

ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ
«НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ
НАУК БЕЛАРУСИ ПО БИОРЕСУРСАМ»

Объект авторского права
УДК: 599.323.4: 574.4 (476)

МАШКОВ
Евгений Игоревич

**КРИПТИЧЕСКИЕ ВИДЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ПОЛЕВКИ *MICROTUS*
ARVALIS S. L. В ЛУГОВЫХ ЭКОСИСТЕМАХ БЕЛАРУСИ:
СОВРЕМЕННЫЙ ВИДОВОЙ СОСТАВ И АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ
ПОПУЛЯЦИЙ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

по специальности
03.02.04 – зоология

Минск, 2023

Научная работа выполнена в Государственном научно-производственном объединении «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам»

Научный руководитель: **Гайдученко Елена Сергеевна**
кандидат биологических наук, доцент,
ведущий научный сотрудник лаборатории
ихтиологии ГНПО «НПЦ НАН Беларуси
по биоресурсам»

Официальные оппоненты: **Янчуревич Ольга Викторовна**
кандидат биологических наук, доцент,
заведующий кафедрой зоологии и
физиологии человека и животных УО
«Гродненский государственный
университет имени Янки Купалы»

Гричик Василий Витальевич
доктор биологических наук, профессор,
заведующий кафедрой общей экологии и
методики преподавания биологии
Белорусского государственного
университета

Оппонирующая организация: УО «Витебский государственный
университет имени П.М. Машерова»

Защита состоится 21.11.2023 г., в 14:00 часов на заседании совета по защите диссертаций Д 01.32.01 при ГНПО «Научно-практический центр НАН Беларуси по биоресурсам» по адресу: г. Минск, ул. Академическая, 27; тел. +375 (17) 243-85-32; факс +375 (17) 304-15-93; e-mail: zoology@biobel.by

С диссертацией можно ознакомиться в совете по защите диссертаций Д 01.32.01 при ГНПО «Научно-практический центр НАН Беларуси по биоресурсам».

Автореферат разослан «19» октября 2023 г.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций,
кандидат биологических наук



И. И. Лукина

ВВЕДЕНИЕ

Исследование современных взаимоотношений в группе морфологически сходных, но различных по генетическим параметрам видов-двойников, не только проясняет их становление в ходе коэволюции, но позволяет отследить микроэволюционные тенденции, связанные с постоянным, в том числе антропогенным, преобразованием среды их обитания.

В группе Серых полевок *Microtus* обыкновенную полевку до начала 70-х гг. прошлого столетия рассматривали в качестве политипического вида, однако затем применение цитогенетических методов и гибридологического анализа позволило выделить пять самостоятельных видов, различных по числу и форме хромосом: восточноевропейская ($2n=54$, $NF=56$), закаспийская ($2n=52$, $NF=54$), киргизская ($2n=54$, $NF=80$), обыкновенная ($2n=46$, кариоформы «*obscurus*» ($NF=72$) и «*arvalis*» ($NF=84$) и монгольская полевки ($2n=50$, $NF=60$).

Исследования криптических видов и кариоформ полевок надвида *Microtus arvalis sensu lato* на территории Беларуси с применением цитогенетических методов проводились в 1980-е годы (Манохина, 1979; Терехович и др., 1981, 1982; Терехович, Манохина, 1982). Авторами было установлено обитание на территории Беларуси двух криптических видов: восточноевропейская (*Microtus mystacinus* (= *rossiaemeridionalis*, = *levis*) ($2n = 54$) и обыкновенная (*Microtus arvalis*) ($2n = 46$) полевки. В ходе работ, при изучении распространения видов-двойников, была установлена естественная фрагментация местообитаний белорусской части ареала восточноевропейской полевки.

Виды-двойники имеют существенные эпидемиологические и этологические отличия друг от друга. Так, восточноевропейская полевка за счет непосредственного контакта с человеком, несет определенную степень эпидемиологической опасности в очагах туляремии луго-полевого типа в Европе. Обыкновенная полевка, в отличие от вида двойника, является более опасным вредителем сельского хозяйства (Малыгин, 1983).

В связи с малым количеством проводимых исследований данные о морфологической дифференциации обыкновенной полевки на территории Беларуси практически отсутствуют (Markov, 2009). Учитывая расположение Беларуси территориально в центральной части Европы, становится актуальным изучение различий морфологических характеристик черепа мелких млекопитающих в сравнении с данными, полученными на

сопредельных территориях, для понимания адаптационных механизмов популяций, населяющих разные экосистемы.

К настоящему времени биотопическое предпочтение криптических видов обыкновенной полевки описано для нескольких регионов Беларуси (Манохина, 1981; Рождественская, 1982; Блоцкая, 2004; Савицкий, 2005). Авторы приводят перечень основных местообитаний для криптических видов обыкновенной полевки: пахотные земли, особенно заросли сорняков на них, луга, посадки лесных культур (особенно сосны), травянистые участки в разреженных лугах, опушки, сады, огороды, обочины дорог, скирды и стога, приусадебные постройки, овощехранилища и т.п. При этом, отсутствуют комплексные работы по изучению биотопической приуроченности криптических видов рода *Microtus* к луговым экосистемам на территории Беларуси.

Помимо цитогенетических, для диагностики видов-двойников *M. arvalis s. l.* в последние десятилетия применяют молекулярно-генетические методы (Потапов и др., 1999; Булатова и др., 2010, 2013, и др).

Так, недавние молекулярно-генетические исследования обыкновенной полевки позволили идентифицировать множественные линии митохондриальной ДНК (мтДНК). В настоящий момент «восточная» мтДНК линия происхождения из региона Восточной Европы была описана для нескольких особей Финляндии, России, Украины, Польши, Словакии и Венгрии. Однако полное отсутствие образцов обыкновенной полевки из Беларуси не позволяет в полной мере описать предположительный сценарий послеледниковой истории расселения вида на европейском континенте.

Таким образом, отсутствие исследований криптических видов рода *Microtus* на территории Беларуси с комплексным применением зоологических и молекулярно-генетических методов обусловили тему диссертационной работы.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с научными программами, темами. Исследования выполнены в рамках следующих научно-исследовательских работ: «Распространение криптических видов рода *Microtus* в Беларуси по данным молекулярного и кариологического анализа» (проект БРФФИ, 2017–2019 гг., № госрегистрации 20170960); ГПНИ (2016–2020 гг.) «Природопользование и экология», подпрограмма 2 «Биоразнообразие, биоресурсы, экология»; «Пространственно-биотопическая структура криптических видов обыкновенной полевки *Microtus arvalis s. l.* в центральной и западной Беларуси» (проект БРФФИ, 2020–2022 гг., № госрегистрации 20200993); ГПНИ (2021–2025 гг.) «Природные ресурсы и окружающая среда», подпрограмма «Биоразнообразие, биоресурсы, экология»; «Пространственно-биотопическое распределение популяций криптических видов обыкновенной полевки (*Microtus arvalis s. l.*) в западной части Беларуси» (грант для выполнения НИР аспирантами НАН Беларуси, 2021 г., № госрегистрации 202128177).

Тема диссертационной работы соответствует пункту 10. Экология и природопользование «Перечня приоритетных направлений научных исследований Республики Беларусь на 2016–2020 годы, утвержденной Постановлением Совета министров Республики Беларусь № 190 от 12 марта 2015 г, а также пункту 3.2.9 Экология и рациональное природопользование стратегии «Наука и технологии» 2018–2040 гг.

Цель и задачи исследования. Цель работы – с использованием цитогенетических и молекулярно-генетических методов определить видовой состав криптической группы *Microtus arvalis s. l.* в разнотипных луговых экосистемах Беларуси, ее пространственно-биотопическую структуру и на основании митохондриального гена цитохрома b (*mtCytb*) оценить генетическое разнообразие исследуемых видов-двойников.

Реализация поставленной цели достигалась решением следующих задач:

1. Оценить численность и особенности распространения криптических видов обыкновенной полевки *Microtus arvalis s. l.* в разнотипных луговых экосистемах Беларуси;
2. Провести анализ биотопического распределения криптических видов обыкновенной полевки *Microtus arvalis s. l.* в луговых экосистемах Беларуси;
3. Провести сравнительный анализ морфометрических особенностей черепа обыкновенной полевки в разнотипных луговых экосистемах Беларуси;
4. С использованием цитогенетических и молекулярно-генетических (ПЦР-типирование, митохондриальный ген цитохрома b) методов определить

видовую принадлежность особей и оценить генетическое разнообразие популяций исследуемых видов.

Объект и предмет исследования. *Объект исследования* – криптические виды и кариоформы полевки надвида *Microtus arvalis sensu lato* на территории Беларуси являющиеся переносчиками зоонозов и имеющие существенное эпидемиологическое значение.

Предмет исследования – видовой состав и распространение криптических видов обыкновенной полевки *Microtus arvalis s. l.*, биотопическое распределение видов-двойников в луговых экосистемах Беларуси, морфометрическая характеристика черепа обыкновенной полевки, генетическое разнообразие популяций исследуемых криптических видов.

Научная новизна. Впервые в Беларуси с использованием современных методик видовой идентификации установлены новые места обитания криптических видов обыкновенной полевки *Microtus arvalis s. l.* в разнотипных луговых биотопах.

Впервые на территории Беларуси выявлены особи обыкновенной полевки, в кариотипе которых присутствует полиморфизм по числу акроцентрических хромосом ($2n=46$, $NF=82$), а также приведена частота их встречаемости.

Впервые для Беларуси получены и проанализированы данные о внутривидовых особенностях морфологических характеристик черепа обыкновенной полевки в региональном аспекте. По ряду морфотипических характеристик у особей *Microtus arvalis* кариоформы «*arvalis*» происходит увеличение размеров в направлении юг-север. Выявлены четыре из шести известных морфотипов третьего верхнего коренного зуба (M^3), а также приведена частота их встречаемости.

Впервые на территории Беларуси проведены филогеографические исследования криптических видов обыкновенной полевки и предложен сценарий их послеледниковой истории расселения в Центральном регионе Европы.

Положения, выносимые на защиту:

1. На территории Беларуси обитает одна кариоформа *Microtus arvalis s. str.* – *Microtus arvalis* «*arvalis*» ($2n=46$, $NF=84$). Обыкновенная полевка отдает предпочтение разнотравным пойменным ($X=0,03$) и внепойменным суходольным лугам ($X=1,18$), при этом избегает внепойменные низинные луга ($X=-1,15$) и береговые экотоны ($X=-0,82$). Восточноевропейская полевка *M. rossiaemeridionalis* на территории Беларуси в настоящее время является редким видом, спорадично встречающимся в луговых экосистемах.

