

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

Объект авторского права

УДК 597.556.333.1.063.7:[591.15+591.524.1(28)](476)

ГОЛОВЕНЧИК
Виктория Ивановна

**СОВРЕМЕННЫЙ СОСТАВ, ВНУТРИВИДОВАЯ ГЕНЕТИЧЕСКАЯ
ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ И ПУТИ ПРОНИКНОВЕНИЯ
ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ ЧУЖЕРОДНЫХ ВИДОВ РЫБ РОДОВ
ТУПОНОСЫЕ И ЧЕРНОМОРСКО-КАСПИЙСКИЕ БЫЧКИ В
ВОДОТОКИ БЕЛАРУСИ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

по специальности 03.02.04 – зоология

Минск, 2023

Диссертационная 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**

Никифоров Михаил Ефимович,
доктор биологических наук, профессор, академик Национальной академии наук Беларуси, заведующий лабораторией молекулярной зоологии ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам»

Ковалева Оксана Владимировна,
кандидат биологических наук, доцент, заведующий кафедрой экологии учреждения образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины»

**Оппонирующая
организация**

Республиканское дочернее унитарное предприятие «Институт рыбного хозяйства» Республиканского унитарного предприятия «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству»

Защита состоится «12» декабря 2023 г., в 14.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 01.32.01 при ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам» по адресу: 220072, г. Минск, ул. Академическая, 27; +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 при ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам».

Автореферат разослан «9» ноября 2023 г.

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций,
кандидат биологических наук



И.И. Лукина

ВВЕДЕНИЕ

Чужеродный вид – это вид, для которого исследуемый регион не является естественным ареалом, а его расселение на новую территорию прямо или косвенно, случайно или умышленно произошло за счет деятельности человека. При этом, если вид наносит экономический или экологический ущерб, то его называют «чужеродным инвазивным видом» (Copp et al., 2005). В настоящее время Понто-Каспийский регион стал мощным источником инвазий в воды Балтийского и Северного морей (Reid, 2002; Casties, 2016), а также в систему Великих американских озер США (Ricciardi, 2000). Расселение гидробионтов в бассейн Балтийского и Северного морей происходит по инвазионным коридорам (Panov et al., 2009): Южному, включающему рр. Дунай и Рейн, Центральному, включающему рр. Днепр, Припять, Висла, Эльба и Рейн; Северному, включающему р. Волгу, оз. Белое, оз. Онежское, оз. Ладога и р. Нева. По территории Беларуси проходит часть Центрального инвазионного коридора, включающая рр. Припять, Пина и Мухавец, соединенные Днепроовско-Бугским каналом.

В Беларуси среди Понто-Каспийских чужеродных видов рыб особое место занимают представители рыб семейства Бычковые. Самым распространенным видом данного семейства в водотоках страны является представитель рыб рода Черноморско-Каспийские бычки *Neogobius Pjin*, 1927 – бычок-песочник *Neogobius fluviatilis* (Pallas, 1814) (Ризевский, 2016). Это один из первых чужеродных видов семейства Бычковые, обнаруженных в водотоках Беларуси – упоминается в р. Днепр с 1882 г. (Дембовецкий, 1882). Представитель рыб рода Тупоносые бычки *Proterorhinus* Smitt, 1900 на территории Беларуси был зарегистрирован только в 2007 г. в р. Припять (Rizevsky, 2007), где в районе г. Пинск составляет большую долю от общей численности чужеродных Понто-Каспийских видов в общем улове молодежи рыб (Ризевский, 2016).

Несмотря на большое количество исследований, посвященных изучению проблемы инвазий Понто-Каспийских видов в водотоки Беларуси (Ризевский, 2016; Ризевский, 2015; Ризевский, 2014; Semenchenko et al., 2017; Семенченко, 2018), требует уточнения вопрос о видовой принадлежности представителя рыб рода Тупоносые бычки, распространенного на территории страны. Согласно первоначальной идентификации по морфологическим признакам он был отнесен к виду бычок-цуцик *Proterorhinus marmoratus* (Pallas, 1814) (Rizevsky, 2007). Однако, учитывая современные данные о структуре рода, которые были получены в том числе с использованием методов молекулярной биологии, таких как филогенетический анализ митохондриальных и ядерных маркеров, изучение их генетической variability и ряда других (Stepien, 2005;

Stepien, 2006), в водотоках Беларуси предполагается обитание западного тупоносого бычка *Proterorhinus semilunaris* (Heckel, 1837). Таким образом, данный вопрос требует уточнения с использованием молекулярно-генетических методов.

В Беларуси также не проводились исследования, направленные на изучение генетической variability чужеродных представителей рыб семейства Бычковые. Такого рода исследования позволяют показать, как проникновение вида на новую территорию отразилось на его генетической variability по сравнению с историческим ареалом. Данный вопрос является важным аспектом при изучении процесса инвазий (Wilson, 2009; Uller, 2011; Janac, 2017).

Требует уточнения вопрос о путях проникновения представителей рыб семейства Бычковые в водотоки Беларуси (Semenchenko et al., 2011; Lipinskaya et al., 2020). В настоящее время считается, что основной путь – это самостоятельное расселение из-за строительства каскада водохранилищ на р. Днепр (Слынько, 2010; Panov et al., 2009). Однако литературные данные (Rizevsky, 2007; Дембовецкий, 1882; Василенко, 2013; Шматков, 2010), в т.ч. о численности видов на отдельных участках рек (Ризевский, 2016), а также особенности биологии видов (Смирнов, 1986), позволяют предположить, что возможен другой путь проникновения – посредством речного транспорта.

Исследования, направленные на решение обозначенных выше вопросов, имеют важное научное-теоретическое и научно-практическое значение при изучении биологического разнообразия в целом и биологических инвазий в частности, а также для прогноза дальнейшего расселения видов, что обуславливает актуальность настоящего исследования.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с научными программами (проектами), темами. Диссертационная работа выполнена в рамках научно-исследовательских работ: тема №28 «Генетические аспекты микроэволюционных процессов у чужеродных и аборигенных видов животных» ГПНИ 2016–2020 гг.; №24 «Пространственно-биотопическое распределение чужеродных видов рыб на участке Припять-Днепровско-Бугский канал-Мухавец» ГПНИ 2016–2020 гг.; Б17У-008 «Выяснение филогенетических связей и генетического полиморфизма бычков (Gobiidae) как инвазивных Понто-Каспийских видов в Восточно-Европейском регионе» БРФФИ 2017–2019 гг.; тренинга «Использование ДНК-технологий для идентификации и изучения инвазивных и находящихся под угрозой исчезновения видов» организованного в рамках проекта Глобальной Таксономической Инициативы (№ P1-33BEL-000149) и

проекта Инициативы «БиоМост» (№ 351225-683op) при поддержке Секретариата Конвенции о биологическом разнообразии, Японского фонда биоразнообразия и Министерства окружающей среды Республики Корея, август 2018 г., Минск, Беларусь.

Тематика работы соответствует Перечню «Приоритетных направлений научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 гг.» (Указ Президента Республики Беларусь от 7 мая 2020 г. № 156), в частности, пункту 3. «Энергетика, строительство, экология и рациональное природопользование: подпункт 8 «Рациональное использование, воспроизводство и управление ресурсами растительного и животного мира, лесными и водными ресурсами».

Цель диссертационного исследования – уточнить видовую принадлежность представителя рыб рода Тупоносые бычки, обитающего в водотоках Беларуси, установить генетическую вариабельность бычка-песочника и представителя рыб рода Тупоносые бычки в историческом и приобретенном ареалах, а также основные пути их проникновения на территорию Беларуси.

Задачи исследования:

1. Уточнить видовую принадлежность представителя рыб рода Тупоносые бычки, обитающего в водотоках Беларуси, на основании молекулярно-генетического анализа;
2. Установить генетическую вариабельность представителя рыб рода Тупоносые бычки в популяциях из исторического и приобретенного ареалов;
3. Установить генетическую вариабельность бычка-песочника в популяциях из исторического и приобретенного ареалов;
4. Определить основные пути проникновения представителя рода Тупоносые бычки и бычка-песочника на территорию Беларуси, в том числе на основании анализа данных о времени расселения видов и данных об интенсивности судоходства в изучаемом регионе.

Объектом исследования являлись: представитель чужеродных видов рыб рода Тупоносые бычки *Proterorhinus* Smitt 1900, распространенный в водотоках Беларуси, и представитель инвазивных видов рыб рода Черноморско-Каспийские бычки *Neogobius* Pjin, 1927 бычки – бычок-песочник *Neogobius fluviatilis* (Pallas, 1814).

Предметом исследования являлась видовая принадлежность представителя рыб рода Тупоносые бычки, а также генетическая вариабельность бычка-песочника и представителя рыб рода Тупоносые бычки в историческом и приобретенном ареале, пути их проникновения на территорию Беларуси.

