч половых партнеров. По всей видимости, весь описанный набор специфичных черт поселения в целом связан с островным положением популяции.

Представленная характеристика поселения ушастой круглоголовки на песчаном массиве Сарыкум служит не только для выявления её особенностей, но также как образец популяционной структуры вида до начала влияния на него процессов зарастания характерного биотопа.

Авторы благодарят Государственный природный заповедник «Дагестанский» за предоставление возможности научного исследования и студентов Института экологии Российского университета дружбы народов имени Патриса Лумумбы, принимавших участие в сборе полевого материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Ananjeva N. B., Mazanaeva K. F. The secret toadheaded agama *Phrynocephalus mystaceus* Pallas, 1776 (populations of the Pre-Caucasus). In: *Red Data Book of Russian Federation. Animals*. 2nd edition. Moscow, VNI Ecology Publ., 2021, pp. 439–440 (in Russian).
- Bastille-Rousseau G., Potts J. R., Schaefer J. A., Lewis M. A., Ellington E. H., Rayl N. D., Mahoney S. P., Murray D. L. Unveiling trade-offs in resource selection of migratory caribou using a mechanistic movement model of availability. *Ecography*, 2015, vol. 38, iss. 10, pp. 1049–1059. <https://doi.org/10.1111/ecog.01305>
- Brushko Z. K. *Lizards of Kazakhstan Deserts*. Almaty, Konjik, 1995. 232 p. (in Russian).
- Brushko Z. K. Territorial distribution of the long-eared murrelet in the conditions of an isolated barchan. *Izvestiya AN KazSSR. Biological Series*, 1980, vol. 35, pp. 21–24 (in Russian).
- Cherlin V., Okshtein I., Alieva S., Magomedova A. Estimation of the number of the toad-headed agama (*Phrynocephalus mystaceus*) and the stepperunner (*Eremias arguta*) on the Sarykum dunes and their surroundings (Dagestan Republic, Russian Federation). *Principles of the Ecology*, 2022, no. 4, pp. 98–114 (in Russian). <https://doi.org/10.15393/j1.art.2022.13122>

Flint V. E. *Prostranstvennaya struktura populyatsii melkikh mlekopitayushchikh* [Spatial Structure of Small Mammal Populations]. Moscow, Nauka, 1977. 181 p. (in Russian).

Khonyakina Z. P. Materials on reproduction and molting of the toad-headed agama (*Phrynocephalus mystaceus* Pall.) in Dagestan. *Scientific Notes of Dagestan University. Biology Sciences*, 1961, vol. 7, pt. 2, pp. 105–133 (in Russian).

Khonyakina Z. P. Populations of the Toad-headed agama in Dagestan. In: *Gerpetologiya. Otv. red. Ya. Kh. Turakulov* [Turakulov Ya. Kh., ed. Herpetology]. Tashkent, Nauka Uzbek SSR, 1965, pp. 40–42 (in Russian).

Khonyakina Z. P. Life span and population dynamics of Toad-headed agama in Dagestan. *Voprosy fiziologii, biokhimii, zoologii i parazitologii* [Problems of Physiology, Biochemistry, Zoology and Parasitology]. Makhachkala, Dagknigoizdat, 1967, iss. 2, pp. 94–96 (in Russian).

Krasnaya kniga Astrakhanskoi oblasti [Red Book of the Astrakhan Region]. Astrakhan, Astrakhan State University Publ., 2014. 413 p. (in Russian).

Krasnaya kniga Chechenskoi Respubliki. Redkie i nakhodiashchiesia pod ugrozoi ischeznoventia vidy rastenii i zhivotnykh [Red Book of the Chechen Republic. Rare and Endangered Species of Plants and Animals]. Grozny, Yuzhnyi izdatel'skii dom, 2007. 432 p. (in Russian).