2. Величина вклада краниометрических параметров в морфологическую дифференциацию обыкновенной полевки изменяется с юга

на север ($U=131,5$ и $U=123,6$ соответственно, $p \leq 0,05$). На белорусской части ареала обыкновенной полевки выявлено четыре из шести известных морфотипов в строении жевательной поверхности верхнего третьего коренного зуба, при этом во всех трех регионах отмечена высокая частота встречаемости морфотипа средней сложности *typica* (0,82–0,89), реже встречается *simplex* (0,18), а в единичных случаях – *duplicata* и *variabilis* (0,01).

3. Для *M. arvalis* «*arvalis*» установлены высокие значения гаплотипического разнообразия по гену цитохрома *b* ($Hd=0,943 \pm 0,030$) при низких значениях нуклеотидного, что соотносится с данными метапопуляций обыкновенной полевки из других регионов Европы. *M. rossiaemerdionalis* характеризуется более низким уровнем генетического полиморфизма ($Hd=0,795 \pm 0,062$) по сравнению с *M. arvalis*, однако схожа с популяциями восточноевропейской полевки как из нативного ареала, так и с популяциями из приобретенного ареала на юге Дальнего Востока.

Личный вклад соискателя ученой степени в результаты диссертации. Полевые исследования криптических видов обыкновенной полевки *Microtus arvalis s. l.*, а также цитогенетические исследования на территории Беларуси выполнялись с 2018 г. по 2021 г. автором совместно с научным руководителем к.б.н., доцентом Е.С. Гайдученко и к.б.н., доцентом И.А. Крищук. Идентификация рода Серых полевок проводилась при консультации сотрудников ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам»: к.б.н. доцентом Е.С. Гайдученко (цитогенетический и молекулярно-генетический анализ); к.б.н. доцентом И.А. Крищук (краниометрический анализ); к.б.н. доцентом И.А. Соловей (морфологический анализ). Интерпретация результатов, анализ и обобщение данных выполнены соискателем самостоятельно.

Автор благодарит сотрудников лаборатории популяционной экологии наземных позвоночных и управления биоресурсами за помощь и ценные консультации в процессе подготовки и написания диссертационной работы.

Автор выражает признательность научному сотруднику лаборатории орнитологии ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам» Пакулю П.А. за помощь в полевом сборе материала.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов. Материалы диссертации были представлены на 7 международных научных конференциях: Международная научно-практическая конференция «Зоологические чтения – 2019» (Гродно, 2019); XVI Международная научная конференция молодых ученых «Молодежь в науке 2019» (Минск, 2019); XVII Международная научная конференция молодых ученых «Молодежь в науке 2020» (Минск, 2020); XVI международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы

экологии» (Гродно, 2021); XVIII Международная научная конференция молодых ученых «Молодежь в науке 2021» (Минск, 2021); XIX Международная научная конференция молодых ученых «Молодежь в науке 2022» (г. Минск, 2022); X Международная научно-практическая конференция «Биолого-химические и экологические аспекты состояния и развития Полесского региона и сопредельных территорий» (г. Мозырь, 2022).

Опубликованность результатов диссертации. По материалам диссертации опубликовано 23 научные работы: 7 статей (3,8 авторских листа) в научных изданиях, включенных в Перечень изданий, рекомендованных ВАК Республики Беларусь, 16 публикаций в сборниках международных, республиканских и региональных конференций и симпозиумов. Общий объем опубликованных материалов составляет 6,46 авторских листа.

Структура и объем диссертации. Основная часть диссертационной работы изложена на 114 страницах машинного текста и содержит 27 таблиц и 41 рисунок общим объемом на 39 страницах. Состоит из введения, общей характеристики работы, 6 глав, заключения. Приложения занимают 21 страницу. Библиографический список включает 250 использованных литературных источников, в т.ч. 154 наименования – на русском, 96 – на иностранных языках. Список работ соискателя включает 23 наименования.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Аналитический обзор литературы. В главе дан обзор литературных источников, освещающих биологию криптических видов обыкновенной полевки *M. arvalis s. l.*, особенности их распространения и биотопического распределения на территории Беларуси и в сопредельных регионах. Приведены отличия в биологии криптических видов, а также материал по истории изучения рода *Microtus* на территории Беларуси.

Описана история колонизации Европы представителями рода *Microtus*. Приведен анализ недавних филогеографических исследований криптических видов обыкновенной полевки в Центральной части Европы. Анализ литературных данных позволил конкретизировать цель и задачи настоящего исследования.

Материал и методы исследования. Исследования проведены на территории 46 административных районов Беларуси в период с 2018 по 2021 год (рисунок 1). Учет численности грызунов осуществлялся методом ловушко-линий. Всего отработано 35 500 ловушко-суток (л.-с.) и отловлена 471 особь *Microtus arvalis s. l.* (18,5 % от общего количества пойманных мелких млекопитающих).

Исследованные луговые биотопы были объединены в следующие типы согласно имеющейся классификации (Шенников, 1941): луг пойменный сенокосный (далее по тексту ЛПС), луг внепойменный низинный (далее по тексту ЛВН), луг суходольный (внепойменный), частично выпасаемый (далее по тексту ЛСВ), береговой экотон луг-канал (далее по тексту БЭЛ-К).

Хромосомные препараты приготовлены по стандартной методике из клеток костного мозга и селезенки, с предварительным колхицинированием (Ford, Hamerton, 1956).

Идентификация видов-двойников и кариоморф обыкновенных полевков проведена методом видоспецифичной ПЦР (Потапов, 2007).

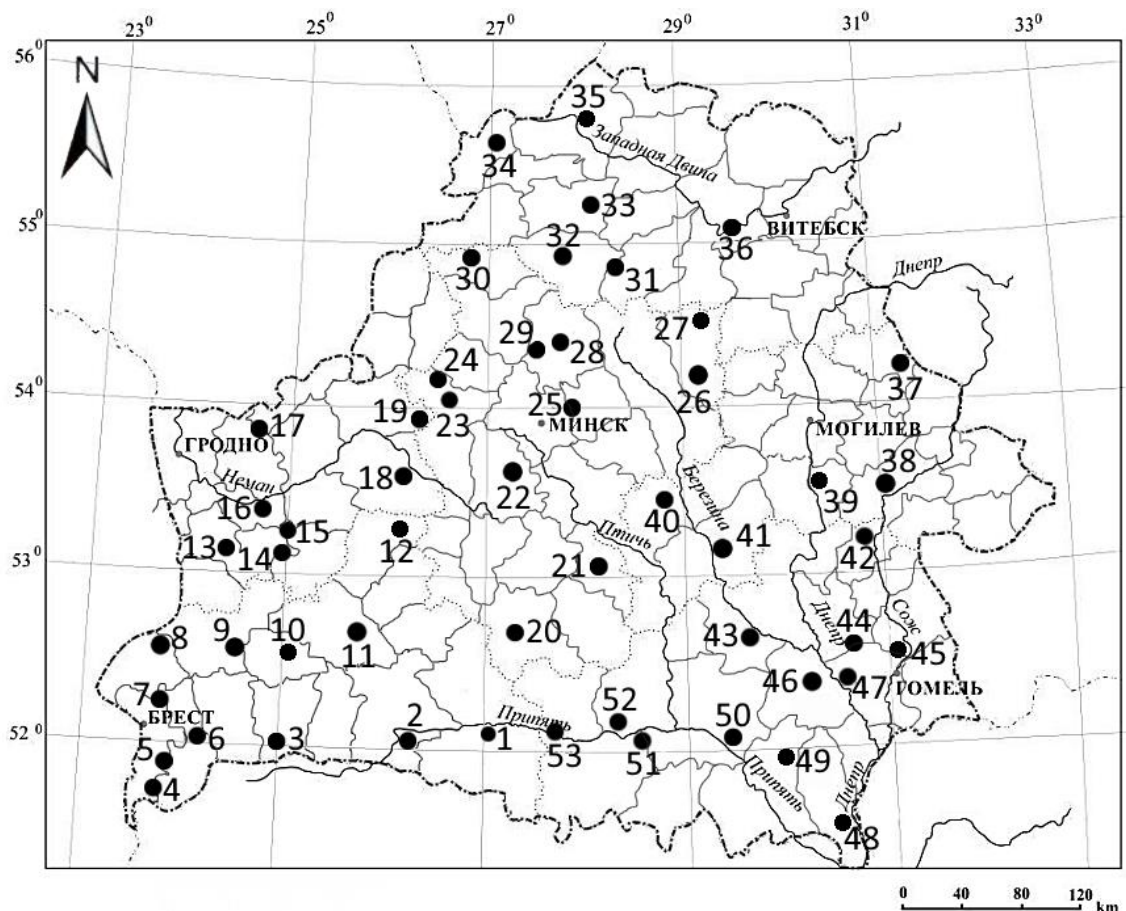


Рисунок 1 – Места сбора полевого материала (2018–2021 гг.) (отмечены точками)

Аmplификацию митохондриального гена цитохрома *b* (*mtCytb*) проводили с использованием праймеров согласно методике молекулярно-генетического анализа, для трех криптических видов:

сbMO 604F (5'-ССТССАСТТТАТТСТАССТ-3');

сbMA 842F (5'-GGGGТТАСТАТGGСТСА-3');

сbMR 469F (5'-CAGTCAAAGACTTCTTAGGG-3');

H15915-SP (5'-ТТСАТТАСТGGТТТАСААGAC-3').

При этом у разных представителей криптических видов амплифицируется фрагмент гена *mtCytb* разной длины (Потапов, 2007).

Определение последовательности нуклеотидов амплифицированных фрагментов ДНК для гена *mtCytb* проводили на генетическом анализаторе Applied Biosystems 3500 с использованием набора реактивов ABI PRISM BigDye Terminator v.3.1 Cycle Sequencing kit (Thermo Fisher Scientific Inc, США).

Первичный анализ, выравнивание последовательностей, филогенетический анализ и построение дендрограмм проведены в пакете программ Network 10.2.0.0 и MEGA 10 (Tamura et al., 2011).