Научная новизна. Актуализирована видовая принадлежность

представителя рода Тупоносые бычки, распространенного в водотоках Беларуси. Показана его принадлежность к виду западный тупоносый бычок *Proterorhinus semilunaris* (Heckel, 1837). Получены новые данные о генетической вариабельности чужеродных видов рыб: бычок-песочник и западный тупоносый бычок в Беларуси. Показана значительная роль речного транспорта в процессах проникновения изучаемых чужеродных видов рыб в пределы Беларуси на основании проведенного анализа данных о времени расселения видов, их биологии и экологии, а также анализа исторических данных об интенсивности судоходства в исследуемом регионе. Расшифрованы и депонированы в международную базу данных BOLD новые нуклеотидные последовательности митохондриальных генов COI и *cyt b* бычка-песочника и западного тупоносого бычка.

Положения, выносимые на защиту:

1. На территории Беларуси род Тупоносые бычки представлен одним видом – западный тупоносый бычок *Proterorhinus semilunaris* (Heckel, 1837), что корректирует ранее фигурировавшее в публикациях название вида относительно популяции в водотоках Беларуси.

2. Проникновение бычка-песочника в водотоки Беларуси характеризуется «эффектом основателя», что подтверждается отсутствием генетической вариабельности гена *mtcyt b* бычка-песочника в Беларуси и низкой ($H=2$; $Hd=0,020$, $\pi=0,00019$) генетической вариабельностью гена *mtcyt b* бычка-песочника в центральной и северной части Центрального инвазионного коридора по сравнению с особями из исторического ареала ($H=7$; $Hd=0,820$, $\pi=0,00596$).

3. Проникновение западного тупоносого бычка в водотоки Беларуси произошло путем интродукции генетически разнообразных особей посредством речного транспорта, что подтверждается данными о времени обнаружения вида на всем протяжении Центрального инвазионного коридора, численностью на отдельных участках рек, взаимосвязью между продвижением вида по водотокам Центрального инвазионного коридора и интенсивностью судоходства, а также высоким уровнем генетического разнообразия ($H=4$; $Hd=0,713$; $\pi=0,00429$, $0,0055$ для генов *mtCOI* и *mtcyt b* соответственно), наличием в водотоках страны гаплотипов генов *mtCOI* и *mtcyt b* из двух генетически удаленных групп, распространенных в различных областях исторического ареала и в Южном инвазионном коридоре.

Личный вклад соискателя ученой степени в результаты диссертации. В основу работы положен ихтиологический материал, собранный соискателем лично на территории Беларуси, а также образцы рыб, любезно предоставленные автору для исследований: сотрудниками лаборатории ихтиологии ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам; ведущим научным сотрудником отдела ихтиологии и

гидробиологии речных систем Института гидробиологии Национальной академии наук Украины, к.б.н. А.М. Романем; деканом биологического факультета Одесского национального университета им. И.И. Мечникова, к.б.н., доцентом В.В. Заморовым; доцентом кафедры гидробиологии и общей экологии Одесского национального университета им. И.И. Мечникова, к.б.н., доцентом Д.Б. Радионовым и директором гидробиологической станции Одесского национального университета им. И.И. Мечникова, к.б.н., доцентом О.А. Ковтуном, которым соискатель выражает свою искреннюю признательность.

Автором проведена обработка ихтиологического материала, выделение ДНК из биологического материала, получение ПЦР-продуктов, очистка и полная подготовка к секвенированию образцов. Депонирование в BOLD нуклеотидных последовательностей митохондриального гена $mtCOI$, статистическая обработка и анализ полученных результатов, а также интерпретация и их изложение проведены совместно с научным руководителем.

Тема, цель и задачи исследования сформулированы совместно с научным руководителем. Подготовка рукописи кандидатской диссертации выполнена автором лично при консультации научного руководителя. Также автор выражает благодарность за ценные советы заведующему лабораторией ихтиологии ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам» к.б.н., доценту В.К. Ризевскому; ведущему научному сотруднику лаборатории гидробиологии ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам», к.б.н. Т.П. Липинской; научному сотруднику лаборатории экологии низших позвоночных Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова Российской академии наук» к.б.н. Д.А. Медведеву.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов. Основные результаты исследований доложены и обсуждены на 7 международных научных и научно-практических конференциях: международный форум «Ecology and Evolutionary Biology Symposium» (Анкара, Турция, 2019); XVI Международная научная конференция «Молодежь в науке 2019» (Минск, 2019); научный семинар «Инвазивные виды: угроза биологическому разнообразию» (Мозырь, 2019); VIII Международная научная конференция молодых ученых: биотехнологов, вирусологов, молекулярных биологов и биофизиков «Openbio» (Новосибирск, 2021); VI международный симпозиум «Invasion alien species of Holarctic. Borok-VI» (Углич, 2021); международная онлайн конференция «Yong Science Beyond Borders» (Варшава, 2021); международный форум молодых ученых «Наука без границ» (Нижний Новгород, 2022).

Опубликованность результатов диссертации. По материалам диссертации опубликовано 19 научных работ (общий объем – 3,49 авторских листа): 5 статей в изданиях, соответствующих п. 19 «Положения о

присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь», объемом 2,06 авторских листа, 14 публикаций в сборниках материалов и тезисов докладов конгресса, симпозиума, научных конференций.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 122 страницах машинописного текста и состоит из следующих разделов: перечня сокращений и условных обозначений, введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения, списка использованных источников, приложений. Работа содержит 8 таблицами и 23 рисунками общим объемом 17 страниц. Библиографический список источников представлен на 20 страницах и включает 225 литературных источников, из них 151 на иностранных языках. Список работ соискателя включает 19 публикаций.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Постановка проблемы. Динамика расселения чужеродных видов семейства Бычковые.

В первой главе приводится обзор отечественных и зарубежных научных публикаций с 1882 по 2022 гг., посвященных изучению различных аспектов биологических инвазий. Исходя из проведенного анализа литературы можно заключить следующее: в водотоках Беларуси наибольшим числом чужеродных видов рыб представлено Понто-Каспийское семейство Бычковые. Наиболее актуальные для изучения, успешно натурализовавшиеся на территории Беларуси и достигающие высокой численности – бычок-песочник и представитель рода Тупоносые бычки, проблема инвазии которых изучается в различных регионах.

Представитель семейства Бычковые бычок-песочник – инвазивный вид рыб, один из первых зарегистрированных и наиболее широко распространенных Понто-Каспийских видов в водотоках Беларуси. За последние десятилетия он также распространился по рекам бассейнов Черного, Балтийского и Северного морей. Род Тупоносые бычки имеет сложную таксономическую до конца не установленную структуру, а представитель данного рода, обнаруженный в водотоках Беларуси, требует уточнения видовой принадлежности, при помощи методов молекулярной биологии. В Беларуси для изучения Понто-Каспийских видов рыб методы молекулярной биологии ранее не применялись.

Основным путем проникновения, представителей семейства Бычковые в водотоки Беларуси считается самостоятельное расселение по Центральному инвазионному коридору (рисунок 1).



Рисунок 1 – Центральный, Южный и Северный инвазионный коридоры (Panov et al. 2009)

Распространение видов посредством водного транспорта в качестве пути проникновения ранее подробно не рассматривалось, при этом ряд исследований указывает на возможную значительную роль данного вектора в проникновении представителей семейства. Для решения данного вопроса необходимо более детальное изучение литературных данных о времени распространения видов по Центральному инвазионному коридору и данных о судоходстве по рр. Припять и Днепр.

Материалы и методы исследований.

Во второй главе приведен объем ихтиологического материала, собранного в 2016–2019 гг. в рр. Днепр, Припять и Пина (Беларусь), а также в р. Днепр и ее притоках выше Кременчугского водохранилища (Украина). Приведена информация о последовательностях из генетических баз данных. Всего было проанализировано для представителя рыб рода Тупоносые бычки: 80 образцов гена *mtCOI* 565 п.н., 215 образцов гена *mtcyt b* 603 п.н. Для бычка-песочника было проанализировано: 40 образцов гена *mtCOI* 418 п.н., 244 образца гена *mtcyt b* 635 п.н., 27 образцов интрона 1 ядерного гена *S7* 472 п.н. Секвенирование провели в Центре коллективного пользования «Геном» Института генетики и цитологии НАН Беларуси на генетическом анализаторе 3500 Genetic Analyzer (Applied Biosystems, США).

Для изучения генетической вариабельности у рыб широко применяются митохондриальные гены *mtCOI* и *mtcyt b*, и ядерный маркер – интрон 1 ядерного

гена S7. Выбранные маркеры позволяют решать широкий круг задач, от изучения внутривидовой вариативности и систематики видов до филогенетических исследований высших таксономических групп.

Экстракция ДНК выполнялась из особей рыб с использованием набора Genomic DNA Purification with spin column (Jena Bioscience, Германия). Методику производителя адаптировали для работы с образцами ткани рыб: время инкубации образцов от каждой особи в лизирующем буфере увеличили до 12 часов. Для получения целевых фрагментов генов *mtCOI* и *mtcyt b*, а также интрона 1 ядерного гена S7 использовали праймеры, разработанные для семейства Бычковые.