Krasnaya kniga Stavropol'skogo kraia: Redkie i nakhodiashchiesia pod ugrozoi ischeznoventia vidy rastenii i zhivotnykh. T. 2. Zhivotnye. Otv. red. S. I. Sigida [Sigida S. I., ed. Red Book of Stavropol Krai: Rare and Endangered Species of Plants and Animals. Vol. 2. Animals]. Stavropol, Poligrafservis, 2002. 216 p. (in Russian).

Lotiev K. Yu., Batkhiev A. M. Degradation of the Turan herpetofaunal complex in the Terek sand massif (Eastern Ciscaucasia). *University Proceedings. Volga Region. Natural Sciences*, 2019, no. 2 (26), pp. 115–128 (in Russian).

Macey R. J., Schulte J. A. II, Ananjeva N. B., van Dyke E. T., Wang Y., Orlov N., Shafei S., Robinson M. D., Dujsebayaeva T., Freund G. S., Fischer C. M., Liu D., Papenfuss T. J. A molecular phylogenetic hypothesis for the Asian agamid lizard genus *Phrynocephalus* reveals discrete biogeographic clades implicated by plate tectonics. *Zootaxa*, 2018, vol. 4467, no. 1, pp. 1–81. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4467.1.1>

Mazanaeva L. F. Secret toad-headed agama. In: *Krasnaya kniga Respubliki Dagestan* [Red Data Book of the Republic of Dagestan]. Makhachkala, Dzhamaludinov M. A., 2020, pp. 521–523 (in Russian).

Moorcroft P. R., Lewis M. A. *Mechanistic Home Range Analysis*. Princeton, Princeton University Press, 2006. 192 p.

Moorter B. V., Visscher D., Benhamou S., Börger L., Boyce M. S., Gaillard J.-M. Memory keeps you at home: A mechanistic model for home range emergence. *Oikos*, 2009, vol. 118, iss. 5, pp. 641–652. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2008.17003.x>

Naumov N. P. *Ekologiya zhivotnykh* [Ecology of Animals]. Moscow, Vysshaya shkola, 1963. 618 p. (in Russian).

Paraskiv K. P. *Presmykayushchiesya Kazakhstana* [Reptiles of Kazakhstan]. Alma-Ata, Izdatel'stvo AN Kazakhskoi SSR, 1956. 228 p. (in Russian).

Perry G., Garland T. Jr. Lizard home ranges revised: Effects of sex, body size, diet, habitat, and phylogeny. *Ecology*, 2002, vol. 83, iss. 7, pp. 1870–1885.

Pianka E. *Evolutionary Ecology*. Moscow, Mir, 1981. 400 p.

Pianka E. R., Parker W. S. Ecology of horned lizards: A review with special reference to *Phrynosoma platyrhinos*. *Copeia*, 1975, no. 1, pp. 141–162.

Polynova G. V. Demonstration behavior of the Secret toad-headed agama (*Phrynocephalus mystaceus*). *Zoologicheskii zhurnal*, 1982, vol. 61, iss. 5, pp. 450–461 (in Russian).

Polynova G. V. *Spatial-ethological Structure of Some Desert Lizard Species*. Diss. Cand. Sci. (Biol.). Moscow, 1988. 234 p. (in Russian).

Polynova G. V., Lobachev V. S. Territorial relations of the toad-headed agama (*Phrynocephalus mystaceus*). *Zoologicheskii zhurnal*, 1981, vol. 59, no. 11, pp. 1649–1657 (in Russian).

Polynova G. V., Polynova O. E. On the extinction of the intra-population group of the lizard *Phrynocephalus mystaceus mystaceus* (Pallas, 1776) in the overgrown semi-deserts of the Astrakhan region. *Principles of the Ecology*, 2021, no. 1, pp. 43–51 (in Russian). <https://doi.org/10.15393/j1.art.2021.10442>

Polynova G. V., Polynova O. E. Specific features of the size structure of marginal populations of the nominative subspecies of the secret toad-headed agama (*Phrynocephalus mystaceus mystaceus*) (Agamidae, Reptilia). *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2024, no. 1, pp. 52–63 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2024-1-52-63>

Polynova G. V., Mishustin S. S., Polynova O. E. Spatial structure of the spotted toad agama (*Phrynocephalus guttatus guttatus*, Agamidae) population in the conditions of overgrowth of semi-deserts in the Astrakhan region. *Principles of the Ecology*, 2022, no. 1, pp. 92–110 (in Russian). <https://doi.org/10.15393/j1.art.2022.12202>

Ricklefs R. E. *The Economy of Nature*. Moscow, Mir, 1979. 424 p. (in Russian).