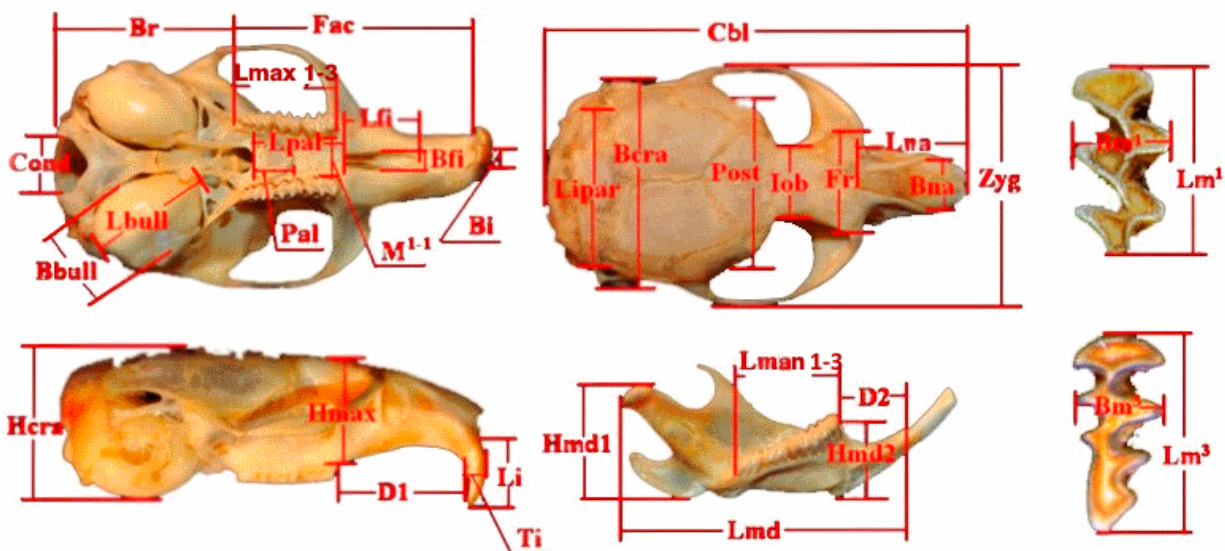
Генетическое разнообразие рассчитано с использованием программы DNASP версии 6.10.04 (Librado, 2009), по методу Degli Esposti et al. (Degli, 1993).

Филогенетическое дерево строили при помощи метода максимального правдоподобия (ML), выбор модели для построения дерева производили в программе jModelTest. Надежность ветвления филогенетического дерева определялась при помощи бутстреп-анализа (1000 псевдореплик).

Морфологические характеристики черепа анализировали у взрослых особей (*adultus*) *M. arvalis*. У каждого зверька измеряли по 35 краниометрических признаков (рисунок 2). Изучены краниометрические характеристики у 221 особи обыкновенной полевки. Измерения производили с помощью бинокля МБС-10 при увеличении (10^x со шкалой) с использованием окулярного микрометра.

Для изучения морфологической и фенетической изменчивости признаков черепа, анализа видового разнообразия и численности исследуемой группы Серых полевок были использованы программные пакеты Statistica 10.0 и Ms Excel. Для сравнения средних значений использовали t-тест Стьюдента либо U-тест Манна-Уитни.

Для оценки сообществ мелких млекопитающих использовались индексы: видового разнообразия Шеннона-Уивера (H); выравниваемости Пиелу (e); видового богатства Маргалефа (DMg); доминирования Бергера-Паркера (d); индекс видового разнообразия Симпсона (D).



Сbl – кондиллобазальная длина, Br – длина мозговой части, Fac – длина лицевой части, Zyg – скуловая ширина, Iob – межглазничное расстояние, Hmax – высота верхней челюсти перед M1, Lna – длина носовых костей, Bna – ширина носовых костей, D1 – длина верхней диастемы, Lmax1-3 – длина верхнего зубного ряда, Lm1 – длина первого верхнего коренного зуба, Bm1 – ширина первого верхнего коренного зуба, Lbull – длина слухового барабана, Bbull – ширина слухового барабана, Lfi – длина резцового отверстия, Bfi – ширина резцового отверстия, Bcra – ширина черепа в области слуховых барабанов, Hcra – высота черепа в области слуховых барабанов, M¹⁻¹ – расстояние между первыми верхними коренными зубами, Lpal – длина костного неба, Pal – длина небной кости, Lpar – длина межтеменной кости, Lm3 – длина третьего верхнего коренного зуба, Bm3 – ширина третьего верхнего коренного зуба, Fr – расстояние между наружными краями лобных костей, Post – расстояние между заглазничными выступами, Cond – расстояние между затылочными мыщелками, Lmd – длина нижней челюсти, D2 – длина нижней диастемы, Hmd1 – максимальная высота нижней челюсти, Hmd2 – высота нижней челюсти перед M1, Lman 1-3 – длина нижнего зубного ряда, Li – длина верхнего резца, Bi – ширина режущей части верхнего резца, Ti – толщина верхнего резца у основания, вид сбоку

Рисунок 2 – Схема измерений черепа *M. arvalis s. l.* (по Окулова, Баскевич, 2007)

Для оценки избирательности вида при выборе им местообитаний, был использован показатель степени биотопической приуроченности (Fij). Для подтверждения биотопической приуроченности изучаемых видов, был использован индекс верности биотопу (X).

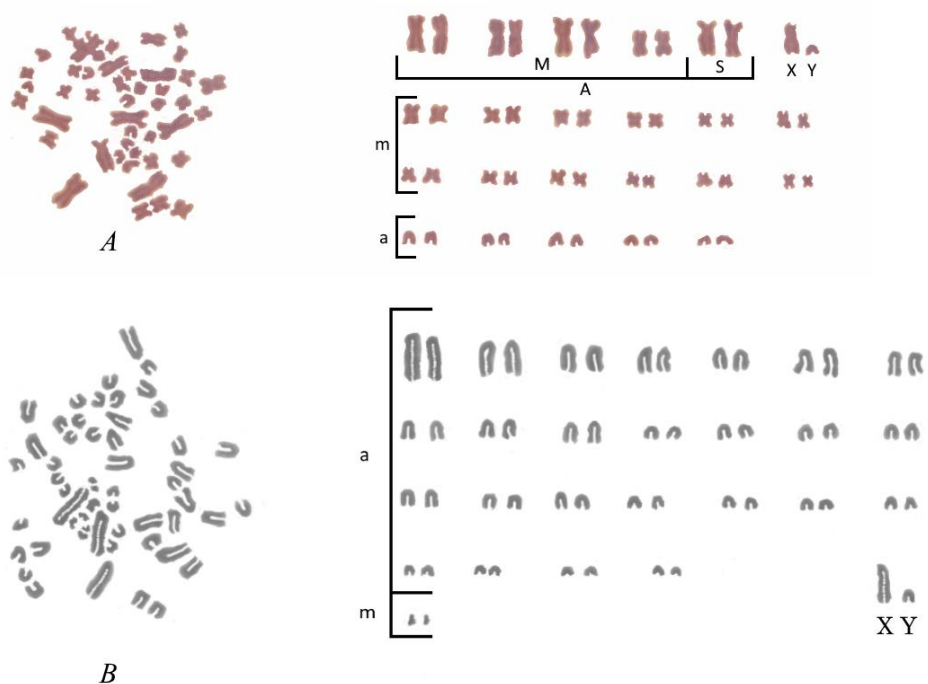
Видовая идентификация криптических видов группы *Microtus arvalis s. l.* в луговых экосистемах Беларуси.

На основании результатов цитогенетического исследования (всего проанализировано 3100 отдельных метафазных пластинок от 62 экземпляров *Microtus arvalis s. l.*), установлено обитание 2-х представителей криптической группы *Microtus arvalis s. l.* (рисунок 3).

У исследованных особей обыкновенной полевки из 18 локалитетов (см. рисунок 1, пункты 2,3,4,7,10,12,16,19,20,23,42,43,45–48,51,53) в диплоидном

наборе было обнаружено характерное для вида *Microtus arvalis* кариоформы «arvalis» количество хромосом ($2n=46$, $NF=84$).

Среди изученных представителей *Microtus arvalis* кариоформы «arvalis» присутствуют особи с полиморфизмом по числу акроцентрических хромосом (рисунок 3A). Обыкновенные полевки из выборок в окрестностях д. Белокорец, Воложинского района, г. Скрыгалов, Мозырского района и д. Высокое, Березовского района в хромосомном наборе имеют нестандартное число мелких акроцентрических хромосом ($A=10$).



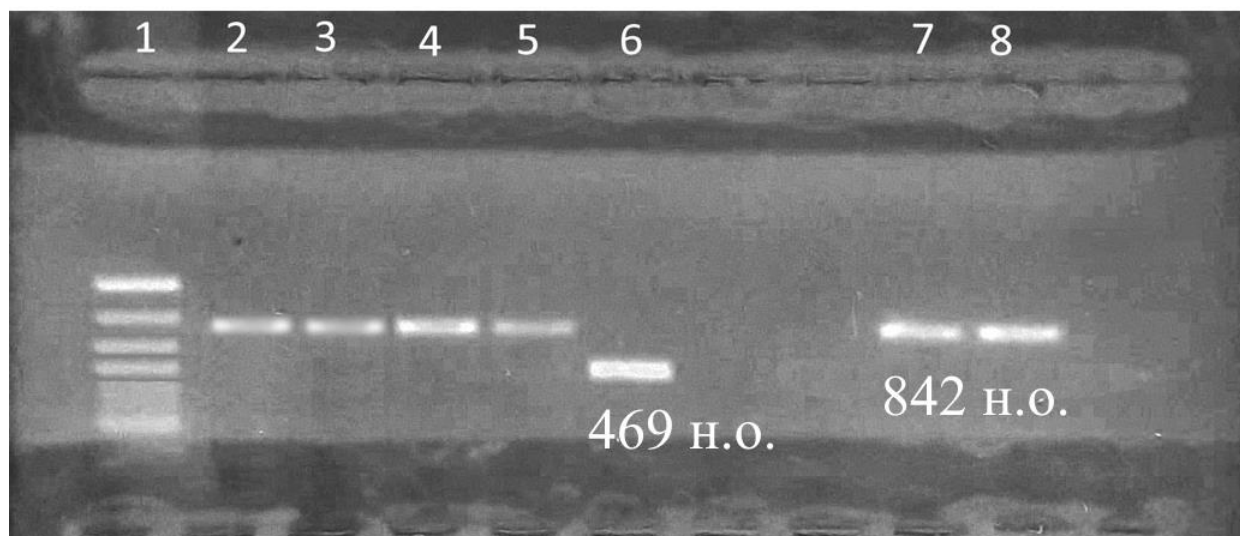
A – *Microtus arvalis* «arvalis», 10 акроцентриков, миниатюрная Y-хромосома (20B-248 самец, Мозырский район, Гомельская обл.), B – *Microtus rossiaemeridionalis*, самец с нормальным кариотипом $2n=54$, $NF=56$ (205.1-20Б, Светлогорский район, Гомельская область)

Рисунок 3 – Кариограммы криптических видов

У особи *Microtus rossiaemeridionalis* из окраины д. Якимова Слобода (Светлогорский район, Гомельская область) (рисунок 3B) в диплоидном наборе было обнаружено стандартное для вида число хромосом ($2n=54$, $NF=56$).