Для изучения генетической вариативности использовались следующие показатели: число гаплотипов, гаплотипическое и нуклеотидное разнообразие. Анализ результатов секвенирования, редактирование и выравнивание последовательностей, филогенетический анализ и построение дендрограмм проводилось в программе MEGA. Анализ генетической вариативности проводили в программе DnaSP 6. Сети гаплотипов строили в программе PopArt (Median join метод).

Видовая принадлежность представителя рыб рода Тупоносые бычки, распространенного в водотоках Беларуси.

В третьей главе приведены результаты определения видовой принадлежности представителя рыб рода Тупоносые бычки, распространенного в водотоках Беларуси, с помощью молекулярно-генетических методов.

Для определения видовой принадлежности представителя рыб рода Тупоносые бычки, обитающего в водотоках Беларуси, были построены дендрограммы (метод максимального правдоподобия (ML), выбор модели для построения дерева – программа jModelTest (модель HKY+G), надежность ветвления была определена бутстреп-анализом с учетом 1000 псевдореплик) для генов *mtCOI* и *mtcyt b* для собственных последовательностей (Беларусь, Украина) и последовательностей из баз генетических данных (Канада, США, страны Западной Европы, Украина).

Анализ дендрограммы показал, что все проанализированные последовательности митохондриальных генов образуют три клады, которые соответствуют отдельным видам: западный тупоносый бычок, каспийский тупоносый бычок (бутстреп поддержка для каждого вида обоих генов 99) и бычок-цуцик (бутстреп поддержка 99 и 100 для генов *mtCOI* и *mtcyt b* соответственно). Образцы с территории Беларуси, полученные в ходе выполнения данной работы, образуют единую кладу с образцами из США, Канады и стран Европы и относятся к виду западный тупоносый бычок (рисунок 2).

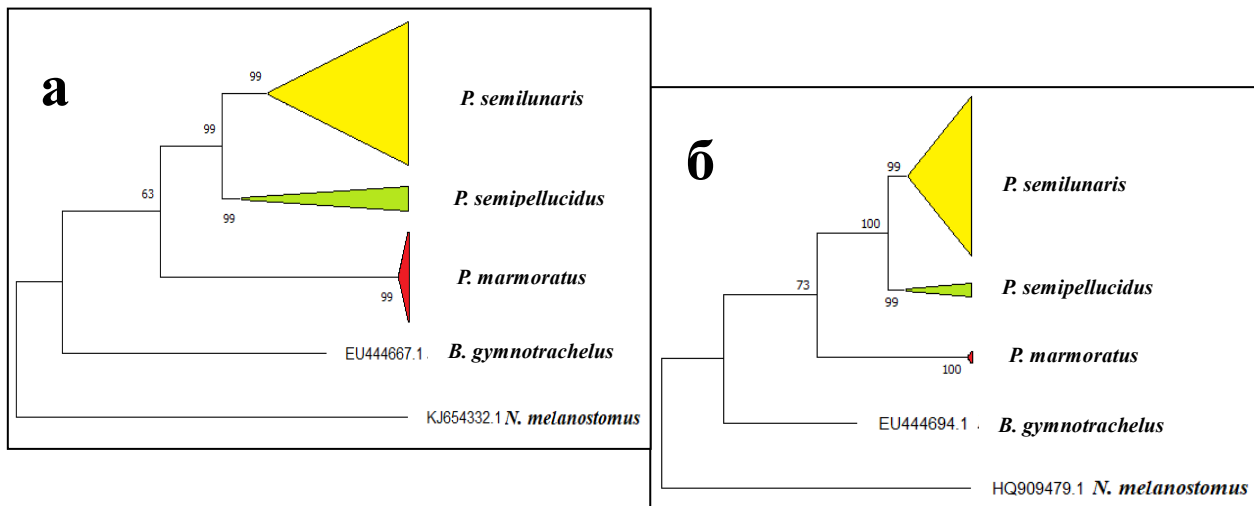


Рисунок 2 – Дендрограмма видов рода Тупоносые бычки на основании анализа: а) гена *mtCOI*; б) гена *mtcyt b*

Для подтверждения видовой принадлежности представителя рыб рода Тупоносые бычки, распространенного в водотоках Беларуси, к виду западный тупоносый бычок были рассчитаны значения внутри и межвидовых генетических дистанций (*D*) (метод Нея), которые показывают уровень генетических различий внутри или между видами. Согласно литературным данным, уровень различий между видами внутри рода Тупоносые бычки равен или выше 2%. Такие значения дистанций были получены при расчете показателей между образцами из Беларуси и образцами из баз данных, соответствующих видам: бычок-цуцик ($D = 0,080$ и $0,170$ гены *mtCOI* и *mtcyt b* соответственно) и каспийский тупоносый бычок ($D = 0,030$ гены *mtCOI* и *mtcyt b*). При расчете дистанций между образцами из Беларуси и образцами из баз данных соответствующих виду западный тупоносый бычок, значения показателей соответствовали уровню внутривидовых различий ($D = 0,005$ и $0,008$ для генов *mtCOI* и *mtcyt b* соответственно).

Таким образом, полученный результат подтверждает принадлежность образцов представителя рыб рода Тупоносые бычки, отловленных в водотоках Беларуси, к виду западный тупоносый бычок *Proterorhinus semilunaris* (Heckel, 1837).

Генетическая вариабельность бычка-песочника и основные пути его проникновения в водотоки Беларуси.

В четвертой главе приведены результаты изучения уровня генетической вариабельности у образцов бычка-песочника из исторического и приобретенного ареалов. Результаты изучения литературных данных об интенсивности судоходства по рр. Днепр и Припять, о времени первой регистрации вида на всей протяженности Центрального инвазионного коридора, а также результаты анализа распространения его гаплотипов.

Генетическая вариабельность бычка-песочника в популяциях в историческом и приобретенном ареалах.

Для определения уровня генетической вариабельности бычка-песочника был проведен сравнительный анализ нуклеотидных последовательностей генов *mtCOI*, *mtcyt b* и интрона 1 ядерного гена *S7* образцов рыб, собранных на разных участках исторического и приобретенного ареалов.

В ходе анализа было обнаружено 14, 5 и 5 гаплотипов генов *mtcyt b*, *mtCOI* и интрона 1 ядерного гена *S7* соответственно. Анализ сети гаплотипов и филогенетического дерева гена *mtCOI* и интрона 1 ядерного гена *S7* показал отсутствие четко выраженной структуры и гаплогрупп. В Центральном инвазионном коридоре встречаются два гаплотипа интрона 1 ядерного гена *S7* – Нар_4 и Нар_5, генетически удаленных друг от друга. При анализе сети гаплотипов гена *mtCOI* в Центральном инвазионном коридоре обнаружено также два гаплотипа Нар_2 и Нар_5, которые генетически близки друг к другу (образуют отдельную кладу) и близки к гаплотипу Нар_1 (рисунок 3).

Анализ сети гаплотипов и филогенетического дерева гена *mtcyt b* показал наличие структуры, на которой можно выделить отдельные элементы – две группы, одну из которых образуют гаплотипы Нар_6, Нар_8, Нар_4, Нар_3, а другую гаплотипы Нар_2, Нар_5, Нар_7 – Нар_14. Анализ показал, что в водотоках Центрального инвазионного коридора встречаются два гаплотипа Нар_1 и Нар_2, которые генетически удалены друг от друга больше, чем от гаплотипов, которые отмечены в водотоках Южного инвазионного коридора и исторического ареала (Нар_10, Нар_7, Нар_9, Нар_13).

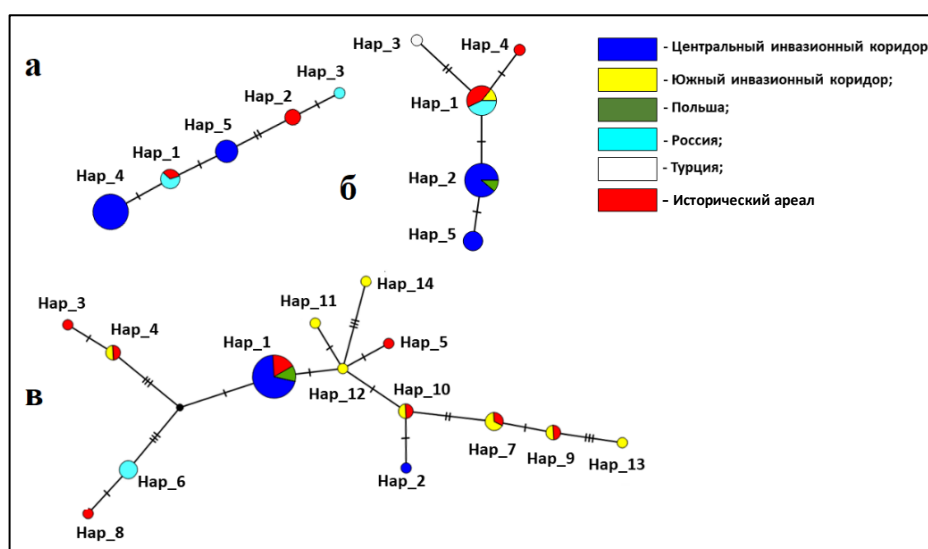


Рисунок 3 – Сеть гаплотипов: а) интрона 1 ядерного гена *S7*; б) гена *mtCOI*; в) гена *mtcyt b* бычка-песочника

Анализ географического распределения гаплотипов гена *mtcyt b* показал, что инвазия бычка-песочника в водотоки Центрального инвазионного коридора привела к потере количества гаплотипов. В Южном инвазионном

коридоре обнаружено 9 гаплотипов, в историческом ареале – 8 гаплотипов, а в Центральном инвазионном коридоре только 2 гаплотипа. При этом широко распространен только гаплотип Нар_1.