Rose B. Lizard home range: Methodology and functions. *Journal of Herpetology*, 1982, vol. 16, iss. 3, pp. 253–269.

Sarayev F. A., Pestov M. V. To the cadastre of reptiles of the Northern and Northeast Caspian sea. In: *Herpetologicheskkiye issledovaniya v Kazakhstane i sopredel'nykh stranakh. Pod red. T. N. Dujsebaveyov* [Dujsebaveyeva T. N., ed. Herpetological Studies in Kazakhstan and Neighboring Countries]. Almaty, Association for the Conservation of Biodiversity of Kazakhstan, 2010, pp. 174–193 (in Russian).

Semenov D. V. Individual areas of some species of desert lizards. In: *The Problems of Herpetology: Abstracts of Fourth Herpetological Conference*. Leningrad, Nauka, 1977, pp. 191–192 (in Russian).

Semenov D. V. The comparative aspects of spatial ecology of lizards exemplified by the toad-headed lizards (Reptilia, Agamidae, *Phrynocephalus*). *Zhurnal Obshchei Biologii*, 2007, vol. 68, no. 5, pp. 379–393 (in Russian).

Semenov D. V., Shenbrot G. I. Evaluation of lizards' absolute population density in view of the edge effect. *Zoologicheskii zhurnal*, 1985, vol. 64, no. 8, pp. 1246–1253 (in Russian).

Shilov I. A. *Ekologo-fiziologicheskie osnovy populyatsionnykh otnoshenii u zhivotnykh* [Ecological and Physiological Bases of Population Relations in Animals]. Moscow, Moscow State University Press, 1977. 261 p. (in Russian).

Solovyeva E. N., Dunayev E. A., Nazarov R. A., Radjabizadeh M., Poyarkov N. A. Molecular and morphological differentiation of Secret Toad-headed agama, *Phrynocephalus mystaceus*, with the description of a new subspecies from Iran (Reptilia, Agamidae). *ZooKeys*, 2018, iss. 748, pp. 97–129. <https://doi.org/10.3897/zookeys.748.20507>

Tabachishin V. G., Zavialov E. V., Tabachishina I. E. Spatial distribution of *Eremias arguta* (Pallas, 1773) in North of its Volga habitat. *Current Studies in Herpetology*, 2006, vol. 5-6, pp. 117–124 (in Russian).

Tertyshnikov M. F. *Presmykaiushchiesia Tsentral'nogo Predkavkaz'ia* [Reptiles of the Central Pre-Caucasian Region]. Stavropol, Stavropolservishkola, 2002. 239 p. (in Russian).

Waldshmidt S. R. The effect of the statistically based models on home size estimate in *Uta stansburiana*. *The American Midland Naturalist*, 1979, vol. 101, no. 1, pp. 236–240.

**Peculiarities of the population structure in the settlement
of secret toad-headed agama, *Phrynocephalus mystaceus* (Pallas, 1776)
(Lacertilia: Agamidae) on the Sarykum sandy massif**

G. V. Polynova , O. E. Polynova, D. O. Kapralova

*Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba
6 Miklukho-Maklaya St., Moscow 117198, Russia*

Received: March 10, 2024 / revised: October 30, 2024 / accepted: October 30, 2024 / published: March 31, 2025