С использованием молекулярно-генетических методов удалось установить, а в части локалитетов, где ранее были проведены цитогенетические исследования, подтвердить видовой состав криптической группы *M. arvalis* s. l. ($n=223$). *M. arvalis* кариоформы «arvalis» отмечена во всех локалитетах исследования, а вид-двойник (*M. rossiaemeridionalis*) – только в 2 районах (Светлогорский р-н, Зельвенский р-н).

У исследуемых особей амплифицировался фрагмент *mtCytb* размером 842 и 469 нуклеотидных оснований (н.о.), что характерно для обыкновенной и восточноевропейской полевки, соответственно (рисунок 4).



1 – Маркер молекулярного веса, 2–5, 7, 8 – продукты амплификации целевого фрагмента (842 н. о.), 6 – продукты амплификации целевого фрагмента (469 н. о.)

Рисунок 4 – Электрофореграмма фрагментов гена *mtCytb* (Светлогорский район), представителей криптических видов обыкновенной полевки *Microtus arvalis s. l.*

Пространственно-биотопическая структура популяций *Microtus arvalis s. l.* в Беларуси.

В ходе исследований установлено, что *M. arvalis* является одним из наиболее часто встречающихся видов мелких грызунов (18,5 %) в луговых биотопах.

Относительная численность *Microtus arvalis* в среднем за период исследований составляла от 1,99 особей на 100 л.-с. в пойменных экосистемах в южной части Беларуси до 5,67 особей на 100 л.-с. в пойменных лугах северной части Беларуси (рисунок 5). На суходольном луге максимальная средняя численность составляла 5,64 особей на 100 л.-с. В двух других типах биотопов (луг внепойменный низинный и береговой экотон луг-канал), вид регистрировался намного реже, составляя в выборках небольшую часть (от 1,3 до 2,04 особей на 100 л.-с. на внепойменном низинном лугу и от 1,18 до 2,25 особей на 100 л.-с. в береговом экотоне).

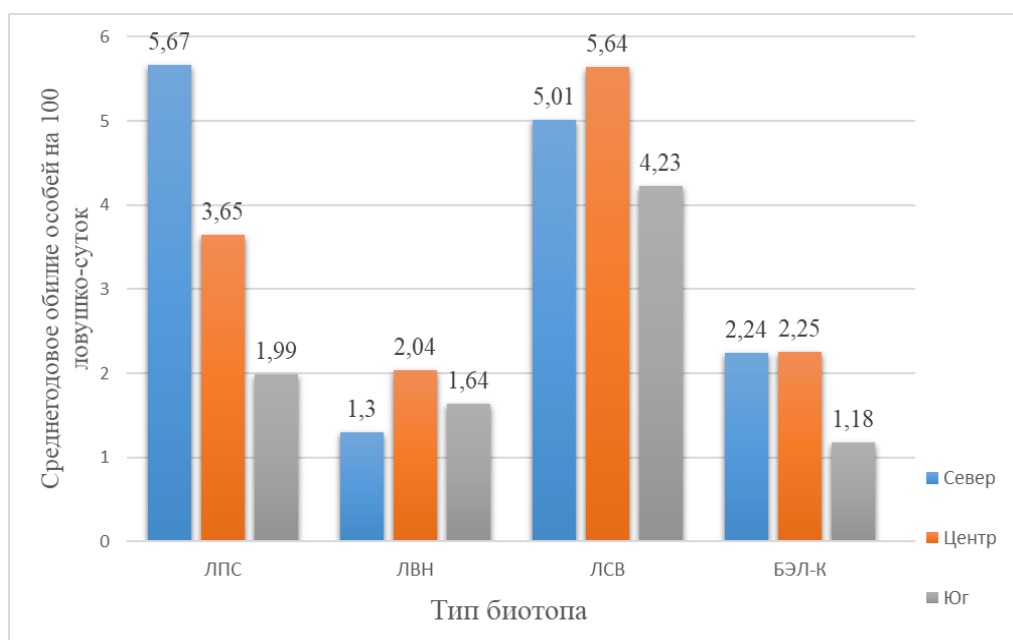


Рисунок 5 – Среднегодовое обилие обыкновенной полевки в различных биотопах (особей на 100 ловушко-суток, 2018–2021 гг.)

Результаты отловов обыкновенной полевки позволили установить регистрацию данного вида с различной плотностью в большинстве луговых экосистем (таблица 1).

Таблица 1 – Степень относительной биотопической приуроченности (F_{ij}) микромаммалий в луговых экосистемах Беларуси

Виды	Биотопы			
	ЛПС	ЛВН	ЛСВ	БЭЛ-К
<i>Sorex araneus</i> (обыкновенная бурозубка)	0,23	0,33	-0,48	-0,18
<i>Sorex minutus</i> (малая бурозубка)	-0,24	0,53	-0,36	-0,03
<i>Myodes glareolus</i> (рыжая полевка)	-0,02	0,02	0,04	-0,04
<i>Microtus arvalis</i>	-0,11	-0,29	0,35	-0,18
<i>Sylvaemus flavicollis</i> (желтогорлая мышь)	-0,12	0,14	-0,64	0,47
<i>Sylvaemus sylvaticus</i> (европейская мышь)	0,09	0,16	-0,56	0,27
<i>Sylvaemus uralensis</i> (лесная мышь)	0,15	0,6	-0,63	-0,5
<i>Apodemus agrarius</i> (полевая мышь)	0,07	-0,27	0,26	-0,27
<i>Microtus agrestis</i> (темная полевка)	0,24	-0,89	0,42	-0,62
<i>Microtus oeconomus</i> (полевка-экономка)	-0,41	-0,17	-0,39	0,62
<i>Sorex caecutiens</i> (средняя бурозубка)	0,07	0,29	-0,7	0,25
<i>Neomys fodiens</i> (обыкновенная кутора)	0,09	0,27	-1	0,39
<i>Micromys minutus</i> (мышь-малютка)	-0,11	-0,16	0,19	0,01
<i>Mus musculus</i> (домовая мышь)	-1	-1	0,71	0,16
<i>Microtus rossiaemeridionalis</i>	0,41	-1	0,4	-1
<i>Neomys anomalus</i> (малая кутора)	0,23	0,09	-1	0,39

Положительная биотопическая приуроченность *M. arvalis* отмечена на суходольном лугу ($F_{ij} = 0,35$). Менее массово вид встречается на пойменных

лугах ($F_{ij} = -0,11$) и береговом экотоне ($F_{ij} = -0,18$). При этом, *M. arvalis* часто выступает в качестве доминанта среди мелких млекопитающих. Отрицательная приуроченность обыкновенной полевки наблюдается на внепойменном низинном лугу ($F_{ij} = -0,29$), что говорит об избегании данного типа экосистем.

Индекс верности биотопу указывает на предпочтение обыкновенной полевкой пойменных лугов для северного региона и внепойменных суходольных лугов для всех трех регионов исследования (рисунок 6).

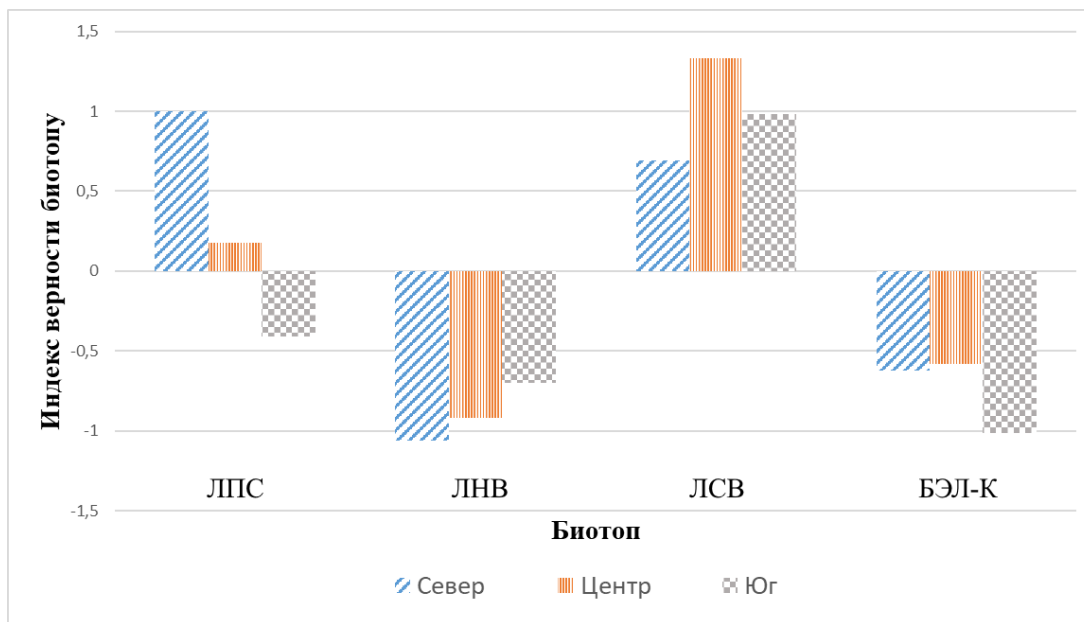


Рисунок 6 – Средние показатели индексов верности биотопу обыкновенной полевки в различных луговых биотопах трех регионов Беларуси на протяжении всего периода исследований (2018–2021 гг.)

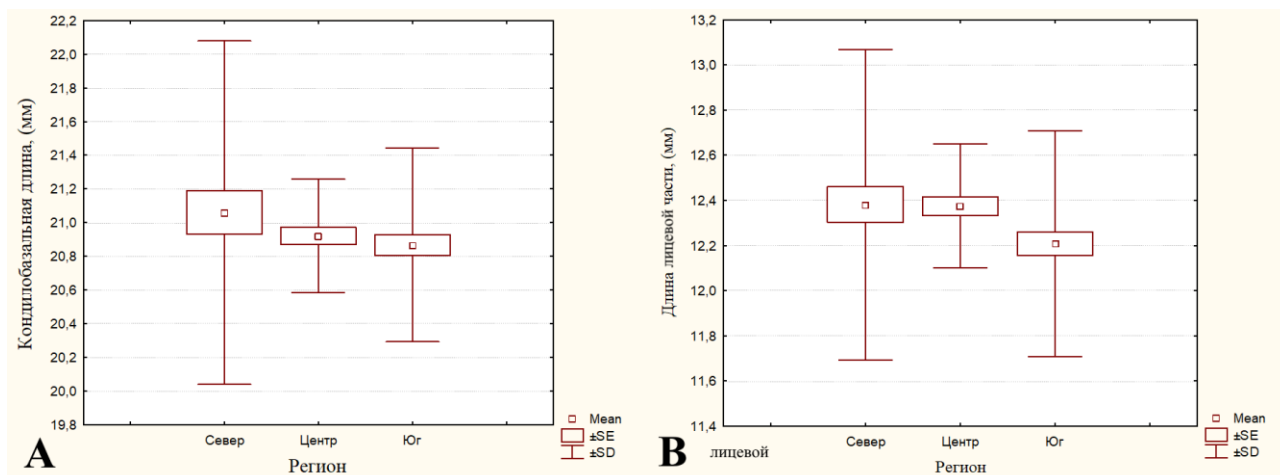
Морфологические особенности черепа обыкновенной полевки на территории Беларуси.