Все последовательности гена *mtcyt b* бычка-песочника были разделены на две группы: 1) образцы из приобретенного ареала – центральная и северная часть Центрального инвазионного коридора; 2) образцы из исторического ареала – Черное, Мраморное и Азовское моря. Для каждой группы были рассчитаны показатели генетической variability (гаплотипическое и нуклеотидное разнообразие). В целом, высокий уровень гаплотипического разнообразия говорит о стабильном и эволюционно «здоровом» состоянии популяции, низкий – свидетельствует о наличии так называемого «эффекта основателя», то есть о том, что проникновение вида на новую территорию произошло посредством небольшого числа генетически однородных особей (Абрамсон, 2007). Анализ генетической variability гена *mtcyt b* бычка-песочника показал крайне низкие, приближающиеся к нулю, значения гаплотипического и нуклеотидного разнообразия в изучаемом участке Центрального инвазионного коридора ($Hd=0,020$, $\pi=0,00019$). При этом значения генетического разнообразия для гена *mtcyt b* бычка-песочника из исторического ареала оказалось в несколько раз выше ($Hd=0,820$, $\pi=0,00596$).

Таким образом, проведенный анализ показал, что популяция бычка-песочника в Центральном инвазионном коридоре характеризуется низкими значениями генетического разнообразия.

Основные пути вселения бычка-песочника в водотоки Беларуси.

Продвижение бычка-песочника вверх по р. Днепр началось после старта первой паровой кампании в 1856 г. В водотоках Беларуси бычок-песочник впервые упоминается в 1882 г., раньше, чем в Киевском водохранилище, где вид был отмечен только в 1914 г. Однако и в Киевском водохранилище бычок-песочник впервые отмечен еще до начала строительства водохранилищ на р. Днепр в 1932 г., но после увеличения интенсивности перевозки грузов в начале XX века.

Таким образом, расстояние от Кременчугского водохранилища до бассейна р. Днепр на территории Беларуси, что составляет более 250 км, бычок-песочник преодолел за 26 лет. Следует говорить о скачкообразном расселении вида по руслу р. Днепр. Учитывая особенности гидрологического режима реки на территории Украины, природные явления, такие как паводки и быстрое течение, не могли способствовать столь стремительному расселению вида вверх по течению. Изначально распространение бычка-песочника по р. Днепр не было связано со строительством водохранилищ и началось после старта интенсивного судоходства на рр. Днепр и Припять, что указывает на роль речного транспорта в проникновении

вида в водотоки на территории Беларуси.

Анализ географического распределения гаплотипа гена *mtcyt b* бычка-песочника, распространенного в водотоках Беларуси, показывает, что на всем протяжении от Киевского водохранилища и вплоть до Балтийского моря, включая рр. Стырь и Случь, распространен единственный гаплотип Нар_1 (рисунок 4). Анализ нуклеотидных последовательностей, представленных в базах данных показал, что обнаруженный гаплотип распространен также в историческом ареале в устьях р. Днепр (д. Днепряны, Херсонская область) и р. Днестр (г. Белгород-Днестровский), а также в Днестровском и Тилигульском лиманах, встречается в р. Рейн (Южный инвазионный коридор). Можно предположить, что это один из предковых гаплотипов – представители вида с гаплотипом Нар_1 гена *mtcyt b* еще в начале XIX века начали свое распространение по р. Днепр, к XX веку расселились на всем его протяжении и заняли доминирующее положение.

Исходя из крайне низких показателей генетической variability, установленных для вида в водотоках Центрального инвазионного коридора, и его отсутствия у особей, отловленных в водотоках Беларуси, следует говорить о проникновении на новую территорию небольшого числа генетически однородных особей, т.е. наличием «эффекта основателя». Это может быть обусловлено конструктивными особенностями различных речных судов, используемых в то время, а также географией транспортных путей, которая часто была ограничена только речным руслом и не затрагивала места обитания основной популяции вида. Переноситься могли единичные особи, проникавшие из устья Днепра вверх по течению.

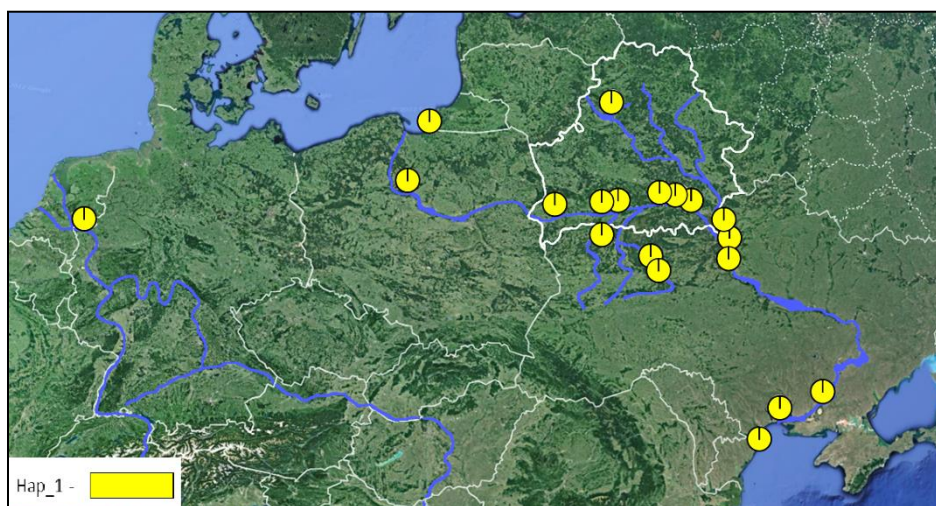


Рисунок 4 – Географическое распределение гаплотипа гена *mtcyt b* бычка-песочника, обнаруженного в Беларуси

Учитывая все рассмотренные аспекты, можно говорить о том, что проникновение бычка-песочника на территорию Беларуси, произошло в конце XIX века после начала интенсивного судоходства на рр. Днепр и Припять,

вероятнее всего, посредством речного транспорта и привело к так называемому «эффекту основателя».

Генетическая вариабельность западного тупоносового бычка и основные пути его проникновения в водотоки Беларуси.

В пятой главе приведены результаты изучения уровня генетической вариабельности у образцов западного тупоносового бычка из исторического и приобретенного ареалов, результаты изучения литературных данных об интенсивности судоходства по рр. Днепр и Припять, о времени первой регистрации вида на всей протяженности Центрального инвазионного коридора, а также результаты анализа распространения его гаплотипов.

Генетическая вариабельность западного тупоносового бычка в популяциях в историческом и приобретенном ареалах.

Для определения уровня генетической вариабельности западного тупоносового бычка был проведен сравнительный анализ нуклеотидных последовательностей генов *mtCOI* и *mtcyt b* образцов рыб, собранных на разных участках исторического и приобретенного ареалов.

В ходе анализа последовательностей генов западного тупоносового бычка было обнаружено 26 и 9 гаплотипов генов *mtcyt b* и *mtCOI* соответственно. Анализ сети и филогенетического дерева гаплотипов генов *mtcyt b* и *mtCOI* показал схожий результат. На обеих сетях можно выделить две генетически удаленные друг от друга группы. Гаплотипы обеих генов из первой группы распространены в Центральном и Южном инвазионном коридорах. Гаплотипы из второй группы в обоих случаях распространены в историческом ареале, Северной Америке и Центральном инвазионном коридоре (рисунок 5).