Abstract. The article presents the research results of the secret toad-headed agama (*Phrynocephalus mystaceus mystaceus* Pallas, 1776) population structure on the Sarykum sandy massif (N 43°00'23.9", E 47°14'04.3"). The purpose of the study was to clarify features of the lizard population structure in the conditions of an island habitat: an isolated sandy area. The species' settlement in Sarykum featured a very high population density, averaging 82.1 ind./ha, a relatively small average size of individual home ranges and their significant overlap within sexual groups, namely: on average 69.7±33.32% for males, 50.7±35.92% for females and 57.5±39.41% between the home ranges of females with males, respectively. The overlap of home ranges within the group of young animals was significantly greater, 93.2±12.9%. Another peculiarity of the settlement was the predominance of immature individuals in the sedentary part (1.7:1), whose 1-2-day sites moved around the territory of the settlement. The latter is probably connected with the desire of the young to gain a foothold in any part of the overpopulated territory. A flow of migrants equal to 25.7 ind./ha per week passed through the settlement territory, consisting in equal parts of sexually mature and immature animals. An incomplete overlap of the territories of females with those of males could be considered as a possible element of the abundance autoregulation mechanisms, which reduces the number of meetings of sexual partners. All specific features of the settlement are apparently connected with the island position of the population.

Keywords: *Phrynocephalus mystaceus mystaceus*, population structure, island habitat, Sarykum

Funding: The study was carried out within the framework of the Strategic Academic Leadership Program of the Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba.

Ethics approval and consent to participate: Animal protocols were approved by the Ethics Committee of Medical Institute of the Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (protocol No. 4 dated January 20, 2022).

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

For citation: Polynova G. V., Polynova O. E., Kapralova D. O. Peculiarities of the population structure in the settlement of secret toad-headed agama, *Phrynocephalus mystaceus* (Pallas, 1776) (Lacertilia: Agamidae) on the Sarykum sandy massif. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2025, no. 1, pp. 108–118 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2025-1-108-118>

 *Corresponding author.* Institute of Ecology of the Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Russia.

ORCID and e-mail addresses: Galina V. Polynova: <https://orcid.org/0000-0003-0217-5771>, galinapolynova@mail.ru; Olga E. Polynova: <https://orcid.org/0000-0001-8856-545X>, olgapolynova@yandex.ru; Daria O. Kapralova: <https://orcid.org/0000-0003-1131-4331>, dorris@yandex.ru.

ЮБИЛЕИ

Алексей Васильевич Суров
(к семидесятилетию со дня рождения)

Как перейти жизнь?
Как по струне бездну – красиво,
бережно и стремительно.
Н. Перих

Алексей Васильевич Суров – член-корреспондент Российской академии наук, доктор биологических наук, заместитель директора по науке Института проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН, заведующий лабораторией сравнительной этологии и биокommunikации, главный редактор «Поволжского экологического журнала», член редколлегий журналов «Pest-management» и «Биологические науки Казахстана», а с 2024 г. он стал главным редактором «Зоологического журнала», созданного еще академиком А. Н. Северцовым. Ученый секретарь экспертной комиссии по Большой золотой медали РАН им. М. В. Ломоносова. Хочется добавить ко всем этим официальным данным – замечательный и яркий человек, оптимист, способный сделать жизнь окружающих более насыщенной, интересной. Человек, который не отступает ни перед какими трудностями жизни и



Алексей Васильевич Суров во время поездки в Китай (2017 г.)
Alexey V. Surov during his trip to China (2017)

всегда берет на себя ответственность за все происходящее, в том числе в Институте проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН (ИПЭЭ РАН). Именно к нему со своими проблемами приходят все – начиная с только что поступивших аспирантов, заканчивая академиками. И практически все получают или реальную помощь, или дельный и нужный совет. Что это – дар дарить добро, врожденный гуманизм, удачное стечение генов или все вместе?