Анализ средних показателей 35 морфологических промеров черепа ($n=221$) обыкновенной полевки из трех регионов исследования показал статистически значимые различия данных выборок друг от друга по 22 параметрам (уровень значимости $p \leq 0,05$).

Особь из северного региона характеризовались наибольшими значениями следующих абсолютных морфологических параметров черепа – Cbl, Br, Fac, Vna, D1, Lmax1-3, Lm1, Lbull, Vbull, Lfi, Lipar, Post, Cond, Hmd1, Hmd2 и Li.

По ряду морфологических признаков черепа у особей обыкновенной полевки прослеживается закономерность в различии размеров черепа в направлении юг-север. Так, некоторые параметры – Cbl, Br, Fac, Vna, D1, Lmax1-3, Lfi, Cond, имеют наибольшие средние значения в северном регионе,

что подчиняется правилу Бергмана, при котором теплокровные животные с более крупными размерами тела встречаются в более холодных областях. Хотя ряд других параметров черепа – $V_{сra}$, $H_{сra}$, M^{1-1} , L_{pal} , Pal проявляют тенденцию к увеличению в южном направлении, что можно объяснить формированием общих пропорций: с увеличением длины черепа, его лицевого и мозгового отделов, череп уплощается (рисунок 7).



Mean – арифметическое среднее измеренных значений, $\pm SE$ – стандартная ошибка среднего, $\pm SD$ – среднеквадратичное отклонение случайной величины

Рисунок 7 – Значение краниометрических параметров – кондилобазальная длина черепа (Cbl) (А) и длина лицевой части (Fas) (В) – обыкновенной полевки из 3-х регионов исследования

Для проведения дискриминантного анализа было выбрано 14 абсолютных морфометрических параметра черепа, которые статистически значимо отличаются среди выборок особей обыкновенной полевки. Исползованные в анализе две статистически значимые дискриминантные функции объясняют 94,6 % изменчивости исходных данных. Наибольший вклад в первую функцию вносят переменные M^{1-1} , Pal и Fr . Данные признаки коррелируют с основными параметрами черепа (Cbl , Zyg), и наиболее сильно подвержены влиянию различных экологических факторов (Башенина, 2000, Миронова, 2013).

Согласно рисунку 8 видно, что по 14 наиболее вариабельным абсолютным промерам черепа в плоскостях первых двух канонических осей у каждой из сравниваемых ассоциаций нет определенной специфической области морфологического пространства. Все выборки в большей или меньшей степени пересекаются между собой.

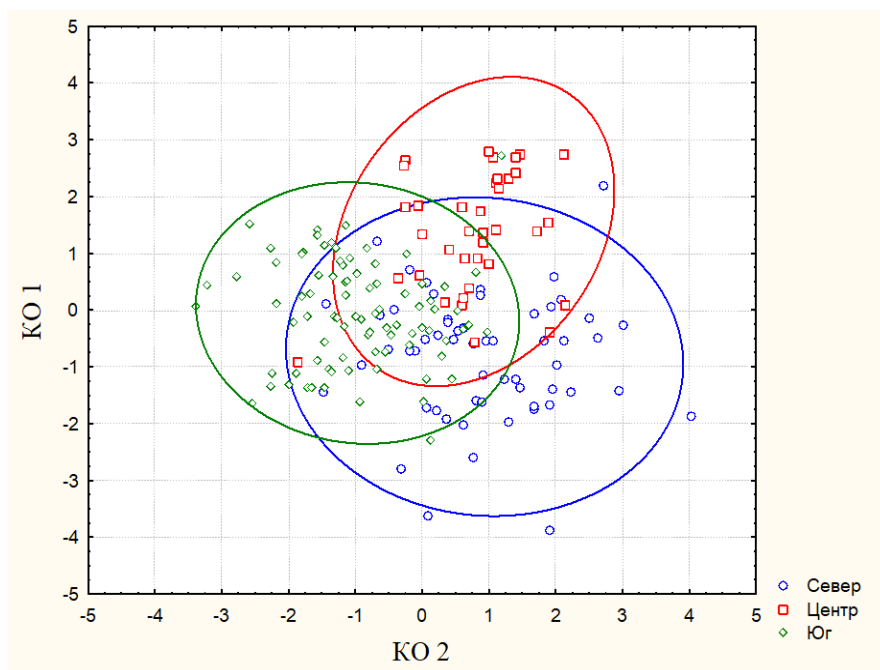


Рисунок 8 – Распределение трех выборок обыкновенной полевки из различных регионов в пространстве первой (КО 1) и второй (КО 2) дискриминантных функций

Так как некоторые особенности краниометрической изменчивости могут быть связаны с различными экологическими факторами, был проведен анализ различных выборок обыкновенной полевки из исследуемых регионов Беларуси с учетом типов луговых экосистем: пойменный сенокосный, внепойменный низинный и внепойменный суходольные луга.

В северном регионе наибольший размер морфометрических параметров отмечен в выборке пойменного сенокосного луга (29 из 35). При этом наименьшие значения данных параметров характерны для особей внепойменных низинных лугов. К параметрам, вносящим наибольший вклад в краниометрическую дифференциацию, можно отнести $Cb1$, Br , $D1$, Lfi , M^{1-1} , Pal и $Hmd2$. В центральном и южном регионах отмечены схожие параметры ($Cb1$, $D1$, Pal), вносящие наибольший вклад в различие выборок.

При изучении жевательных поверхностей M^3 у обыкновенной полевки из разных регионов Беларуси удалось установить наличие четырех из шести известных морфотипов для данного вида (Ангерманн, 1973). Частота встречаемости наиболее простого и часто фиксируемого морфотипа *typica* изменялась от 0,82 (северный регион) до 0,89 (южный регион). Вторым по частоте встречаемости является морфотип *simplex*, который наиболее часто встречался у особей обыкновенной полевки северного региона и составляет 0,18. К редким фенам можно отнести *duplicata* и *variabilis*, встречающиеся у единичных экземпляров в центральном и южном регионах Беларуси, что согласуется с рядом работ (Мартынова, 1963; Markova, 2009).

Генетическая структура криптических видов обыкновенной полевки (*Microtus arvalis sensu lato*) в Беларуси.

Из выявленных шести линий митохондриальной ДНК (Stojak J, 2015, Vužan et al. 2010), метапопуляция обыкновенной полевки, обитающей на территории Беларуси, относится к «восточной» линии.

В исследуемой выборке особей *M. arvalis* «*arvalis*» (n=53 особи), отловленных на территории Беларуси, был выявлен 41 гаплотип (*Hap*). Конечное выравнивание последовательностей по фрагменту митохондриального гена *mtCytb* составило 686 нуклеотидных оснований. Новые последовательности содержали 46 полиморфных сайтов, 23 из которых были филогенетически информативными.

Построенная медианная сеть по методу объединения средних (рисунок 9), позволила провести кластеризацию гаплотипов обыкновенной полевки.

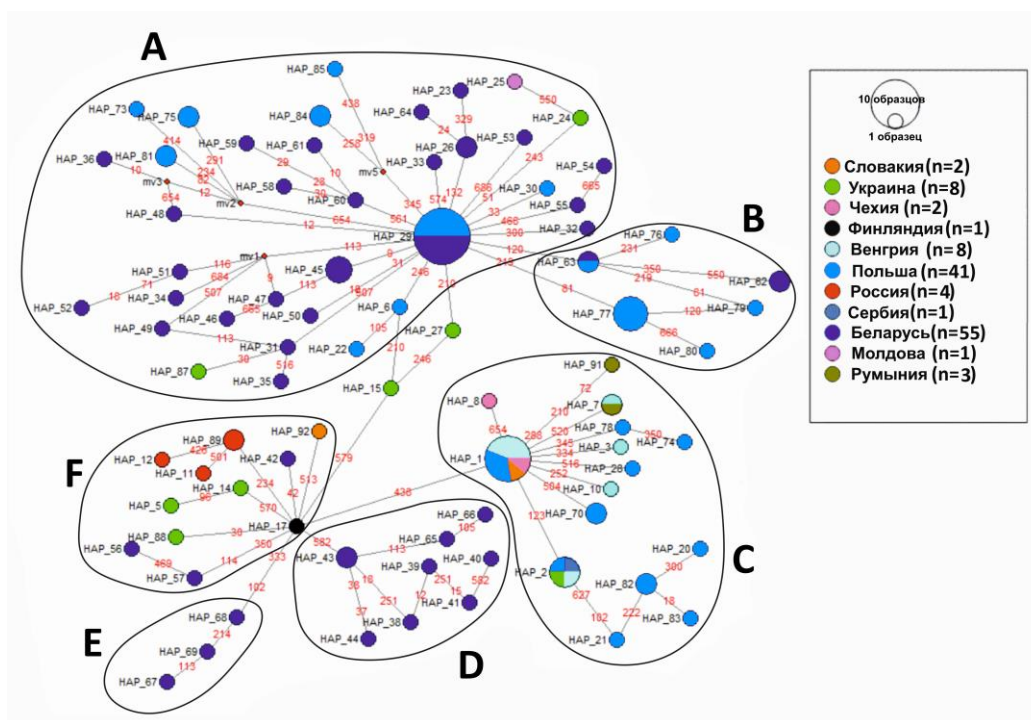


Рисунок 9 – Медианная сеть построенная по алгоритму Median Joining network (объединение средних) из 126 последовательностей фрагмента гена *mtCytb* (686 н.о.) *M. arvalis*

Примечания

- 1 Цветные кружки обозначают гаплотипы, обнаруженные в образцах обыкновенной полевки, собранных в Беларуси и других странах Европы.
- 2 Цифры между узлами указывают на конкретные сайты мутаций.
- 3 Радиус кругов пропорционален частоте гаплотипов.
- 4 Гаплогруппы (А, В, С, D, Е, F) фрагмента гена *mtCytb* дополнительно обведены.

Преобладающими гаплогруппами обыкновенной полевки в Беларуси являются А и D. При этом гаплогруппа А представлена 25 гаплотипами, что

составляет 61 % от всех имеющихся гаплотипов по фрагменту *mtCytb*. Гаплогруппа D представлена 8 гаплотипами, что составляет 19,5 % от всех имеющихся гаплотипов.