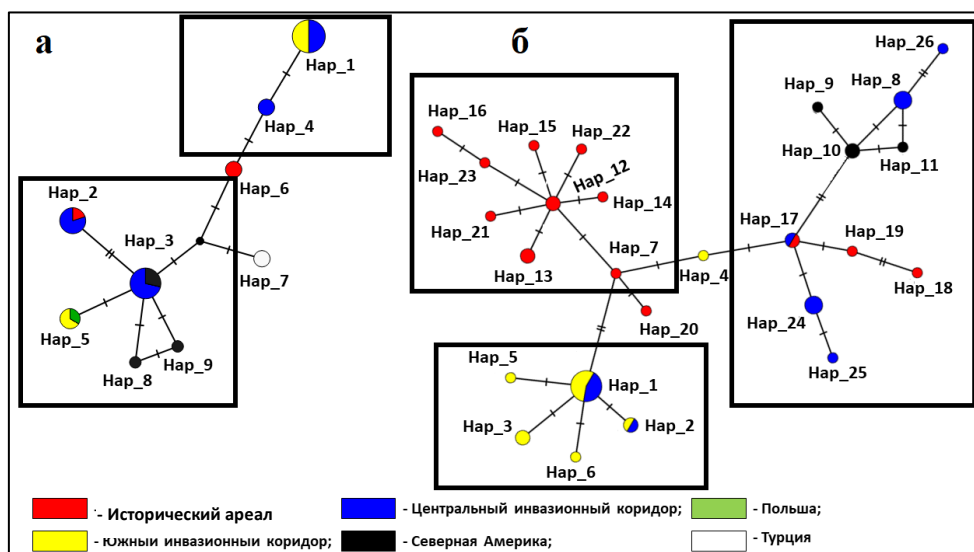


Рисунок 5 – Сеть гаплотипов: а) гена *mtCOI*; б) гена *mtcyt b* западного тупоносового бычка

Гаплотипы из обеих групп встречаются в водотоках Беларуси. Всего в историческом ареале обнаружено 3 гаплотипа гена *mtCOI* и 13 гаплотипов гена *mtcyt b*, в Центральном инвазионном коридоре – 4 гаплотипа *mtCOI* и 7 гаплотипов гена *mtcyt b*.

Все последовательности обоих генов западного тупоносого бычка были разделены на три группы: 1) образцы из приобретенного ареала – Центральный инвазионный коридор; 2) образцы из исторического ареала – Черное и Мраморное моря, Симферопольское водохранилище; 3) образцы из водотоков Беларуси. Для каждой группы были рассчитаны показатели генетического разнообразия. Анализ данных генетической вариабельности молекулярных маркеров западного тупоносого бычка в изучаемой части Центрального инвазионного коридора показал отличную от бычка-песочника картину. Оба гена характеризуются высокими значениями генетического разнообразия в Центральном инвазионном коридоре ($Hd=0,736, 0,764$; $\pi=0,0041, 0,0063$ для генов *mtCOI* и *mtcyt b* соответственно) и Беларуси ($Hd=0,713$; $\pi=0,00429, 0,0055$ для генов *mtCOI* и *mtcyt b* соответственно), сравнимыми с таковыми с историческим ареалом ($Hd=0,714, 0,872$; $\pi=0,0035, 0,0057$ для генов *mtCOI* и *mtcyt b* соответственно).

Такие показатели генетической вариабельности, как правило, характерны для стабильных и генетически целостных популяций, которые расширяют свой ареал с участием большого числа основателей на новых территориях (Абрамсон, 2007). Таким образом, проведенный анализ показал, что популяция западного тупоносого бычка в Центральном инвазионном коридоре характеризуется высокими значениями генетического разнообразия. Сходные данные были получены американскими учеными при изучении инвазий бычка-кругляка в систему Великих озер, и объяснены множественной интродукцией генетически разнообразных особей.

Основные пути проникновения западного тупоносого бычка в водотоки Беларуси.

Согласно Л.С. Бергу западный тупоносый бычок, также как и бычок-песочник, впервые был обнаружен вверх по течению р. Днепр после старта первой паровой кампании. Однако его расселение происходило медленнее: в 1856 г. он отмечен в районе Каменска; в 1874 г. – в районе Кременчуга; в 1937 г., во время интенсификации судоходства перед Второй мировой войной – в районе Каневского водохранилища; в 1980-м г., после того как объемы перевозимых грузов достигли одного из наиболее высоких показателей в XX веке – в районе Киева (рисунок 6).

Таким образом, для преодоления того же, как и у бычка-песочника расстояния, вверх по течению р. Днепр от Кременчугского водохранилища до бассейна Днепра на территории Беларуси, западному тупоносому бычку

потребовалось 133 года. Процесс распространения вида включает период строительства каскада водохранилищ на р. Днепр (с 1920-х годов) и может быть обусловлен деятельностью созданных гидротехнических сооружений, т.е. самостоятельным распространением вида в изменившихся гидрологических условиях.

В тоже время следует обратить внимание на то, что в Беларуси вид впервые был зарегистрирован в 2007 г., после начала интенсификации перевозки грузов из порта Микашевичи в порты Украины, после выхода в море судна типа «река-море». Западный тупоносый бычок был зарегистрирован в районе, где канал от порта в Микашевичах впадает в р. Припять. В этом же районе, фиксировалась наибольшая доля западного тупоносого бычка в уловах молоди рыб (Ризевский В.К., 2016). В р. Пина доля западного тупоносого бычка на втором месте после бычка-песочника, и постепенно снижается вниз по течению р. Припять, по направлению к Мозырскому району. Высокая численность вида на участках р. Припять в Беларуси, учитывая короткий промежуток времени с момента его первой регистрации, говорит о проникновении большого числа особей.

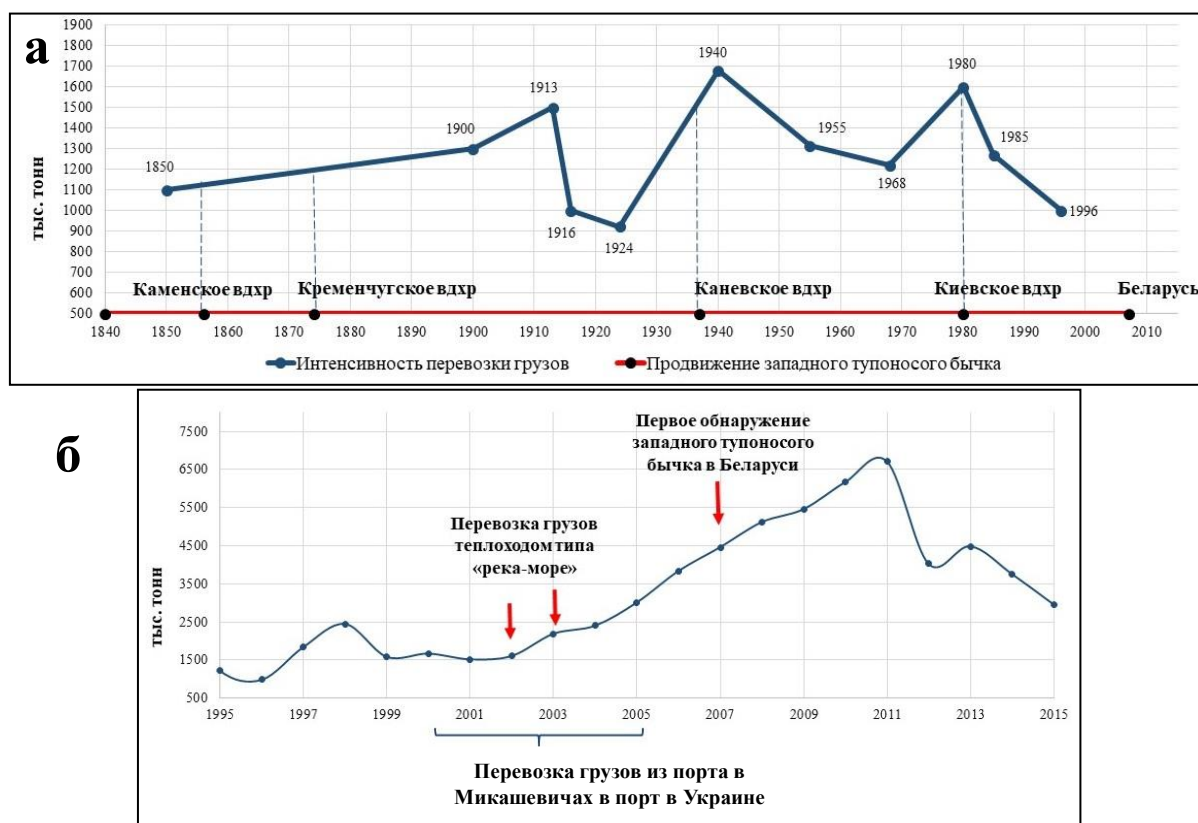


Рисунок 6 – Объем перевозимых грузов по реке Днепр и притокам а) расселение западного тупоносого бычка вверх по Центральному инвазионному коридору; б) первое обнаружение западного тупоносого бычка на территории Беларуси

На территории Беларуси было обнаружено по 4 гаплотипа генов *mtCOI* и *mtcyt b* тупоносого бычка. Анализ распространения гаплотипов обоих генов показывает практически идентичную картину. В Беларуси представлены гаплотипы из двух генетически удаленных групп, одна из которых представлена по всему Южному инвазионному коридору, другая – в прибрежных водах Крымского полуострова, включая Симферопольское водохранилище (северо-восточная часть Черного моря в историческом ареале) (рисунок 7).