Алексей Васильевич родился 11 февраля 1955 г. в семье журналиста, ветерана Великой Отечественной войны Василия Сергееви-

ча Сурова. Отец Алексея прошел войну солдатом, участвовал во многих решающих сражениях Великой Отечественной: воевал на Курской дуге, форсировал Днепр, освобождал Западную Украину, Польшу, дошел до Берлина. После войны он закончил вуз и стал известным журналистом, членом Союза журналистов СССР, а затем РФ, написал 20 книг о Великой Отечественной войне. Наверное, поэтому в семье настоящего солдата и вырос бесстрашный, верный, любящий свою родину сын. Правда, Алексей не стал журналистом как его родители. Он родился биологом, который с детства увлекался живой природой. Еще будучи учеником 5 – 8 классов, он пошел заниматься в селекционный кружок юннатов при городском парке «Хамовники», выводил новые сорта флоксов. И эти занятия были вполне успешными, один из сортов, полученных Алексеем, был удостоен медали «Юный участник ВДНХ» с денежной премией в 25 руб., что, кстати, по тем временам были совсем не маленькие деньги! А в 8 – 9 классах занимался в генетическом кружке при Центральном Дворце пионеров.

В 1972 г. окончил школу № 5 с биологическим уклоном и поступил на биологический факультет Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова на кафедру зоологии позвоночных. Учась на втором курсе, участвовал в экспедиции Научно-исследовательского института эпидемиологии и микробиологии имени почетного академика Н. Ф. Гамалеи АМН СССР на оз. Неро Ярославской области по изучению очага лептоспироза. Там заболел, чуть не умер, но воля к жизни победила, хотя навсегда осталась непереносимость пенициллина. В 1977 г. закончил МГУ по специальности «биолог-зоолог» и был принят на работу в Институт эволюционной морфологии и экологии животных АН СССР в лабораторию академика Владимира Евгеньевича Соколова стажером-исследователем. Сначала занимался социальным поведением диких серых крыс под руководством К. Л. Ляпуновой, но уже в 1979 г. изменил направление своей деятельности, стал младшим научным сотрудником и начал изучать химическую коммуникацию хомяков, в частности половые феромоны сирийского хомяка. Тогда тема химической коммуникации животных была одной из наиболее ярких в биологии. Тема изучения химической коммуникации представителей подсемейства *Cricetinae* возникла не случайно, а под влиянием знакомства с работами такого неординарного человека, как Николай Николаевич Воронцов. Именно исследования последнего Алексей продолжил и развил в своих дальнейших работах. В. Е. Соколов и Н. Н. Воронцов определили путь Алексея Васильевича в науке. Владимир Евгеньевич не только был непосредственным научным руководителем диссертации Сурова, но и всегда очень помогал молодому исследователю в разных аспектах. Например, в 1980, 1982 и 1987 гг. именно с подачи Владимира Евгеньевича А. В. Суров отправился работать в пустыни Мексики по договору между National Council on Science and Technology (CONACYT) и АН СССР. Там Алексей Суров вместе с Константином Роговиным изучали динамику численности и особенности распределения пустынных грызунов Мексики. А позже, в 1987 и 1990 гг., тоже не без помощи Владимира Евгеньевича, Алексей работал в Индии в Институте пустынь в Джодпуре, занимаясь изучением структуры сообществ пустынных грызунов. Но до этого, в 1984 г., тоже благодаря косвенному влиянию В. Е. Соколова, Алексей познакомился с

американской исследовательницей Кэтрин Вин-Эдвардс. В том же году А. В. Суров организовал совместную российско-американскую экспедицию в Карасук по изучению пространственной структуры и поведения джунгарского хомячка с применением телеметрии. Надо заметить, что это была первая в СССР экспедиция с использованием телеметрии.

В дальнейшем под руководством Алексея Васильевича Сурова было еще несколько экспедиций по изучению пространственной структуры уже хомячков другого вида в Туву. Сначала это были самостоятельные экспедиции, а потом совместные, с американской волонтерской организацией Earthwatch. Там же в Туве Алексей Васильевич Суров участвовал в съемках фильма Д. Аттенборо «Trials of Life» о поведении хомячков Кэмпбелла в природе. В 1986 г. Алексей Васильевич защитил кандидатскую диссертацию «Влияние обонятельных сигналов на поведение сирийского хомяка (*Mesocricetus auratus* Waterhouse, 1839)».