Анализируя топологию филогенетического дерева образцов обыкновенной полевки из Беларуси, можно предположить, что данная метапопуляция происходит от двух отдельных сублиний, отходящих от более филогенетически ранних гаплотипов (*Har 15*, *Har 27*). Особи первой сублинии заселяли южную и центральную часть Беларуси ее с юго-востока.

Другая сублиния, берущая свое начало также от предковых форм из Польши (Stojak, 2015), предположительно распространялась по территории Беларуси с севера (*Har 15*) и далее по восточной ее части.

Показатели генетического разнообразия рассчитаны согласно разделению исследуемых особей, на два генетически обособленных субкластера (рисунок 9). Первый субкластер представлен особями из гаплогрупп А и В, распространенными в центральной, западной и южной частях Беларуси. Во вторую группу вошли особи гаплогрупп D, Е и F, распространенные на территории северной и восточной частей Беларуси (таблица 2).

Таблица 2 – Данные генетического разнообразия *M. arvalis* по фрагменту гена *mtCytb*

<i>M. arvalis</i>	<i>n</i>	<i>S</i>	<i>H</i>	$Hd \pm SD_{Hd}$	$\pi \pm SD_{\pi}$	<i>k</i>	<i>p</i>	T's D
Первый субкластер	38	31	27	0,943 \pm 0,030	0,0043 \pm 0,0006	2,94	0,0058	-2,09
Второй субкластер	15	16	14	0,990 \pm 0,028	0,0061 \pm 0,0006	4,23	0,0065	-0,56

Примечание – *n* – число последовательностей; *S* – число вариабельных сайтов; *H* – число гаплотипов; *Hd* – гаплотипическое разнообразие; π – нуклеотидное разнообразие; *k* – среднее число нуклеотидных различий; *p* – общая генетическая дистанция; *SD* – стандартное отклонение; T's – D тест Таджимы.

В популяции обыкновенной полевки, обитающей на территории Беларуси, максимальный генетический полиморфизм можно отметить во втором субкластере (*k*=4,23). Максимальные дистанции также были выявлены для данной географически обособленной группы – 0,0065.

Гаплотипическое разнообразие восточноевропейской полевки (*M. rossiaemeridionalis*) в Беларуси.

Для установления таксономического статуса *M. rossiaemeridionalis* на территории Беларуси были получены нуклеотидные последовательности *mtCytb* длиной 385 нуклеотидных оснований. Белорусские образцы *M. rossiaemeridionalis*, представлены самостоятельными гаплотипами (*Har 1* и *Har 2*) (рисунок 10).

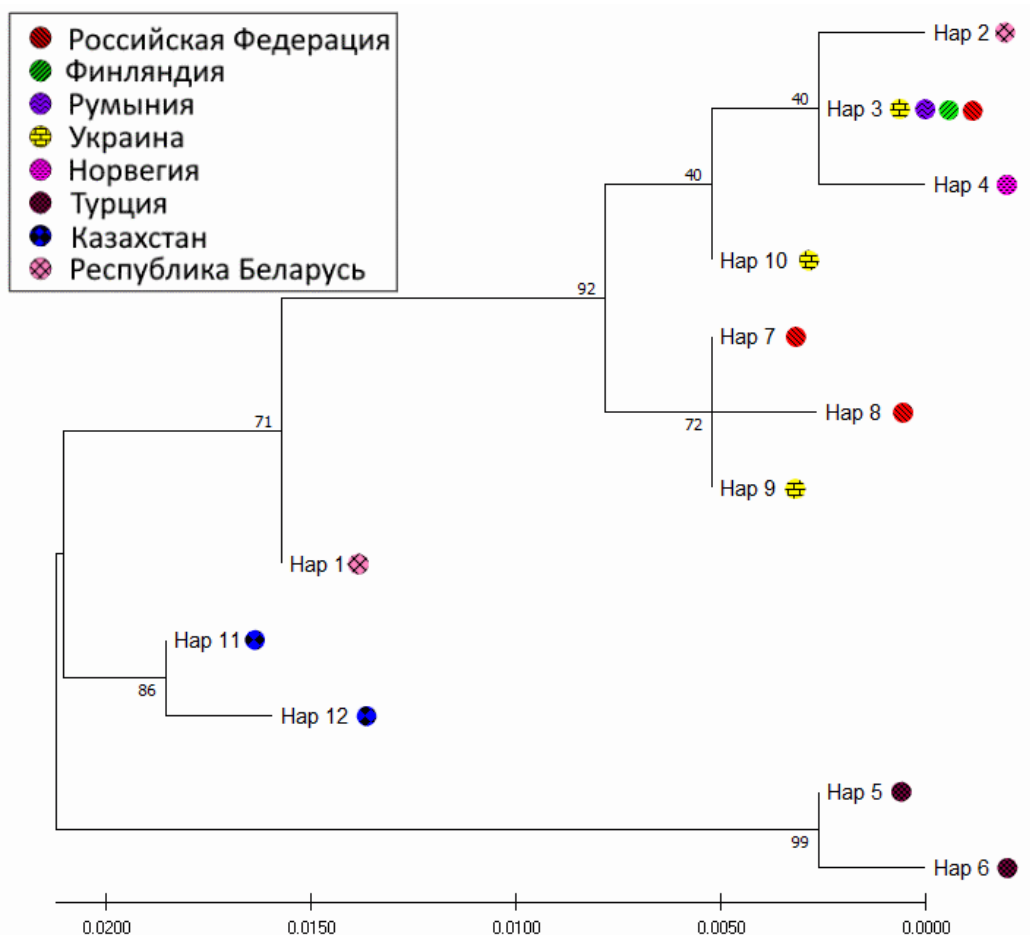


Рисунок 10 – Результаты генетического ML-анализа гаплотипов (n=12) участка *mtCytb*, 385 н.о.), иллюстрирующие уровень генетических различий между гаплотипами

Примечание – В узлах приведены результаты бутстреп-анализа (1000 псевдореплик); шкала – генетические дистанции между гаплотипами.

Распределение выявленных гаплотипов на дендрограмме подтверждает предположение о расселении обыкновенной полевки из Южной Азии (*Hap 11, 12*) в Европу (Fink, 2010). Одна часть распространялась на современную территорию Турции (*Hap 5, 6*), а другая – в центральную часть Европы (*Hap 1–4, 7–10*).

Отмеченная удаленность *Hap 1* от других европейских гаплотипов (*Hap 2–4, 7–10*), позволяет предположить наиболее вероятный сценарий расселения из Европейской части России, где данный вид распространен повсеместно и последующем ее расселении в Европе (Pazonyi, 2004, Martinkova, 2013). Это объясняет имеющиеся генетические связи с анализируемыми образцами на дендрограмме и медианной сети (рисунок 10).

Число нуклеотидных замен *mtCytb M. rossiaemeridionalis* варьировало от 0,0 до 3,5 % (в среднем $1,6 \pm 0,31$ %). Частота встречаемости составила для А = 31,4 %, Т = 25,7 %, С = 31,2 %, и G = 11,7 %, а соотношение транзиций и трансверсий (Ts/Tv) составило 2,61 (R), что является стандартным значением для восточноевропейской полевки (Шереметьева, 2021).

Гаплотипическое разнообразие исследуемой группы восточноевропейской полевки (европейская субклада) имеет невысокую величину показателей ($Hd=0,795\pm 0,062$), при сравнении с другими представителями криптической группы *Microtus arvalis s. l.* (Stojak, 2016; Балакирев, 2017).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Установлен видовой состав криптической группы обыкновенной полевки *Microtus arvalis s. l.*: обыкновенная полевка (*M. arvalis* «*arvalis*») и восточноевропейская полевка (*M. rossiaemeridionalis*). Обыкновенная полевка повсеместно встречающийся вид в отличие от восточноевропейской полевки, которая за время проведения исследований зарегистрирована лишь в двух локалитетах (пойма р. Березина в Светлогорском районе и суходольный луг в Зельвенском районе) [А–2, А–3, А–10, А–17, А–18, А–19, А–23].

2. В луговых экосистемах Беларуси обыкновенная полевка (*M. arvalis* кариоформы «*arvalis*») заселяет большинство исследованных биотопов, проявляя средний уровень эвритопности. Отдает предпочтения разнотравным пойменным и внепойменным суходольным лугам, где его численность составляет до 11,7 особей на 100 л.-с. на пойменных лугах и до 20,0 особей на 100 л.-с. на суходольных внепойменных лугах в центральном регионе Беларуси. При этом положительные усредненные показатели коэффициента верности биотопу (X) по всем трем регионам исследования отмечены в пойменных луговых экосистемах ($X = 0,03$) и на суходольных внепойменных лугах ($X = 1,18$). Для низинного внепойменного луга и берегового экотона в целом, характерны отрицательные показатели коэффициента верности биотопу ($X = -1,15$ и $X = -0,82$, соответственно) [А–1, А–4, А–9, А–12, А–14, А–15, А–16, А–21].

3. Наименьшее сходство видového состава мелких млекопитающих среди исследуемых луговых биотопов отмечено между пойменным и внепойменным суходольным лугом в южном регионе исследования ($K = 0,66$). Наибольшее сходство видového состава (12 общих видов) отмечено между пойменным и внепойменным низинным лугом в центральном регионе исследования ($K = 0,92$). Также можно отметить высокое значение индекса сходства ассоциаций мелких млекопитающих пойменных лугов и берегового экотона (от 9 до 10 общих видов) ($K=0,78-0,81$ во всех трех регионах) и внепойменных низинных лугов и берегового экотона (от 9 до 11 общих видов) ($K=0,78-0,81$ во всех трех регионах) [А–1, А–4, А–11].

4. У обыкновенной полевки морфологическая изменчивость черепа наблюдается по абсолютным параметрам, отвечающим за общие размеры тела (длина черепа и нижней челюсти). По таким параметрам как расстояние между

наружными краями лобных костей (Fr), расстояние между заглазничными выступами (Post), расстояние между первыми верхними коренными зубами (M^{1-1}), длина небной кости (Pal) и др. немаловажную роль в морфологической дифференциации играет флористический состав (кормовая база) различных луговых биотопов, что значительно различает выборки обыкновенной полевки ($p \leq 0,05$). В северном и центральном регионах особи обыкновенной полевки пойменного сенокосного луга в ряду биотопов более крупные ($p \leq 0,05$) по ряду морфологических характеристик черепа (по 29 из 35 признакам). В южном регионе более крупные особи ($p \leq 0,05$) по ряду морфометрических параметров (19 из 35 признаков) отмечены на внепойменном суходольном лугу [А–7].