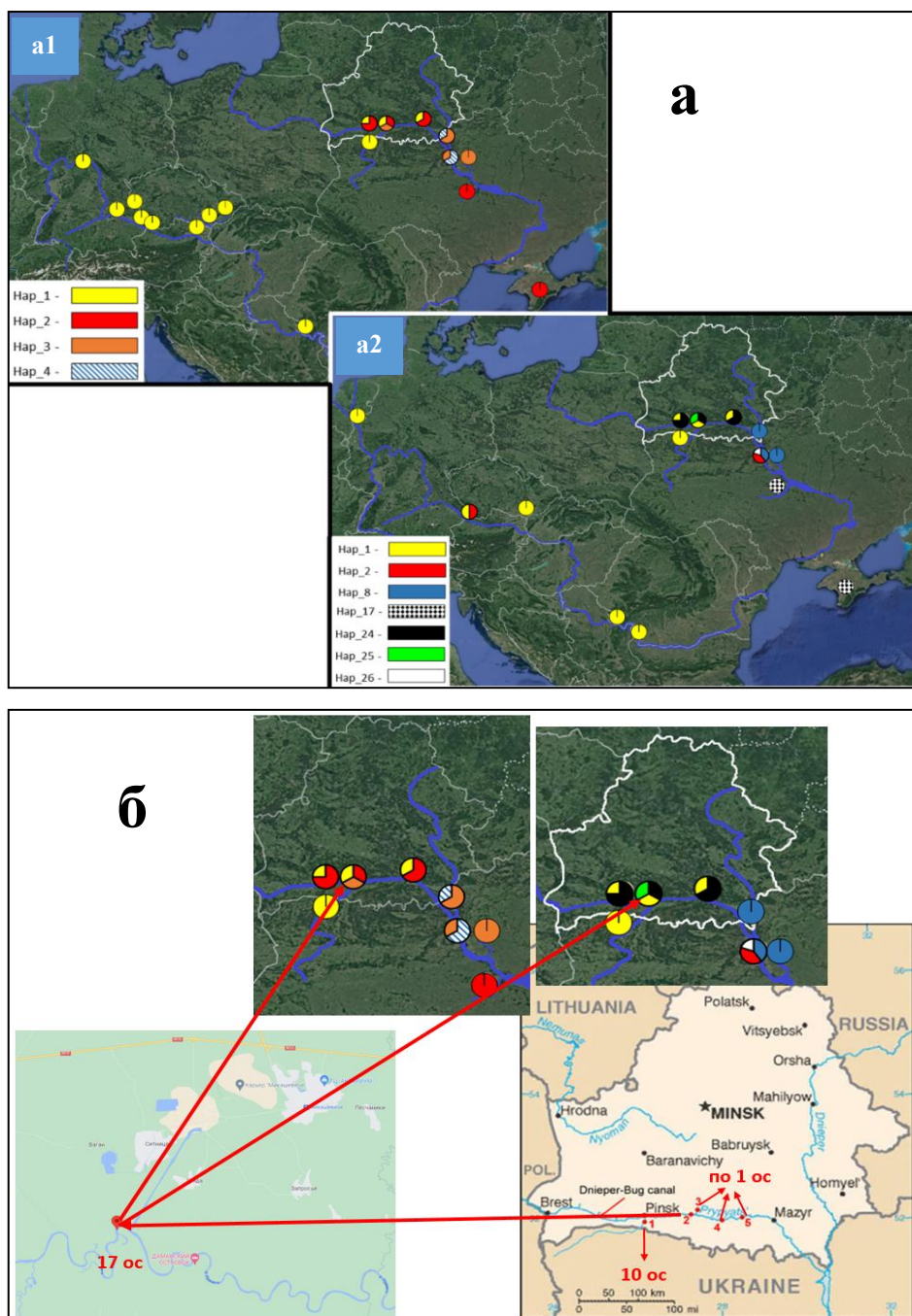


Рисунок 7 – Распространение гаплотипов западного тупоносого бычка, обнаруженных в водотоках Беларуси а) географическое распределение гаплотипов гена: а1) *mtCOI*; а2) *mtcyt b*; б) гаплотипы, обнаруженные в месте возле впадения канала Микашевичи в р. Принять

Наибольшее количество гаплотипов, а именно три – гаплотип гена *mtCOI* Нар_1, который генетически удален от гаплотипов Нар_2 и Нар_3, и гаплотип гена *mtcyt b* Нар_1, который генетически удален от гаплотипов Нар_24 и Нар_25 наблюдается в р. Припять в районе д. Гольцы (между портом Микашевичи и портом Пинск) (рисунок 7б). В р. Днепр, на границе с Украиной в районе д. Нижние Жары, обнаружены гаплотипы, которые встречаются в Киевском водохранилище и притоках р. Днепр. Генетическая удаленность выявленных гаплотипов у особей, исследованных на участках р. Припять, а также наблюдаемая генетическая вариабельность в районе порта (см. выше) может быть обусловлена множественной интродукцией.

Учитывая информацию о том, что западный тупоносый бычок: 1) начал свое продвижение вверх по р. Днепр значительно раньше строительства на ней первого водохранилища; 2) в водотоках Беларуси характеризуется наибольшей численностью в р. Припять в районе порта Микашевичи, а на границе с Украиной его численность в р. Днепр снижается; 3) в водотоках Беларуси характеризуется генетической неоднородностью популяции; а также учитывая информацию о взаимосвязи уровня интенсивности судоходства по р. Днепр и притокам с расселением вида, – с большой долей вероятности можно предположить, что проникновение западного тупоносого бычка на территорию Беларуси произошло путем множественной интродукции в р. Припять посредством речного транспорта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. На территории Беларуси обитает представитель рыб рода Тупоносые бычки – западный тупоносый бычок. Образцы генов *mtcyt b* и *mtCOI* представителя рыб рода Тупоносые бычки, отловленные в водотоках Беларуси, на дендрограмме образуют единые клады с образцами генов, принадлежащих виду западный тупоносый бычок [5–А, 9–А, 15–А].

2. Образцы гена *mtcyt b* бычка-песочника на филогенетическом дереве образуют две подклады, соответствующие каспийской и черноморской линиям. Образцы из Центрального инвазионного коридора, включая территорию Беларуси, входят в кластер черноморской линии [2–А, 12–А].

3. Бычок-песочник, распространенный в водотоках Центрального инвазионного коридора, характеризуется низкими значениями генетического разнообразия, рассчитанного для гена *mtcyt b* ($H=2$; $Hd=0,020$, $\pi=0,00019$). При этом значения генетического разнообразия гена *mtcyt b* бычка-песочника из

исторического ареала оказались более чем в 30 раз выше ($H=7$; $Hd=0,820$, $\pi=0,00596$). В водотоках Беларуси обнаружен только один гаплотип гена *mtcyt b* бычка-песочника, который также встречается в историческом ареале в устье р. Днепр. Полученный результат свидетельствует о том, что инвазия вида в водотоки Беларуси привела к «эффекту основателя» [2–А, 3–А, 6–А, 7–А, 11–А, 12–А].

4. Расселение бычка-песочника вверх по Центральному инвазионному коридору и заселение водотоков на территории Беларуси началось раньше, чем строительство водохранилищ на р. Днепр, с 1850-х годов, что совпадает с началом первой паровой компании на р. Днепр. Через 26 лет после обнаружения в Кременчугском водохранилище, бычок-песочник был выявлен в бассейне р. Днепр на территории Беларуси (1882 г.), преодолев более 250 км вверх по течению, что в отсутствие системы водохранилищ говорит об интродукции посредством речного транспорта, как наиболее вероятном пути проникновения вида в водотоки страны [3–А, 7–А, 10–А, 18–А].

5. Западный тупоносый бычок характеризуется высокими значениями генетического разнообразия в Центральном инвазионном коридоре ($H=5$, 7; $Hd=0,736$, 0,764; $\pi=0,0041$, 0,0063 для генов *mtCOI* и *mtcyt b* соответственно) и Беларуси ($H=4$; $Hd=0,713$; $\pi=0,00429$, 0,0055 для генов *mtCOI* и *mtcyt b* соответственно), сравнимыми с таковыми с историческим ареалом ($H=3$, 13; $Hd=0,714$, 0,872; $\pi=0,0035$, 0,0057 для генов *mtCOI* и *mtcyt b* соответственно). В Беларуси представлены гаплотипы западного тупоносого бычка из двух генетически удаленных групп, одна из которых представлена по всему Южному инвазионному коридору, а другая в историческом ареале в водах возле Крымского полуострова, в частности, в Симферопольском водохранилище (бассейн Черного моря). В р. Припять в районе д. Гольцы обнаружено наибольшее количество гаплотипов из разных групп. Генетическая неоднородность особей вида на территории Беларуси свидетельствует о множественной интродукции. [1–А, 3–А, 4–А, 8–А, 14–А, 17–А, 19–А].

6. В водотоках Беларуси западный тупоносый бычок впервые был обнаружен в районе впадения канала от порта в Микашевичах в р. Припять, после интенсификации перевозки грузов с территории Беларуси в украинские порты. В этой же точке вид характеризуется наибольшей численностью и генетическим разнообразием. Таким образом, полученный результат позволяет предположить, что западный тупоносый бычок проник на территорию Беларуси путем множественной интродукции в р. Припять посредством речного транспорта [1–А, 3–А, 4–А, 10–А, 16–А].