Период 1990-х и 2000-х гг., самый сложный в нашей стране, был непрост и для всех сотрудников Института. Многие бросили науку, ушли в более доходные области или вообще уехали из страны, но Алексей Васильевич человек верный. Он продолжил заниматься научными исследованиями в Институте, на научно-экспериментальной базе в Черноголовке, а главное, организовывать экспедиции теперь уже по России. И не важно, что почти не было продуктов и бензина. На ГАЗе-66 экспедиции, возглавляемые Алексеем Васильевичем, отправлялись в самые разные точки страны. В машине были две бочки с бензином. Уехать можно было на расстояние, на которое хватало бензина из одной бочки, чтобы на топливе из



Алексей Васильевич Суров во время экспедиции в Монголию (2019 г.)

Alexey V. Surov during his expedition to Mongolia (2019)



Алексей Васильевич Суров с сотрудниками лаборатории сравнительной этологии и биокommunikации ИПЭЭ РАН в экспедиции на Алтай (2023 г.)

Alexey V. Surov with members of the Laboratory of Comparative Ethology and Biocommunication, A. N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences during an expedition to Altai (2023)



Алексей Васильевич Суров в Институте зоологии Армении. Работа с коллекционным материалом — хомяком подсемейства *Cricetinae*
 Alexey V. Surov at the Institute of Zoology of Armenia; work with collection material: A hamster of the subfamily *Cricetinae*

датской диссертации Алексей Васильевич защитил докторскую на тему «Обонятельные сигналы в половом поведении млекопитающих». В этот период он стал



Выступление Алексея Васильевича Сукова на II Всероссийской конференции «Теоретические и практические аспекты действия естественной и искусственной гипотермии на организм» (27 – 30 сентября 2023 г. в г. Махачкале)

Alexey V. Surov's speech at the 2nd All-Russian Conference "Theoretical and Practical Aspects of the Effect of Natural and Artificial Hypothermia on the Organism" (Makhachkala City, September 27–30, 2023)

другой — вернуться. Продукты добывали самыми разными способами, но главное было продолжать исследования. В разных точках страны с помощью телеметрии изучали особенности поведения многих видов грызунов. Собирали материал для исследования хромосомных форм разных видов, а позже и для проведения молекулярно-генетических и филогеографических исследований. Были и международные экспедиции с участием немецких коллег.

В 1997 г. Алексей Васильевич стал заведующим лабораторией сравнительной этологии и биокommunikации. А ровно через 20 лет после защиты кандидатской диссертации Алексей Васильевич защитил докторскую на тему «Обонятельные сигналы в половом поведении млекопитающих». В этот период он стал заместителем директора ИПЭЭ РАН, а в 2016 г. был избран членом-корреспондентом Российской академии наук. Казалось бы, такая сложная административная нагрузка почти не позволяет заниматься научной деятельностью. Но в случае с Алексеем Васильевичем это совершенно не так.

Он продолжил исследования в области изучения особенностей распространения и адаптаций животных (в частности, грызунов) к обитанию в экстремальных условиях пустынь и полупустынь. На его счету руководство более чем 35 экспедициями в сложные районы Монголии, Казахстана, России и Китая. Однако экстремальными являются не только естественные биотопы, но

и созданные человеком урбоценозы. И здесь животным приходится приспосабливаться к постоянно изменяющимся условиям, существовать в ситуации хронического стресса. И вот эти два направления стали главными в исследованиях Алексея Васильевича в последнее десятилетие. В этот период были организованы длительные мониторинговые исследования в Симферополе (Крым), Астане (Казахстан), а также в городах Кавказа. Исследования были поддержаны грантами Российского фонда фундаментальных исследований и Российского научного фонда и их результаты нашли свое отражение в двух монографиях и более чем в 150 статьях, в том числе в высокорейтинговых журналах.