5. При изучении строения жевательной поверхности зуба M^3 обыкновенной полевки установлено присутствие на территории Беларуси 4 из 6 известных морфотипов обыкновенной полевки: *simplex*, *typica*, *duplicata*, *variabilis*. Повсеместно отмечена высокая частота встречаемости морфотипа средней сложности *typica* (0,82–0,89), что указывает на особенности питания вида, выражающиеся в малой доле грубых кормов в рационе. Встречаемость фена *duplicata* отмечена только в центральном регионе Беларуси (0,05). Морфотип *variabilis* встречается еще реже (0,01), и отмечен для единичного экземпляра в южном регионе Беларуси [А–7, А–8, А–13, А–22].

6. Из выявленных шести линий митохондриальной ДНК, метапопуляция обыкновенной полевки, обитающей на территории Беларуси, относится к «восточной» линии. Медианная сеть гаплотипов обыкновенной полевки свидетельствует о выраженной дифференциации. Выявленные два субкластера делят исследуемые гаплогруппы по разным ландшафтно-географическим районам и не пересекаются. Последовательное расположение гаплотипов на медианной сети с привязкой к географическим координатам, указывает на заселение видом территории Беларуси с юго-востока, где присутствует филогенетически более ранний гаплотип, от которого отходят два субкластера [А–6].

7. В Беларуси популяция обыкновенной полевки характеризуется высоким уровнем генетического разнообразия, сравнимым с таковым у других гаплогрупп восточной мтДНК линии ($Hd = 0,97 \pm 0,02$), что проявляется в большом числе выявленных гаплотипов ($n=41$) из 53 нуклеотидных последовательностей. Отрицательный показатель теста Таджимы на нейтральность эволюции (T's D) у первой сублинии (T's D = -2,09) указывает на отсутствие редких гаплотипов и на последующий всплеск численности и рост популяции. Во второй сублинии также характерен отрицательный показатель (T's D = -0,56), что объясняется низким числом выявленных гаплотипов по сравнению с числом переменных сайтов (избыток редких аллелей) [А–6, А–17, А–20].

8. Установленные особенности генетической структуры популяции *M. rossiaemerdionalis* по *mtCytb* позволяют выдвинуть предположение о

принадлежности восточноевропейской полевки, обитающей на территории Беларуси, к волне колонизации из уральского рефугиума с последующим расселением через Восточно-Европейскую равнину в северную и восточную части Европы. Уровень полиморфизма по гену *mtCytb* Европейской субклады *M. rossiaemeridionalis*, в которую также входят исследуемые особи из Беларуси является относительно ниже ($Hd=0,795\pm0,062$) чем у других видов криптической группы *Microtus arvalis s. l.* [А-5, А-23].

Рекомендации по практическому использованию результатов

Впервые проведено сравнительное исследование биотопических предпочтений, определяющих изменение численности обыкновенной полевки, что может быть использовано при изучении других редких видов мелких млекопитающих и при разработке мер их сохранения в естественных местообитаниях.

Последовательности полученных образцов *Microtus arvalis s. l.* загружены в международную базу BOLD (Process ID: MICBY001-23 – MICBY0055-23) за приоритетом ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам», что позволяет дополнить сведения о генетическом разнообразии *M. arvalis* и *M. rossiaemeridionalis* ранее не исследованных территорий ареала видов.

Информация о видовом разнообразии и биотопической приуроченности *M. arvalis* в Беларуси может использоваться в работе санитарно-эпидемиологических служб для прогноза вспышек численности мелких млекопитающих, распространении зоонозов и разработки стратегий борьбы, а также при чтении соответствующих курсов лекций и практических занятий в высших учебных заведениях.

Внедрены в учебный процесс разработки: «Оценка плотности популяций видов рода *Microtus*, обитающих в экосистемах Беларуси с использованием живоловушек» (акт внедрения от 26.12.2019); «Методические рекомендации по проведению идентификации криптических видов рода *Microtus* молекулярно-генетическим (ПЦР-типирование) и кариологическим методами» (акт внедрения №03-8/023 от 02.06.2021); «Видовая идентификация криптических видов рода *Microtus* молекулярно-генетическим методом (ПЦР-типирование)» (акт внедрения от 29.04.2021).

В хозяйственную деятельность ГПУ «РЛЗ «Налибокский» внедрена разработка: «Методические рекомендации по проведению экспресс-оценки численности и видового разнообразия мелких млекопитающих» (акт внедрения от 31.05.2021).

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

Статьи в научных журналах, включенных в перечень ВАК

А–1. Оценка плотности популяций видов рода *Microtus* долинных экосистем Беларуси / **Е. И. Машков**, Е. С. Гайдученко, И. А. Крищук, И. А. Соловей // Весн. Магілеўс. дзярж. ун-та. Сер. В, Прыродазн. навукі. – 2019. – № 2. – С. 96–109.

А–2. **Машков Е. И.**, Гайдученко Е. С., Крищук И. А. Начальные данные по хромосомному и молекулярно-генетическому анализу (ПЦР-типирование) обыкновенной полевки (*Microtus arvalis sensu lato*) в Беларуси // Весн. Гродзен. дзярж. ун-та. Сер. 5, Эканоміка. Сацыялогія. Біялогія. – 2020. – Т. 10, № 2. – С. 138–147.

А–3. **Машков Е. И.**, Гайдученко Е. С. Криптические виды рода *Microtus* на территории Беларуси: таксономическое положение и распространение // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. біял. навук. – 2021. – Т. 66, № 4. – С. 475–481.

А–4. Видовой состав и плотность ассоциаций микромаммалий луговых экосистем бассейнов крупных рек Беларуси / **Е. И. Машков**, Е. С. Гайдученко, И. А. Крищук, И. И. Лукина // Весн. Гродзен. дзярж. ун-та. Сер. 5, Эканоміка. Сацыялогія. Біялогія. – 2022. – Т. 12, № 1. – С. 108–125.

А–5. **Машков Е. И.**, Гайдученко Е. С. Генетическое разнообразие восточноевропейской полевки (*Microtus rossiaemeridionalis*) в Беларуси // Молекулярная и прикладная генетика : сб. науч. тр. / Ин-т генетики и цитологии НАН Беларуси. – Минск, 2022. – Т. 33. – С. 119–128.

А–6. **Машков Е. И.**, Гайдученко Е. С., Борисов Ю. М. Гаплотипическое разнообразие *mCytb* обыкновенной полевки (*Microtus arvalis sensu lato*) в Беларуси // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. біял. навук. – 2023. – Т. 68, № 1. – С. 64–74.

А–7. **Машков Е. И.**, Крищук И. А. Изменчивость морфологических характеристик черепа обыкновенной полевки на территории Беларуси // Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 5, Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2022. – № 2. – С. 39–51.

Материалы конференций

А–8. Оценка краниометрических показателей *Microtus arvalis* природных экосистем Беларуси / **Е. И. Машков**, Е. С. Гайдученко, И. А. Крищук, А. А. Кирейков // Зоологические чтения : сб. ст. междунар. науч.-практ. конф. «Зоологические чтения – 2019», посвящ. 90-летию Гродн. зоол. парка (Гродно, 20–22 марта 2019 г.) / Гродн. гос. ун-т [и др.] ; редкол.: О. В. Янчуревич (отв. ред.), А. В. Рыжая, А. В. Каревский. – Гродно, 2019. – С. 193–196.

А–9. **Машков Е. И.**, Гайдученко Е. С., Крищук И. А. Анализ численности и биотопической приуроченности видов рода *Microtus* в природных экосистемах Беларуси // Молодежь в науке – 2019: аграрные, биологические, гуманитарные, медицинские, физико-математические, физико-технические науки, химия и науки о Земле : тез. докл. XVI Междунар. конф. молодых ученых (Минск, 14–17 окт. 2019 г.) / Нац. акад. наук Беларуси, Совет молодых ученых ; редкол.: В. Г. Гусаков (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2019. – С. 153–156.

А–10. **Машков Е. И.**, Гайдученко Е. С. Анализ кариотипа обыкновенной полевки обитающей в природных экосистемах Беларуси // Структура и динамика биоразнообразия : Материалы I Респ. заоч. науч.-практ. конф. молодых ученых (Минск, 23 дек. 2019 г.) / Белорус. гос. ун-т [и др.] ; редкол.: С. В. Буга (гл. ред.) (и др.). – Минск, 2020. – С. 52–54.

А–11. **Машков Е. И.** Анализ численности и биотопической приуроченности представителей рода *Microtus* в луговых экосистемах Беларуси // Молодежь в науке – 2020 : аграрные, биологические, гуманитарные, медицинские, физико-математические, физико-технические науки, химия и науки о Земле : тез. докл. XVII Междунар. науч. конф. молодых ученых (Минск, 22–25 сент. 2020 г.) / Нац. акад. наук Беларуси, Совет молодых ученых ; редкол.: В. Г. Гусаков (гл. ред.) (и др.). – Минск, 2020. – С. 168–171.

А–12. **Машков Е. И.**, Гайдученко Е. С., Крищук А. И. Структура населения и биотопическая приуроченность мелких млекопитающих отрядов грызуны и насекомоядные луговых и лесных экосистем Беларуси // Актуал. биотехнология. – 2020. – № 3. – С. 458–461.

А–13. **Машков Е. И.** Оценка краниометрических показателей *Microtus arvalis* природных экосистем Беларуси // Пространственно-временные аспекты функционирования биосистем : сб. материалов XVI Междунар. науч. экол. конф., посвящ. памяти Александра Владимировича Присного, 24–26 нояб. 2020 г. / Белгор. гос. нац. исслед. ун-т [и др.] ; отв. ред. Ю. А. Присный. – Белгород, 2020. – С. 66–69.

А–14. **Машков Е. И.** Оценка видового разнообразия мелких млекопитающих Узденского района // Science SPbU – 2020 : сб. материалов Междунар. конф. по естеств. и гуманитар. наукам, Санкт-Петербург, 25 дек. 2020 г. / С.-Петербур. гос. ун-т. – СПб., 2021. – С. 233–235.

А–15. **Машков Е. И.**, Гайдученко Е. С. Особенности биотопического распределения видов рода *Microtus* в разнотипных природных экосистемах Беларуси // Актуальные проблемы экологии : сб. науч. ст. : [материалы XVI междунар. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы экологии – 2021» (Гродно, 22–24 сент. 2021 г.) / Гродн. гос. ун-т, Гродн. обл. ком. природ.

ресурсов и охраны окруж. среды ; редкол.: А. Е. Каревский (гл. ред.), Г. Г. Юхневич, И. М. Колесник. – Гродно, 2021. – С. 39–42.