7. Последовательности гена *mtCOI* бычка-песочника и западного тупоносого бычка полученные в ходе выполнения работы размещены в

международной базе данных нуклеотидных последовательностей BOLD за приоритетом ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам» [1–А, 2–А, 3–А, 4–А, 13–А].

Рекомендации по практическому использованию результатов

Полученные результаты о видовой принадлежности представителя рыб рода Тупоносые бычки, распространенного в водотоках Беларуси, дополняют имеющиеся данные о структуре данного таксона, характере и закономерностях распространения чужеродных видов рыб в различных водотоках. Информация о генетической вариабельности в популяции западного тупоносого бычка и бычка-песочника, распространенной в Центральном инвазионном коридоре, имеет важное значение для понимания процессов, происходящих на генетическом уровне при распространении видов на новые территории, а также для понимания основных путей проникновения видов на территорию Беларуси.

Полученные сведения рекомендуется использовать в научных исследованиях, связанных с мониторингом животного мира, изучением различных аспектов биологических инвазий, для выполнения задач Национальной стратегии и плана действий по сохранению и устойчивому использованию биологического разнообразия Республики Беларусь.

Последовательности гена $mtCOI$, полученные для чужеродных видов бычка-песочника и западного тупоносого бычка размещенные в базе данных BOLD, рекомендуется использовать для исследований, связанных с изучением филогенетической и генетической структуры таксонов.

Полученные результаты исследования внедрены в учебный процесс студентов 1, 4 курсов, специализирующихся на кафедре экологии геолого-географического факультета и магистрантов 1 курса специальности 1-33 80 01 «Экология» Гомельского государственного университета им. Ф. Скорины (акт внедрения от 26.11.2019).

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

Статьи в научных журналах, включенных в перечень ВАК

1–А. Генетическая вариабельность гена COI у чужеродных и аборигенных популяций западного тупоносого бычка (*Proterorhinus semilunaris* (Heckel, 1837)) / **В. И. Головенчик**, Е. С. Гайдученко, В. К. Ризевский, А. М. Романь, Т. П. Липинская // Природ. ресурсы. – 2020. – № 1. – С. 23–30.

2–А. Генетический полиморфизм популяции бычка-песочника (*Neogobius fluviatilis* (Pallas, 1814)) в водных объектах Беларуси на основе анализа последовательностей гена COI / **В. И. Головенчик**, Е. С. Гайдученко, В. К. Ризевский, Т. П. Липинская // Весн. Мазыр. дзярж. пед. ун-та імя І. П. Шамякіна. – 2020. – № 1. – С. 16–23.

3–А. Сравнительный анализ генетической вариабельности популяций понто-каспийских видов бычка-песочника и западного тупоносого бычка обитающих в водотоках Беларуси / **В. И. Головенчик**, Е. С. Гайдученко, В. К. Ризевский, А. М. Романь, Т. П. Липинская // Вес. БДПУ. Сер. 3, Фізика. Матэматыка. Інфарматыка. Біялогія. Геаграфія. – 2020. – № 3. – С. 5–10.

4–А. Оценка уровня генетического полиморфизма гена *cyt b* мтДНК в популяциях западного тупоносого бычка (*Proterorhinus semilunaris* (Heckel, 1837)) как одного из способов выявления путей проникновения вида в реки Беларуси / **В. И. Головенчик**, Е. С. Гайдученко, В. К. Ризевский, А. М. Романь, Т. П. Липинская // Вестн. Фонда фундам. исслед. – 2020. – № 3 – С. 87–98.

5–А. Определение видовой принадлежности представителей рода *Proterorhinus*, обитающих в водных объектах Беларуси молекулярно-генетическими методами / **В. И. Головенчик**, Е. С. Гайдученко, В. К. Ризевский, А. М. Романь, Т. П. Липинская // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси : сб. науч. тр. / Ин-т рыб. хоз-ва, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по животноводству. – Минск, 2020. – Вып. 36. – С. 180–190.

Материалы конференций

6–А. Генетический полиморфизм гена цитохром оксидазы бычка-песочника *Neogobius fluviatilis* (Pallas, 1814) в Беларуси и в сопредельных странах / **В. И. Головенчик**, Е. С. Гайдученко, В. К. Ризевский, А. П. Григорчик, Д. Б. Радионов, В. В. Заморов, А. В. Романь // Актуальные проблемы охраны животного мира в Беларуси и сопредельных регионах : Материалы I Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 15–18 окт. 2018 г. / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по биоресурсам ; редкол. : А. В. Кулак (пред.) [и др.]. – Минск, 2018. – С. 78–83.

7–А. Генетическая вариабельность генов COI и *cyt b* у бычка-песочника в Беларуси и сопредельных странах / **В. И. Головенчик**, Е. С. Гайдученко, Д. А.

Медведев, В. К. Ризевский, А. В. Романь // 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 75–78.

8–А. **Головенчик В. И.** Генетическая вариабельность гена цитохром оксидазы бычка-цуцика *Proterorhinus marmoratus* (Pallas, 1814) в Беларуси и в сопредельных странах // Седьмая международная научная конференция студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых сети центров аквакультуры в Центральной и Восточной Европе (НАСЕЕ) : сб. материалов конф., Горки, 11–14 дек. 2018 г. / Белорус. гос. с.-х. акад. [и др.] ; редкол. : Н. Барулин, С. Лендел. – Горки, 2019. – С. 68–70.

9–А. Видовая принадлежность представителей рода *Proterorhinus*, обитающих в водных объектах Беларуси, на основании анализа последовательностей гена *cyt b* / **В. И. Головенчик**, Е. С. Гайдученко, В. К. Ризевский, А. М. Романь, Т. П. Липинская // Сучасні проблеми раціонального використання водних біоресурсів : зб. матеріалів II Міжнар. наук.-практ. конф., Київ, 27–29 жовт. 2020 р. / Ін-т риб. госп-ва Нац. акад. аграр. наук України. – Київ, 2020. – С. 29–31.

10–А. **Головенчик В. И.** Вероятный путь проникновения западного тупоносого бычка и бычка-песочника на территорию Беларуси на основании анализа их генетической вариабельности // Science SPbU – 2020 : сб. материалов междунар. конф. по естеств. и гуманитар. наукам, 25 дек. 2020 г. / С.-Петербург. гос. ун-т. – СПб., 2021. – С. 753–754.

Тезисы докладов конференций

11–А. Invasion of the Ponto-Caspian species of Gobiidae in the Eastern European region / Н. S. Gajduchenko, V. Halavenchyk, V. Rizevsky, A. Grigirchik, D. Radionov, A. Roman, N. Balashenko // Neobiota – 2018 : 10th Intern. conf. on boil. Invasions : new directions in invasion biology, Dublin, 4–7 Sept. 2018 : bk. abstr. – Dublin, 2018. – P. 81.

12–А. Генетический полиморфизм бычка-песочника *Neogobius fluviatilis* (Pallas, 1814) в Беларуси и в сопредельных странах / **В. И. Головенчик**, Е. С. Гайдученко, А. П. Кудрицкая, Д. А. Медведев // Молодежь в науке – 2018 : XV Междунар. науч. конф. молодых ученых : тез. докл., [Минск, 29 окт. – 1 нояб. 2018 г.] / Нац. акад. наук Беларуси, Совет молодых ученых ; редкол. : В. Г. Гусаков (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2018. – С. 50.

13–А. The first effort to establish DNA barcode reference library of Gobiidae species for Belarus and Ukraine using DNA barcoding / Н. S. Gajduchenko, **V. I. Golovenchik**, Т. Lipinskaya, А. Roman, D. Radionov, V. Zamorov // Scientific abstracts from the 8th International barcode of life conference, Trondheim, 17–20 June 2019 / NTNU Univ. Museum [et al.] ; ed. : S. J. Adamowicz [et al.]. – Trondheim, 2019. – Vol. 62 : Genom. – P. 376.

14–А. Genetic variability of gene COI of *Proterorhinus semilunaris* in Belarus and neighboring countries / **V. I. Golovenchik**, H. S. Gajduchenko, V. Rizevsky, A. Roman, T. Lipinskaya // EEBST 2019 : Ecology and evolutionary biology symposium, [Ankara], 10–12 July 2019 : abstr. bk. / Ankara Univ. [et al.]. – Ankara, 2019. – P. 66.

15–А. Данные о видовой принадлежности представителей рода *Proterorhinus*, обитающих в водных объектах Беларуси, на основании анализа последовательности гена COI / **В. И. Головенчик**, Е. С. Гайдученко, В. К. Ризевский, А. Романь, Т. П. Липинская // Молодежь в науке – 2019 : аграрные, биологические, гуманитарные, медицинские, физико-математические, физико-технические, химия и науки о Земле : Тез. докл. XVI Междунар. науч. 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. 141–143.