Алексей Васильевич не только участвовал в работе множества научных конференций, которые проходили более чем в 30 странах мира, но и сам организовал две крупные международные конференции в России. Одна из них «Грызуны и пространство» проходила в г. Мышкине и запомнилась всем участникам, настолько она была неординарной, интересной и веселой. Более 250 участников со всех стран мира приехали для участия в этой конференции. Ни одна крупная конференция в ИПЭЭ РАН, ни один Териологический съезд не обходится без непосредственного участия Алексея Васильевича, как и вообще все мероприятия, проходящие в Институте.

Вокруг Алексея Васильевича всегда много молодежи, его лаборатория является самой «богатой» по числу аспирантов и молодых научных сотрудников. И это тоже не просто так – с Алексеем Васильевичем очень увлекательно работать. К настоящему моменту под руководством Алексея Васильевича защитились 5 кандидатов наук (в том числе 2 иностранных докторанта). Он руководит двумя аспирантами, темы которых также связаны с исследованием особенностей обитания животных в городе, а также адаптациями к переживанию неблагоприятных условий осенне-зимнего периода.

С 2022 г. Алексей Васильевич является председателем ГАК Совместного университета МГУ – ППП Шэньчжэнь (Китай). И в том же году он стал членом Общества исследователей Гималаев и Тибета, и это закономерно, так как в 2018 г. ему удалось организовать очень успешную экспедицию в Цайдаскую котловину и Южный Тибет (Китай). Через 120 лет наша экспедиция частично повторила путь таких величайших исследователей Центральной Азии, как В. И. Роборовский и П. К. Козлов. Целью экспедиции явилось изучение биологического разнообразия, сравнительный анализ филогеографических паттернов и демографической истории пустынных и высокогорных видов млекопитающих Центральной Азии. В резуль-



Алексей Васильевич Суров в полевой лаборатории в г. Симферополе (работа с обыкновенным хомяком)
Alexey V. Surov in a field laboratory in Simferopol City (work with a common hamster)

ЮБИЛЕИ



Алексей Васильевич Суров (заведующий лабораторией) и сотрудники лаборатории сравнительной этологии и биокommunikации ИПЭЭ РАН
Alexey V. Surov (Head of the Laboratory) and members of the Laboratory of Comparative Ethology and Biocommunication, A. N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences

блем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова Российской Академии наук». Алексей Васильевич – лауреат премии В. И. Соколова.

Алексей Васильевич является секретарем комиссии по присуждению премии Н. Н. Воронцова в области охраны природы. Хочется пожелать, чтобы эта премия была вручена в будущем и ему как последователю Н. Н. Воронцова в области исследования представителей подсемейства *Cricetinae*.

Казалось бы, 70-летний юбилей, и надо подвести какие-то итоги, но это не для Алексея Васильевича. Хочется сказать опять же словами Николая Рериха: «Завершение одного этапа только означает, что начинается новый, еще более величественный и прекрасный». Пожелаем Алексею Васильевичу продолжать быть мечтателем, ведь способность мечтать – это лучшее качество, ибо оно наполняет жизнь мощными сигнальными огнями из будущего и желанием жить, также воплощать мечты в жизнь на благо науки и человечества.

Н. Ю. Феоктистова

Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН
Россия, 119071, г. Москва, Ленинский проспект, д. 33
E-mail: feoktistovanyu@gmail.com

Редакционная коллегия «Поволжского экологического журнала»
присоединяется к поздравлению и желает Алексею Васильевичу Сурову
крепкого здоровья и реализации всех его творческих замыслов.

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.
Адрес издательства: 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 26.03.2025. Подписано в свет 31.03.2025.
Формат 70х100/16. Объем 7,75 печ.л. Бум. мелов. Тираж 50 экз. Цена свободная

ISSN 1684-7318



9 771684 731009 >

Индекс 9729г (каталог «Пресса России»)

ISSN 1684-7318 ПОВОЛЖСКИЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ 2025 №1



ТОВАРИЩЕСТВО
НАУЧНЫХ
ИЗДАНИЙ ЖМК