А–16. **Машков Е. И.** Анализ численности и биотопической приуроченности видов рода *Microtus* в луговых экосистемах центральной части Беларуси // Молодежь в науке – 2021: аграрные, биологические, гуманитарные науки и искусства : тез. докл. XVIII Междунар. науч. конф. молодых ученых (Минск, 27–30 сент. 2021 г.) : в 2 ч. / Нац. акад. наук Беларуси, Совет молодых ученых ; редкол.: В. Г. Гусаков (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2021. – Ч. 1. – С. 246–249.

А–17. **Машков Е. И.**, Гайдученко Е. С., Крищук И. А. Молекулярно-генетические методы (пцр-типирование) определения видовой идентификации криптических видов обыкновенной полевки в центральной части Беларуси // VIII Международная научно-практическая конференция молодых ученых: биофизиков, биотехнологов, молекулярных биологов и вирусологов : сб. тез. / Инновац. центр Кольцово. – Новосибирск, 2021. – С. 309–310.

А–18. **Машков Е. И.**, Гайдученко Е. С., Крищук И. А. Таксономический состав рода *Microtus* на территории западной части Беларуси // Глобальная база данных по биоразнообразию. Современные тенденции развития в Беларуси, Латвии и Литве : сб. материалов I Междунар. науч.-практ. конф. (Минск, 16–19 нояб. 2021 г.) / Нац. акад. наук Беларуси [и др.] ; отв. ред. О. И. Бородин. – Минск, 2021. – С. 111–124.

А–19. **Машков Е. И.**, Гайдученко Е. С. Таксономическое положение и распространение криптической группы *Microtus* на территории Беларуси // Млекопитающие в меняющемся мире: актуальные проблемы териологии. XI Съезд Териологического общества при РАН : Материалы конф. с междунар. участием, Москва, 14–18 марта 2022 г. / Рос. акад. наук, Ин-т экологии и эволюции РАН, Териол. о-во при РАН. – М., 2022. – С. 228.

А–20. **Машков Е. И.**, Гайдученко Е. С. Генетическое разнообразие обыкновенной полевки (*Microtus arvalis*) по фрагменту гена *Cyt b* в Беларуси // IX Международная конференция молодых ученых: вирусологов, биотехнологов, биофизиков, молекулярных биологов и биоинформатиков : сб. тез. / Инновац. центр Кольцово. – Новосибирск, 2022. – С. 578–579.

А–21. **Машков Е. И.**, Крищук И. А., Гайдученко Е. С. Фаунистический состав мелких млекопитающих луговых экосистем особо охраняемых природных территорий Беларуси // Актуальные проблемы экологии : сб. науч. ст. / Гродн. гос. ун-т, Гродн. обл. ком. природ. ресурсов и охраны окруж. среды; редкол.: А. Е. Карпевский (гл. ред.), О. В. Павлова. – Гродно, 2022. – С. 74–77.

А–22. **Машков Е. И.**, Крищук И. А. Морфотипическая изменчивость рисунка третьего верхнего коренного зуба обыкновенной полевки (*Microtus arvalis*) в Беларуси // Молодежь в науке – 2022: аграрные, биологические, гуманитарные, медицинские, физико-математические, физико-технические науки, химия и науки о Земле : тез. докл. XIX Междунар. науч. конф. молодых ученых (Минск, 25–28 окт. 2022 г.) / Нац. акад. наук Беларуси, Совет молодых ученых ; редкол.: В. Г. Гусаков (гл. ред.) (и др.). – Минск, 2022. – С. 173–176.

А–23. **Машков Е. И.**, Гайдученко Е. С. Новые данные о распространении восточноевропейской полевки в Беларуси // Организмы, популяции и сообщества в трансформирующейся среде : сб. материалов XVII Междунар. науч. экол. конф., Белгород, 22–24 нояб. 2022 г. / Белгор. гос. нац. исслед. ун-т [и др.] ; науч. ред. Ю. А. Присный. – Белгород, 2022. – С. 121–125.

РЕЗЮМЕ

Машков Евгений Игоревич

КРИПТИЧЕСКИЕ ВИДЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ПОЛЕВКИ *MICROTUS ARVALIS S. L.* В ЛУГОВЫХ ЭКОСИСТЕМАХ БЕЛАРУСИ: СОВРЕМЕННЫЙ ВИДОВОЙ СОСТАВ И АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ПОПУЛЯЦИЙ

Ключевые слова: обыкновенная полевка, восточноевропейская полевка, криптические виды, биотопическая приуроченность, морфологическая изменчивость, краниометрические параметры

Цель исследования: с использованием цитогенетических и молекулярно-генетических методов определить видовой состав криптической группы *Microtus arvalis s. l.* в разнотипных луговых экосистемах Беларуси, ее пространственно-биотопическую структуру и на основании митохондриального гена цитохрома b (*mtCytb*) оценить генетическое разнообразие исследуемых видов-двойников.

Методы исследования: метод ловушко-линий, цитогенетические, молекулярно-генетические, морфометрические, статистические.

Полученные результаты и их новизна: впервые в Беларуси с использованием современных методик видовой идентификации установлены новые места обитания криптических видов обыкновенной полевки *Microtus arvalis s. l.* в разнотипных луговых биотопах.

Впервые для Беларуси получены и проанализированы данные о внутривидовых особенностях морфологических характеристик черепа обыкновенной полевки в региональном аспекте. По ряду морфотипических характеристик у особей *Microtus arvalis s. str.* выявлены закономерности увеличения размеров краниометрических параметров в направлении юг-север.

Впервые на территории Беларуси проведены филогеографические исследования криптических видов обыкновенной полевки и предложен сценарий послеледниковой истории их расселения в Центральном регионе Европы.

Рекомендации по использованию: результаты исследования используются в учебном процессе для студентов биологических специальностей, при разработке природоохранных мероприятий направленных на сохранение биологического разнообразия, при работе санитарно-эпидемиологических служб.

Область применения: териология, зоология, экология, генетика, цитология, эпидемиология.

РЭЗІЮМЭ

Машкоў Яўген Ігаравіч

КРЫПТЫЧНЫЯ ВІДЫ ЗВЫЧАЙнай ПАЛЁЎКІ *MICROTUS ARVALIS* S. L. У ЛУГАВЫХ ЭКАСІСТЭМАХ БЕЛАРУСІ: СУЧАСНЫ ВІДАВЫ СКЛАД І АНАЛІЗ СТРУКТУРЫ ПАПУЛЯЦЫЙ

Ключавыя словы: звычайная палёўка, усходнееўрапейская палёўка, крыптычныя віды, біятапічная прымеркаванасць, марфалагічная зменлівасць, краніяметрычныя параметры

Мэта даследавання: з выкарыстаннем цытагенетычных і малекулярна-генетычных метадаў вызначыць відавы склад крыптычнай групы *Microtus arvalis* s. l. у рознатыповых лугавых экасістэмах Беларусі, яе прасторава-біятапічную структуру і на падставе мітахандрыяльнага гена цытахрому b (*mtCytb*) ацаніць генетычную разнастайнасць даследаваных відаў-двайнікоў.

Метады даследавання: метады пастка-ліній, цытагенетычныя, малекулярна-генетычныя, марфаметрычныя, статыстычныя.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: упершыню ў Беларусі з выкарыстаннем сучасных метадаў відавой ідэнтыфікацыі ўстаноўлены новыя месцы пасялення крыптычных відаў звычайнай палёўкі *Microtus arvalis* s. l. у рознатыповых лугавых біятопах.

Упершыню для Беларусі атрыманы і прааналізаваны дадзеныя аб унутрыпапуляцыйных асаблівасцях марфалагічных характарыстык чэрапа звычайнай палёўкі ў рэгіянальным разрэзе. Па шэрагу марфатыпічных прыкмет у асобін *Microtus arvalis* s. str. выяўлены заканамернасці павелічэння краніяметрычных паказчыкаў у напрамку поўдзень-поўнач.

Упершыню на тэрыторыі Беларусі праведзены філагеаграфічныя даследаванні крыптычных відаў звычайнай палёўкі і прапанаваны сцэнарый пасляледавіковай гісторыі іх рассялення ў Цэнтральным рэгіёне Еўропы.

Рэкамендацыі па выкарыстанні: вынікі даследавання выкарыстоўваюцца ў навучальным працэсе для студэнтаў біялагічных спецыяльнасцяў, пры распрацоўцы прыродаахоўных мерапрыемстваў накіраваных на захаванне біялагічнай разнастайнасці, пры працы санітарна-эпідэміялагічных службаў.

Вобласць ужывання: тэрыялогія, заалогія, экалогія, генетыка, цыталогія, эпідэміялогія.

RESUME

Mashkou Yauheni Igorevich

CRYPTIC SPECIES OF THE COMMON VOLE *MICROTUS ARVALIS S. L.* IN THE MEADOW ECOSYSTEMS OF BELARUS: MODERN SPECIES COMPOSITION AND ANALYSIS OF POPULATION STRUCTURE

Key words: common vole, Eastern European vole, cryptic species, biotopic confinement, morphological variability, craniometric parameters

Purpose: using cytogenetic and molecular genetic methods to determine the species composition of the cryptic group *Microtus arvalis s. l.* in diverse meadow ecosystems of Belarus, its spatial and biotopic structure and, based on the mitochondrial cytochrome b gene (*mtCytb*), to evaluate the genetic diversity of the studied twin species.

Methods: trap-line method, cytogenetic, molecular genetic, morphometric, statistical.

Results and their novelty: For the first time in Belarus new habitats of cryptic species of the common vole *Microtus arvalis s. l.* in different types of meadow biotopes have been established using modern methods of species identification.

For the first time in Belarus data on intrapopulation features of morphological characteristics of the skull of an ordinary vole in the regional aspect were obtained and analyzed. According to a number of morphotypic characteristics in *Microtus arvalis s. str.* individuals, patterns of increasing the size of craniometric parameters in the south-north direction were revealed.

For the first time in Belarus phylogeographic studies of cryptic species of the common vole were conducted and their the scenario of the post-glacial history of settlement in the Central region of Europe.

Recommendations for use: the results of the study are used in the educational process for students of biological specialties in the development of environmental measures aimed at preserving biological diversity in the work of sanitary and epidemiological services.

Sphere of application: theriology, zoology, ecology, genetics, cytology, epidemiology.

Подписано в печать 17.10.2023 Формат 60x84_{1/16} Бумага офсетная
Печать цифровая Усл.печ.л. 1,6 Уч.изд.л. 1,7 Тираж 60 экз. Заказ 6514
ИООО «Право и экономика» 220072 Минск Сурганова 1, корп. 2 Тел. 8 029 684 18 66
Отпечатано на издательской системе Gestetner в ИООО «Право и экономика»
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий, выданное
Министерством информации Республики Беларусь 17 февраля 2014 г.
в качестве издателя печатных изданий за № 1/185