16–А. **Головенчик В. И.**, Гайдученко Е. С., Липинская Т. П. Способ проникновения западного тупоносового бычка (*Proterorhinus semilunaris* (Heckel, 1837)) на территорию Беларуси на основании анализа гена *cyt b* // Молодежь в науке – 2020 : аграрные, биологические, гуманитарные, медицинские, физико-математические, физико-технические, химия и науки о Земле: Тез. докл. XVII Междунар. науч. конф. (Минск, 22–25 сент. 2020 г.) / Нац. акад. наук Беларуси, Совет молодых ученых ; редкол. : В. Г. Гусаков (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2020. – С. 156–158.

17–А. **Головенчик В. И.**, Гайдученко Е. С., Липинская Т. П. Генетическая вариабельность гена *cyt b* у видов рыб рода *Proterorhinus* // Молодежь в науке – 2021 : 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 : Аграрные, биологические, гуманитарные науки и искусства. – С. 157–159.

18–А. **Головенчик В. И.**, Гайдученко Е. С., Липинская Т. П. Вектор распространения бычка-песочника (*Neogobius fluviatilis* (Pallas, 1814)) в Белорусскую часть Центрального Инвазионного коридора на основании анализа генетической вариабельности // VIII Международная научно-практическая конференция молодых ученых : биофизиков, биотехнологов, молекулярных биологов и вирусологов : сб. тез., [Кольцово, 5–7 окт. 2021 г.] / АНО «Инновационный центр Кольцово» [и др.]. – Новосибирск; Кольцово, 2021. – С. 273.

19–А. Genetic diversity of the genes COI and the *cyt b* of the western tubenose goby in the Belarusian part of the Central invasion corridor / **V. Golovenchik**, H. Gajduchenko, V. Rizevsky, T. Lipinskaya // Invasion of alien species in holarctic. Borok-VI : Sixth Intern. symp. : bk. of abstr., Borok – Uglich, 11–15 Oct. 2021 / Russ. Acad. of Sciences (RAS) [et al.] ; ed. : Yu. Yu. Dgebuadze [et al.]. – Kazan, 2021. – P. 80.

РЭЗІЮМЭ

Галавенчык Вікторыя Іванаўна

Сучасны склад, унутрывідавая генетычная варыябельнасць і шляхі пранікнення прадстаўнікоў чужародных відаў рыб родаў Тупаносыя і Чарнаморска-каспійскія бычкі ў вадацёкі Беларусі

Ключавыя словы: чужародныя віды рыб, генетычная варыябельнасць, гаплатыпічная разнастайнасць, нуклеатыдная разнастайнасць, шляхі пранікнення, сямейства Бычковыя, заходні тупаносы бычок, бычок-пясочнік, *Protherorhinus*, *Neogobius*.

Мэта даследавання: удакладніць відавую прыналежнасць прадстаўніка рыб роду Тупаносыя бычкі, якія жывуць у вадацёках Беларусі, а таксама ўстанавіць генетычную разнастайнасць бычка-пясочніка і прадстаўнікоў рыб роду Тупаносыя бычкі ў гістарычным і набытым арэалах, а так сама асноўныя шляхі іх пранікнення на тэрыторыю Беларусі.

Метады даследавання: іхтэалагічныя (збор матэрыялу), малекулярна-генетычныя (атрыманне мэтавых фрагментаў гена, секвеніраванне), біяінфарматычны аналіз дадзеных.

Атрыманыя вынікі і іх навізна. Актуалізавана відавая прыналежнасць прадстаўніка рыб роду Тупаносыя бычкі, распаўсюджанага у вадацёках Беларусі. Паказана яго прыналежнасць да віду заходні тупаносы бычок *Protherorhinus semilunaris* (Heckel, 1837). Атрыманы новыя дадзеныя аб унутрывідаввой генетычнай варыябельнасці чужародных відаў рыб: бычок-пясочнік і заходні тупаносы бычок у Беларусі. Паказана значная роля рачнога транспарту ў працэсах пранікнення чужародных відаў рыб, якія вывучаюцца у дадзеным даследаванні, у межы Беларусі на падставе праведзенага аналізу дадзеных аб часе рассялення відаў, іх біялогіі і экалогіі, а таксама аналізу гістарычных дадзеных аб інтэнсіўнасці суднаходства ў даследаваным рэгіёне. Расшыфраваны і дэпанаваны ў міжнародную базу дадзеных BOLD новыя нуклеатыдныя паслядоўнасці мітахандрыяльных генаў COI і *cyt b* бычка-пясочніка і заходняга тупаносага бычка.

Рэкамендацыі па выкарыстанні атрыманых вынікаў. Атрыманыя дадзеныя выкарыстоўваюцца ў навучальным працэсе для студэнтаў біялагічных спецыяльнасцяў. Вынікі рэкамендуецца выкарыстоўваць арганізацыям, якія займаюцца пытаннямі аховы і рацыянальнага выкарыстання рэсурсаў жывёльнага свету.

Галіна прымянення: іхтыялогія, заалогія, экалогія, прыродаахоўная дзейнасць, генетыка.

РЕЗЮМЕ

Головенчик Виктория Ивановна

Современный состав, внутривидовая генетическая вариабельность и пути проникновения представителей чужеродных видов рыб родов Тупоносые и Черноморско-каспийские бычки в водотоки Беларуси

Ключевые слова: чужеродные виды рыб, генетическая вариабельность, гаплотипическое разнообразие, нуклеотидное разнообразие, пути проникновения, семейство Бычковые, западный тупоносый бычок, бычок-песочник, *Protherorhinus*, *Neogobius*.

Цель исследования: уточнить видовую принадлежность представителя рыб рода Тупоносые бычки, обитающего в водотоках Беларуси, установить генетическую вариабельность бычка-песочника и представителя рыб рода Тупоносые бычки в историческом и приобретенном ареалах, а также основные пути их проникновения на территорию Беларуси.

Методы исследования: ихтиологические (сбор материала), молекулярно-генетические (получение целевых фрагментов гена, секвенирование), биоинформатический анализ данных.

Полученные результаты и их новизна. Актуализирована видовая принадлежность представителя рыб рода Тупоносые бычки, распространенного в водотоках Беларуси. Показана его принадлежность к виду западный тупоносый бычок *Protherorhinus semilunaris* (Heckel, 1837). Получены новые данные о генетической вариабельности чужеродных видов рыб: бычок-песочник и западный тупоносый бычок в Беларуси. Показана значительная роль речного транспорта в процессах проникновения изучаемых чужеродных видов рыб в пределы Беларуси на основании проведенного анализа данных о времени расселения видов, их биологии и экологии, а также анализа исторических данных об интенсивности судоходства в исследуемом регионе. Расшифрованы и депонированы в международную базу данных BOLD новые нуклеотидные последовательности митохондриальных генов COI и *cyt b* бычка-песочника и западного тупоносого бычка.

Рекомендации по использованию полученных результатов. Полученные данные используются в учебном процессе для студентов биологических специальностей. Результаты рекомендуется использовать организациям, занимающимся вопросами охраны и рационального использования ресурсов животного мира.

Область применения: ихтиология, зоология, экология, природоохранная деятельность, генетика.

SUMMARY

Viktoriya Golovenchik

Modern composition, intraspecific genetic variability and pathways of representatives of alien fish species of the Tubenose and Ponto-caspian gobies genera in watercourses of Belarus

Keywords: alien species, genetic variability, haplotypic diversity, nucleated diversity, pathways, family of Gobiidae, round goby, monkey goby, *Protherorhinus*, *Neogobius*

The purpose of the study: to specify the species identification of representative of fish of Tubenose gobies living in the watercourses of Belarus, as well as to show the genetic diversity of monkey gobies and of representative of fish of Tubenose gobies in native and invasive ranges, and main pathway of their introduction to waterbodies of Belarus.

Research methods: ichthyological (material collection), molecular genetic (obtaining target gene fragments, sequencing), bioinformatics data analysis.

The results obtained and their novelty. The identification of species from the tubenose gobies genus of fish common in the watercourses of Belarus is updated. Their belonging to the species of the western tubenose goby *Protherorhinus semilunaris* (Heckel, 1837) is shown. New data on genetic variability of alien fish species have been obtained: monkey goby and western tubenose goby in Belarus. The conclusion is made about pathway of introduction of the studied alien fish species into the waterbodies of Belarus by aquatic transport. The conclusion was done based on the analysis of data on the time of settlement of species, their biology and ecology, as well as the analysis of historical data on the intensity of navigation in the studied region. New nucleotide sequences of the mitochondrial genes COI and *cyt b* of the monkey goby and the Western tubenose goby have been obtained and deposited into the BOLD database.

Recommendations for the use of the results obtained. The data obtained is used in the educational process for students of biological specialties. The results are recommended for use by organizations involved in the protection and rational use of animal resources.

Scope of application: ichthyology, zoology, ecology, environmental protection, genetics.

Подписано в печать 02.11.2023 Формат 60x84_{1/16} Бумага офсетная
Печать цифровая Усл.печ.л. 1,6 Уч.изд.л. 1,8 Тираж 60 экз. Заказ 6523
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